

METODY OCENY STANU TECHNICZNEGO OBIEKTÓW ODWODNIENIA WGLĘBNEGO W KWB BEŁCHATÓW

METHODS OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF THE FACILITIES OF DEEP DRAINAGE IN KWB BEŁCHATÓW

Zbigniew Stobiecki, Krzysztof Pierzchała - PGE GiEK SA Oddział KWB Bełchatów

Odwadnianie wyrobisk górniczych kopalni odkrywkowej węgla brunatnego Bełchatów wymaga ciągłego i precyzyjnego monitoringu zmian warunków hydrogeologicznych w otaczającym górotworze.

Zmiany te powodowane są przez ciągłą eksploatację odwodnieniowych studni głębinowych. Efekty ich pracy monitorowane są za pomocą systemu otworów obserwacyjnych obejmujących swym zasięgiem rejon prowadzonych robót górniczych w wyrobisku, jak również otoczenie kopalni w promieniu nawet kilkudziesięciu kilometrów. W tym aspekcie istotnym jest, aby zarówno studnie głębinowe jak i piezometry charakteryzowały się wysoką sprawnością. Wiarygodność prowadzonych obserwacji położenia zwierciadła wody ma zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa prowadzenia robót górniczych w wyrobisku oraz optymalizacji kosztów budowy i eksploatacji podstawowego systemu odwodnienia złoża węgla brunatnego.

W artykule opisano różne metody oceny stanu technicznego obiektów jakie obecnie stosowane są w kopalni Bełchatów dla nowych obiektów odwodnienia wglębnego, jak i będących już w eksploatacji. Przedstawiono również, wypracowane w sposób praktyczny, kryteria oceny jakości studni odwadniających i otworów obserwacyjnych.

Słowa kluczowe: monitoring, automatyka, lej depresji, Paramex, sprawność, eksploatacja górnicza

Drainage of the excavation pits of the Bełchatów opencast brown coal mine requires continuous and precise monitoring of changes in hydrogeological conditions in the surrounding rock mass.

These changes are caused by the continuous exploitation of drainage deep wells. The effects of their work are monitored by means of a system of observation holes covering the area of mining works carried out in the excavation pits as well as the surroundings of the mine within a radius of several dozen kilometers. In this aspect, it is important that both deep wells and piezometers are characterized by high efficiency. The reliability of the observations/monitoring of the location of the water table which have been carried out, is of fundamental importance for the safety of mining works in the excavation pit and for the optimization of construction and operation costs of the basic drainage system of brown coal deposits.

The article describes various methods of assessing the technical condition of the facilities which are currently used in the Bełchatów brown coal mine for new deep drainage facilities as well as for those which have already been in operation. In the article there are also presented some criteria, which were developed in a practical way, for assessing the quality of drainage wells and observation wells.

Keywords: monitoring, automation, depression hopper, Paramex, efficiency, mining exploitation

WROWADZENIE

Odwadnianie wyrobisk górniczych kopalni odkrywkowej węgla brunatnego Bełchatów wymaga ciągłego i precyzyjnego monitoringu zmian warunków hydrogeologicznych w otaczającym górotworze [3].

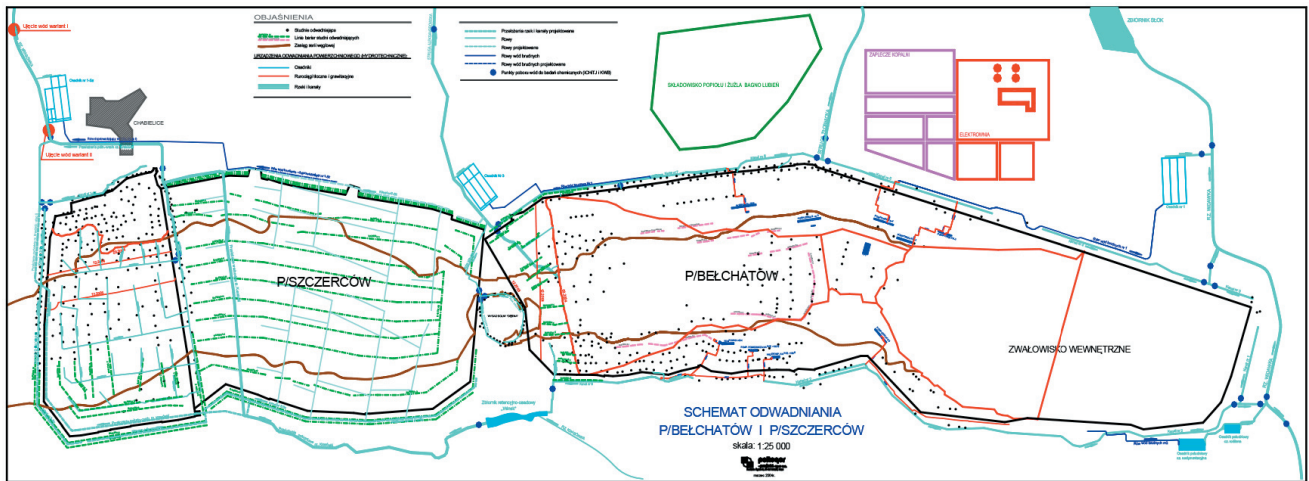
Zmiany warunków hydrogeologicznych powodowane są w szczególności przez ciągłą eksploatację studni głębinowych. Efekty ich pracy rejestrowane są za pomocą systemu obserwacyjnego obejmującego swym zasięgiem obszar odwadniany, a także jego otoczenie w promieniu nawet kilkudziesięciu kilometrów [3]. W tym aspekcie istotnym jest, aby zarówno studnie głębinowe jak i piezometry charakteryzowały się

wysoką sprawnością potwierdzoną okresowymi badaniami realizowanymi w trakcie ich wieloletniej eksploatacji.

Artykuł przybliży metodyki stosowane w kopalni Bełchatów dla oceny sprawności obiektów odwodnienia wglębnego.

W aspekcie bezpieczeństwa prowadzenia robót górniczych w wyrobiskach eksploatacyjnych sprawność techniczna obiektów i wiarygodność prowadzonych obserwacji ma istotne znaczenie, w szczególności dla :

- precyzyjnego określania zawodnienia w rejonie planowanych robót górniczych,
- optymalizacji ilości eksploatowanych obiektów odwodnienia wglębnego,
- optymalizacji kosztów.



Rys. 1. Schemat odwadniania złoża węgla brunatnego „Belchatów”
 Fig. 1. Scheme drainage field brown coal „Belchatow”

PARAMETRY SYSTEMU ODWADNIANIA KOPALNI BELCHATÓW

System odwodnienia wglębnego wyrobisk kopalni Belchatów obejmuje swym zasięgiem kilka tysięcy hektarów powierzchni.

Według stanu na koniec 2017 r. w eksploatacji były 854 studnie odwodnieniowe [7], w tym :

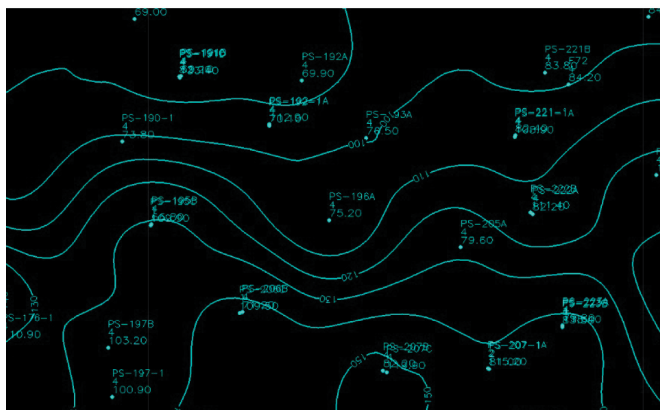
- Pole Belchatów – 253 szt.
- Pole Szczerców – 566 szt.
- bariera Dębina – 35 szt.

Kopalnia „Belchatów” od początku swojej działalności, prowadzi na szeroką skalę monitoring środowiska wodnego oraz poszczególnych jego komponentów. Wokół obu odkrywek (rys. 1), a także w samych wyrobiskach, istnieje rozległa sieć otworów obserwacyjnych (piezometrów). Ze względu na ich lokalizację można podzielić je na dwie grupy:

- piezometry sieci wewnętrznej, służące do kontroli stanu odwodnienia (rys. 2) w obszarze odwadniania, w ilości 1071 sztuk [7], w tym:

- Pole Belchatów – 339 szt.
- Pole Szczerców – 630 szt.
- Wysad solny Dębina – 102 szt.

- piezometry sieci zewnętrznej, służące do kontroli leja depresji, w tym, w szczególności do określania zasięgu jego granic (rys. 3). Sieć piezometrów zlokalizowana jest na obszarze 23 gmin, w ilości 670 sztuk [7], w tym:



Rys. 2. Mapa izoliniowa poziomu wodonośnego kenozoiku
 Fig. 2. Hydrogeological map of level cenozoic

- Pole Belchatów – 429 szt.
- Pole Szczerców – 241 szt.

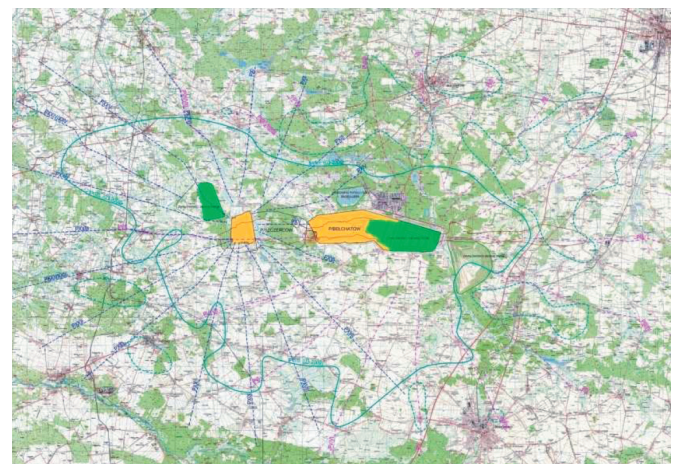
METODY OCENY STANU TECHNICZNEGO STUDNI

Inspekcja telewizyjna studni

Inspekcja telewizyjna studni z wykorzystaniem kamery przystosowanej do filmowania w środowisku wodnym jest metodą diagnostyczną, umożliwiającą dokonanie wizualnej oceny jej stanu technicznego. Telewizyjne inspekcje studni głębokich wykonywane są kamerą telewizyjną HYTEC, która jest umieszczona na samochodzie marki STAR 744 (fot. 1). Analiza wyników inspekcji studni pozwala na określenie przyczyn spadku jej wydajności i wskazanie najlepszej technologii renowacji lub rekonstrukcji. Szczególnie ważna jest inspekcja kamerą po zakończeniu wiercenia studni – pozwala ocenić jakość połączeń pierścieniowych kolumny, a także stan techniczny i głębokość zabudowy filtrów w odniesieniu do przedłożonej dokumentacji powykonawczej studni (fot. 2).

Parametry techniczne kamery:

- maksymalna głębokość inspekcji – ok. 500 m,
- minimalna średnica wewnętrzna studni – ok. 160 mm,
- maksymalna głębokość zanurzenia poniżej lustra wody – 500 m.



Rys. 3. Mapa wyznaczonego leja depresji
 Fig. 3. Map indicated depression cone



Fot. 1. Wykonywanie wizyjnej inspekcji studni głębinowej
Fot. 1. Execution of television inspection well

Końcowym etapem inspekcji jest sporządzenie szczegółowego raportu, który jest podstawą do kolejnych działań podejmowanych na danym obiekcie.

Metoda obliczania współczynnika „C”

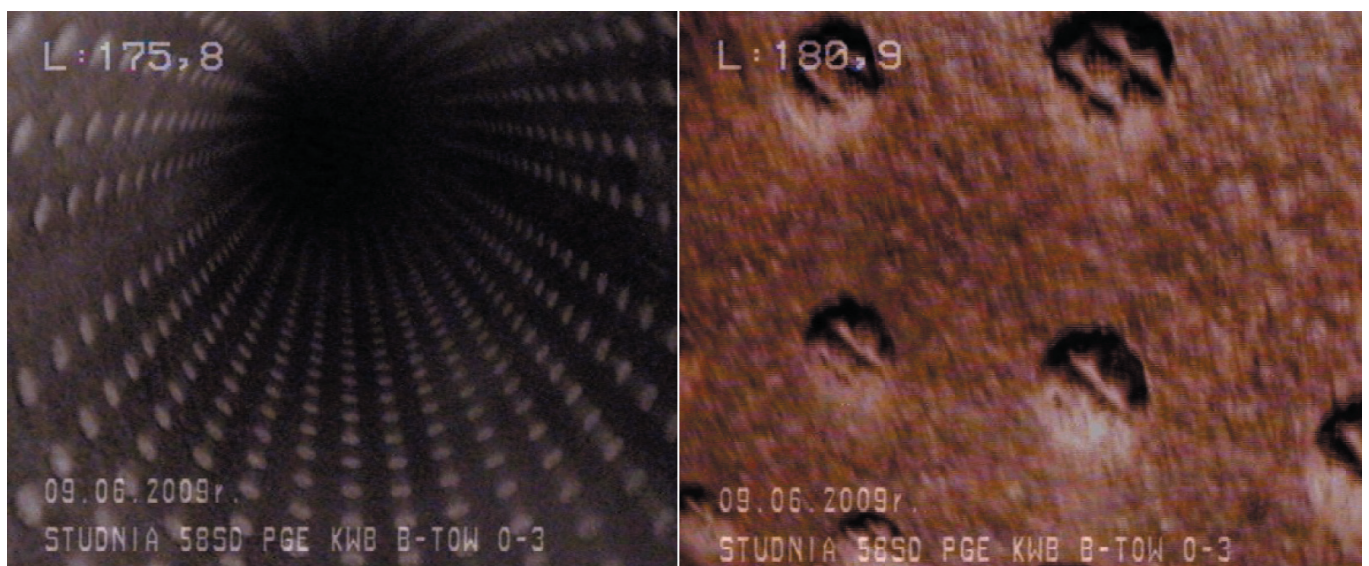
Hydrogeologicznym kryterium odbioru studni w kopalni Bełchatów jest współczynnik sprawności hydraulicznej „C” wyliczany bezpośrednio na podstawie przeprowadzanego w studni jednostopniowego pompowania próbnego w warunkach ruchu nieustalonego przy stałym wydatku Q . Jest to zmodyfikowana metoda Sozańskiego [2].

Podstawą do interpretacji wyników pompowania jest w pierwszym rzędzie wyznaczenie zależności depresji od

logarytmu czasu $s=f(\lg t)$, z której można określić wartość przewodności hydraulicznej warstwy T [2].

W przypadku pomiaru zwierciadła wody bezpośrednio w studni nie ma możliwości obliczenia wartości zasobności sprężystej warstwy wodonośnej. Współczynnik zasobności sprężystej z wystarczającą dla praktycznych celów dokładnością może być jednak określony na podstawie tabel z literatury [2].

Istnieje potencjalna możliwość, że dopływ wody do badanej studni nie ma charakteru laminarnego, a zatem nie spełnia warunku Jacoba. Odnosi się to do warstw wodonośnych utworzonych z grubych żwirów, otoczaków i spękanych skał o dużych szczelinach. Przepływ turbulentny w takim środowisku występuje bowiem nie tylko w filtrze i wewnątrz studni, ale



Fot. 2. Dokumentacja fotograficzna studni z wykonywanych prac
Fot. 2. Documentation of photographic well from executed work

Tab. 1. Kryteria oceny stanu technicznego studni
 Tab. 1. Criteria technical condition of evaluation of deep wells

Stan techniczny studni				
czysta	mało zanieczyszczona	średnio zanieczyszczona	dużo zanieczyszczona	bardzo zanieczyszczona
Wartość współczynnika „C” (sek ² /m ⁵)				
< 2000	2000-4000	4000-8000	8000-15500	> 15500

również w części warstwy wodonośnej wokół filtru. Wówczas badania sprawności studni nie dają pozytywnego wyniku. W takim przypadku do oceny studni głębinowej stosuje się metodę wielokrotnego pompowania jednostopniowego [2].

Uzyskiwanie pozytywnych wyników na podstawie próbnych pompowań przy wyznaczaniu współczynnika „C” Jacoba doprowadziło do wprowadzenia przez Waltona systematyki w ocenie stanu studni ze względu na wartość współczynnika „C”. Obliczony w powyższy sposób współczynnik „C” określa stan techniczny studni zgodnie z poniższą tabelą, w której podane są wartości graniczne tego współczynnika [2].

Ocena stanu studni ze względu na wartość współczynnika „C” została uwzględniona w Polskiej Normie PN-G-02318 z 1994 roku dotyczącej studni wierconych i dotyczącej zasad ich projektowania, wykonania i odbioru. W punkcie 3.7 pt. „Parametry jakościowe studni” precyzuje się, że studnia przekazana do eksploatacji powinna mieć współczynnik oporu „C” (współczynnik Waltona) nie większy niż 3887 s²/m⁵ [1].

W punkcie 4.1 wyżej wymienionej Polskiej Normy „Badania przy odbiorze” stwierdza się, że w przypadku, gdy studnia nie spełnia parametrów jakościowych wykonawca zobowiązany jest przystąpić do wykonania dodatkowych zabiegów uaktywniania, po czym powinno być przeprowadzone dodatkowe, ostateczne badanie [1].

Szablonywanie studni i kontrola piaszczenia

Po wykonaniu studni i zabiegów oczyszczających kolejnymi kryteriami technicznymi odbioru są:

- krzywizna i drożność studni sprawdzona przez swobodne opuszczenie przewodu wiertniczego z szablonem o długości 5 m odpowiednim do średnicy studni na pełną głębokość,
- piaszczenie nie przekraczające 20 mg/dm³.

OCENA SPRAWNOŚCI PIEZOMETRÓW

Ocena sprawności technicznej piezometrów dotyczy nie tylko otworów nowo odwierconych, gdzie trzeba sprawdzić jakość wykonawstwa, ale również otworów starszych, gdzie konieczne jest zbadanie stopnia zakolmatowania filtra, czy też szczelności rury nadfiltrowej.

Przyczyny złego stanu technicznego piezometrów to:

- niewystarczający efekt pompowania oczyszczającego po odwierceniu,
- naturalne procesy starzeniowe,
- uszkodzenia kolumn filtrowych wynikające z oddziaływania górotworu lub z innych przyczyn (technologicznych).

W KWB Bełchatów stosuje się kilka kryteriów oceny stanu technicznego piezometrów. Pierwszym kryterium jest pomiar

wielkości zasypu w rurze podfiltrowej. Drugim kryterium jest przeprowadzanie badania chłonności otworu poprzez jego zalanie. Kolumna filtracyjna zalewana do wierzchu wodą i w określonych odstępach czasu mierzone jest tempo opadania zwierciadła wody. Obecnie podstawowym szybkim, terenowym kryterium oceny sprawności jest badanie metodą Paramex, jednak wkrótce dodatkowo możliwa będzie ocena telewizyjna filtra w piezometrze, gdyż wdrażany jest do użytkowania nowy typ kamery dla piezometrów.

Metoda Paramex

W dniu 20.06.2006 r. 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 [4].

Podstawy teoretyczne oceny stanu technicznego piezometrów metodą Paramex

Metoda Paramex umożliwia oznaczenie *in situ* podstawowych parametrów hydrogeologicznych w strefie wokół badanego piezometru. Określone zostają wartości współczynnika filtracji oraz przewodności warstwy wodonośnej. Możliwa jest także ocena stanu technicznego piezometru [5]. Podczas badania piezometru metodą Paramex należy zainicjować ruch zwierciadła wody poprzez sprężenie 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. Metodą Paramex można zaliczyć do „ekspresowych” metod oznaczania współczynnika filtracji warstw wodonośnych [4].

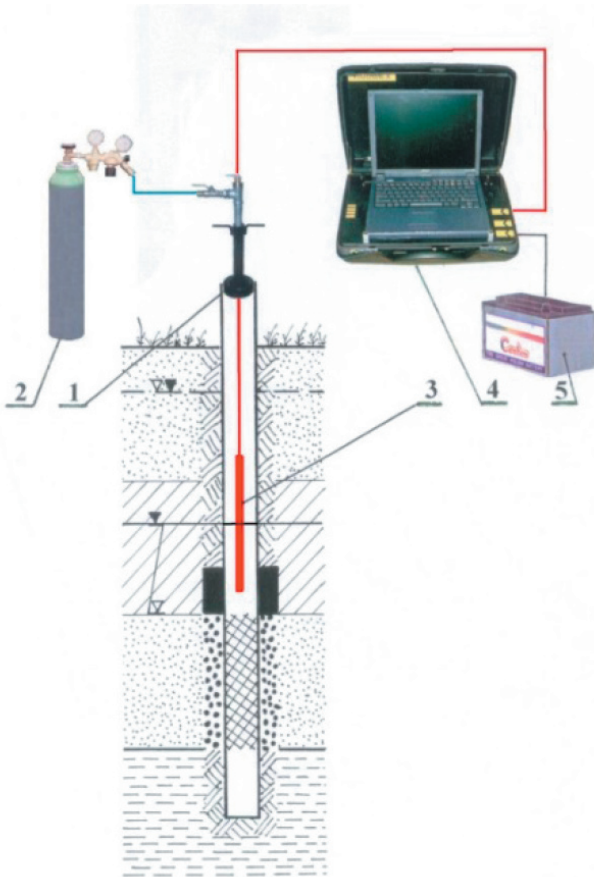
Eksperyment identyfikacyjny metodą Paramex przeprowadza się w następujący sposób: uszczelnia się za pomocą specjalnego urządzenia górną końcówkę rury nadfiltrowej. Jednocześnie w strefie przewidywanych wahań zwierciadła wody umieszcza się sondę poziomowskazową, której zadaniem jest zarejestrowanie ruchu zwierciadła wody. Do uszczelnionego piezometru zatłacza się 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. Pozwala to na swobodny powrót (wznios) zwierciadła wody do położenia ustalonego. Wykonanie badania piezometru i warstwy wodonośnej metodą Paramex

wymaga zastosowania specjalistycznej aparatury (rys. 4) umożliwiającej rejestrację ruchu zwierciadła wody z odpowiednią dokładnością [4]. Aby właściwie zinterpretować badanie 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 opracowanych przez Poltegor i skuteczniej egzekwować dobrą jakość prac wiertniczych [4].

Aparatura stosowana w Kopalni do badania metodą Paramex

Dla przeprowadzenia pomiarów w powyższej metodzie niezbędna jest specjalistyczna aparatura pokazana na rysunku 4 [4].

Cały zestaw aparatury został zamontowany w kopalni Bełchatów na specjalnie przystosowanym samochodzie terenowym Land Rover (fot. 3).



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

Rys. 4. Aparatury do badania piezometru metodą Paramex
Fig. 4. Equipment for research piezometer Paramex's method

Kryteria oceny sprawności stanu technicznego otworów stosowane w Kopalni

Zgodnie z metodyką oceny stanu technicznego zaproponowaną przez Marciniaka [5] przyjęto dwa wskaźniki ilościowe oceny stanu technicznego piezometrów.



Fot. 3. Piezometr podczas badania metodą Paramex
Fot. 3. Piezometer during research metod Paramex

Wskaźnik stanu technicznego piezometru λ zdefiniowano jako:

$$\lambda = \frac{k_p}{k_{wz}} \quad (1)$$

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 $\lambda \in (0,1)$. Im wartość λ bliższa jedności tym piezometr sprawniejszy.

Procentowy wskaźnik sprawności piezometru $\eta_{\%}$ zdefiniowano analogicznie do wskaźników sprawności stosowanych w technice:

$$\eta_{\%} = \left(1 - \frac{|s_{wz}(t) - s(t)|}{s_{wz}(t)} \right) \Bigg|_{t=t_{kr}} 100\% \quad (2)$$

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].

Procentowy wskaźnik sprawności piezometru przyjmuje wartości z przedziału $\eta_{\%} \in (0,100)$. Im wartość wskaźnika $\eta_{\%}$ bliższa 100% tym piezometr sprawniejszy.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń Kopalni ze stosowaniem metody Paramex zaproponowano wydzielenie trzech kategorii stanu technicznego piezometrów [4]:

Kategoria A - piezometry całkowicie sprawne (przykład na rys. 5).

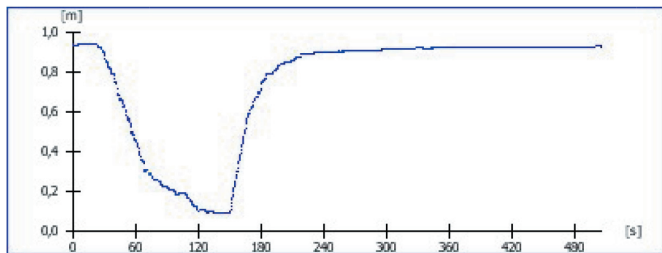
Kategoria B - piezometry częściowo sprawne, z niedokładnie oczyszczonym filtrem, częściową niedrożnością strefy około filtrowej (przykład na rys. 6).

Kategoria C - piezometry niesprawne, z niedrożnym lub całkowicie zakolmatowanym filtrem, uszkodzoną rurą nadfiltrową, zasypane, błędnie zafiltrowane itp. (przykład na rys. 7).

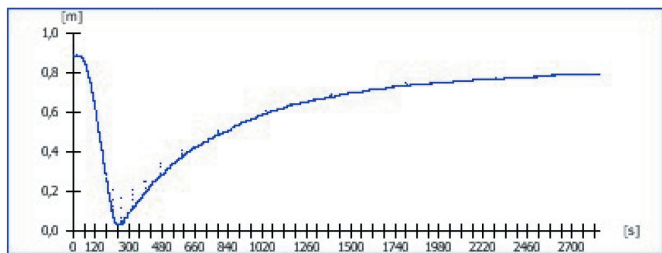
Dla obu wskaźników stanu technicznego przyjęto następujące wartości graniczne dla poszczególnych kategorii:

- Kategoria A** $\lambda \in (1 \div 0,6)$ $\eta_{\%} \in (100 \div 60)\%$
- Kategoria B** $\lambda \in (0,6 \div 0,2)$ $\eta_{\%} \in (60 \div 20)\%$
- Kategoria C** $\lambda \leq 0,2$ $\eta_{\%} \leq 20\%$.

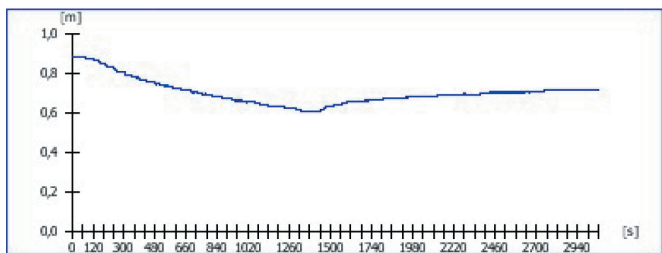
Zestawienie ilościowe wykonanych badań Paramex w kopalni Bełchatów pokazano na rysunku 8.



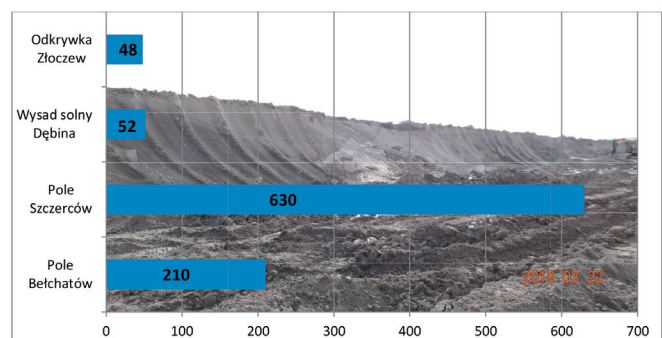
Rys. 5. Piezometr sprawny PS-245-1
Fig. 5. Piezometer efficient PS-245-1



Rys. 6. Piezometr częściowo sprawny PS-269
Fig. 6. Piezometer partly efficient PS-269

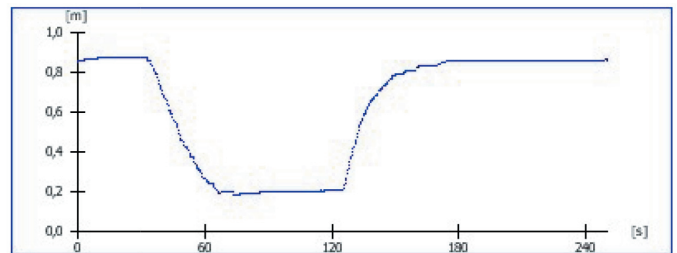
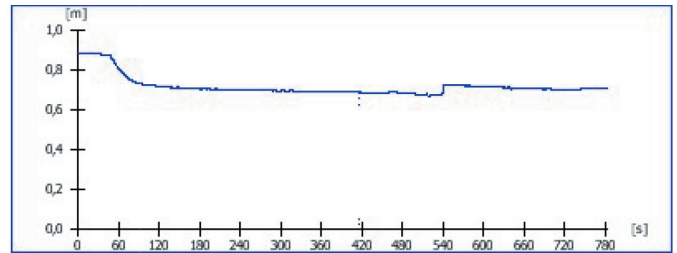


Rys. 7. Piezometr niesprawny PS-257
Fig. 7. Piezometer disabled PS-257



Rys. 8. Zestawienie ilościowe wykonanych badań metodą Paramex w kopalni Bełchatów [7]
Fig. 8. Quantitative putting together performed examinations with method Paramex in the mine [7]

Ocena zabiegów skuteczności zabiegów czyszczących
Metodę Paramex można zastosować również do oceny skuteczności zabiegów oczyszczających [6]. Przeprowadzając oznaczenie współczynnika filtracji k_1 przed oraz k_2 po renowacji piezometru można dokonać ilościowej oceny skuteczności renowacji [7].



Rys. 9. Piezometr PS-47-2bis
Fig. 9. Piezometer PS-47-2bis

W górnej części rysunku 9 pokazano wynik badania metodą Paramex przed uaktywnianiem (kat. C). W dolnej części rysunku 9 pokazano wynik badania metodą Paramex po uaktywnianiu (kat. A).

PODSUMOWANIE

Podczas włączania studni głębinowych i piezometrów do eksploatacji w systemie odwadniania Kopalni jak i później w czasie ich użytkowania pojawia się potrzeba sprawdzenia ich stanu technicznego. Dotyczy to nie tylko otworów nowo odwierconych, gdzie należy sprawdzić jakość wykonawstwa, ale również otworów starszych, gdzie konieczne jest zbadanie stopnia zakolmatowania filtra, czy też szczelności rury nadfiltrowej, a przede wszystkim ich sprawności.

W kopalni Bełchatów do oceny stanu technicznego studni głębinowych stosuje się przede wszystkim metodę inspekcji telewizyjnej, a także wyznaczany jest współczynnik sprawności C na podstawie przeprowadzanego w studni jednostopniowego pompowania próbnego w warunkach ruchu nieustalonego przy stałym wydatku Q.

Stan techniczny piezometru, w którym monitoruje się wahania zwierciadła wód podziemnych ma podstawowe znaczenie dla wiarygodności prowadzonych obserwacji. Obecnie stosuje się kilka kryteriów oceny stanu technicznego piezometrów. Pierwszym kryterium jest pomiar wielkości zasypu w części podfiltrowej. Drugim kryterium oceny stanu technicznego jest przeprowadzanie badania chłonności piezometru poprzez jego zalanie. Jednak dopiero zastosowanie metody Paramex dla oceny stanu technicznego piezometrów pozwoliło na weryfikowanie położenia zwierciadła wody poprzez proste badanie terenowe.

Możliwość prowadzenia wiarygodnych obserwacji zmian parametrów hydrodynamicznych odwadnianego obszaru umożliwia precyzyjne dostosowanie ilości pompowanej wody do zadań i rygorów określonych w wydanych decyzjach administracyjnych, Planie Ruchu i przyjętych dokumentacjach technicznych.

Literatura

- [1] Polska Norma PN-G-02318. *Studnie wiercone. Zasady projektowania wykonania i odbioru.* grudzień 1994, PKN Warszawa
- [2] Szczepiński J., *Przegląd i analiza aktualnych użytkowych metod wyznaczania współczynnika „C” studni odwadniających wraz z propozycją optymalnej metody dla warunków KWB Belchatów,* Wrocław, styczeń 2001
- [3] Stobiecki Z., *Praktyczne aspekty zastosowania automatyki w monitoringu środowiska wodnego w rejonie KWB Belchatów,* monografia konferencji Hydrogeologia w Praktyce – Praktyka w Hydrogeologii” Wydawca GIG Katowice 2017
- [4] Stobiecki Z., Marciniak M. *Zastosowanie metody Paramex do oceny stanu technicznego piezometrów w Kopalni Węgla Brunatnego „Belchatów”* Górnictwo i Geoinżynieria, 2011, R. 35, z. 3/1, str. 247-258
- [5] Marciniak M., *Metoda oceny stanu technicznego piezometrów na potrzeby monitoringu wód podziemnych.* Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań 2002
- [6] Marciniak M., *Pomiary tempa kolmatacji filtrów piezometrów.* Współczesne Problemy Hydrogeologii. Tom XI Wrocław –Krzyżowa 2001
- [7] Materiały własne KWB Belchatów



Centrum Nauki i Sztuki Stara Kopalnia w Wałbrzychu

z arch. Starej Kopalni