



Innowacyjne narzędzia do wyznaczania właściwości mechanicznych węgla

Innovative tools for determination of mechanical characteristics of coal

Dr hab. inż. Witold Biały prof. Pol. Śl.)*

Treść: Ze względu na bardzo specyficzne warunki pracy maszyn i urządzeń stosowanych w górnictwie węglowym, istotny jest sposób ich doboru, uwzględniający zmieniające się w trakcie pracy warunki. Prawidłowy dobór wpływa na zwiększenie trwałości i niezawodności maszyn i urządzeń, co przekłada się na uzyskiwane efekty ekonomiczne. Z uwagi na ważność zagadnienia, jakim jest pomiar i ocena właściwości mechanicznych węgla (w tym pomiar urabialności węgla), dokonano krótkiego przeglądu dotychczas stosowanych metod oceny urabialności węgla na świecie. Istotę problemu potwierdza liczba opracowanych metod w różnych ośrodkach naukowych na świecie. W artykule opisano nowe, powstałe w Polsce przyrządy do wyznaczania i oceny właściwości mechanicznych materiału węglowego (urabialności), których autor niniejszego artykułu jest współtwórcą. Przedstawiono ich budowę, zasadę działania oraz oryginalność zastosowanych rozwiązań. Godnym podkreślenia jest fakt, że opisane przyrządy na Międzynarodowych Targach Innowacji Technologicznych w Brukseli, zdobyły ZŁOTY i SREBRNY MEDAL.

Abstract: As the conditions of mining machines and equipment operation are very specific, it is necessary to select them properly, taking into account that the conditions of this operation are changing. The proper selection increases the durability and reliability of the machines and equipment which allows to enhance performance. Given the importance of the issue of measurement and evaluation of the coal mechanical characteristics (including workability measurements), a brief review of the so far applied methods of workability of coal in the global scale was made. Significance of this problem is confirmed by number of methods developed in many scientific centers worldwide. This paper presents new tools for determination and evaluation of mechanical characteristics of coal workability developed in Poland by participation of the author of this article. The method's construction, operating principle and uniqueness of the applied solution were presented. It is worth mentioning that the described tools won a gold and silver medal on International Fairs of Innovation in Brussels.

Słowa kluczowe:

urabialność, urządzenia pomiarowe, metody pomiaru, badania eksperymentalne

Key words:

workability, measurement devices, measurement methods, experimental tests

1. Wprowadzenie

Urabialność w szerokim znaczeniu można definiować, jako interakcje pomiędzy urabianym materiałem a maszyną (narzędziem) urabiającym. W swej istocie jest to opór, jaki stawia urabiany (rozdrobiony) materiał organowi urabiającemu maszyny. Dlatego urabialność zalicza się do właściwości mechanicznych urabianej kopaliny użytecznej (węgiel kamienny, brunatny, skały).

Jednoznaczne zdefiniowanie urabialności praktycznie jest niemożliwe ze względu na wpływ na nią bardzo wielu czynników – między innymi sposobu urabiania.

Urabialność traktowana jest również przez niektórych badaczy jako właściwość technologiczna [10]. W zależności od techniki urabiania może być określana następująco:

przy wierceniu zwiercalność,

przy urabianiu głębinowym urabialność, skrawalność,

przy urabianiu odkrywkowym opór odpajania.

W każdym z tych procesów urabiania istotny jest proces technologiczny w nim zastosowany. Pomiędzy procesami zależności są bardzo luźne, dlatego też wyników uzyskanych w jednym procesie urabiania nie można aproksymować na inny proces.

W górnictwie światowym stosuje się wiele metod wyznaczania urabialności węgla dla potrzeb mechanizacji urabiania, które określane są różnymi sposobami i różnie interpretowane. Wskaźniki te (których ustanowiono wiele) [1, 2, 3, 4], w różny sposób odzwierciedlają właściwości mechaniczne urabianego pokładu węgla. Metody te można podzielić na cztery grupy:

1. metody laboratoryjne wyznaczania urabialności węgla,
2. rejestracja parametrów wiercenia w pokładzie,
3. pomiary kruszalności,
4. pomiar sił skrawania nożem lub grupą noży.

* Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, Instytut Inżynierii Produkcji

Wyszczególnione trzy pierwsze metody obarczone są często dość znacznym błędem wynikającym głównie z braku odwzorowania charakteru maszyny urabiającej. Natomiast bardzo szerokie zastosowanie znalazła grupa czwarta – pomiar sił skrawania nożem lub grupą noży. Powstało wiele przyrządów odwzorowujących pracę struga lub kombajnu. Do najbardziej znanych przyrządów odwzorowujących pracę struga można zaliczyć:

- DMT, opracowany w Deutsche Montan Technologie w Essen (Niemcy),
- ZP-1, opracowany w VVUU w Ostrawie-Radwanicach (Czeska republika).

Urządzenie DMT jest do dnia dzisiejszego szeroko stosowane w celu określenia warunków pracy struga, czyli poprawnej lokalizacji. Do klasyfikacji pokładów węgla uwzględnia się jedynie wartość uśrednionej siły F , jaka działa na nóż pomiarowy, gdyż głębokość skrawu przyjmuje się jako wartość stałą [6].

Pomiar sił skrawania na przyrządach odwzorowujących pracę kombajnu prowadzono m.in. w USA, Francji, Rosji, Polsce. W Polsce do tego celu stosowano przyrząd POS-1, konstrukcji CMG „KOMAG”, który pozwolił na klasyfikację pokładów węglowych za pomocą tzw. wskaźnika urabialności A , A_{ψ} lub W_{UB} . Wyznaczona tym przyrządem wartość wskaźnika urabialności (A , A_{ψ} , W_{UB}) pozwoliła sklasyfikować węgle według trudności urabiania.

Wskaźnik urabialności (przez niektórych badaczy określany jako wskaźnik skrawalności) niezależnie od przyrządu, wyznaczany jest jako stosunek średniej siły skrawania (F_{ψ}) do głębokości skrawu (g).

$$\text{Wskaźnik urabialności (skrawalności)} = \frac{F_{\psi}}{g}, \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Warte odnotowania są również badania prowadzone na Uniwersytecie Technicznym w Istambule, które posiadają rekomendację Międzynarodowego Stowarzyszenia Mechaniki Skał jako norma dla laboratoryjnego pomiaru skrawalności. Skrawalność w tych badaniach opisywana jest za pomocą wskaźnika SE. Wskaźnik ten jest obliczany jako stosunek siły (FN) działającej na nóż skrawający na długości skrawu, do objętości odspojonej skały (Q) [7].

$$SE = \frac{FN}{Q} \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

Parametr ten ma decydujący wpływ na trwałość, instalowaną moc oraz gabaryty maszyny urabiającej, a tym samym wpływa na koszty zakupu i eksploatacji.

Dlatego pomiar urabialności węgla pozwala na optymalny dobór parametrów eksploatacyjnych maszyn urabiających i może być jednym z decydujących czynników oceny możliwości efektywnej eksploatacji danej parceli czy pokładu węgla. Problem ten dotyczy zarówno urabiania węgla techniką kombajnową, jak i strugową.

2. Problem urabialności

Proces urabiania można podzielić na aktywny i pasywny. Wpływ urabianego materiału na zużycie zastosowanego do tego procesu narzędzia jest uznawany za urabialność aktywną. Urabialność pasywna obejmuje wszystkie te parametry, które mają wpływ na wnikanie w głąb narzędzia urabiającego i odspajanie części urobionej od calizny.

Pomiędzy urabialnością aktywną a pasywną można ustalić wzajemne relacje (zależności), które są określone pewnymi właściwościami kopaliny. Właściwości te mają wpływ na proces urabiania.

Proces urabiania, który odbywa się w warunkach naturalnych z zastosowaniem konkretnej technologii jest procesem

złożonym, najczęściej znacznie różni się od przyjętego modelu. Złożoność tego procesu oraz wpływ wielu parametrów na ten proces, przedstawiono na rysunku 1.

Parametry geologiczne – jest to zespół właściwości fizycznych, mechanicznych i petrograficznych. Z punktu widzenia urabialności, wśród właściwości mechanicznych najistotniejsza to wytrzymałość na ściskanie. Natomiast na właściwości petrograficzne wpływ ma skład mineralny, udział minerałów twardych, a także skład ziarnowy. Wpływ tych różnych właściwości może powodować wzrost lub zmniejszenie sił potrzebnych do urabiania. Natomiast pojedyncza właściwość nie może być parametrem decydującym, urabialności. Parametry te są niezmiennie, tzn. nie ma możliwości wpływu na ich zmianę.

Parametry techniczne są określone właściwościami narzędzia urabiającego, które jest ściśle związane z przyjętą technologią urabiania. Do tych właściwości można zaliczyć geometrię ostrza oraz materiał, z którego zostało wykonane narzędzie [5]. Wybór narzędzia dokonuje się przed rozpoczęciem procesu urabiania i nie dokonuje się zmiany w trakcie procesu urabiania, pomimo zmieniających się warunków górniczo-geologicznych.

Parametry technologiczne są określone parametrami technicznymi maszyny urabiającej. Zalicza się do nich prędkość obrotową głowicy, prędkość posuwu, które z kolei określają wielkość bruzdy skrawu, wydajność. W przypadku braku pełnej automatyzacji procesu urabiania, na proces urabiania wpływ ma również czynnik ludzki. W trakcie całego procesu urabiania operator zmienia parametry urabiania w wyniku zmieniających się warunków górniczo-geologicznych. Zmiana ta następuje w wyniku subiektywnych decyzji, a wynika z doświadczenia – mają one bardzo istotny wpływ na proces urabiania. Konsekwencją tych zmian są m.in. postęp, zużycie narzędzia, energochłonność.

Parametry inne – ostatnia grupa parametrów, która ma wpływ na proces urabiania jest trudna do przewidzenia. Możemy tutaj zaliczyć stan naprężenia w strefie pracy maszyny urabiającej, jego wartość, a także zmieniający się skład petrograficzny oraz temperatura kopaliny.

Wynika stąd, że w miarę obiektywne określenie urabialności jest niemożliwe bez uwzględnienia ww. parametrów. Stąd do każdej technologii urabiania należy stosować inną metodę wyznaczania urabialności. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, metody wyznaczania urabialności muszą się znacznie między sobą różnić. Dlatego też mogą być stosowane różne metody wyznaczania urabialności w laboratorium (na stanowisku badawczym) oraz *in situ*.

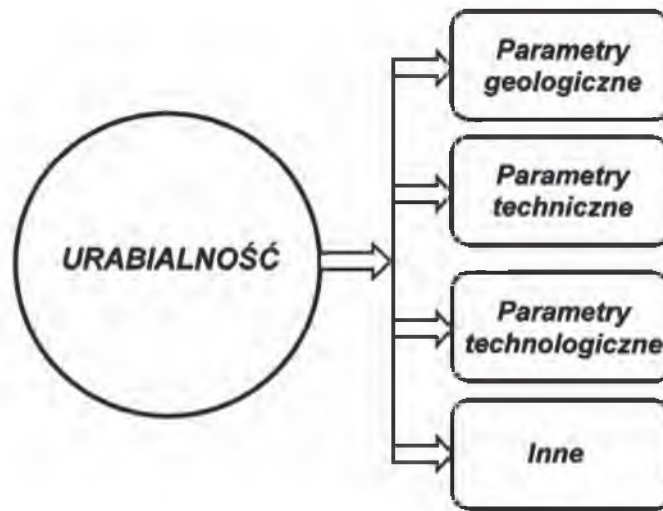
Ogólna klasyfikacja skał ze względu na urabialność (intuicyjna, uwzględniająca twardość, kruchość i inne cechy mechaniczne) przedstawia się następująco:

1. bardzo twarde,
2. twarde,
3. kruche,
4. miękkie,
5. sypkie.

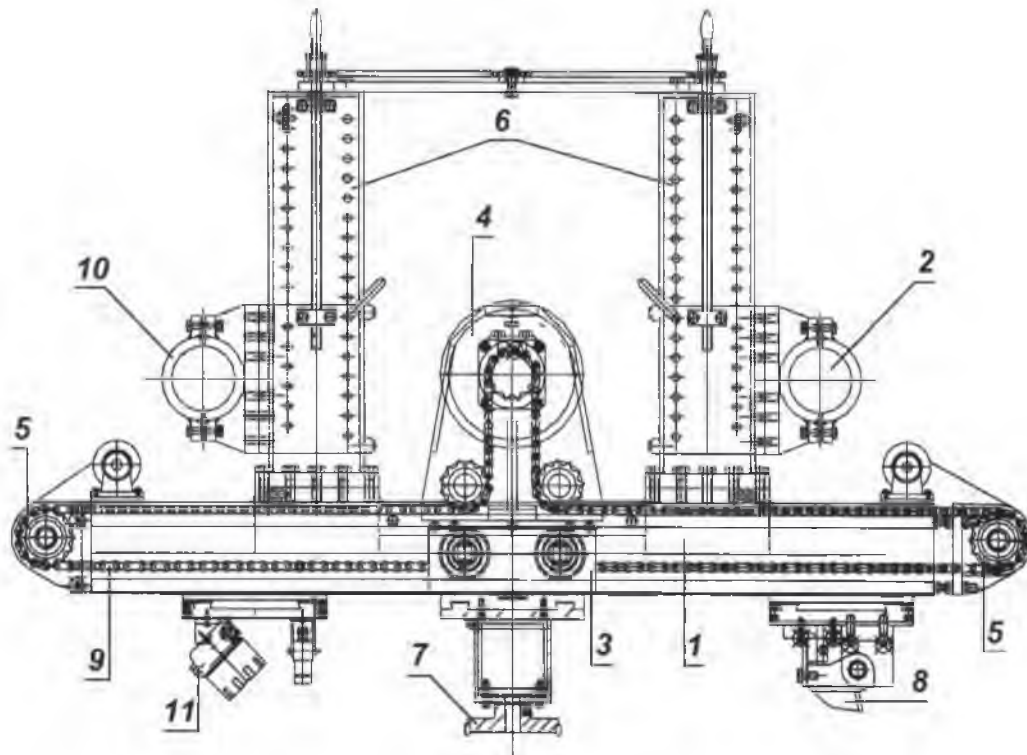
W górnictwie głębinowym węgla kamiennego mamy najczęściej do czynienia z czterema pierwszymi rodzajami skał, gdyż skały sypkie, występują sporadycznie – praktycznie nie występują.

3. Nowe przyrządy do wyznaczania wskaźnika urabialności


W ostatnich dwu latach (2011, 2012), powstały w Polsce unikatowe, na skalę światową, przyrządy do określania i oceny właściwości mechanicznych (urabialności) materiału węglowego. Przyrządy te, kolejno odwzorowują charakter pracy



Rys. 1. Parametry wpływające na urabialność
 Fig. 1. Characteristics influencing workability



Rys. 2. Przyrząd GIG do pomiaru sił skrawania
 Fig. 2. Device for machine cutting forces developed by CMI

struga węglowego oraz kombajnu ścianowego. Pierwszy z tych przyrządów powstał w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach, natomiast drugi na Politechnice Śląskiej w Instytucie Inżynierii Produkcji. Zastosowano w nich najnowocześniejsze rozwiązania, tak pod względem konstrukcji, jak i pomiaru oraz rejestracji mierzonych wartości. Omawiane przyrządy posiadają certyfikat ATEX  I M2 Ex ib I Mb, umożliwiające ich pracę w warunkach rzeczywistych, jako urządzeń przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – zgodnie z dyrektywą 94/9/EC.

2.1. Przyrząd odwzorowujący pracę struga – przyrząd GIG

Przyrząd do pomiaru sił skrawania, który odwzorowuje charakter pracy struga węglowego, opracowano w GIG-u w Katowicach (rys. 2) [8, 9]. Przyrząd ten powstał w wyniku prac jedenastoosobowego zespołu, w którym uczestniczył autor niniejszego artykułu.

Urządzenie to umożliwia wykonanie skrawów o dwu zwrotach – pomiar oporów skrawania w pokładach o grubości od 0,6 do 2,0 m, wykonanie minimum 10 skrawów pomiarowych z jednego zamocowania urządzenia na jednej wysokości, bez konieczności jego przesuwania, co warunkuje dokładność pomiarów. Umożliwia równomierne i stabilne dosuwanie noża pomiarowego do calizny węglowej, zapewnia wysoką dokładność przygotowania calizny węglowej na długości maksimum 1 m oraz wysoką dokładność wykonania w niej skrawów pomiarowych i dokonania pomiarów parametrów, niezbędnych do wyznaczenia współczynnika urabialności (skrawalności) węgla. Urządzenie jest łatwe w montażu, proste w obsłudze, co przekłada się na niskie koszty eksploatacji.

Urządzenie do wyznaczania współczynnika urabialności (skrawalności) węgla, składa się z czterech głównych elementów (rys. 2):

1. prowadnicy 1 zamocowanej do stojaków hydraulicznych 2,
2. wózka 3 napędzanego silnikiem hydraulicznym 4,
3. kół łańcuchowych 5 i łańcucha 9,
4. zespół dosuwu urządzenia 6 do calizny węglowej.

Do dwu stojaków hydraulicznych 2 (rys. 2) mocowana jest prowadnica 1 z wózkiem 3 napędzana silnikiem hydraulicznym 4, wyposażonym w uchwyt do mocowania wymiennie:

- noża wyrównującego (głowicy) 7,
- noża strugająco-pomiarowego 8,
- głowicy ze skanerem 11.

Napęd przenoszony jest poprzez łańcuch 9 osadzony na kołach łańcuchowych 5. Urządzenie posiada zespół dosuwu do calizny węglowej 6, które składa się z dwóch konsoli połączonych ze stojakami hydraulicznymi 2 za pomocą obejm 10.

Pomiar sił skrawania odbywa się w czterech etapach. Przed przystąpieniem do pomiarów sił skrawania należy wyrównać powierzchnię calizny węglowej – etap I. Wyrównanie odbywa się za pomocą głowicy wyrównującej (rys. 3), z zabudowanym silnikiem hydraulicznym 7 (rys. 2).

W następnej kolejności (etap II) następuje wybudowanie głowicy wyrównującej i zabudowanie głowicy ze skanerem 11 (rys. 2), w celu zeskanowania wyrównanej powierzchni. Głowica skanująca (rys. 4), składa się z dwu elementów: lasera oświetlającego bruzdę oraz skanera.

Następnym etapem (III), jest zabudowanie głowicy (rys. 5), z nożem strugająco-pomiarowym 8, w celu wykonania pomiaru poprzez rejestrację oporów skrawania. Głowica składa się z noża pomiarowego i tensometrycznego czujnika siły.

Po wykonaniu pomiarów wymontowuje się głowicę strugająco-pomiarową i ponownie montuje głowicę skanującą (rys. 4), aby zeskanować uzyskaną bruzdę (etap IV).

W celu wykonania kolejnych bruzd pomiarowych na tej samej wysokości przedstawiony tok postępowania należy



Rys. 3. Głowica do wyrównania ociosu
Fig. 3. Head for side wall levelling



Rys. 4. Głowica skanująca
Fig. 4. Scan head



Rys. 5. Głowica strugająco-pomiarowa
Fig. 5. Planning-measuring head

powtórzyć. Przyjęta metodyka pomiarów przewiduje wykonywanie minimum trzech bruzd pomiarowych na jednym poziomie w pokładzie.

Za pomocą głowicy skanującej, istnieje możliwość precyzyjnego pomiaru bruzdy powstałej po przeprowadzeniu skrawu pomiarowego. Tym samym, możemy porównać zarejestrowane kształty powierzchni calizny przed, jak i po wykonaniu w niej skrawu (bruzdy) i wyznaczyć objętość urobionego węgla (skały). Na podstawie zarejestrowanych wartości oporów skrawania (sił) oraz obliczonej objętości urobionego węgla oblicza się jego wskaźnik urabialności (skrawalności), z następującej zależności [9]

$$A_{Bi} = \frac{F_B}{V_B} \frac{\text{kN}}{\text{cm}^3}$$

gdzie:

- F_B – średnia wartość siły zarejestrowanej na nożu pomiarowym podczas wykonywania skrawu pomiarowego,
 V_B – objętość urobionego węgla (skały).

Oryginalność zastosowanych rozwiązań w przyrządzie GIG to:

- możliwość montowania na jednym wózku (3) trzech różnych urządzeń pomiarowo-rejestrujących,
- wykorzystanie nowatorskiej techniki skanowania laserowego tak przed, jak i po wykonaniu skrawu pomiarowego, która pozwala na szczegółowe odwzorowanie parametrów geometrycznych bruzdy,
- łatwość obsługi.

Widok urządzenia do pomiaru sił skrawania zmontowany i gotowy do przeprowadzenia pomiarów przedstawiono na rysunku 6.

3.2. Przyrząd odwzorowujący pracę kombajnu – POU-BW/01-WAP

Przyrząd POU-BW/01-WAP (którego autor niniejszego artykułu jest głównym twórcą), zmontowany i gotowy do pracy, przedstawiony został na rysunku 7 [11].

Przyrząd jest urządzeniem mobilnym, umożliwiającym prowadzenie pomiarów tak w warunkach rzeczywistych, jak i laboratoryjnych, odwzorowując rzeczywisty charakter pracy maszyny urabiającej – ścianowego kombajnu bębnowego. Składa się z następujących elementów:

- mechanicznych,
- hydraulicznych,
- elektrycznych.

W skład elementów mechanicznych wchodzi (rys. 8):

- belka nośna mocowana do stojaków SHC/SHI 1,

- suport z wózkiem aktuatora 2,
 - ramię z nożem pomiarowym 3.
- Elementy hydrauliczne to:
- aktuator,
 - rozdzielacz – kasetta sterująca,
 - manometr,
 - komplet przewodów hydraulicznych.

Urządzenia elektryczne przyrządu POU-BW/01-WAP to zestaw elementów do *Pomiaru Siły Skrawania Węgla* (PSSW).

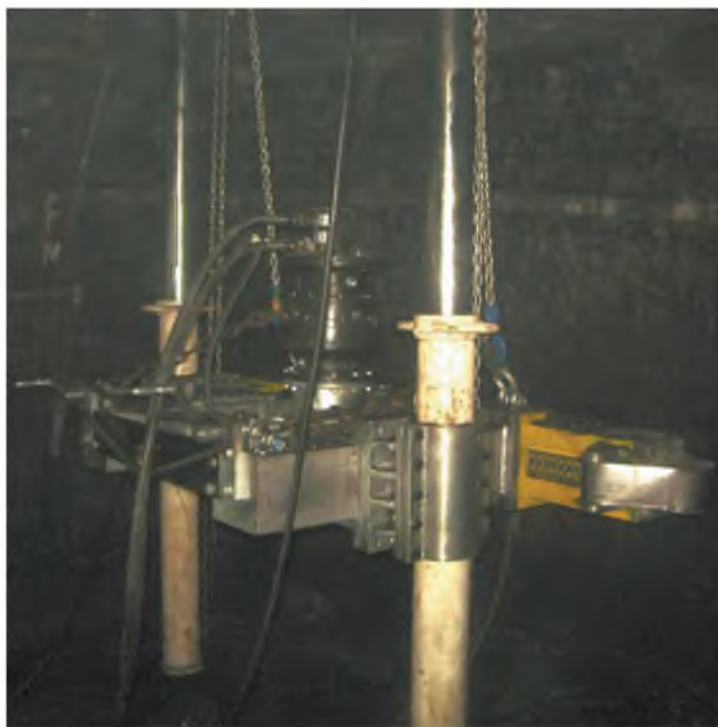
Przyrząd określający urabialność węgla POU-BW/01-WAP umożliwia wykonanie skrawów w płaszczyźnie pionowej (prostopadłej do stropu i spągu), o dwu zwrotach. Przyrząd ten, odwzorowuje rzeczywisty charakter pracy ścianowych kombajnów bębnowych, gdyż skraw pomiarowy ma zmienny kierunek skrawania w przybliżeniu poczynając od poziomego poprzez pionowy do poziomego, ale o przeciwnym na końcu zwrocie. Ponadto przyrząd POU-BW/01-WAP (rys. 8) umożliwia równomierne i stabilne dosuwanie noża pomiarowego do calizny węglowej za pomocą suportu 2 mocowanego do ramy 1.

Konstrukcja suportu (2), zapewnia wysoką dokładność przygotowania calizny węglowej oraz wysoką dokładność wykonania w niej skrawów i dokonania pomiarów parametrów niezbędnych do wyznaczenia wskaźnika urabialności węgla.

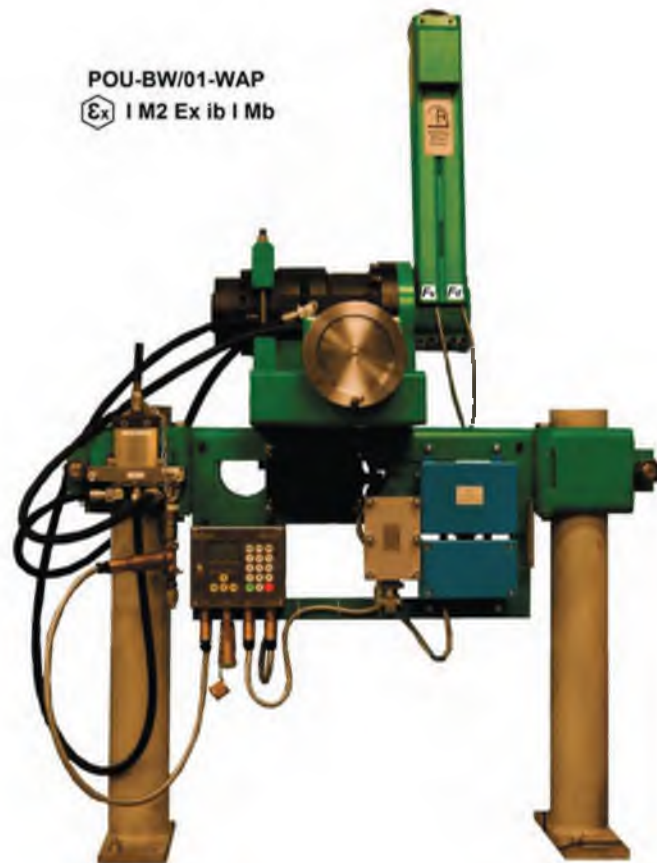
W przyrządzie jako nóż pomiarowy zastosowano rzeczywisty nóż instalowany w kombajnach bębnowych (styczno-obrotowy), co powoduje, że przy opracowaniu wyników badań nie trzeba uwzględniać wpływu geometrii noża na wyniki pomiarów. W dotychczas stosowanych przyrządach instalowano nóż pomiarowy o geometrii zbliżonej do noży rzeczywistych, co powodowało konieczność uwzględnienia w wynikach pomiarów wpływu geometrii noża na wartość siły skrawania.

Wymiary przyrządu zmontowanego i gotowego do przeprowadzania prób, przedstawiono na rysunku 9.

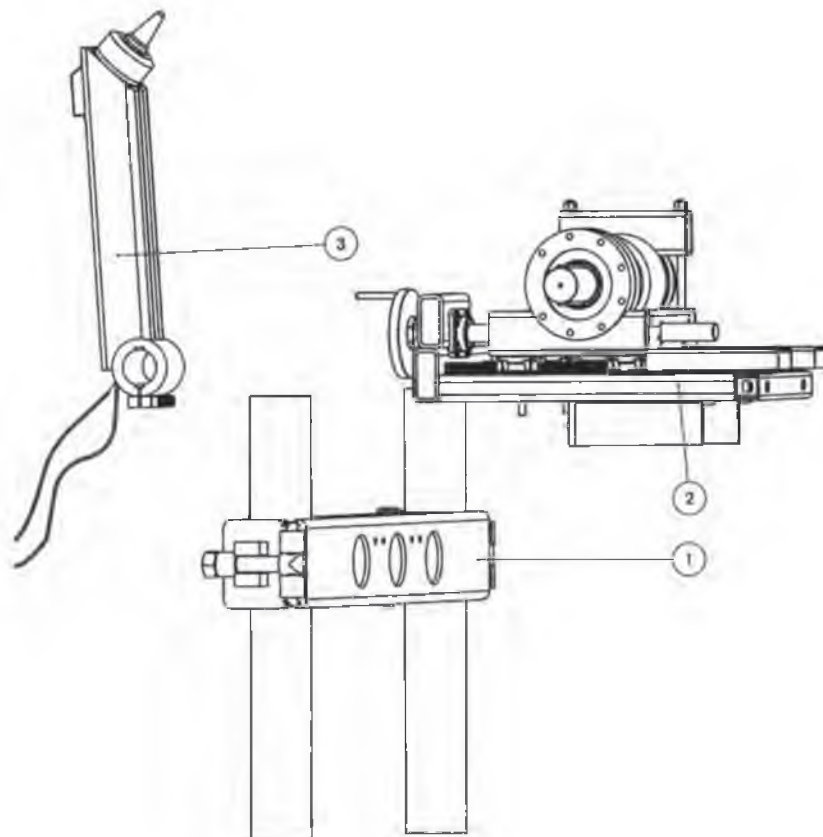
Przyrząd jest przystosowany do zamocowania na dwóch stojakach typu SHI/SHC. Po wstępnym ustawieniu stojaków, należy przy mocować belkę nośną na wysokości min. 720 mm



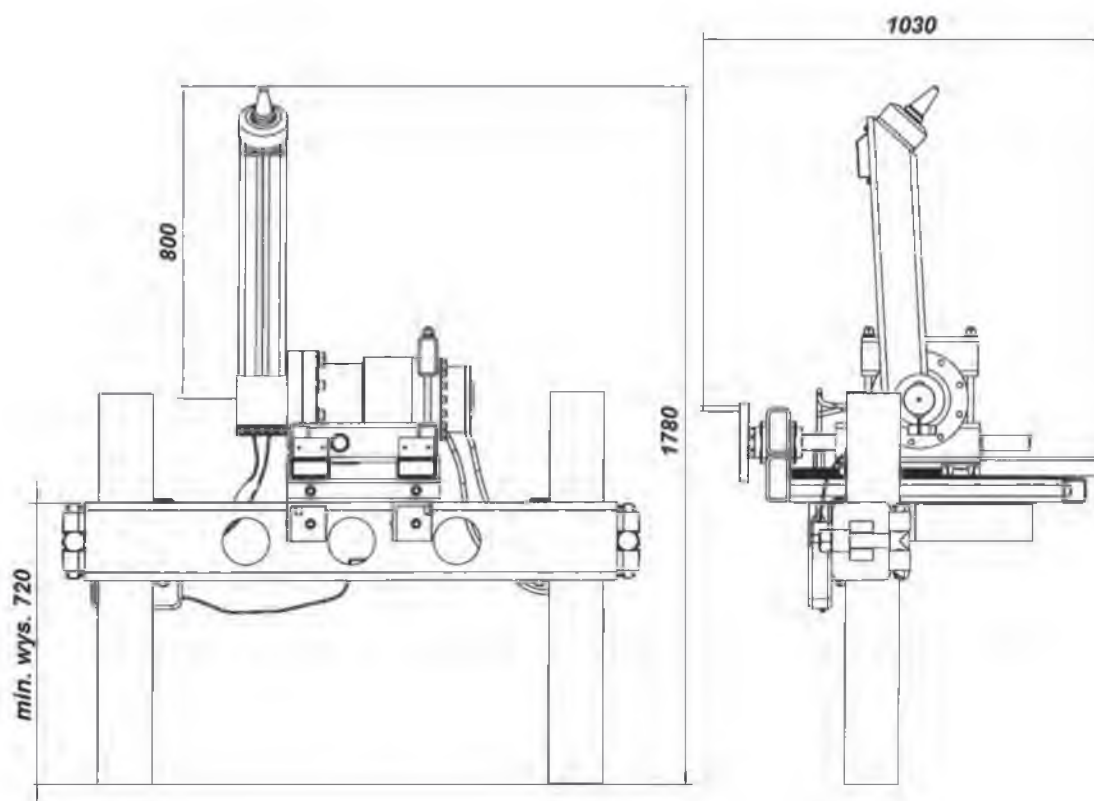
Rys. 6. Urządzenie GIG na dole kopalni
 Fig. 6. Device by CMI underground



Rys. 7. Przyrząd POU-BW/01-WAP
Fig. 7. Device POU-BW/01-WAP



Rys. 8. Elementy mechaniczne przyrządu
Fig. 8. Mechanical components of the device



Rys. 9. Wymiary przyrządu POU-BW/01-WAP
Fig. 9. Dimensions of the POU-BW/01-WAP device

od spągu do jej górnej powierzchni, powierzchnią czołową w kierunku złoza (ociosu), otworami do mocowania suportu do góry. Po wstępnym ustawieniu i wypoziomowaniu, belkę należy przykręcić śrubami.

W następnej kolejności do górnej części belki mocowany jest suport z wózkiem i aktuatorem (rys. 10) za pomocą śrub w jednym z możliwych położen – wał aktuatora ma znajdować się po prawej stronie.

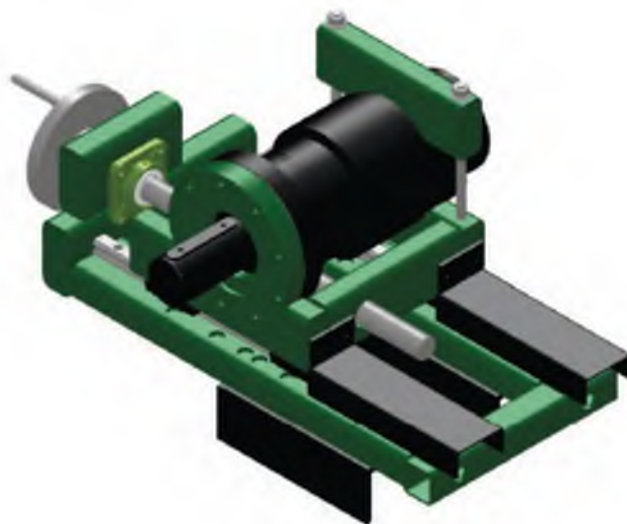
Oryginalnym rozwiązaniem zastosowanym w przyrządzie jest aktuator, służący do przeniesienia napędu z tłoka na ramię pomiarowe przyrządu. Następuje bezpośrednia zamiana ruchu posuwistego tłoka na ruch obrotowy ramienia. Doprowadzone do tłoka aktuatora medium, powoduje jego obrót. Dzieje się tak dzięki śrubowemu uzębieniu tłoka, gdyż ruch posuwisty tłoka przenoszony jest na wałek i zamieniany na ruch obrotowy.

Wybór położenia suportu jest dowolny i uzależniony od warunków w miejscu wykonywania pomiarów. Istnieje możliwość zamocowania w jednym z dwóch położen lewo/prawo i przód/tył wykorzystując odpowiednie otwory w belce i suporcie.

Po wstępnym ustawieniu suportu dokładne regulacje odległości należy przeprowadzać za pomocą pokrętła ze skalą (rys. 10) – możliwy jest zarówno ruch do przodu, jak też wycofanie całego wózka. Jeden pełny obrót pokrętła powoduje przesunięcie suportu o 7 mm – jedna działka na skali oznacza przesunięcie o 1 mm.

Ostatnim elementem przyrządu jest ramię, na końcu którego zamocowany jest nóż pomiarowy (rys. 11). Ramię należy skierować nożem w stronę urabianego złoza (ociosu).

Po zmontowaniu elementów mechanicznych, łączy się przewodami układ hydrauliczny i podłącza się zasilanie z centralnej magistrali wodno-olejowej w kopalni, do gniazd i kasety sterującej (przyrząd może być również zasilany z pompy). W układzie jest zabudowany regulator ciśnienia,



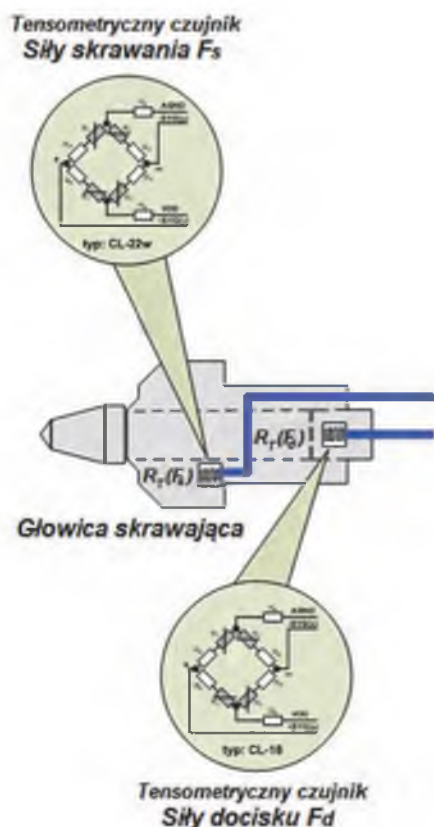
Rys. 10. Suport z wózkiem i aktuatorem
Fig. 10. Carriage with actuator

mający zapobiegać przekroczeniu wartości ciśnienia powyżej wartości dopuszczalnej (21 MPa dla przyrządu), które może wystąpić w kopalnianej magistrali zasilającej. Aktualną wartość ciśnienia można sprawdzić za pomocą manometru dołączonego do przyrządu.

Po zmontowaniu całego przyrządu należy przygotować miejsce do przeprowadzenia pomiarów. W tym celu należy wykonać w pokładzie węgla podłużną pionową wnękę, w której będzie pracował pomiarowy nóż skrawający. Aby wykonać wnękę, należy na ramieniu zamontować nóż wyrównujący i wykonać kilka cykli pracy. Po każdym przejściu noża należy go wycofać do pozycji górnej, a następnie za pomocą pokrętła



Rys. 11. Ramię przyrządu z nożem pomiarowym
Fig. 11. Arm of the device with measurement knife



Rys. 12. Głowica skrawająca z tensometrycznymi czujnikami sił
Fig. 12. Cutting head with tensometric force sensor

przysunąć cały wózek w stronę od pokładu węgla o 1÷2 cm. Po przygotowaniu wnętrza należy zamontować nóż skrawający i uruchomić układ pomiarowy. Następnie należy uruchomić urządzenie i wykonać operację skrawania. Siły działające na nóż zostaną zarejestrowane. Po każdym cyklu skrawania nożem pomiarowym należy wykonać wyrównanie wnętrza za pomocą noża wyrównującego.

Urządzenie PSSW umożliwia pomiar i rejestrację dwu sił biorących udział w procesie skrawania, tzn. siły skrawania F_x oraz siły docisku F_d do urabianej calizny (rys. 12).

Wyznaczenie składowych sił biorących udział w procesie skrawania, jest możliwe za pomocą dwu niezależnych bloków pomiarowych, który stanowią tensometryczne czujniki siły: skrawania F_x oraz docisku noża F_d .

Urządzenie PSSW, składa się z następujących urządzeń elektrycznych:

- *Pulpit Operatorski* – nadrzędny sterownik pełniący funkcję interfejsu operatora, umożliwiając monitorowanie wyników pomiaru na wyświetlaczu. Do gniazda pulpitu podłączony jest *Przenośny Moduł Pamięci*, który ma za zadanie gromadzenie danych pomiarowych. Dane te, zapisane w postaci plików służą do analizy oraz wizualizacji w formie tabel i wykresów – przenoszone są do komputera PC znajdującego się na powierzchni.
- *Konwerter Analogowo-Cyfrowy KAD-CAN* – przetwarza sygnał analogowy z dwu tensometrycznych czujników mostkowych konwersji analogowo-cyfrowej oraz przesyła dane pomiarowe do pulpitu operatorskiego za pośrednictwem magistrali szeregowej CAN.
- *Tensometryczny Czujnik Siły Skrawania F_x* – umożliwia pośredni pomiar siły skrawania poprzez zamianę rezystancji tensometrów, która jest proporcjonalna do odkształceń fizycznych powstałych w wyniku działania wielkości mechanicznej.
- *Tensometryczny Czujnik Siły Docisku F_d* – umożliwia pośredni pomiar siły docisku noża do calizny węglowej poprzez zamianę rezystancji tensometrów, która jest proporcjonalna do odkształceń fizycznych powstałych w wyniku działania wielkości mechanicznej.
- *Analogowy Przetwornik Ciśnienia* – umożliwia pomiar ciśnienia medium w instalacji hydraulicznej układu przeznaczanego do pomiaru siły skrawania węgla.
- *Zasilacz Iskrobezpieczny* – przeznaczony do zasilania iskrobezpiecznym napięciem 12V DC, urządzeń elektrycznych zastosowanych w układzie do pomiaru sił skrawania węgla.

Ponieważ przyrząd jest wyposażony w czujniki siły oraz czujnik ciśnienia, to istnieje możliwość wyznaczenia sił skrawania z dwu niezależnych źródeł pomiarowych, a tym samym można zweryfikować uzyskane wyniki pomiarów – siły skrawania oraz siły docisku noża.

Po wykonaniu pomiarów, wyniki zarejestrowane przez rejestratory podlegają dalszej obróbce, za pomocą specjalnego programu komputerowego, który jest integralną częścią przyrządu.

Pomiar oporów skrawania można wykonać w pokładach o grubości od 0,75 do 6,0 m. Za pomocą przyrządu POU-BW/01-WAP, istnieje możliwość wykonania do 10 skrawów pomiarowych z jednego zamocowania przyrządu na jednej wysokości, bez konieczności przesuwania stojaków hydraulicznych, co gwarantuje dużą dokładność pomiarów. Współrzędne danych pomiarowych są rejestrowane przez urządzenia rejestrujące z dokładnością co 1 mm. Przyrząd ten ze względu na małą liczbę elementów (trzy), jest łatwy w montażu, prosty w obsłudze oraz tani w eksploatacji.

Na podstawie zarejestrowanych wartości wyznaczonych przyrządem POU-BW/01-WAP możemy wyznaczyć wskaźnik urabialności A , jako stosunek średniej siły F_{sr} do głębokości skrawu (g)

$$A = \frac{F_{sr}}{g} \frac{kN}{m}$$

lub energetyczny wskaźnik urabialności AE

$$AE = \frac{F_{sr} \cdot l}{Q} \frac{MJ}{m^3}$$

gdzie:

F_{sr} – średnia siła skrawania na długości skrawu,

l_{sr} – długość bruzdy skrawu,

Q – objętość urobionego węgla (skały).

Oryginalność zastosowanych rozwiązań w przyrządzie POU-BW/01-WAP to:

- pomiar dwu sił składowych biorących udział w procesie skrawania (F_x oraz F_y),
- dwa niezależne źródła pomiaru – możliwość weryfikacji uzyskanych wyników,
- zastosowanie aktuatora do napędu ramienia skrawającego,
- zasilanie z centralnej magistrali wodno-olejowej w kopalni – brak dodatkowego agregatu zasilającego,
- prostota budowy (trzy elementy), łatwość obsługi, mała waga (około 250 kg).

4. Podsumowanie

W polskim górnictwie węglowym eksploatacja pokładów węglowych odbywa się głównie systemami ścianowymi za pomocą maszyn urabiających pracujących na zasadzie skrawania. Dlatego też, jednym z istotnych obszarów działalności kopalń jest prawidłowy dobór oraz eksploatacja maszyn i urządzeń niezbędnych do zapewnienia ciągłości procesu wydobywczego. Stąd bardzo istotnym elementem przy projektowaniu i konstruowaniu maszyn górniczych jest prowadzenie badań eksperymentalnych, uwzględniających charakter pracy maszyny. Badania te mają na celu poznanie jak największej liczby parametrów i ich wpływu na pracę maszyny (jej elementów), w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych.

Ważność zagadnienia, jakim jest pomiar i ocena urabialności węgla (skał), potwierdza liczność opracowanych metod jego pomiaru w różnych ośrodkach naukowych na świecie. Z dotychczas przeprowadzonych badań oraz analiz wynika, że wartość wskaźnika urabialności (skrawalności), ma istotny

wpływ na moc, wydajność oraz trwałość i niezawodność pracy urządzeń urabiających. Wynika stąd również, że parametr ten ma decydujący wpływ na energochłonność, instalowaną moc oraz gabaryty maszyny urabiającej, a tym samym wpływa na koszty zakupu i eksploatacji. Duże moce instalowane na maszynach urabiających zwiększają gabaryty maszyn, wpływają na wzrost zagrożenia klimatycznego, zaburzenia w przepływie powietrza, zagrożenie metanowe, czy wreszcie konieczność wykonywania wyrobisk o większych przekrojach.

Dlatego tak istotny jest pomiar urabialności węgla, który pozwoli na optymalny dobór parametrów eksploatacyjnych maszyn urabiających i może być jednym z decydujących czynników oceny możliwości efektywnej eksploatacji. Problem ten dotyczy zarówno urabiania węgla techniką strugową jak i kombajnową.

Wykorzystując wyniki pomiarów można określić klasę węgla (sklasyfikować wg trudności urabiania), a tym samym przewidywaną moc struga/ścianowego kombajnu bębnowego pracującego w konkretnych warunkach geologiczno-górnictwowych.

Przyrządy które powstały w Polsce w ostatnich dwu latach, zostały dostrzeżone i nagrodzone za swe innowacyjne rozwiązania. Na odbywających się corocznie w Brukseli w listopadzie, Międzynarodowych Targach Innowacji Technologicznych, zdobyły odpowiednio:

- przyrząd GIG w 2011 roku – ZŁOTY MEDAL,
- przyrząd POU-BW/01-WAP w 2012 roku – SREBRNY MEDAL.

W przyrządach tych zostały zastosowane najnowocześniejsze rozwiązania, tak pod względem konstrukcji jak i pomiaru oraz rejestracji mierzonych wartości. Posiadają certyfikat ATEX, $\text{Ex} \text{I M2 Ex ib I Mb}$, umożliwiając ich pracę w warunkach rzeczywistych (zakładach górniczych), jako urządzenia przeznaczonego do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – zgodnie z dyrektywą 94/9/EC.



Literatura

1. *Biały W.*: The side-crumble angle ψ of coal and the energy consumption of the mining process as a function of the vertical component σ_v of exploitation pressure. Polska Akademia Nauk, Archiwum Górnictwa tom 47 nr 3. s. 361÷384. 2002.
 2. *Biały W.*: Empiryczne prognozowanie mocy ścianowych kombajnów bębnowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, Monografia z. 262. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. 2005.
 3. *Biały W.*: The selection of optimal method determining mechanical properties of coal layers. Management Systems in Production Engineering 2. s. 26÷30. 2011.
 4. *Krauze K.*: Urabianie skał kombajnami ścianowymi. „Śląsk” Sp. z o.o. Wydawnictwo Naukowe, Katowice. 2000.
 5. *Krauze K., Kotwica K.*: Selection and Underground Tests of the Rotary Tangential Cutting Picks used in Cutting Heads of the Longwall and Roadway Miners. Polska Akademia Nauk, Archiwum Górnictwa tom 52 nr 2. s. 195÷217. 2007.
 6. *Myszkowski M., Paschedag U.*: Longwall mining In seams of medium thickness – comparison between shearer and plover. 21st. World Mining Congress. Kraków. 2008.
 7. *Eskikaya S., Bilgin N., Ozdemir L.*: Development of rapid excavation technologies for the Turkish mining and tunneling industries. NATO TU Excavation Sfs Program project report. Mining Engineering Department. Istanbul Technical University. 2000.
 8. *Prusek S., Rajwa S., Wrana A., Walentek A.*: Wykorzystanie nowoczesnych technik pomiarowych do oceny parametru skrawalności węgla i skał w warunkach in situ. Prace Naukowe GIG „Górnictwo i Środowisko” Kwartalnik nr 1/1 Główny Instytut Górnictwa, Katowice. s. 302÷307. 2011.
 9. *Prusek S., Rajwa S., Wrana A., Walentek A.*: Ocena skrawalności pokładów węgla i skał otaczających w warunkach dołowych z wykorzystaniem przyrządu opracowanego w GIG. Nowe spojrzenie na technikę i technologię eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego. 24-26.11.2011. LW Bogdanka SA. s. 123÷131. 2011.
 10. *Vořtova V., Křemen T., Fries J., Sládková D., Jurman J.*: Progresivní technika v technologiích zemních prací. Wydawnictwo České Vysoké Učení Technické v Praze. Fakulta strojní Praha. 2008.
 11. *Welding Alloys Polska sp. z o.o.* Dokumentacja Techniczno-Ruchowa Przyrządu POU-BW/01-WAP. Gliwice 2012.
-
-