

Zbigniew Stobiecki, Marek Marciniak***

ZASTOSOWANIE METODY PARAMEX DO OCENY STANU TECHNICZNEGO PIEZOMETRÓW W KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO „BEŁCHATÓW”

1. Wprowadzenie

Odwadnianie górotworu to podstawowy problem w realizacji odkrywkowej eksploatacji węgla brunatnego. Skuteczne odwadnianie zabezpiecza prawidłowy postęp eksploatacji, zapewniając równocześnie bezpieczną pracę ludzi i sprzętu. W kopalni „Bełchatów” przyjęto studzienną metodę odwadniania, której podstawowy element stanowią studnie wielkośrednicowe. W celu bieżącej kontroli efektów odwadniania kopalni na środowisko naturalne regionu, a także dodatkowego rozpoznania i uściślenia niewyjaśnionych zagadnień hydrogeologicznych zaprojektowano system otworów obserwacyjnych: zewnętrznych i wewnętrznych.

Zanim wdrożono metodę Paramex do kopalnianej praktyki hydrogeologicznej ocenę stanu technicznego piezometrów dokonywano poprzez pomiar zasypu w otworze i porównaniem go z dokumentacją techniczną obiektu oraz poprzez jego zalewanie, a następnie obserwację tempa opadania wody w otworze.

2. Monitoring położenia zwierciadła wody w kopalni „Bełchatów”

Kontrola efektów i skutków odwadniania odbywa się za pomocą otworów obserwacyjnych sieci wewnętrznej (w obrębie obszaru odwadniania) oraz sieci zewnętrznej (w obszarze leja depresji i na prognozowanych kierunkach rozwoju leja), a także za pomocą otworów kontrolnych wykonywanych w wyrobisku dla rozpoznania wód resztkowych w nadkładzie i w utworach podwęglowych. Wyprzedzenie czasowe depresji w stosunku do odpowiednich poziomów górniczych wynosi, co najmniej 12 miesięcy. Wyprzedzenie wyrobiska odkrywkowego przez obszar odwadniania na przedpolu wynosi 3 lata.

* Oddział KWB Bełchatów, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA, Rogowice

** Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań

Wraz z rozwojem eksploatacji następuje ciągła rozbudowa systemu obserwacyjnego kopalni. W największej polskiej kopalni węgla brunatnego KWB „Bełchatów” zewnętrzna sieć obserwacyjna składa się z 700 piezometrów, rozmieszczonych równomiernie wzdłuż linii obserwacyjnych, rozchodzących się promieniście z centrum projektowanego wyrobiska górniczego. Sieć ta uzupełniana jest na bieżąco o dodatkowe otwory zlokalizowane pomiędzy głównymi liniami obserwacyjnymi. Sieć wewnętrzna liczy 1015 piezometrów. Pomiaru położenia zwierciadła wody w zewnętrznej i wewnętrznej sieci obserwacyjnej wykonywane są przez służby kopalni.

Wobec lawinowego przyrostu ilości obserwacji hydrogeologicznych z poszczególnych monitoringów pojawił się problem wiarygodności danych. W związku z powyższym ważnym elementem oceny przydatności otworu hydrogeologicznego do monitoringu wód podziemnych powinna być ocena stanu technicznego tego otworu. Na ocenę stanu technicznego otworów hydrogeologicznych największy wpływ mają dwa elementy: jakość wykonania prac wiertniczych oraz stopień zaawansowania procesów starzeniowych.

3. Parametry techniczne piezometrów kopalni „Bełchatów”

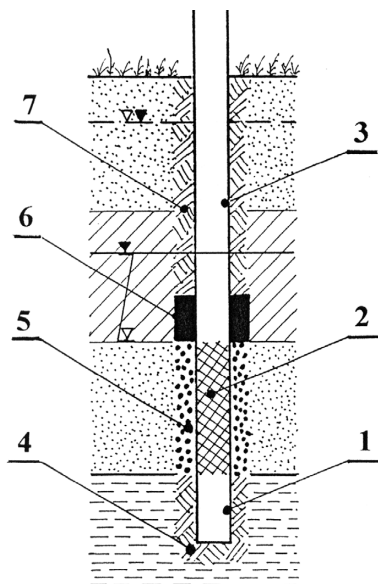
W otworach obserwacyjnych kopalni „Bełchatów” filtry zabudowywane są w warstwach wodonośnych podłoża mezozoicznego i kenozoiku. Kolumny piezometrów zbudowane są z rur stalowych $\varnothing 108$ lub $\varnothing 114$ mm (lub z PCV o $\varnothing 125$ mm) mających:

- część podfiltrową (osadnik) o długości od 6 do 10 m;
- część filtrową o długości 5 m;
- początek perforacji około 800 mm poniżej mufy;
- część czynna perforowana otworami o średnicy od 10 do 14 mm;
- stopień perforacji 5–10%;
- część czynna owinięta siatką podkładową $7 \times 1 \times 0,4$ mm „muchówką” lub w przypadku utworów drobnoziarnistych i pylastych siatką „rypsówką”;
- siatki zabezpieczone drutem o skoku około 40 mm;
- część nadfiltrową o długości uwarunkowanej głębokością otworu, wyprowadzoną nad powierzchnią terenu i wyposażoną w kaptur zabezpieczający.

Po zapuszczeniu kolumny piezometrycznej każdorazowo zatłacza się w strefę filtrową dekolmat — środek do uaktywniania piezometru. Po zabudowie kolumn piezometrów otwory uaktywniane są poprzez przepłukanie kolumny piezometru wodą technologiczną do momentu uzyskania czystej wody (za pomocą przewodu wiertniczego opuszczonego do rury podfiltrowej). Pompowanie oczyszczające wykonuje się airliftem opuszczanym do kolumny piezometru na głębokość umożliwiającą wypływ wody, aż do uzyskania ciągłego wypływu czystej wody.

4. Przyczyny złego stanu technicznego piezometrów

Dla przeprowadzenia analizy stanu technicznego piezometrów przyjęto schemat konstrukcyjny pokazany na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat konstrukcyjny piezometru.

Objaśnienia: 1 — rura podfiltrowa (osadnik); 2 — filtr;
3 — rura nadfiltrowa; 4 — podsypka; 5 — obsypka;
6 — korek izolujący; 7 — zasyp

Szukając przyczyn złego stanu technicznego piezometrów trzeba wskazać trzy ich źródła:

- 1) błędy podczas wiercenia piezometrów,
- 2) naturalne procesy starzeniowe,
- 3) uszkodzenia i dewastacje.

Otworki hydrogeologiczne podlegają naturalnym procesom starzeniowym. Zjawisko uszczelniania się filtrów studni i piezometrów nazywane jest kolmatacją.

Wyróżnia się kolmatację:

- mechaniczną,
- chemiczną,
- biologiczną.

Należy przyjąć, że w warunkach KWB „Bełchatów”, po 5–7 latach piezometry tracą połowę swojej sprawności hydrodynamicznej.

5. Metoda Paramex w kopalni „Bełchatów”

Pierwszą serię pomiarów metodą Paramex na terenie kopalni „Bełchatów” wykonano w styczniu roku 1991 [9]. W latach 1996–1997 przeprowadzono dwuetapowe badania terenowe [4]. W roku 1999 autor metody Paramex uzyskał grant KBN pt.: „Metoda oceny stanu technicznego piezometrów na potrzeby monitoringu wód podziemnych”. W październiku 2002 — Poltegor Projekt Sp. z o.o. z Wrocławia oraz autor metody Paramex przekazali sprawozdania z II i III etapu prac oraz związanych z przystosowaniem metody Paramex do warunków KWB „Bełchatów”. W dniu 20 czerwca 2006 roku Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” zawarła umowę wdrożeniowo-licencyjną z Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza, która dotyczy zastosowania w kopalni metody Paramex. Dostosowywanie techniczne aparatury i oprogramowania Paramex do warunków kopalni „Bełchatów” wykonano w latach 2006–2008. Własne kryteria oceny sprawności piezometrów kopalnia ustaliła w roku 2009.

5.1. Podstawy teoretyczne oceny stanu technicznego piezometrów metodą Paramex

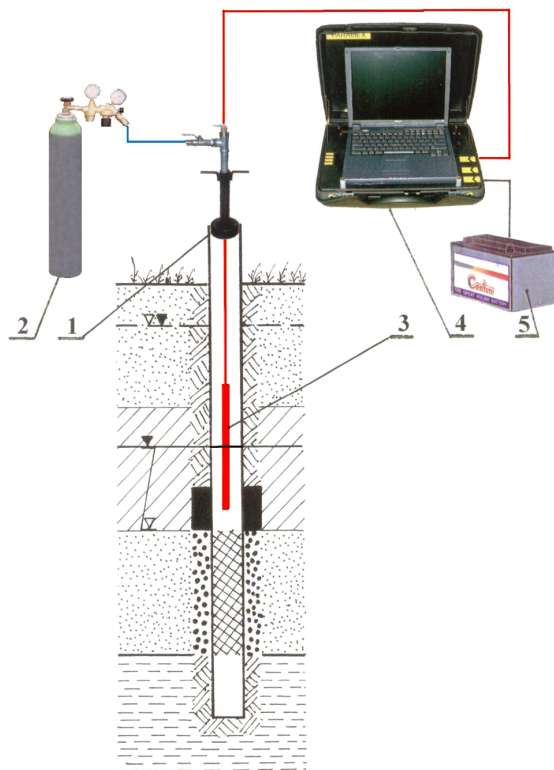
Metoda Paramex umożliwia oznaczenie *in situ* podstawowych parametrów hydrogeologicznych w strefie wokół badanego piezometru [1]. Określone zostają wartości współczynnika filtracji oraz przewodności warstwy wodonośnej [3]. Możliwa jest także ocena stanu technicznego piezometru [6]. Podczas badania piezometru metodą Paramex należy zainicjować ruch zwierciadła wody poprzez sprężenie lub zassanie powietrza w uszczelnionej rurze nadfiltrowej. Tempo ruchu zwierciadła wody zależy zarówno od parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej, jak i od stanu technicznego badanego piezometru. Celem pomiarów wykonywanych podczas badania metodą Paramex jest zarejestrowanie funkcji $s = s(t)$ ruchu zwierciadła wody w piezometrze. Metodę Paramex można zaliczyć do „ekspresowych” metod oznaczania współczynnika filtracji warstw wodonośnych z grupy slug-bail tests [2].

Eksperyment identyfikacyjny metodą Paramex przeprowadza się w następujący sposób: uszczelnia się za pomocą specjalnego urządzenia górną końcówkę rury nadfiltrowej. Jednocześnie w strefie przewidywanych wahań zwierciadła wody umieszcza się sondę poziomowskazową, której zadaniem jest zarejestrowanie ruchu zwierciadła wody. Do uszczelnionego piezometru zatłacza się za pomocą kompresora lub z butli sprężone powietrze, tak aby wywołać obniżenie zwierciadła wody o kilkadziesiąt centymetrów. Po zakończeniu sprężania powietrza należy ustabilizować położenie zwierciadła wody na obniżonym poziomie. Po tym następuje skokowa zmiana (wzrost) potencjału hydraulicznego w badanym piezometrze, którą można zrealizować poprzez nagłe rozprężenie powietrza [6]. Pozwala to na swobodny powrót (wznios) zwierciadła wody do położenia ustalonego. Wykonanie

badania piezometru i warstwy wodonośnej metodą Paramex wymaga zastosowania specjalistycznej aparatury (rys. 2) umożliwiającej rejestrację ruchu zwierciadła wody z odpowiednią dokładnością [5].

5.2. Aparatura stosowana w kopalni do badania metodą Paramex

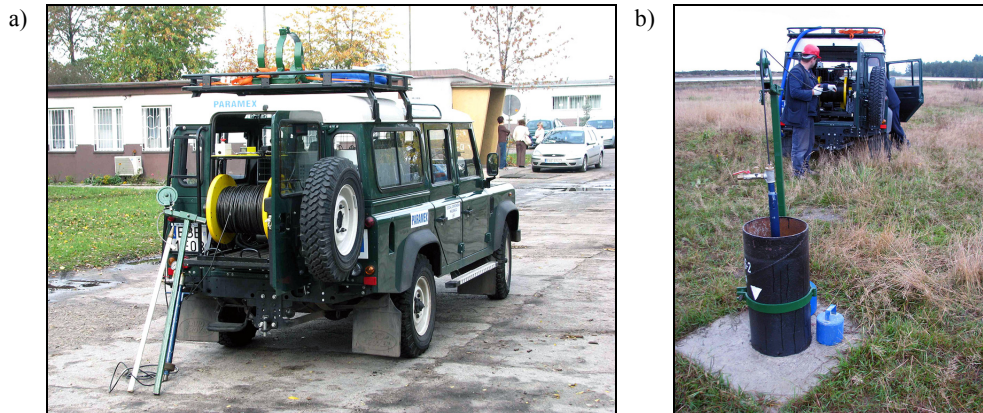
Celem pomiarów wykonywanych podczas badania piezometru metodą Paramex jest zainicjowanie i zarejestrowanie funkcji $s = s(t)$ ruchu zwierciadła wody w piezometrze podczas sprężania powietrza. Dla przeprowadzenia pomiarów niezbędna jest specjalistyczna aparatura pokazana na rysunku 2.



Rys. 2. Aparatury do badania piezometru metodą Paramex.

Objaśnienia: 1 — urządzenie do uszczelnienia piezometru;
2 — butla ze sprężonym powietrzem; 3 — sonda poziomowskazowa;
4 — walizka elektroniczna; 5 — akumulator

Cały zestaw aparatury został zamontowany na specjalnie przystosowanym samochodzie terenowym (rys. 3).



Rys. 3. Aparatura do badań piezometrów w kopalni Belchatów zainstalowana na samochodzie terenowym (a) oraz piezometr podczas badania metodą Paramex (b)

6. Kryteria oceny sprawności stanu technicznego otworów stosowane w kopalni „Belchatów”

Zgodnie z metodyką oceny stanu technicznego zaproponowaną przez Marciniaka [8] przyjęto dwa wskaźniki ilościowe oceny stanu technicznego piezometrów.

Wskaźnik stanu technicznego piezometru λ zdefiniowano jako:

$$\lambda = \frac{k_p}{k_{wz}}$$

gdzie:

k_p — oznacza współczynnik filtracji wyznaczony metodą Paramex, m/s,

k_{wz} — współczynnik filtracji z rozpoznania hydrogeologicznego (wzorcowy), m/s.

Tak zdefiniowany wskaźnik stanu technicznego piezometru λ przyjmuje wartości z przedziału $\lambda \in \langle 0,1 \rangle$. Im wartość λ bliższa jedności tym piezometr sprawniejszy. Obliczenie wskaźnika λ jest możliwe dopiero po zinterpretowaniu wyników badania piezometru metodą Paramex.

Procentowy wskaźnik sprawności piezometru $\eta\%$ zdefiniowano analogicznie do wskaźników sprawności stosowanych w technice:

$$\eta\% = \left(1 - \frac{|s_{wz}(t) - s(t)|}{s_{wz}(t)} \right) \bigg|_{t=t_k} 100\%$$

gdzie:

- $s(t)$ — depresja rzeczywista zmierzona doświadczalnie w chwili t , m,
 $s_{wz}(t)$ — depresja obliczona teoretycznie (wzorcowa), m,
 t_{kr} — czas krytyczny (kryterialny), s.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń ze stosowaniem metody Paramex zaproponowano wydzielenie trzech kategorii stanu technicznego piezometrów [6]:

Kategoria A — piezometry całkowicie sprawne, z dobrze wykonaną obsypką, szczelnym korkiem izolującym, dokładnie oczyszczone podczas pompowania oczyszczającego, z drożnym (nie skolmatowanym) filtrem posadowionym zgodnie z projektem, ze szczelną rurą nadfiltrową. W takich piezometrach można bez zastrzeżeń wykonywać obserwacje stanów wód podziemnych, pobierać próbki wody do analiz fizykochemicznych, a także wykonywać dodatkowe badania związane z określaniem parametrów filtracyjnych warstwy wodonośnej.

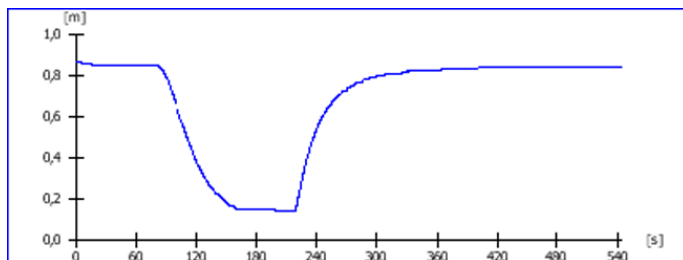
Kategoria B — piezometry częściowo sprawne, z niedokładnie oczyszczonym filtrem, częściową niedrożnością strefy około filtrowej (spowodowaną np.: częściową kolmatacją filtra), nieszczelnym korkiem izolującym, nieszczelną rurą nadfiltrową, itp. W takich piezometrach można wprawdzie prowadzić obserwacje stanów wód podziemnych, ale trzeba się liczyć z inercją wahań stanów wód w piezometrze w stosunku do wahań wody w warstwie wodonośnej. Pobranie próbki wody do analizy może wiązać się z koniecznością oczyszczenia strefy około filtrowej poprzez przepompowanie piezometru. Badania hydrogeologiczne związane z określeniem parametrów filtracyjnych warstwy wodonośnej będą w tych piezometrach obciążone błędami.

Kategoria C — piezometry niesprawne, z niedrożnym lub całkowicie skolmatowanym filtrem, uszkodzoną rurą nadfiltrową, zasypane, błędnie zafiltrowane itp. Takie piezometry nie nadają się do monitorowania wód podziemnych. Należy w nich przeprowadzić zabiegi uaktywniające.

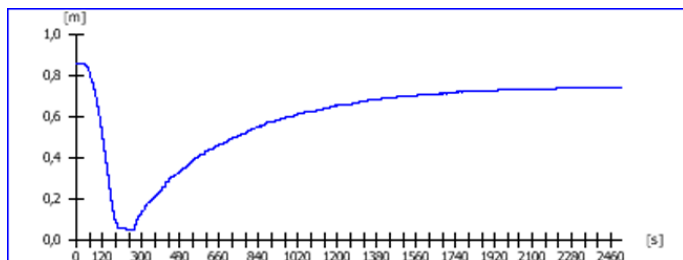
Dla obu wskaźników stanu technicznego przyjęto następujące wartości graniczne dla poszczególnych kategorii:

— Kategoria A	$\lambda \in \langle 1-0,6 \rangle$	$\eta\% \in \langle 100-60 \rangle\%$
— Kategoria B	$\lambda \in \langle 0,6-0,2 \rangle$	$\eta\% \in \langle 60-20 \rangle\%$
— Kategoria C	$\lambda \leq 0,2$	$\eta\% \leq 20\%$

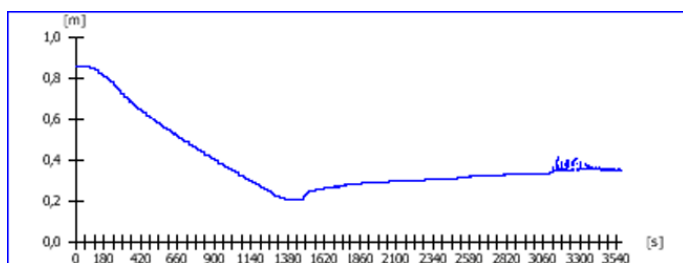
Przykładowe uzyskane rejestracje różnych stopni sprawności piezometrów w czasie badań w kopalni Bełchatów przedstawiono na rysunkach 4–6.



Rys. 4. Piezometr sprawny PS-195B I



Rys. 5. Piezometr częściowo sprawny PS-171A II



Rys. 6. Piezometr niesprawny PS-195A II

7. Ocena zabiegów skuteczności zabiegów czyszczących

Metodę Paramex można zastosować do oceny skuteczności zabiegów oczyszczających [7]. Przeprowadzając oznaczenie współczynnika filtracji k_1 przed oraz k_2 po renowacji piezometru można dokonać ilościowej oceny skuteczności renowacji.

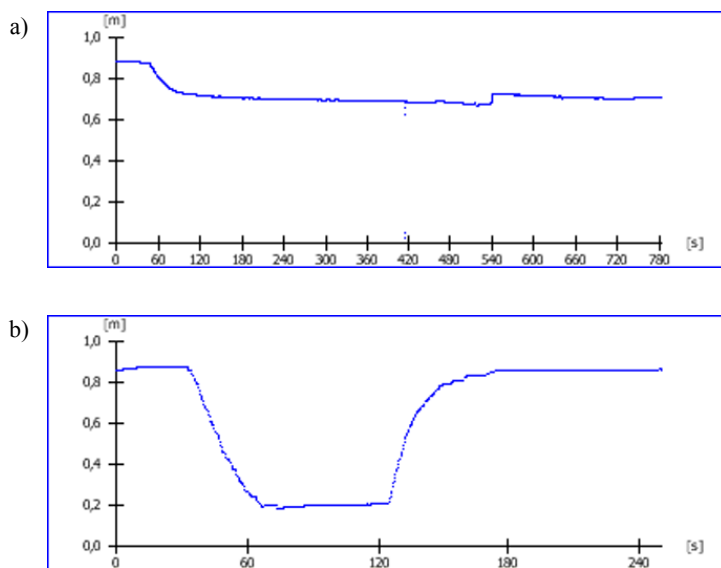
Skuteczność zabiegów oczyszczających można ocenić na podstawie wskaźników stanu technicznego piezometru oznaczonych λ_1 przed oraz λ_2 po wykonaniu renowacji:

$$\lambda_1 = \frac{k_1}{k_{wz}}; \quad \lambda_2 = \frac{k_2}{k_{wz}}$$

Można też zdefiniować nowy wskaźnik skuteczności oczyszczania piezometru λ_o :

$$\lambda_o = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{k_2}{k_1}$$

Wskaźnik skuteczności oczyszczania piezometru λ_o przyjmuje wartości większe od jedności i daje ocenę efektywności przeprowadzonych prac. Wskaźnik λ_o podaje ilokrotnie poprawiła się przewodność hydrauliczna strefy około filtrowej po oczyszczeniu piezometru.

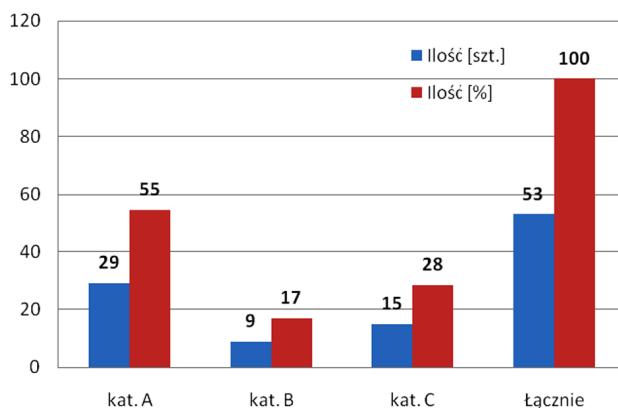


Rys. 7. Piezometr PS-47-2bis I:

- a) wynik badania metodą Paramex przed uaktywnianiem (kat. C);
- b) wynik badania metodą Paramex po uaktywnianiu (kat. A)

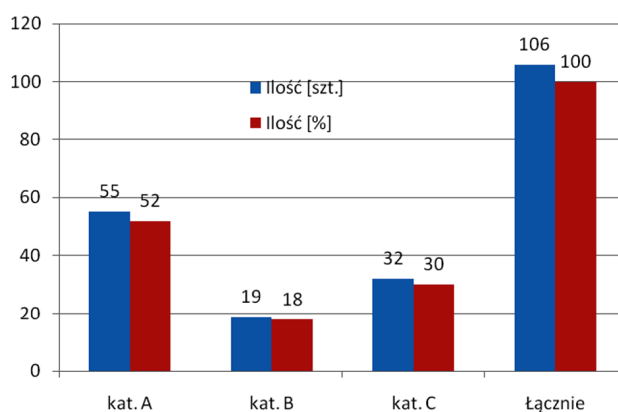
8. Ocena stanu technicznego piezometrów w kopalni „Bełchatów”

Od czasu wdrożenia metody Paramex do oceny stanu technicznego piezometrów stwierdzono, że około 30% przebadanych piezometrów zostało zakwalifikowanych do kategorii C — czyli obiektów, które wymagają uaktywnienia [10]. Wielkość ta według oceny kopalni jest zawyżona w odniesieniu do całej istniejącej sieci monitoringu wód podziemnych, gdyż w pierwszej kolejności badaniami objęto piezometry stare, dla których były wątpliwości, co do poprawności wskazań. Szczegółowy rozkład oceny stanu technicznego piezometrów starych objętych badaniami pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Wyniki ilościowe i jakościowe badań metodą Paramex przeprowadzonych dla piezometrów starych

Kolejne spostrzeżenie dotyczy piezometrów nowo wierconych przez zewnętrzne firmy wiertnicze na potrzeby kopalni. Według dotychczasowych obserwacji blisko 30% nowo odwierconych piezometrów zostało zakwalifikowanych do kat. C. Związane to było ze zbyt krótkim czasem pompowania oczyszczającego i pozostawianiem płuczki wiertniczej w piezometrach. Otwory te po uaktywnieniu zostały ponownie przebadane, uzyskano w nich sprawności kwalifikujące do prowadzenia monitoringu zwierciadła wody. Należy przy tym jednoznacznie zauważyć, że od czasu wdrożenia metody Paramex jako jednego z kryteriów odbioru technicznego nowych piezometrów poprawiła się jakość wykonawstwa. Obecnie otwory słabo uaktywnione spotyka się sporadycznie. Ocenę stanu technicznego piezometrów nowych objętych badaniami w kopalni pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Wyniki ilościowe i jakościowe badań metodą Paramex przeprowadzonych dla piezometrów nowych

9. Podsumowanie

Podczas eksploatacji otworów obserwacyjnych w sieci monitoringu wód podziemnych występuje potrzeba sprawdzania ich stanu technicznego. Dotyczy to nie tylko otworów nowo odwierconych, gdzie trzeba sprawdzić jakość wykonawstwa, ale także otworów starszych, gdzie konieczne jest zbadanie stopnia zakolmatowania filtra, czy też szczelności rury nad-filtrowej. Stan techniczny piezometru, w którym monitoruje się wahania zwierciadła wód podziemnych, a także z którego pobierane są próbki wody dla badań hydrogeochemicznych ma podstawowe znaczenie dla wiarygodności prowadzonych obserwacji. W aspekcie bezpieczeństwa prowadzenia robót górniczych w wyrobisku wiarygodność obserwacji kształtowania się lustra wody w górotworze ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia:

- precyzyjnego określania lustra wody w rejonie planowanych robót górniczych,
- minimalizacji ilości studni odwodnienia wglębnego,
- optymalizacji kosztów systemu studziennego odwodnienia złoża,
- zapewnienia bezpieczeństwa maszyn i ludzi w czasie robót eksploatacyjnych.

Zastosowanie metody Paramex do oceny stanu technicznego piezometrów daje możliwość weryfikowania położenia zwierciadła wody poprzez proste badanie terenowe. Aby je właściwie zinterpretować niezbędna jest znajomość współczynnika filtracji utworów, w których zafiltrowany jest piezometr. Obecnie dla nowo odwiercanych piezometrów kopalnia oznacza wzorcowy współczynnik filtracji strefy zafiltrowanej poprzez laboratoryjne badanie próbki gruntu pobranej podczas wiercenia. Pozwala to uniknąć wątpliwości co do oszacowania wzorcowego współczynnika filtracji na mapach hydrogeologicznych i skuteczniej egzekwować dobrą jakość prac wiertniczych.

Metoda Paramex została na trwałe włączona do praktyki hydrogeologicznej KWB „Bełchatów”.

LITERATURA

- [1] Cooper H.H. jr., Bredehoeft J.D., Papadopoulos I.S., Bennett R.R.: The response of well-aquifer systems to seismic waves. *Journal of Geophysical Research* vol.70 no.16, 1965
- [2] Fetter C.W.: *Applied hydrogeology*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1994
- [3] Hvorslev J.M.: Time lag and soil permeability in ground-water observations. *Bull. 36, 50pp.*, U.S. Corps of Eng., Waterways Exp. Sta., Vicksburg, Miss, 1951
- [4] Marciniak M.: Próba zastosowania metody PARAMEX do oceny stanu technicznego otworów obserwacyjnych, w rejonie odkrywki węgla brunatnego „Bełchatów”. (I etap) *Pomiary Hydrologiczne* Poznań, (maszynopis), 1997
- [5] Marciniak M.: Doświadczalna weryfikacja nowej metody oceny stanu technicznego otworów obserwacyjnych w rejonie odkrywki węgla brunatnego „Bełchatów” (II etap). *Pomiary Hydrologiczne* Poznań, (maszynopis), 1998
- [6] Marciniak M.: Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych na podstawie skokowej zmiany potencjału hydraulicznego. *Met. PARAMEX*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań 1999
- [7] Marciniak M.: Pomiary tempa kolmatacji filtrów piezometrów. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, Tom XI, Wrocław — Krzyżowa, 2001

- [8] *Marciniak M.*: Metoda oceny stanu technicznego piezometrów na potrzeby monitoringu wód podziemnych. Bogucki, Wyd. Naukowe, Poznań 2002
- [9] *Marciniak M., Stelmach M.*: Badanie współczynnika filtracji metodą PARAMEX, w rejonie wysadu solnego „Dębina”. MTM Sp. z o.o. Poznań, (maszynopis), 1991
- [10] Materiały własne KWB „Bełchatów”