




Pomiar sił skrawania węgla z wykorzystaniem przyrządu POU-BW/01- -WAP

Measurement of cutting force of coal by use of the POU-BW/01-WAP device

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

Treść: Przedstawiono budowę oraz zasadę działania unikalnego na skalę światową przyrządu umożliwiającego pomiar wartości sił biorących udział w procesie skrawania (urabiania węgla) nazwanego przez autora POU-BW/01-WAP. Jest jedynym na świecie przyrządem, za pomocą którego istnieje możliwość bezpośredniego wyznaczenia wartości dwu składowych sił biorących udział w procesie skrawania. Wyznaczenie wartości tych sił jest możliwe za pomocą dwu niezależnych bloków pomiarowych, które stanowią tensometryczne czujniki siły: skrawania F_s i docisku noża F_d oraz czujnik ciśnienia medium zasilającego przyrząd. Do rejestracji tych sił, zastosowany został nóż stosowany w ścianowych kombajnach bębnowych – styczo-obrotowy. Urządzenia układu pomiarowego przyrządu POU-BW/01-WAP, to zestaw elementów do *Pomiaru Siły Skrawania Węgla* (PSSW). Integralną częścią przyrządu jest również specjalny program komputerowy (Coal Test), dzięki któremu można wyznaczyć siły oraz momenty sił działających na głowicę urabiającą kombajnu, a tym samym prognozować moc głowicy urabiającej ścianowego kombajnu bębnowego. Przyrząd posiada certyfikat ATEX  **I M2 Ex ib I Mb**, umożliwiający pracę w warunkach rzeczywistych, jako urządzenia przeznaczonego do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – zgodnie z dyrektywą 94/9/EC.

Abstract: This paper presents the construction and principle of operation of the global scale unique device which allows to measure the values of cutting force called POU-BW/01-WAP. It is the only device around the world which enables direct indication of values of two components of cutting forces. Indication of the value of the cutting forces is possible thanks to the two independent measuring units which are the tensometric sensors of cutting force (F_s), knife downforce (F_d) and the sensor of the device feeding pressure. Those forces were registered by the use of the tangential-rotational tool, commonly applied in longwall drum cutter-loaders. The measurement system instruments of the POU-BW/01-WAP device are set of elements for the Measurement of Cutting Forces of Coal. A complex computer program (Coal Test) which is an integral part of the device, allows to indicate the forces and moments of forces acting on the loader's cutting head, thus to determine the power of the cutting head of the longwall drum cutter-loader. The device is approved by the ATEX I M2 Ex ib I Mb certificate which gives the right to work in real conditions and it is intended for the use in explosive atmosphere – according to the 94/9/EC directive.

Słowa kluczowe:

przyrząd, opory urabiania, urabialność węgla, pomiar siły skrawania, tensometria, urządzenie pomiarowe

Key words:

device, cutting forces, workability of coal, measurement of cutting force, tensometry, measuring instruments

1. Wprowadzenie

W polskim górnictwie węglowym eksploatacja złóż węgla odbywa się głównie systemami ścianowymi z urabianiem mechanicznym za pomocą ścianowych kombajnów bębnowych. Rozwój mechanizacji urabiania węgla dyktowany jest głównie przez:

- dużą koncentrację wydobywania,
- ograniczenie stanowisk pracy,
- podniesienie efektywności ekonomicznej produkcji.

Aby sprostać tym wymogom oraz warunkom ekonomicznym, należy dążyć do podwyższenia efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń służących do mechanicznego urabiania pokładów węgla, które można osiągnąć przez:

- obniżenie energochłonności urabiania,
- zwiększenie trwałości i niezawodności narzędzi oraz organów urabiających,
- doskonalenie transmisji energii od silnika do organu urabiającego,
- zautomatyzowanie procesu urabiania,
- zwiększenie bezpieczeństwa i warunków pracy obsługujących urządzenia.

Zachodzi w związku z tym potrzeba ustawicznego doskonalenia metod i środków badawczych, zmierzających do

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

określenia sumy oporów stawianych przez urabiany materiał (węgiel) przy oddzielaniu jego części, a więc określenia mocy kombajnu potrzebnej do urabiania w konkretnych warunkach geologiczno-górnictwa przy żądanej prędkości posuwu.

Na warunki urabiania składają się:

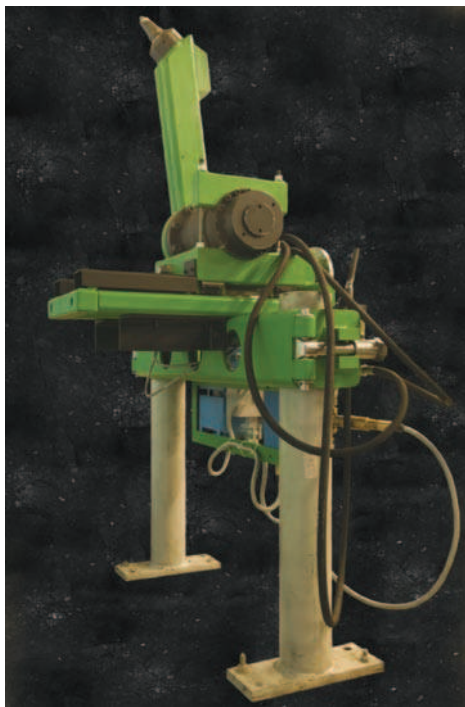
- warunki geologiczno-górnictwa zalegania złoża,
- urabialność,
- położenie oraz rozmieszczenie narzędzi skrawających,
- kształt narzędzia, ich współdziałanie,
- trwałość i niezawodność maszyn,
- zużycie energii w procesie urabiania.

Właściwości te określają technikę i technologię procesu eksploatacji. Mają one zasadniczy wpływ na efektywność urabiania – decydują o wydajności maszyn urabiających.

To tylko niektóre z czynników (ale jakże istotne), które warunkują efektywność mechanicznego procesu urabiania. Wynika stąd, że poprawę można osiągnąć poprzez wielokierunkowe działania, wśród których istotne jest doskonalenie metod doboru ścianowych kombajnów bębnowych do istniejących warunków geologiczno-górnictwa. Działania takie zawierają się nie tylko w sferze konstrukcji, ale również w badaniach podstawowych nad mechanizmami towarzyszącymi procesom urabiania węgla [3].

1. Przyrząd POU-BW/01-WAP

Przyrząd odwzorowujący charakter pracy ścianowego kombajnu bębnowego POU-BW/01-WAP zmontowany i gotowy do pracy został przedstawiony na rys. 1 [2, 4].



Rys. 1. Przyrząd zmontowany i gotowy do pracy
Fig. 1. Assembled and operational device

Przyrząd POU-BW/01-WAP umożliwia wykonanie skrawów w płaszczyźnie pionowej (prostopadłej do stropu i spągu), o dwu zwrotach urabiania. W trakcie pracy odwzorowywany jest rzeczywisty charakter pracy ścianowych kombajnów bębnowych, gdyż skraw pomiarowy ma zmienny kierunek skrawania w przybliżeniu począwszy od poziomego

poprzez pionowy do poziomego, ale o przeciwnym na końcu zwrocie.

Ponieważ przyrząd jest wyposażony w tensometryczne czujniki siły oraz w czujnik ciśnienia, to umożliwia wyznaczenie sił skrawania z dwu niezależnych źródeł pomiarowych, a tym samym istnieje możliwość weryfikacji uzyskanych wyników pomiarów – siły skrawania F_s oraz siły docisku noża F_d . Po wykonaniu pomiarów, wyniki zarejestrowane przez rejestratory podlegają dalszej obróbce, za pomocą specjalnego programu komputerowego, który jest integralną częścią przyrządu.

2. Pomiar sił na nożu skrawającym przyrządu POU-BW/01-WAP

Przyrząd POU-BW/01-WAP zapewnia możliwość dokonania pomiaru wartości sił skrawania, oddziaływujących na noże w trakcie procesu urabiania kalizny węglowej. Metodą która zapewnia dokonanie takiego pomiaru z odpowiednią dokładnością jest metoda tensometrii oporowej, gdyż umożliwia dokładny pomiar odkształceń. W praktyce sprowadza się do mierzenia wydłużeń na powierzchni ciała pod wpływem oddziaływania znanych sił zewnętrznych.

Znając stałą sprężystości badanego materiału oraz wynik pomiaru wydłużenia właściwego można, korzystając z prawa Hooke'a, obliczyć wartości występujących w materiale naprężeń, a poprzez to inne wielkości mechaniczne, takie jak: siłę, moment gnący, ciśnienie itp.

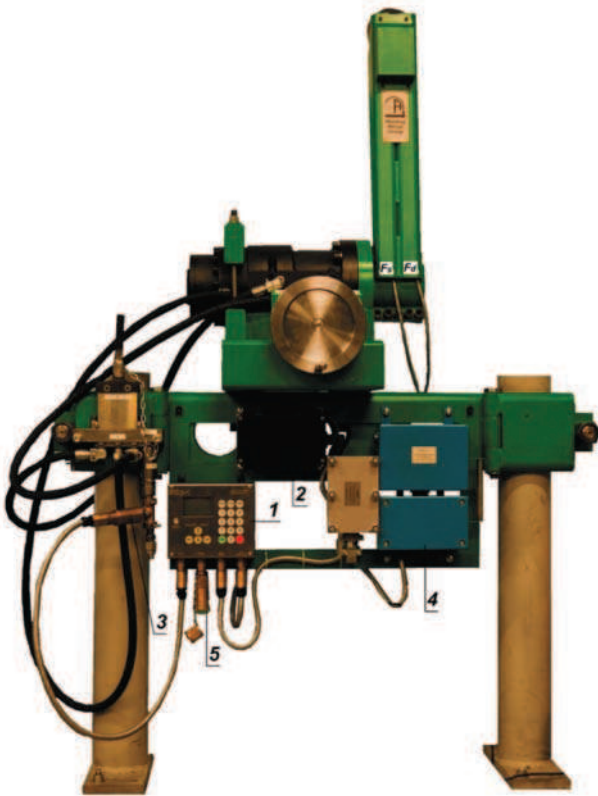
Gdy badania mają być prowadzone w warunkach normalnej eksploatacji, najlepiej zastosować metodę tensometrii oporowej, która wykorzystuje tensometry zaliczane do grupy tensometrów elektrycznych. Metoda ta zapewnia możliwość wykonywania wielopunktowych pomiarów przy zdalnej rejestracji wyników, lub z bezpośrednim ich przekazywaniem do urządzenia rejestrującego (komputera). Taki układ pomiarowy ma bardzo małą bezwładność, co daje możliwość pomiarów wielkości szybkozmiennych.

Ze względu na to, że we współczesnych ścianowych kombajnach bębnowych najpowszechniej stosowane są noże styczo-obrotowe, najpoważniejszym problemem było skonstruowanie elementu pomiarowego przyrządu w taki sposób, by pomiar był w ogóle możliwy. Noże styczo-obrotowe mają bowiem możliwość obracania się w uchwytach, co uniemożliwia naklejenie tensometrów bezpośrednio na nich w taki sposób, by odbierać sygnał. Zaproponowano rozwiązanie, które umożliwia dokonanie w prosty sposób pomiaru sił, a następnie, dzięki znanym parametrom geometrycznym urządzenia, umożliwia za pomocą elementarnych wzorów obliczenie parametrów obciążenia, np. w postaci sił. Nie bez znaczenia jest również możliwość obróbki statystycznej rezultatów dowolnej liczby pomiarów, z których każdy jest zapisem przebiegu obciążenia danego noża w czasie rzeczywistym.

Ponieważ przyrząd jest wyposażony w czujniki siły oraz czujnik ciśnienia, stąd umożliwia wyznaczenie sił skrawania z dwu niezależnych źródeł pomiarowych, a tym samym istnieje możliwość weryfikacji uzyskanych wyników pomiarów – siły skrawania F_s oraz siły docisku noża F_d .

2. Urządzenie do pomiaru sił skrawania węgla (PSSW)

Sposób rozmieszczenia elementów składowych urządzenia do pomiaru sił skrawania węgla przedstawiono na rys. 2, natomiast struktura układu PSSW została przedstawiona na rysunku 3 [1, 5]. Urządzenie PSSW (rys. 2), składa się z następujących urządzeń elektrycznych:

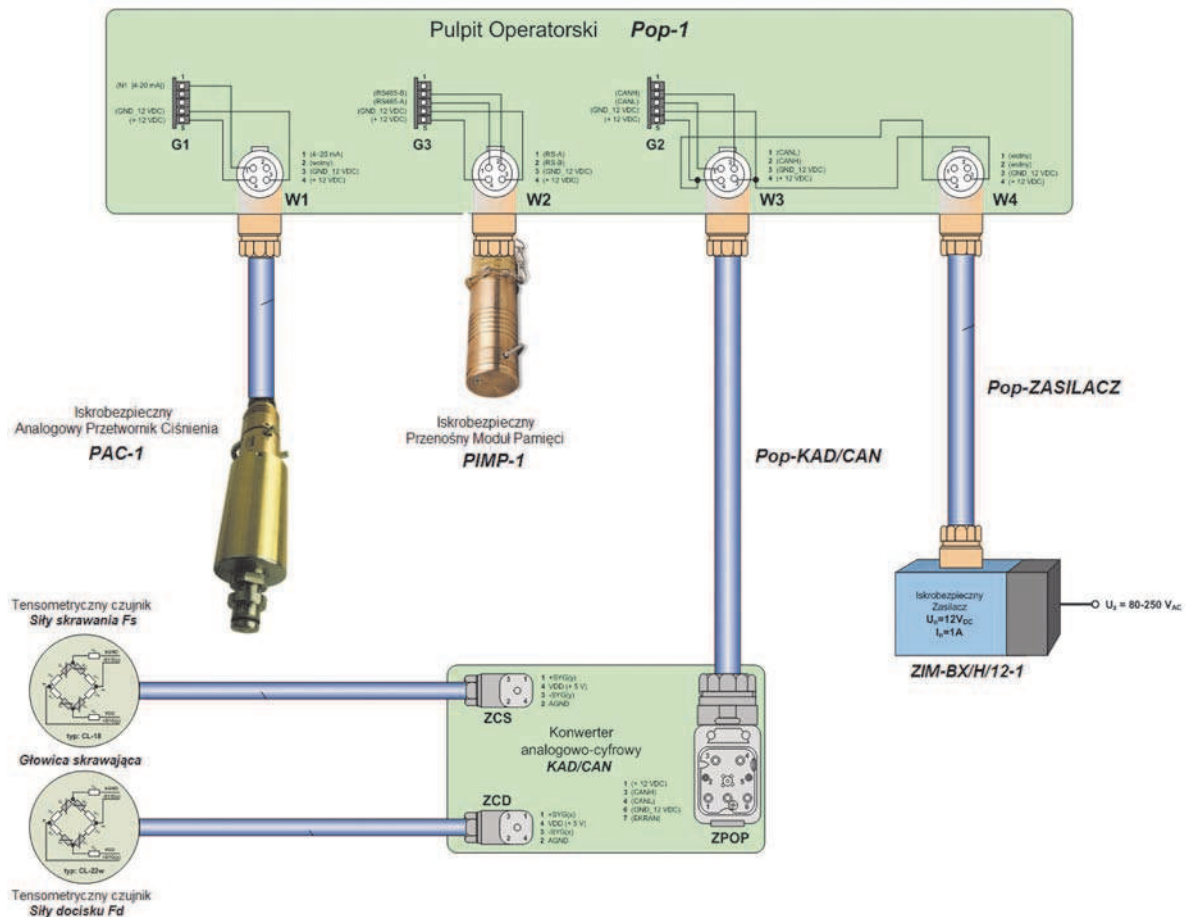


Rys. 2. Przyrząd POU-BW/01-WAP
Fig. 2. POU-BW/01-WAP device

- Pulpit Operatorski (1) – nadrzędny sterownik pełniący funkcję interfejsu operatora, umożliwiając monitorowanie wyników pomiaru na wyświetlaczu,
- Konwerter Analogowo-Cyfrowy KAD/CAN (2) – przetwarza sygnał analogowy z dwu tensometrycznych czujników mostkowych konwersji analogowo-cyfrowej oraz przesyła dane pomiarowe do pulpitu operatorskiego za pośrednictwem magistrali szeregowej CAN,
- Analogowy Przetwornik Ciśnienia (3) – umożliwia pomiar ciśnienia medium w instalacji hydraulicznej układu przeznaczony do pomiaru siły skrawania węgla,
- Zasilacz Iskrobezpieczny (4) – przeznaczony do zasilania iskrobezpiecznym napięciem 12V DC, urządzeń elektrycznych zastosowanych w układzie do pomiaru sił skrawania węgla,
- Przenośny Moduł Pamięci (5), który ma za zadanie gromadzenie danych pomiarowych. Zarejestrowane dane zapisane w postaci plików służą do analizy oraz wizualizacji w formie tabel i wykresów – przenoszone są do komputera PC znajdującego się na powierzchni.

Parametry techniczne układu PSSW:

- zakres pomiarowy dla siły skrawania, F_s 0,007-75kN,
- zakres pomiarowy dla siły docisku, F_d 0,002-25kN,
- jednostki wyświetlane kN oraz MPa,
- rozdzielczość przetwornika A/C 10000 dźwięków,
- maksymalny błąd pomiaru $< 0,03\% + \text{błąd czujnika}$,
- temperaturowy błąd pomiaru $< 0,07\%/10K + \text{błąd czujnika}$,



Rys. 3. Struktura układu PSSW
Fig. 3. Structure of the Measurement of Cutting Forces of Coal system

- czas pojedynczego pomiaru 1,5s,
- czas próbkowania 20ms,
- liczba pamiętanych pomiarów 10,0
- rozpoczęcie rejestracji pomiarów natychmiast po przekroczeniu progu,
- pojemność modułu pamięci 1GB,
- sygnalizacja awarii i przekroczeń świetlna i akustyczna,
- oznaczenie poziomu bezpieczeństwa I M2 Ex ib I

Urządzenia układu pomiarowego PSSW porozumiewają się ze sobą za pośrednictwem magistrali komunikacyjnej CAN. Układ zasilany jest z iskrobezpiecznego zasilacza napięciem 12VDC. Jednostką nadrzędną układu jest Pulpit Operatorski POp-1. W głowicy urządzenia zamontowane są dwa tensometryczne czujniki mostkowe, których pomiar odkształceń sprężystych umożliwia pośredni pomiar wielkości pochodnych, takich jak siła. Zmiany sił działających na głowicę pomiarową powodują zmiany rezystancji w mostkach tensometrycznych czujników, co skutkuje wyjściem mostków ze stanu równowagi i pojawieniem się napięcia na wyjściach mostków. Sygnał (napięcie) z każdego czujnika siły przekazywany jest do konwertera analogowo-cyfrowego KAD/CAN, gdzie jest wzmacniany i po konwersji w postaci cyfrowej wysyłany magistralą komunikacyjną CAN do pulpitu operatorskiego i dalej przetwarzany.

Pomiary wykonywane są w krótkich seriach pomiarowych, których wyniki są zapamiętywane na podłączonym do pulpitu iskrobezpiecznym module pamięci PIMP-1. Poziom ciśnienia w instalacji hydraulicznej układu kontroluje czujnik PAC-1, który na bieżąco informuje jednostkę centralną o aktualnej wartości ciśnienia medium.

Pulpit Operatorski POp-1 w układzie PSSW pełni funkcję interfejsu operatora i jednostki centralnej mogącej pracować w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych w polach niemetalowych i metanowych. Jest urządzeniem uniwersalnym, którego obwody wejścia/wyjścia mogą być konfigurowane w zależności od wymagań użytkownika. Dane przekazywane do pulpitu są przesyłane do modułu pamięci PIMP-1, w którym są przechowywane.

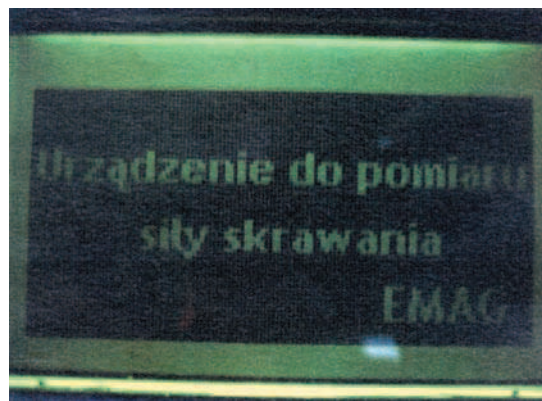
Moduł pamięci PIMP-1 przeznaczony jest do gromadzenia danych z układu pomiarowego siły skrawania węgla i przenoszenia ich do innego urządzenia powierzchniowego wyposażonego w port USB. Dane zorganizowane są w postaci plików w drzewie katalogów pogrupowanych według lat i miesięcy. Każdy plik ma indywidualną, niepowtarzalną nazwę, która pomaga w identyfikacji czasu w jakim pomiar został zarejestrowany. Informacje zgromadzone w plikach mogą posłużyć do analizy i wizualizacji w formie tabel, wykresów itp.

Do tego celu został opracowany program AW-PSSW – Analiza Wyników Pomiaru Siły Skrawania Węgla.

Podstawowa plansza prezentowana na wyświetlaczu zawiera informujące o wartościach najważniejszych wielkości określających stan nadzorowanego procesu, czyli przeliczone wartości sił mierzonych przez czujniki tensometryczne oraz wartość ciśnienia wskazywana przez czujnik PAC-1.

Na wyświetlaczu graficznym POp-1 (o rozdzielczości 128x64 punkty – rys. 4), przedstawiane są wyniki pomiaru siły skrawania, siły docisku oraz ciśnienia medium w instalacji hydraulicznej.

W pamięci wewnętrznej urządzenia zapisane są wyniki z dziesięciu ostatnich pomiarów tych wielkości. W przypadku wystąpienia stanów awaryjnych użytkownik informowany jest o zaistniałym fakcie odpowiednim komunikatem. Urządzenie posiada najwyższy priorytet w hierarchii urządzeń przyłączonych do magistrali wymiany danych CAN. Dodatkowym atutem urządzenia jest szybkość działania i prosty w obsłudze interfejs.



Rys. 4. Ekran powitalny POp-1
Fig. 4. Startup screen of the POp-1

3. Wykonywanie pomiarów

Układ PSSW będąc w stanie oczekiwania gotowy jest do wykonania pomiaru. Aby uruchomić funkcję „pomiar” należy:

- uruchomić przycisk OK na panelu operatorskim POp-1, co spowoduje uruchomienie funkcji oczekiwania na przekroczenie progu rejestracji,
- dźwignią zaworu w układzie hydraulicznym uruchomić ruch ramienia przyrządu, na którym umieszczony jest nóż pomiarowy.

Po zidentyfikowaniu przekroczenia progu rejestracji, uruchomiony zostaje czas trwania rejestracji, co zostaje potwierdzone zaświeceniem się wskaźnika STAN na zielono. Czas trwania jednego pomiaru wynosi 1,5 s – w tym czasie zapisywanych jest 75 próbek pomiaru.

Po upływie tego czasu gaśnie wskaźnik STAN, a na ekranie wyświetlone zostają średnie wartości z zarejestrowanych sił skrawania oraz docisku (rys. 5).



Rys. 5. Wyświetlacz POp-1 z wartościami sił oraz ciśnienia
Fig. 5. Display of the POp-1 with force and pressure values

Prezentowana na ekranie wartość ciśnienia jest wartością pochodzącą z odczytów on-line (rys. 5). W kolejnym kroku, układ przechodzi w stan 60-sekundowej blokady, co zostaje zasygnalizowane żółtym kolorem wskaźnika STAN. Następny pomiar jest możliwy do wykonania po zdjęciu blokady i wprowadzeniu układu pomiarowego w stan oczekiwania.

W przypadku przekroczenia zakresu pomiarowego w trakcie wykonywania pomiaru (co najmniej przez jeden

z czujników), następuje natychmiastowe przerwanie rejestracji wyników pomiaru, co jest potwierdzone zaświeceniem się wskaźnika STAN na czerwono. Ponadto na ekranie pojawia się komunikat „PRZEKROCZONY ZAKRES POMIAROWY”. Po zaistnieniu takiego przypadku, układ przed następnym pomiarem należy „zresetować” poprzez wyłączenie napięcia zasilania i po chwili ponowne załączenie. Układ pomiarowy przechodzi w stan oczekiwania i jest gotowy do ponownej rejestracji sił skrawania oraz docisku.

Na panelu operatorskim POp-1 możemy dokonać przeglądu wyników pomiaru z ostatnich dziesięciu pomiarów, które znajdują się w menu historii. Natomiast wszystkie zarejestrowane wyniki pomiarów w trakcie wykonywania prób, można odczytać na stanowisku powierzchniowym, z wykorzystaniem komputera PC.

4. Analiza wyników pomiaru sił skrawania węgla (AW-PSSW)

Program AW-PSSW umożliwia wizualizację i przeprowadzenie analizy zebranych informacji z układu Pomiaru Sił Skrawania Węgla (rys. 6).

Do głównych możliwości programu należą:

- przegląd zebranych plików w postaci uporządkowanych tabelarycznie wpisów,
- konwersja plików DAT do arkusza kalkulacyjnego,
- wizualizacja danych w formie wykresów,
- analiza danych przy pomocy histogramu i statystyki wyników,
- wydruk pomiarów,
- eksport pomiarów do pliku tekstowego.

Do poprawnej pracy programu niezbędny jest komputer typu PC z zainstalowanym systemem Windows XP oraz środowiskiem Microsoft .NET Framework 3.5.

5. Program Coal Test

Po wykonaniu pomiarów, wyniki zarejestrowane przez rejestratory i zapisane w module pamięci PIMP-1 podlegają dalszej obróbce, za pomocą specjalnego programu komputerowego (Coal Test), który jest integralną częścią przyrządu.

Uruchamiając program Coal Test, na ekranie monitora pojawi się okno powitalne, a następnie główne okno programu.

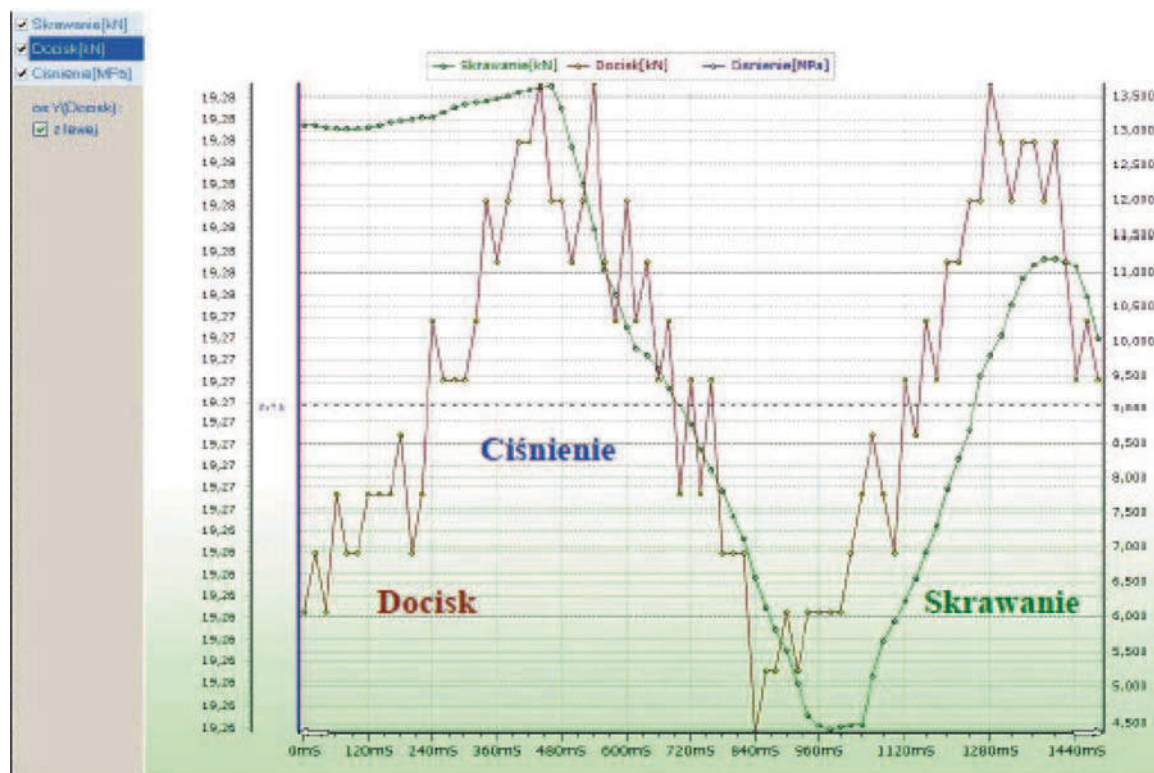
W pierwszej kolejności wprowadzamy parametry geometryczne noży zainstalowanych na organie urabiającym (rys. 7). Przy opisie geometrii rozmieszczenia noży na organie urabiającym bierze się pod uwagę zespół: nóż – uchwyt noża.

Geometria organu urabiającego ścianowego kombajnu bębnowego opisana została następującymi parametrami:

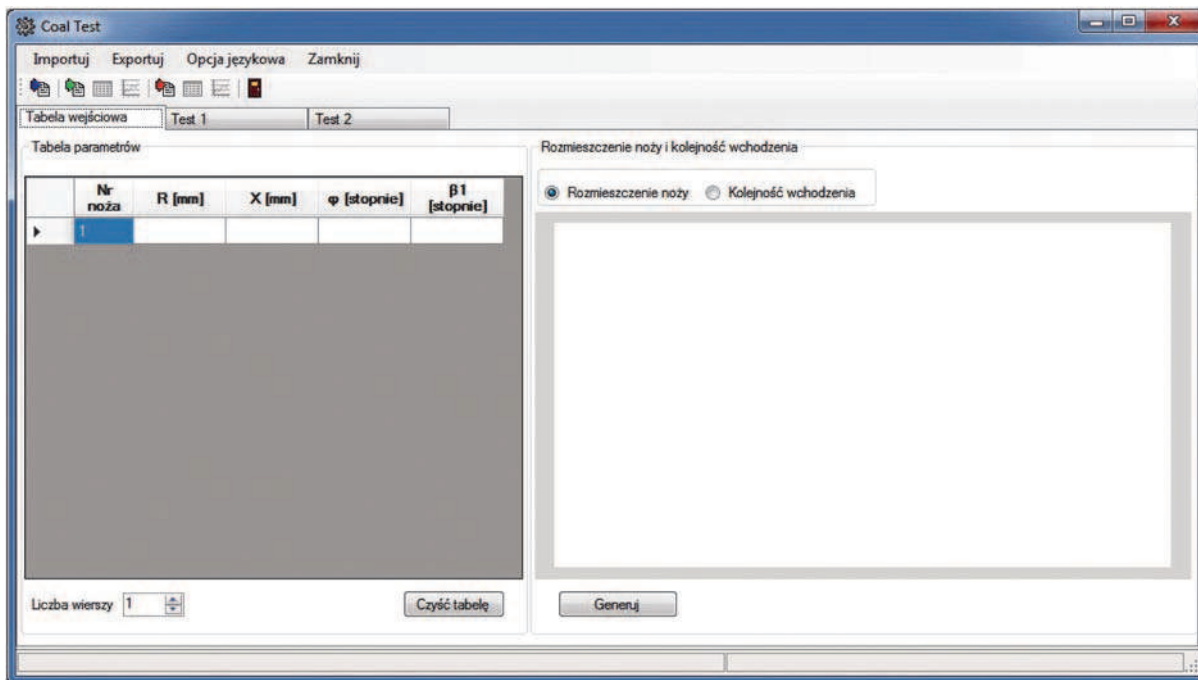
- liczba noży na organie urabiającym (numer noża) – X , szt,
- odległość wierzchołka ostrza noża od osi obrotu organu urabiającego – R , mm,
- odległość wierzchołka ostrza noża od płaszczyzny yz – x , mm,
- kąt obwodowy położenia noża – φ [°],
- kąt obrotu noża w stosunku do osi obrotu bębna (organu urabiającego) – β_1 [°],
- kąt pochylenia noża – α_1 [°],
- kąt obrotu wierzchołka ostrza noża – γ_1 [°].

W przypadku, gdy plik zostanie poprawnie wprowadzony do aplikacji, na zakładce zostaną przedstawione parametry noży na organie urabiającym, jak również pokazane zostanie rozmieszczenie noży na głowicy urabiającej (rys. 8) oraz kolejność wchodzenia noży przy jednym pełnym (360°) obrocie organu urabiającego.

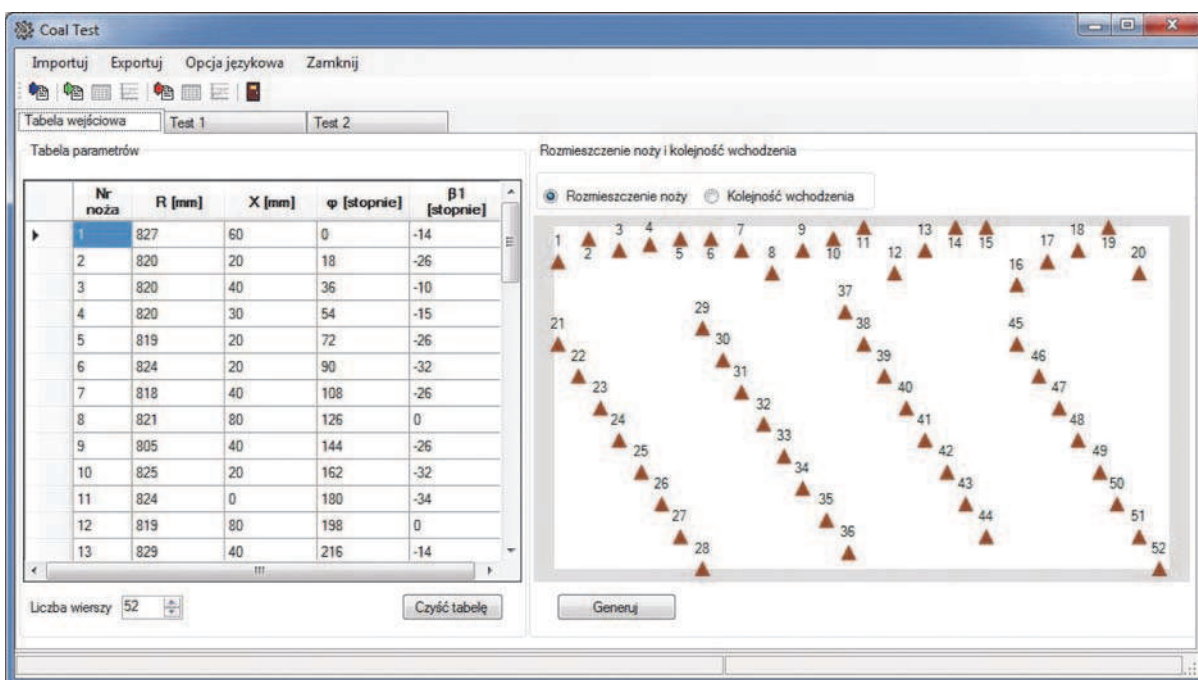
Wprowadzając do programu wartości sił (F_s , F_d) zmierzone i zarejestrowane w trakcie wykonywania pomiarów, w tabeli wynikowej wyznaczone i zaprezentowane zostaną



Rys. 6. Plansza graficzna programu AW-PSSW
Fig. 6. Graphic screen of the AW-PSSW program



Rys. 7. Okno programu – parametry geometryczne
 Fig. 7. Application window – geometric parameters



Rys. 8. Rozmieszczenie noży na organie urabiającym
 Fig. 8. Arrangement of cutting tools on the cutting unit

zarówno wartości sił (rys. 9), jak i momentów sił – należy określić operację, którą chce się wykonać. Na opcji wyboru wybieramy operację spośród:

- siła,
- momenty siły.

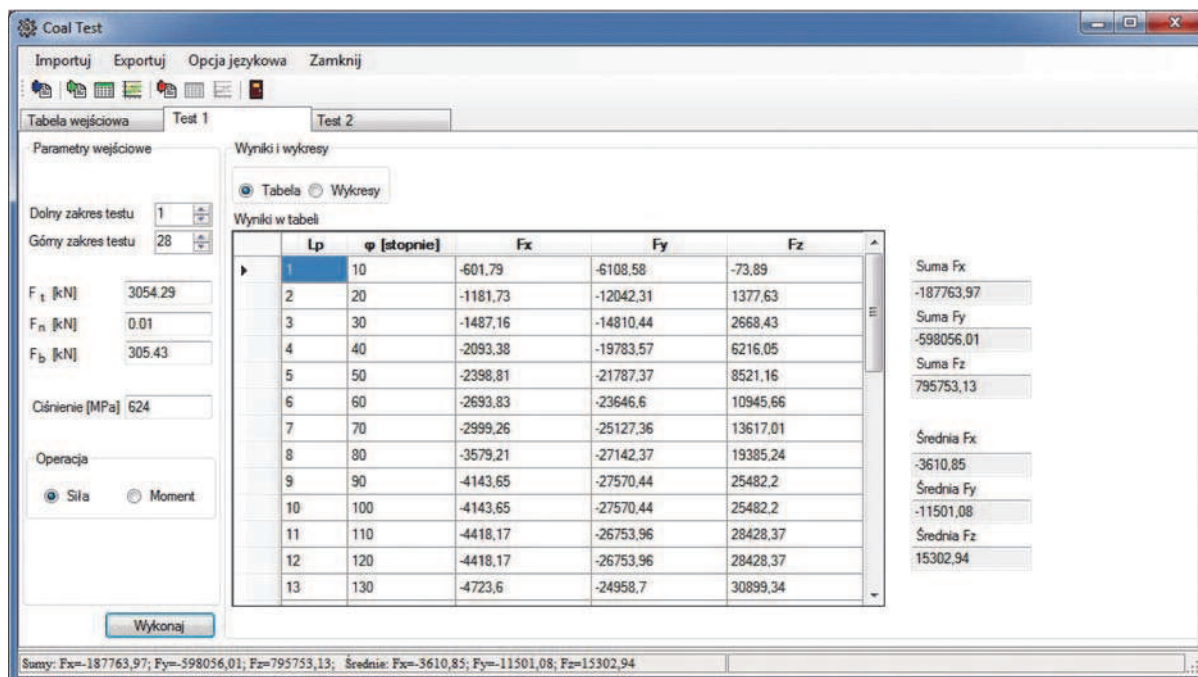
W celu wykonania algorytmu obliczeń oprócz wypełnienia tabeli na zakładce Tabela wejściowa, trzeba określić dolny i górny zakres obliczeń, tzn. należy określić dolny i górny zakres numeru noża, który ma zostać uwzględniony w algorytmie obliczeń (górna wartość nie może być większa od liczby noży w tabeli).

Po wykonaniu algorytmu, wyniki uzyskane dla każdego noża organu urabiającego zostają zaprezentowane w tabeli wynikowej (rys. 9), jak również na wykresach (rys. 10).

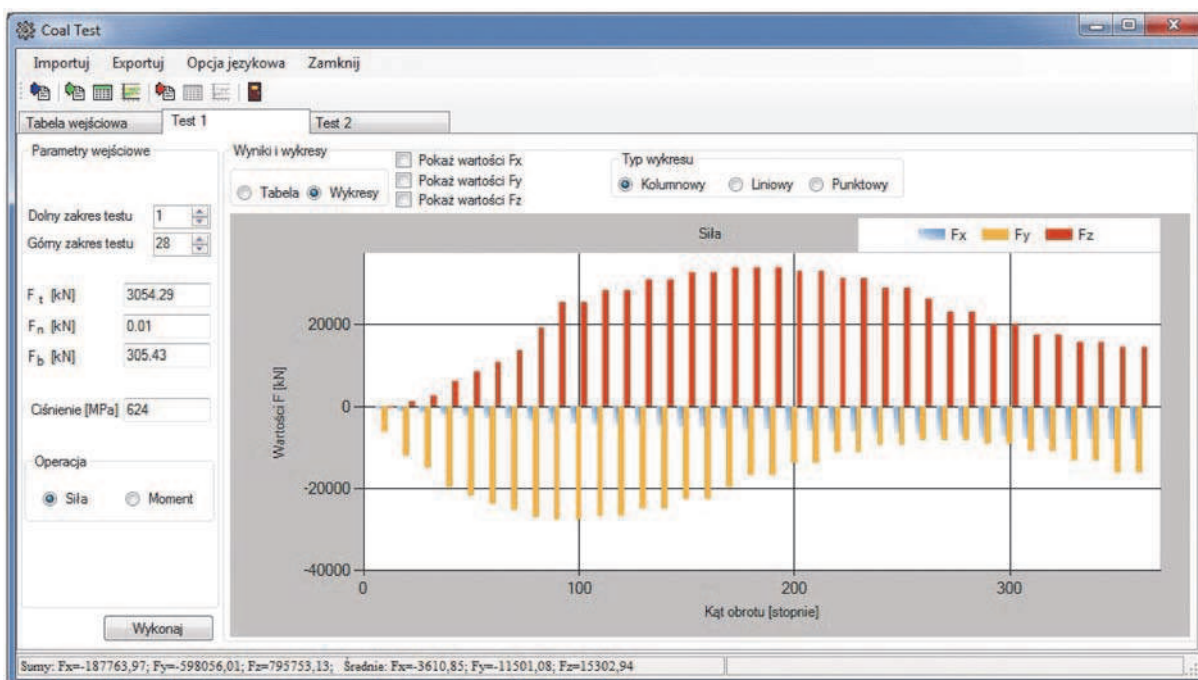
Użytkownik ma możliwość obejrzenia wyników algorytmu na następujących wykresach:

- kolumnowy,
- liniowy,
- punktowy.

Dodatkowo algorytm wylicza sumy, jak i wartości średnie, zarówno dla sił, jak i momentów sił. Wartości sum, jak i wartości średnie zaprezentowane są w polach edycyjnych.



Rys. 9. Wartości sił na organie urabiającym
Fig. 9. Values of forces on the cutting units



Rys. 10. Wykresy wartości sił (momentów sił)
Fig. 10. Diagrams of force values (moments of forces)

6. Podsumowanie


W specyficznych warunkach panujących pod powierzchnią ziemi w rejonie urabiania, obok monitorowania stanu technicznego środków technicznych ważne jest jak najlepsze rozpoznanie warunków eksploatacji złoża, co przyczynia się do optymalnego doboru maszyn uczestniczących w procesie wydobywczym. Odpowiedni dobór maszyn i urządzeń powoduje wydłużenie ich czasu bezawaryjnej pracy, zwiększenie dostępności, a co za tym idzie, wzrost efektywności procesu wydobywczego wyrażonego poprzez koncentrację wydobywania. Stąd pomiar urabialności węgla może być jednym z istotnych

czynników dla oceny możliwości efektywnej eksploatacji, który pozwoli na optymalny dobór parametrów eksploatacyjnych maszyn urabiających.

Przyrząd określający urabialność węgla lub skał otaczających złoża węglowe POU-BW/01-WAP, umożliwia wykonanie skrawów w płaszczyźnie pionowej (prostopadłej do stropu i spągu), o dwu zwrotach urabiania – odwzorowuje rzeczywisty charakter pracy ścianowych kombajnów bębnowych. W przyrządzie jako nóż pomiarowy zastosowano nóż, który instalowany jest w kombajnach bębnowych (styczny-obrotowy), co powoduje, że przy opracowaniu wyników badań nie trzeba uwzględniać wpływu geometrii noża na wyniki pomiarów.

Sposób pomiaru i rejestracji sił występujących w procesie skrawania, który został zastosowany i wykorzystany w przyrządzie POU-BW/01-WAP, charakteryzują się prostotą oraz dokładnością pomiaru. Ponieważ przyrząd został wyposażony w dwa niezależne układy rejestrujące, w związku z tym istnieje możliwość weryfikacji uzyskanych wyników pomiarów – siły skrawania F_s oraz siły docisku noża F_d .

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

Przyrząd POU-BW/01-WAP posiada certyfikat ATEX  **I M2 Ex ib I Mb**, umożliwiającą pracę w warunkach dołowych kopalń, jako urządzenie przeznaczone do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem – zgodnie z dyrektywą 94/9/EC.

Przyrząd ten ze względu na małą ilość elementów (trzy), jest łatwy w montażu, prosty w obsłudze oraz tani w eksploatacji.

Literatura

1. *Biały W., Halama A., Loska P., Molenda T., Szymala P.*: Wyznaczanie wartości sił w procesie skrawania węgla za pomocą przyrządu POU-BW/01-WAP. EMTECH 2013. Konferencja „Zasilanie, informatyka techniczna i automatyka w przemyśle wydobywczym. Innowacyjność i Bezpieczeństwo”. Zakopane 20-22.05.2013 r. + CD 147-161.
2. *Biały W.*: Innowacyjne narzędzia do wyznaczania właściwości mechanicznych węgla. „Przegląd Górniczy” 2013, nr 6.
3. *Biały W.*: The selection of optimal method determining mechanical properties of coal layers. Management Systems in Production Engineering 2/2011. ISSN 2299-0461. s. 26-30.
4. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa Przyrządu POU-BW/01-WAP. Welding Alloys Polska sp. z o.o., Gliwice 2012.
5. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa – Urządzenie do Pomiaru Siły Skrawania Węgla. ITI EMAG, Katowice 2012.