

Krzysztof MAZUREK
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice
Stanisław SZWEDA
Politechnika Śląska, Gliwice

METODY KONTROLI I STEROWANIA PARAMETRAMI TECHNICZNYMI STOJAKÓW HYDRAULICZNYCH WYPOSAŻONYCH W AKUMULATORY GAZOWE

Streszczenie. W pracy przedstawiono metody kontroli parametrów technicznych i metodę sterowania właściwościami sprężystymi stojaka hydraulicznego, przeznaczonego do użytkowania w wyrobiskach zagrożonych tapaniami, polegającą na zmianie wartości parametrów technicznych akumulatora gazowego, wbudowanego w stojak. Miarą uzyskanej zmiany parametrów stojaka jest maksymalna wartość ciśnienia w przestrzeni podłokowej i czas narastania ciśnienia spowodowany działaniem zadanego obciążenia zewnętrznego. Przedstawiono propozycję układu pomiarowego, służącego do sterowania parametrami stojaka oraz do kontroli stanu technicznego akumulatora gazowego.

METHODS FOR CONTROL OF TECHNICAL PARAMETERS OF HYDRAULIC LEGS EQUIPPED WITH GAS ACCUMULATORS

Summary. Methods for control elasticity properties of hydraulic legs which are designed to operate in the workings with bumping hazard, consisting in changing technical parameters of gas accumulator installed in a leg, were presented in the project. The maximal value of pressure in an annular compartment as well as the time of pressure increase resulting from the action of given external load, are the measure of changing the leg's technical parameters. Proposal of the measurement system to control leg's parameters as well as to control technical conditions of gas accumulator was presented.

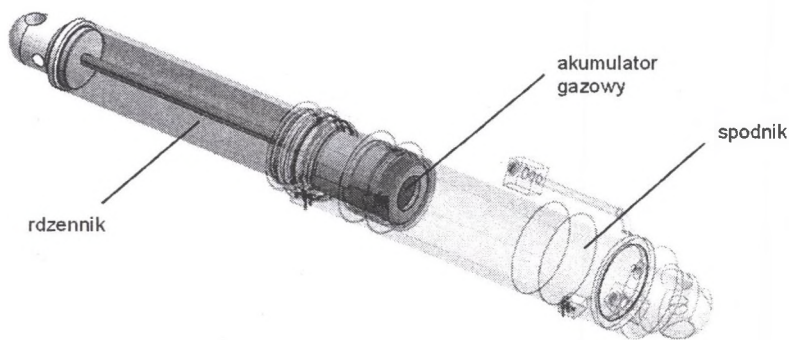
1. Wprowadzenie

Zadanie zabezpieczenia stojaka hydraulicznego przed uszkodzeniem spowodowanym obciążeniem dynamicznym jest realizowane najczęściej poprzez odpowiedni dobór

parametrów technicznych stojaka oraz umożliwienie, najlepiej w trakcie działania obciążenia dynamicznego, kontrolowanej zmiany właściwości sprężystych stojaka. Jedną z dostępnych metod zmiany właściwości sprężystych stojaka polega na wbudowaniu w stojak akumulatora gazowego.

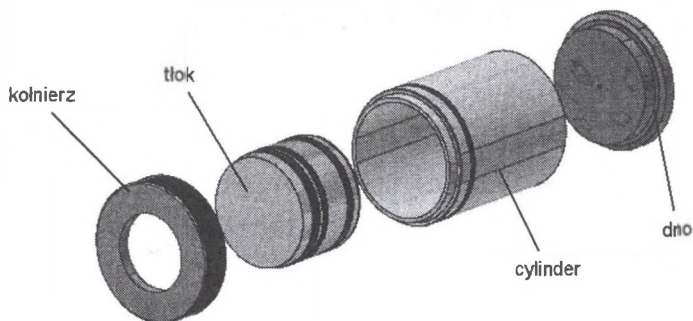
Jeżeli wskutek obciążenia dynamicznego, ciśnienie medium w przestrzeni podtłokowej stojaka osiągnie wartość większą od ustalonej wartości progowej, to nastąpi dodatkowe sprężenie gazu w komorze akumulatora, skutkujące zmniejszeniem tempa przyrostu ciśnienia medium, wydłużeniem czasu narastania ciśnienia i zmniejszeniem maksymalnej wartości ciśnienia w przestrzeni podtłokowej stojaka. Znane i opatentowane rozwiązania konstrukcyjne akumulatorów gazowych [1, 2] nie znalazły jednak szerszego zastosowania w praktyce, głównie ze względu na brak możliwości bieżącej kontroli stanu technicznego akumulatora gazowego oraz konieczność demontażu stojaka hydraulicznego, celem uzupełnienia zawartości gazu w komorze akumulatora.

Trwające obecnie w CMG KOMAG prace nad prototypem akumulatora gazowego stwarzają możliwość wyeliminowania wielu niedogodności, charakteryzujących dotychczasowe prototypy akumulatorów gazowych. Schemat stojaka hydraulicznego, wyposażonego w akumulator gazowy, przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Schemat stojaka hydraulicznego wyposażonego w akumulator gazowy [2]
Fig. 1. Diagram of the hydraulic leg equipped with gas accumulator [2]

Akumulator gazowy (rys. 2) składa się z kołnierza, tłoka oraz cylindra, w którego dnie zamontowano czujnik ciśnienia gazu. Zadaniem kołnierza wkręconego w rdzennik jest zabezpieczenie tłoka oraz cylindra przed wysunięciem do przestrzeni podtłokowej stojaka. Tłok akumulatora gazowego zaopatrzony jest w dwa pierścienie prowadzące oraz pierścieni uszczelniający [15].



Rys. 2. Model akumulatora gazowego [2]
Fig. 2. Model of gas accumulator [2]

W porównaniu z rozwiązaniami przedstawionymi przez innych autorów, akumulator gazowy opracowany w CMG KOMAG wyróżnia się następującymi zaletami:

- zabudowanie akumulatora nie skutkuje zmniejszeniem zakresu stosowania stojaka hydraulicznego,
- mniejsza wartość ciśnienia gazu, w porównaniu z dotychczasowymi rozwiązaniami, uzyskana dzięki równym powierzchniom styku cieczy i gazu z tłokiem akumulatora,
- możliwość uzupełniania gazu bez konieczności demontażu stojaka,
- awaria akumulatora nie wpływa na właściwości funkcjonalne stojaka determinujące przenoszenie obciążenia statycznego.

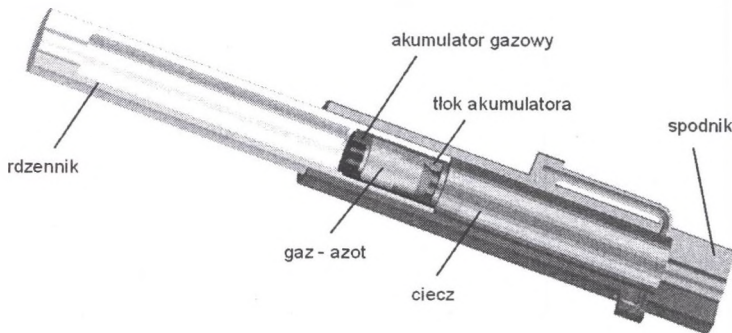
Etap projektowania prototypu nowego akumulatora gazowego poprzedzono analizą modeli numerycznych stojaka z akumulatorem gazowym. Wyniki symulacji komputerowej działania obciążenia dynamicznego na stojak, przedstawione w rozdziale 2 niniejszej publikacji, umożliwiły określenie wpływu ciśnienia gazu w komorze akumulatora gazowego na maksymalną wartość ciśnienia medium w przestrzeni podtłokowej stojaka oraz na czas narastania tego ciśnienia. Wyniki testów numerycznych posłużyły również do doboru parametrów technicznych akumulatora gazowego.

Jednym z podstawowych warunków determinujących zastosowania akumulatora gazowego w wyrobisku ścianowym jest opracowanie systemu monitorowania jego parametrów technicznych oraz procedur diagnozowania stanu technicznego stojaków z akumulatorami gazowymi i uzupełniania zawartości gazu w komorze akumulatora. W rozdziale 3 niniejszej publikacji przedstawiono propozycje rozwiązania wyżej postawionych problemów.

2. Wpływ parametrów technicznych akumulatora gazowego na właściwości sprężyste stojaka

Właściwy dobór parametrów akumulatora gazowego, takich jak: objętość komory gazowej oraz początkowe ciśnienie gazu, umożliwia uzyskanie – już w trakcie działania na stojak obciążenia dynamicznego – zmiany właściwości sprężystych stojaka hydraulicznego, korzystnie wpływającej na odpowiedź układu mechanicznego, rozumianą jako przebieg czasowy ciśnienia medium roboczego w przestrzeni podtłokowej stojaka.

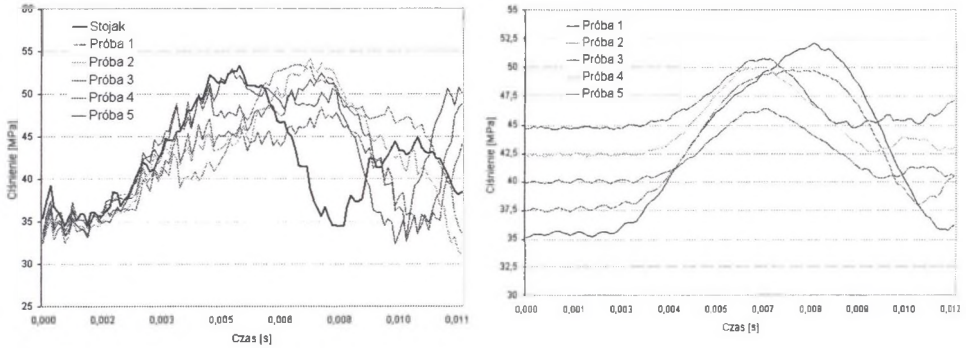
Wstępne prace nad określeniem podstawowych parametrów akumulatora gazowego przeprowadzono na przykładzie stojaka hydraulicznego $\varnothing 200$, stosowanego np. w sekcjach obudowy typu FAZOS-12/28-Oz. Do celów badań numerycznych przyjęto objętość komory akumulatora gazowego (ok. 2,5l) oraz wartość ciśnienia medium roboczego stojaka (35 MPa), wynikającego z nastawy bloku zaworowego. Model badanego stojaka hydraulicznego, wyposażonego w akumulator gazowy, przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat analizowanego stojaka hydraulicznego wyposażonego w akumulator gazowy [2]
Fig. 3. Diagram of analyzed hydraulic leg equipped with gas accumulator [2]

Na tym etapie badań przeprowadzono szereg testów numerycznych obciążenia dynamicznego stojaka z akumulatorem gazowym, przy założonych różnych wartościach ciśnienia gazu, zmieniających się w przedziale od 35 MPa do 45 MPa. W celu określenia skuteczności działania akumulatorów gazowych, przeprowadzono analogiczne obliczenia dla stojaka bez dodatkowego zabezpieczenia. Obliczenia wykonano przyjmując 5 wariantów danych dla stojaka z akumulatorem gazowym oraz 1 wariant danych dla stojaka bez dodatkowego zabezpieczenia. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 4 w postaci wykresów przebiegów czasowych ciśnienia cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka i ciśnienia gazu

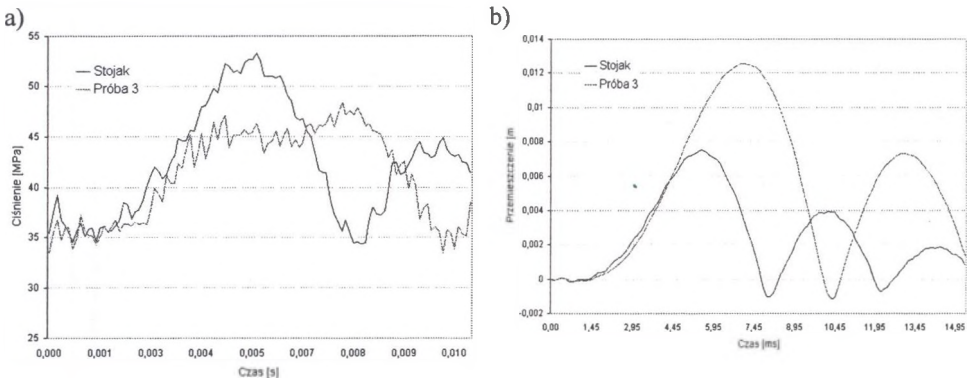
w komorze akumulatora. Obciążenie dynamiczne powoduje drgania gasnące rdzennika stojaka. Wykresy na rys. 4 a i b przedstawiają początkową fazę zmian ciśnienia cieczy i gazu.



Rys. 4. Zestawienie wyników obliczeń numerycznych: a) przebiegi czasowe ciśnienia cieczy, b) przebiegi czasowe ciśnienia gazu [3]

Fig. 4. Results of numerical calculations: a) time processes of liquid pressure, b) time processes of gas pressure [3]

Porównanie maksymalnych wartości ciśnienia cieczy, uzyskanych w obliczeniach numerycznych dla modeli stojaka bez akumulatora i stojaka z akumulatorem gazowym oraz z odpowiednio dobranym ciśnieniem nominalnym gazu (najkorzystniejsze wyniki dla 40MPa – próba 3) przedstawiono na rys. 5a, natomiast na rys. 5b przedstawiono porównanie wykresów zsuwu stojaka, spowodowanego dynamicznym obciążeniem, obu analizowanych stojaków (stojak z akumulatorem – próba 3 i bez zabezpieczenia - stojak).



Rys. 5. Zestawienie wyników obliczeń numerycznych: a) przebiegi czasowe ciśnienia cieczy, b) przebiegi czasowe przemieszczenia rdzennika w czasie w stojaku [3]

Fig. 5. Results of numerical calculations: a) time processes of liquid pressure b) time processes of upper prop displacements [3]

Korzystając z przeprowadzonych analiz numerycznych wykazano korzystne cechy stojaka z zabudowanym akumulatorem gazowym. Zastosowanie akumulatora gazowego skutkuje wydłużeniem czasu narastania obciążenia oraz mniejszym przyrostem ciśnienia

cieczy, znajdującej się w przestrzeni podtłokowej stojaka w porównaniu z przebiegiem czasowym ciśnienia w przestrzeni podtłokowej, spowodowanego działaniem tego samego obciążenia dynamicznego na stojak bez akumulatora gazowego.

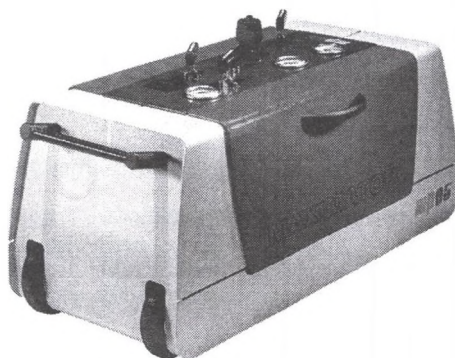
3. Kontrola ciśnienia gazu w akumulatorze gazowym

W trakcie użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej, wyposażonej w stojaki hydrauliczne z akumulatorami gazowymi, istnieje potrzeba prowadzenie okresowych badań kontrolnych poziomu ciśnienia gazu zawartego w akumulatorach. W przypadku stwierdzenia nadmiernych ubytków, należy zapewnić możliwość ich uzupełnienia, bezpośrednio w wyrobisku.

Uzupełnienie poziomu ciśnienia gazu w akumulatorze może być dokonywane w warunkach panujących w wyrobisku ścianowym, przy użyciu np. jednostki wzmacniającej ciśnienie MP05 firmy MAXIMATOR. Urządzenie to, w przeciwieństwie do wzmacniaczy hydraulicznych lub elektrycznych, umożliwia budowę przenośnego, kompaktowego i łatwego w obsłudze systemu napełniania akumulatorów azotem. Dodatkowo nowa generacja tej jednostki charakteryzuje się wysoką wydajnością i wygodą w użyciu zarówno w hali fabrycznej, jak i przy pracach serwisowych. Mobilność urządzenia zapewniają kółka oraz dwa wygodne uchwyty. Wymiary jednostki MP05 są niewielkie i wynoszą: szerokość=850 mm, głębokość=400 mm i wysokość=400 mm. Jednostka MP05 nie wymaga zasilania energią elektryczną. Celem napełnienia akumulatora z azotem o ciśnieniu do 400 bar wystarczy zasilić wzmacniacz ciśnienia MP05 sprężonym powietrzem o ciśnieniu zaledwie 5 bar. Wzmacniacz ciśnienia oraz jego dane techniczne przedstawiono na rys. 6.

Dane techniczne:

Maksymalne dopuszczalne ciśnienie pracy pB (bar)	400
Ciśnienie sprężonego powietrza pL (bar)	1 - 10
Stopień sprężania (DLE75)	1:75
Ciśnienie azotu pA min. (bar)	10
Ciśnienie azotu pA max. (bar)	200/300
Zużycie powietrza (Nm ³ /min)	0,4-1,9
Przyłącze N2 wejście	W24,32 X1/14 (Ermeto)
Przyłącze N2 wyjście	8S (M14X1,5) (Ermeto)
Przyłącze powietrza	1/2 BSP
Wymiary W X D X H (mm)	850 X 410 X 400
Waga netto (Kg)	62
Kolor	MAXIMATOR Design

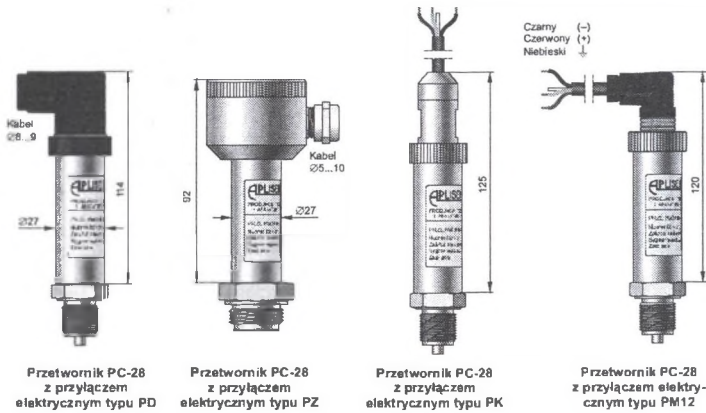


Rys. 6. Wzmacniacz ciśnienia MP05 firmy MAXIMATOR [11]

Fig. 6. MP05 gas pressure booster made by MAXIMATOR [11]

Jednostka MP05 jest wręcz idealnym rozwiązaniem umożliwiającym zarówno napełnienie akumulatora gazem, jak i kontrolę jego ciśnienia poprzez odpowiednie przyłącze testowe, będące na wyposażeniu urządzenia. Ze względu na gabaryty i wagę całego systemu napełniania akumulatorów azotem, wykonanie omawianych napraw serwisowych będzie możliwe wyłącznie w czasie postoju ściany np. na zmianie remontowej. Transport urządzenia, wraz z butlami gazowymi, wzdłuż ściany, mógłby się wówczas odbywać za pomocą przenośnika ścianowego.

W przypadku badań okresowych stanu technicznego hydrauliki siłowej, prowadzonych w wyrobisku istnieje możliwość kontroli stanu ciśnienia gazu, zawartego w akumulatorze gazowym, poprzez osobny system kontroli, niewymagający transportowania wzmacniaczy ciśnienia do wyrobiska. System ten oparty będzie na pomiarze ciśnienia gazu, dokonywanym za pomocą przetworników ciśnienia, przedstawionych przykładowo na rys. 7, i rejestracji wyników pomiarów za pomocą odpowiedniego urządzenia, np. komunikatora. Ze względu na niewielką masę, przetworniki ciśnienia będą montowane bezpośrednio na badanym obiekcie, a mianowicie w dnie akumulatora gazowego, natomiast gniazdo przyłącza elektrycznego kablowego umieszczone będzie w głowicy stojaka hydraulicznego.

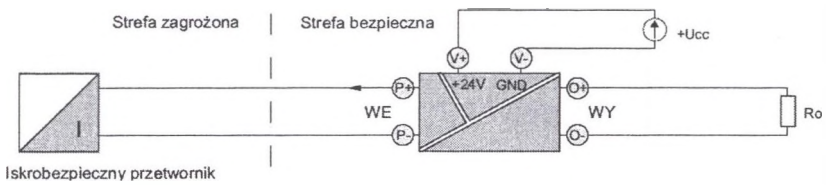


Rys. 7. Przetworniki ciśnienia firmy APLISENS serii PC-28 wraz ze schematem połączenia elektrycznego [10]
Fig. 7. Pressure converter of APLISENS company of PC-28 series, together with a diagram of an electric system

Obecnie, oprócz przetworników przedstawionych na rys. 7, na rynku dostępne są również przetworniki ciśnienia miniaturowe i subminiaturowe, charakteryzujące się podobnymi parametrami pomiarowymi oraz znacznie mniejszymi wymiarami geometrycznymi, lecz ich stosowanie w tym konkretnym przypadku jest ekonomicznie nieuzasadnione.

Instalacja przetworników w strefie zagrożonej wymaga również zapewnienia iskrobezpiecznego obwodu zasilająco-pomiarowego, którego schemat przedstawiono na

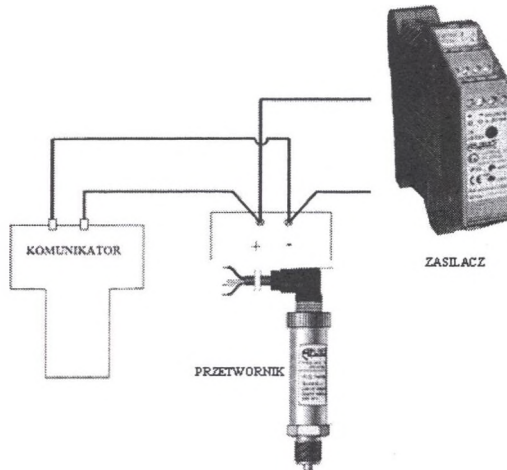
rys. 8. W tym celu można wykorzystać iskrobezpieczny zasilacz firmy APLISENS serii ZS-30EEx lub ZS-31EEx.



Rys. 8. Schemat połączeń elektrycznych [10]

Fig. 8. Diagram of electric connections [10]

Rejestracja wyników pomiarów ciśnienia gazu będzie dokonywana za pomocą ręcznego urządzenia, tzw. komunikatora, zapewniającego komunikację z przetwornikiem ciśnienia. W przypadku zastosowania inteligentnych przetworników ciśnienia komunikator ma możliwość, oprócz odczytu aktualnie mierzonej wartości ciśnienia, przeprowadzenie identyfikacji czujnika oraz konfiguracji i kalibracji jego parametrów. Schemat układu pomiarowego składającego się z przetwornika ciśnienia, zasilacza oraz urządzenia rejestrującego np. komunikatora przedstawiono na rys.9.



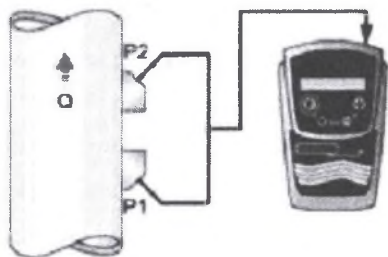
Rys. 9. Schemat układu pomiarowego

Fig. 9. Diagram of measurement system

Dostępne na rynku urządzenia rejestrujące ciśnienie gazu są przeznaczone do stosowania w instalacjach o ciśnieniu nominalnym do 10 MPa. Ponieważ ciśnienia gazu w komorze akumulatora może mieć wartość do 40 MPa, to istnieje potrzeba opracowania nowego urządzenia rejestrującego, odpornego na warunki panujące w wyrobiskach eksploatacyjnych podziemnych zakładów górniczych.

Zmniejszenie ciśnienia gazu w komorze akumulatora gazowego może być spowodowane ulatnianiem się gazu do wyrobiska bądź też jego migracją do przestrzeni podtłokowej stojaka. To drugie zjawisko powoduje zmianę właściwości sprężystych stojaka – ściślej zmniejszenie wartości modułu sprężystości objętościowej cieczy – wpływającą niekorzystnie na współpracę sekcji obudowy zmechanizowanej z górotworem, przy obciążeniu statycznym. W związku z powyższym celowe jest opracowanie metody kontrolnych pomiarów modułu sprężystości objętościowej cieczy. Oszacowanie wartości modułu sprężystości objętościowej medium jest możliwe na podstawie pomiaru objętości medium dopływającego do przestrzeni podtłokowej stojaka podczas jego rozpierania, wysunięcia rdzennika oraz osiągniętego przyrostu ciśnienia.

Pomiaru objętości medium, doprowadzanego do stojaka w trakcie jego rozpierania, można dokonać np.: za pomocą ultradźwiękowych przepływomierzy bezinwazyjnych typu Fluxus ADM8027 lub MINISONIC P, dzięki którym wykonanie pomiaru nie wymaga ingerencji w przewody zasilające stojak (rys. 10). Do wyznaczania objętościowego natężenia przepływu cieczy za pomocą tych przepływomierzy wykorzystano metodę Transit Time – schematycznie przedstawioną na rys. 11. Metoda Transit Time bazuje na pomiarze czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez poruszającą się ciecz.



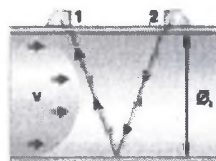
Rys. 10. Przenośny przepływomierz ultradźwiękowy typu MINISONIC P [9]

Fig. 10. Portable ultrasonic flow meter of MINISONIC P type [9]

$$Q = f(\Phi, t_{12}, t_{21})$$

Uwagi:

- Medium musi umożliwiać przejście fali ultradźwiękowej.
- 1 – 2 = sondy pomiarowe nieinwazyjne.
- Φ = średnica wewnętrzna rurociągu.



Rys. 11. Metoda Transit Time [9]

Fig. 11. Transit time method [9]

Przepływomierze firmy Fluxus są standardowo przystosowane do pomiaru przepływu cieczy w strefach zagrożonych wybuchem. Elektronika oraz zaciski przyrządu są umieszczone w trwałych ognioszczelnych obudowach, których otwieranie nie jest konieczne do uruchomienia czy kalibracji przepływomierza.

4. Podsumowanie

Wyniki obliczeń numerycznych modeli stojaka hydraulicznego z wbudowanym akumulatorem gazowym, przedstawione w niniejszej pracy, upoważniają do stwierdzenia, iż odpowiedni dobór początkowego ciśnienia gazu, umożliwi uzyskanie – już w trakcie działania na stojak obciążenia dynamicznego – zmiany właściwości sprężystych stojaka hydraulicznego, korzystnie wpływających na odpowiedź układu mechanicznego, rozumianą jako przebieg czasowy ciśnienia cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka.

W porównaniu do przebiegów czasowych ciśnienia cieczy w przestrzeni podtłokowej stojaka, w wykonaniu standardowym, zastosowanie akumulatora gazowego powoduje wydłużenie czasu narastania ciśnienia i zmniejszenie wartości przyrostu ciśnienia, spowodowanego działaniem na stojak tego samego obciążenia dynamicznego. Tak więc, zmieniając wartość początkowego ciśnienia gazu w komorze akumulatora można sterować właściwościami sprężystymi stojaka. W związku z powyższym, duże znaczenie ma bieżąca kontrola ciśnienia gazu i zapewnienie możliwości uzupełnienia jego zawartości w komorze akumulatora.

W niniejszej pracy przedstawiono propozycję układu pomiarowego, umożliwiającego przeprowadzenie określonych badań kontrolnych poziomu ciśnienia gazu w komorze akumulatora oraz system napełniania akumulatorów gazowych, opracowany przez firmę Maximator. Omówione systemy są produkowane w wersji umożliwiającej ich zastosowanie w wyrobiskach eksploatacyjnych podziemnych zakładów górniczych.

Metoda oszacowania wartości modułu sprężystości objętościowej cieczy, przedstawiona w niniejszej pracy, umożliwia kontrolę, czy następuje migracja gazu z akumulatora do przestrzeni podtłokowej stojaka i w jakim zakresie powoduje ona zmianę właściwości sprężystych stojaka.

LITERATURA

1. Gwiazda J.B.: Górnicza obudowa hydrauliczna odporna na tąpnięcia. Śląsk. Katowice 1997.
2. Mazurek K.: Modelowanie urządzeń zabezpieczających stojak hydrauliczny przed nadmiernym obciążeniem dynamicznym. Konferencja Użytkowników Oprogramowania MSC. Software. Mszczonów 2006.

3. Szyguła M., Mazurek K. i inni: Badania symulacyjne przyjętej postaci konstrukcyjnej (SP-9518) urządzenia absorbującego energię. Dokumentacja CMG KOMAG o symbolu ES/BDO-8899/OR8. Gliwice 2005 (niepublikowana).
4. Szyguła M., Mazurek K. i inni: Dobór postaci konstrukcyjnej urządzenia absorbującego energię (określenie budowy i miejsca montażu) Dokumentacja CMG KOMAG o symbolu SP/BDO-9518/OR1. Gliwice 2005 (niepublikowana).
5. Patent 204231 Stojak z tłokowym amortyzatorem gazowym.
6. Patent 286210 Górnicza obudowa zmechanizowana do pokładów tąpających.
7. Patent 289490 Hydrauliczno-pneumatyczny stojak obudowy górniczej.
8. Patent 293524 Siłownik hydrauliczny z amortyzatorem pneumatycznym.
9. Karta katalogowa: Przenośny przepływomierz ultradźwiękowy MINISONIC P.
10. Karta katalogowa: Przetworniki ciśnienia firmy APLISENS serii PC-28.
11. Karta katalogowa: Wzmacniacz ciśnienia MP05 firmy MAXIMATOR.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Antoni Kalukiewicz