

*Leopold Czarnecki**, *Maria Dynowska***, *Jerzy Krywult***

POMIARY NAPRĘŻEŃ DO OCENY STATECZNOŚCI GÓROTWORU

1. Wprowadzenie

Stateczność zboczy jest jednym z ważnych czynników wpływających na sposób prowadzenia wielopoziomowej eksploatacji w kopalni odkrywkowej oraz na bezpieczeństwo prowadzonych robót, dlatego w celu rozpoznania zjawisk zachodzących w górotworze stosuje się nowoczesne techniki pomiarowe, które pozwalają na uzyskanie wyników w określonych warunkach geologiczno-górnictwowych. Prowadzenie pomiarów w warunkach *in situ* w sposób naturalny uwzględnia właściwości masywu, dostarczając rzetelnych danych dla nowoczesnych technik projektowania. Stworzenie sieci stanowisk pomiarowych pozwala na bieżącą kontrolę przebiegu zachodzących zjawisk, a przez to na podejmowanie działań zapobiegających lub minimalizujących skutki powstających zagrożeń oraz weryfikację przyjętych założeń projektowych.

W zakresie kontroli zjawisk zachodzących w górotworze na obszarze KWB „Bełchatów” prowadzone są pomiary przemieszczeń wgłębnych oraz pomiary ciśnień. Pomiary przemieszczeń wgłębnych dostarczają informacji o wielkości i rozwoju deformacji górotworu w przedziale głębokości objętym pomiarami i pozwalają na wyznaczenie powierzchni zwiększonych przemieszczeń. Pomiary ciśnień w górotworze dostarczają informacji o procesie odtwarzania się ciśnień w masywie naruszonym robotami górnictwowymi i ich zmian w czasie oraz pozwalają na wyznaczenie kierunków naprężeń głównych. W oparciu o wyniki tych pomiarów określany jest współczynnik K_o (współczynnik rozporu bocznego) jako jeden z warunków brzegowych dla budowy poprawnego modelu numerycznego wyrobiska. W niniejszej publikacji autorzy przedstawili swoje doświadczenia uzyskane w czasie prowadzenia obserwacji ciśnień na trzech stanowiskach badawczych zlokalizowanych na obszarze KWB „Bełchatów” w warstwach iłu, margla oraz węgla brunatnego.

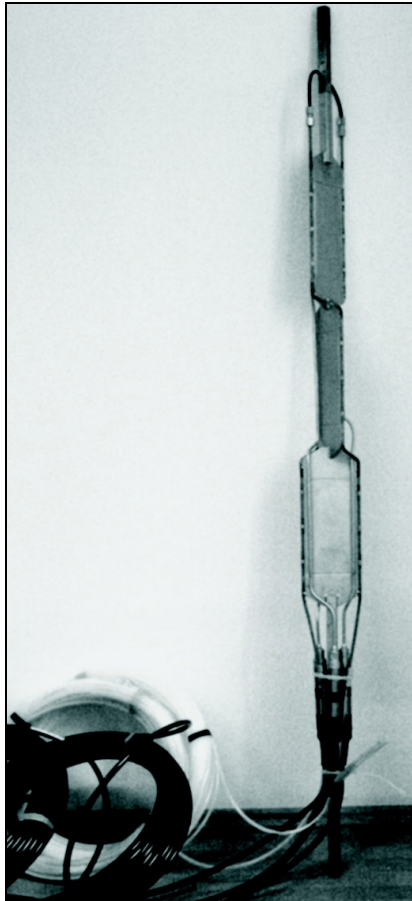
* BOT KWB „Bełchatów” SA

** Zakład Projektowo-Produkcyjno-Usługowo-Handlowy BUDOKOP sp. z o.o., Mysłowice

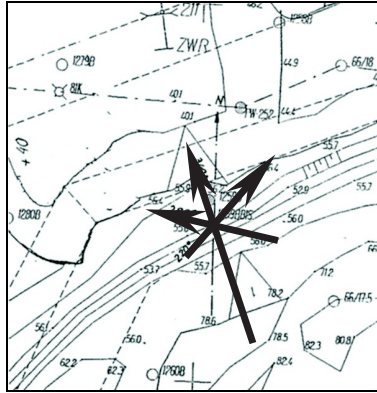
2. Przyrządy pomiarowe

Pomiary ciśnień na stanowiskach badawczych, zlokalizowanych na obszarze KWB „Bełchatów”, wykonywane są przy pomocy sond otworowych firmy Glötzel typu EBKO 10/20 K50/3V DKV, składających się z trzech poduszek o wymiarach 100×200 mm zorientowanych względem osi podłużnej otworu pod kątem 0° , 120° i 240° , wyposażonych w elektryczne przetworniki ciśnienia oraz kable pomiarowe (rys. 1).

Każde z zainstalowanych stanowisk pomiarowych do kontroli ciśnień w górotworze wyposażone zostało w sondy otworowe o identycznej konstrukcji (rys. 1). Ustawienie poduszek w otworze badawczym wykonano w sposób pozwalający na prowadzenie pomiarów w kierunku prostopadłym do zbocza oraz w kierunkach przewidywanego wpływu prowadzonych robót górniczych (rys. 2).



Rys. 1. Sonda otworowa firmy Glötzel typu EBKO zastosowana do pomiarów ciśnień w górotworze w KWB „Bełchatów”



Rys. 2. Przykładowy obraz kierunków pomiaru ciśnień w górotworze na tle konturu wyrobiska (w stosunku do krawędzi zbocza) dla sondy otworowej zainstalowanej w warstwie ilu

Zastosowanie identycznego układu poduszek na każdym stanowisku badawczym pozwoliło na przeprowadzenie analiz porównawczych w zakresie określenia czasu stabilizowania się ciśnień po wykonaniu otworu badawczego, wpływu prowadzonych robót na wielkość ciśnienia, zmienności rozkładu ciśnień w odmiennych litologicznie warstwach.

3. Lokalizacja stanowisk badawczych

Badania ciśnień w górotworze są prowadzone na stanowiskach badawczych zlokalizowanych po stronie południowej:

- W warstwie ilów — otwór 1259BBis — w strefie zejścia do rowu II rzędu w rejonie 65 linii przekroju geologicznego SN, w obszarze wydzielonego tu rejonu prognozowanych zagrożeń XII/S — sonda zlokalizowana została w przedziale głębokości 28,5÷29,5 m, (aktualnie stanowisko uległo zniszczeniu w trakcie rozwoju osuwiska 22S). Dla charakterystyki geologicznej powyższego rejonu główne znaczenie mają następujące elementy:
 - morfologia stropu podłoża mezozoicznego obniżająca się schodowo ku NW;
 - równoleżnikowy przebieg uskoku brzeżnego południowego Rowu Kleszczowa USB nr 1;
 - przebieg uskoków diagonalnych o kierunkach SE–NW i SW–NE jako efektu ekstensji w stropie pokładu głównego;
 - konsekwentne ku NW ukształtowanie spągu głównego pokładu węgla brunatnego.
- W warstwie margla pelitowego — otwór 1408BBis — jest to obszar rowu II rzędu, w rejonie 62 linii przekroju geologicznego SN, w strefie przebiegu uskoku nr 1a ograniczającego blok paleosuwiskowy od południa — sonda zlokalizowana została w przedziale głębokości 45,5÷46,5 m.

oraz po stronie północnej:

- W warstwie węgla brunatnego — otwór 1451BBis — jest to rejon zagrożeń XIII N o niekorzystnych cechach budowy geologicznej obejmujących m.in. zaburzenia serii węglowej w formie fałdu obalonego o wergencji powierzchni osiowej ku NW, konsekwentnym do zbocza stałego północnego upadem spągu serii złożowej, licznymi przewarstwieniami ilastymi w spągu serii złożowej, charakteryzującymi się licznymi powierzchniami zlustrowań. Duży stopień skomplikowania budowy w tym rejonie wiąże się z intensywnymi zjawiskami odprężeniowymi. Biorąc pod uwagę fakt, że zbocze stałe północne jest zboczem transportowym, w rejonie tym zainstalowano sondę do pomiarów naprężeń w górotworze oraz stanowisko do pomiaru przemieszczeń, w celu jednoczesnego monitorowania zmian naprężeń i odkształceń w głębi górotworu i w korpusie zbocza. Sonda została zainstalowana w przedziale głębokości 18,0÷19,0 m, a zlokalizowany w jej sąsiedztwie inklinometr do głębokości 60 m.

4. Przykładowe wyniki pomiarów

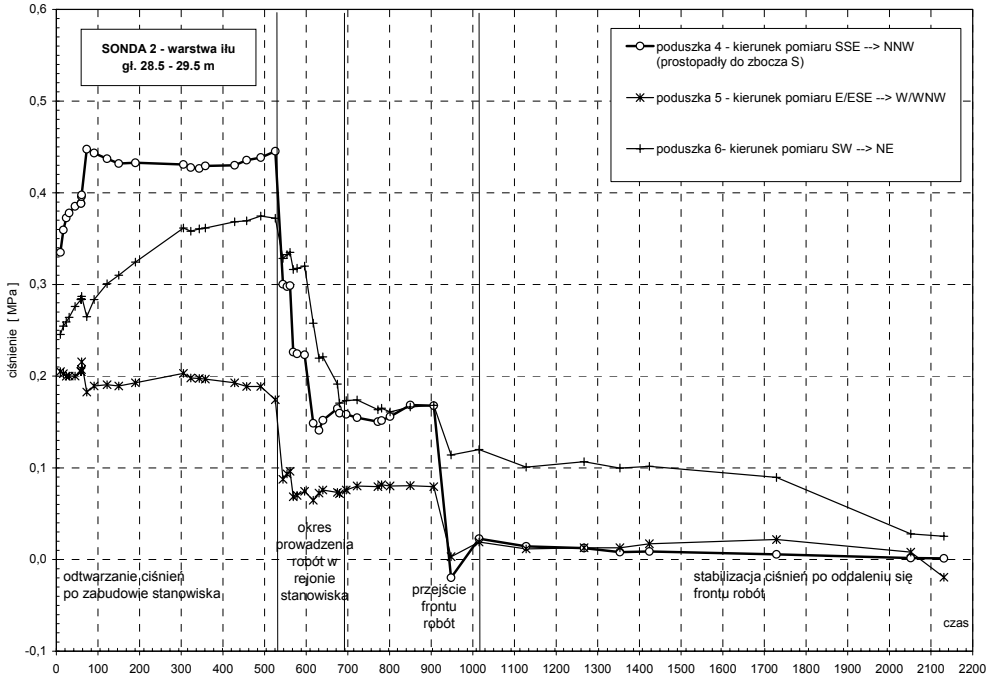
Dzięki wynikom pomiarów ciśnienia w górotworze — uzyskanych z badań w warunkach naturalnych — udowodniono, że górotwór wyraźnie reaguje zarówno na naruszenie stanu równowagi spowodowane wykonaniem otworu badawczego, jak i na wpływ czynników zewnętrznych, jak np. prowadzenie robót górniczych. Ponadto zauważono zmienność rozkładu ciśnień w odmiennych litologicznie warstwach.

Pomiary prowadzone w otworach badawczych potwierdziły, że bezpośrednio po zabudowie sond w otworach rozpoczyna się proces odbudowy ciśnień. Na wykresach przedstawiających ciśnienie w funkcji czasu obserwuje się tendencje wzrostowe. Proces ten przebiegał odmiennie w każdym z badanych ośrodków skalnych.

W **warstwie ilów** (rys. 3) w okresie pierwszych 100 dni po zabudowie zarejestrowano wyraźny wzrost ciśnień na wszystkich poduszkach. W kolejnym okresie 100–300 dni od zabudowy poduszka 4 o kierunku pomiaru SSE – NNW (prostopadłym do zbocza) oraz poduszka 5 o kierunku pomiaru E/ESE – W/WNW wykazały stabilizację ciśnień. W poduszce 6 o kierunku pomiaru SW – NE obserwowano dalszy wzrost wartości ciśnień, który zakończył się po upływie ok. 300 dni od zabudowy stanowiska. Wyniki pomiarów z okresu pomiędzy 300 a 500 dniem od zabudowy wskazywały ustabilizowany stan górotworu w miejscu zabudowy sondy.

Zbliżenie się frontu robót górniczych w rejon stanowiska badawczego w ilach spowodowało naruszenie odtworzonego stanu równowagi. Na wszystkich poduszkach odnotowano spadki wartości ciśnień związane z przejściem kolejnych frontów robót górniczych (okres 500–700 dni). Najbardziej intensywnie zareagowała poduszka 4, na której zarejestrowano zarówno spadki wartości ciśnień, jak i krótkie okresy stabilizacji związane z oddaleniem się frontu robót. Kolejne zbliżenie się robót górniczych w rejon stanowiska uwidaczniało się

kolejnymi spadkami wartości ciśnień. Tendencje zaobserwowane na poduszce 4 potwierdzają się na wykresach dla poduszek 5 i 6. Po oddaleniu się frontu robót zaobserwowano niewielki wzrost ciśnień oraz ich stabilizację na nowym (niższym) poziomie.



Rys. 3. Wyniki pomiarów ciśnień w warstwie iltu na głębokości 28,5÷29,5 m

Przebieg zależności naprężenie poziome – czas wykazuje następujące trzy fazy:

1. odtwarzania się naprężeń,
2. stabilizacji naprężeń,
3. spadku naprężeń wywołana eksploatacją kolejno na niższych piętrach.

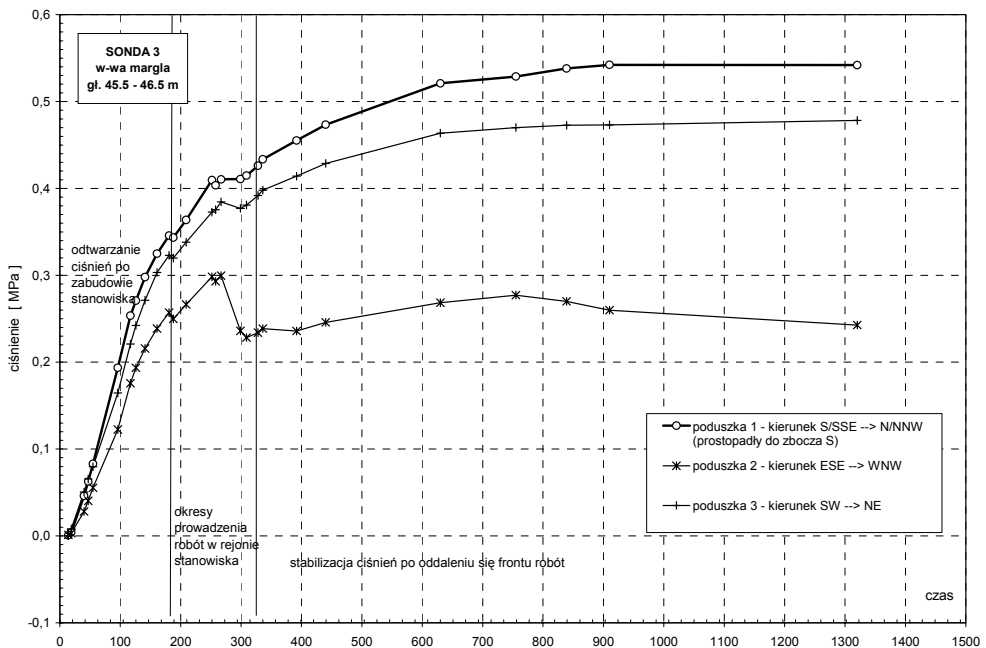
Dla wszystkich faz naprężenia poziome wykazują anizotropię. Dla fazy stabilizacji maksymalna ich wartość występuje w kierunku prostopadłym do skarp wyrobiska.

Dla fazy stabilizacji (stan naprężeń *in situ*) wartości współczynnika rozporu K_o , wynoszą odpowiednio:

- $K_o = 0,96$ ($\sigma_H = 0,44$ MPa) dla kierunku $\alpha = 340^\circ$,
- $K_o = 0,80$ ($\sigma_H = 0,37$ MPa) dla kierunku $\alpha = 40^\circ$,
- $K_o = 0,37$ ($\sigma_H = 0,17$ MPa) dla kierunku $\alpha = 280^\circ$.

Urobienie pierwszego piętra o wysokości $H = 10$ m powoduje spadek naprężeń poziomych $\Delta\sigma_H = 0,3$ MPa, urobienie kolejnego piętra o wysokości $H = 30$ m powoduje odpowiedni spadek naprężeń $\Delta\sigma_H = 0,15$ MPa z przejściem w fazę rozciągania.

W **warstwie margla** (rys. 4) intensywny wzrost wartości ciśnień obserwuje się w okresie pierwszych 250 dni od zabudowy sondy w otworze badawczym. Przez okres pierwszych 100 dni proces ten przebiegał we wszystkich mierzonych kierunkach z podobnym natężeniem, natomiast w okresie pomiarowym 100–250 dni w kierunku pomiaru S/SSE – N/NNW prostopadłym do zbocza (poduszka 1) i w kierunku pomiaru SW – NE (poduszka 3) odtwarzanie ciśnień następowało z podobnym natężeniem, natomiast w kierunku pomiaru ESE – WNW (poduszka 2) nieco wolniej.



Rys. 4. Wyniki pomiarów ciśnień w warstwie margla na głębokości 45,5÷46,5 m

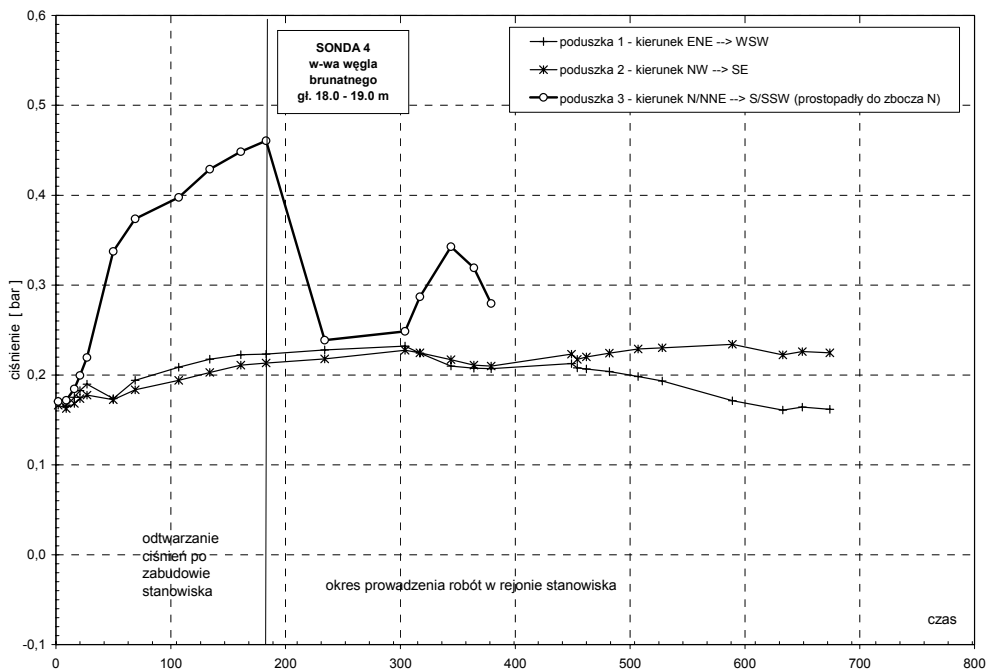
Proces stabilizacji ciśnień został naruszony przez prowadzenie robót górniczych w sąsiedztwie stanowiska badawczego. Najwyraźniej zareagowała poduszka 2, a poduszki 1 i 3 odnotowały niewielkie wahania wartości ciśnień. Kolejne pomiary wskazywały postępujący proces stabilizacji ciśnień. Z danych wynika, że proces odtwarzania się ciśnień trwał ok. 600 dni, licząc od dnia zabudowy.

Podobnie jak dla iltów nadwęglowych, naprężenia w marglach wykazują anizotropię (maksymalna wartość naprężeń występuje dla kierunku o azymucie $\alpha = 345^\circ$ prostopadłe do układu skarp).

Dla fazy stabilizacji wartość współczynnika rozporu bocznego wynosi odpowiednio:

- $K_o = 0,6$ ($\sigma_H = 0,52$ MPa) dla kierunku $\alpha = 345^\circ$,
- $K_o = 0,58$ ($\sigma_H = 0,46$ MPa) dla kierunku $\alpha = 45^\circ$,
- $K_o = 0,3$ ($\sigma_H = 0,26$ MPa) dla kierunku $\alpha = 285^\circ$.

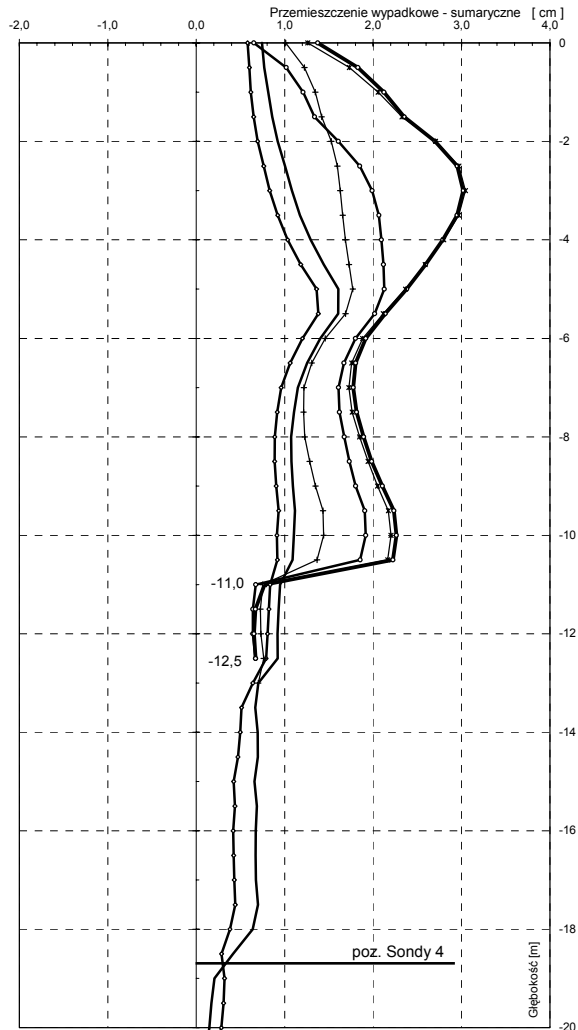
W **warstwie węgla brunatnego** (rys. 5) już pierwsze pomiary pokazały wyraźny wzrost wartości ciśnień w kierunku prostopadłym do zbocza północnego N/NNE – S/SSW (poduszka 3). W pozostałych kierunkach ENE – WSW (poduszka 1) oraz NW – SE (poduszka 2) wzrost wartości ciśnień był niewielki. Po ok. 200 dniach od zabudowy proces stabilizacji ciśnień został naruszony w wyniku robót górniczych prowadzonych na niższych poziomach w sąsiedztwie stanowiska badawczego. Wartości ciśnień w kierunku prostopadłym do zbocza zbliżyły się do wartości obserwowanych na pozostałych kierunkach. Następnie, po okresie ok. 2-miesięcznej stagnacji, zaobserwowano ponowny przyrost wartości naprężenia wzdłuż azymutu 192° . W grudniu 2005 r. nastąpiło przerwanie łączności z czujnikiem mierzącym naprężenia wzdłuż azymutu 192° i jednocześnie zanotowano powolny wzrost naprężenia wzdłuż azymutu 132° oraz spadek naprężenia wzdłuż azymutu 252° . Pomiar w dniu 5.10.2006 r. wykazał brak łączności z poduszką 1, zaś kolejne pomiary w styczniu 2007 roku wykazały okresowy wzrost naprężenia w poduszce nr 2.



Rys. 5. Wyniki pomiarów ciśnień w warstwie węgla brunatnego na głębokości 18,0+19,0 m

Wyniki pomiarów ciśnień w warstwie węgla brunatnego prowadzone były równoległe z pomiarami przemieszczeń górotworu w otworze inklinometrycznym 1765B/IN-6N o głębokości 60 m (rys. 6).

W otworze stwierdzono wzrost przemieszczeń na głębokości 12,5 m — 11 m — 3 m. Deformacje wystąpiły w strefie powyżej poziomu sondy do pomiaru ciśnień. Kierunek deformacji jest zgodny z kierunkiem zwiększonych ciśnień. Można wnioskować, że strefa górotworu zbocza północnego powyżej poziomu 12,5 m może być zagrożona utratą stateczności.



Rys. 6. Wyniki pomiaru przemieszczeń w inklinometrze 1765B/IN-6N powyżej poziomu zabudowy sondy

5. Podsumowanie

Przedstawione przykładowe wyniki badań wykazały, że prowadzone roboty górnicze w istotny sposób wpływają na stan deformacyjno-naprężeniowy górotworu. W zależności od odległości prowadzonych robót od stanowiska badawczego wpływy te są bardziej lub mniej intensywne. W idealnych warunkach dla uzyskania pełnego obrazu zmian rozkładu ciśnień stanowisko badawcze winno być instalowane w sytuacji, kiedy w danym rejonie nie są prowadzone roboty górnicze, co pozwalałoby na uzyskanie stabilizacji ciśnień po zabudowie sond w otworze badawczym. Obraz zbliżony do takich warunków uzyskano dla sondy zabudowanej w warstwie ilu oraz w warstwie margla. W warstwie ilu kolejne przejścia frontu robót nastąpiły po ustabilizowaniu się ciśnień, co pozwoliło odnotować kolejne fazy naruszenia stanu równowagi. Z kolei w warstwie margla mogliśmy obserwować proces stabilizacji praktycznie jednorazowo zaburzony przez wpływ prowadzonych robót.

Odminną sytuację obserwujemy w warstwie węgla brunatnego, gdzie wartości ciśnień jeszcze nie osiągnęły fazy stabilizacji, a już zostały naruszone przez wpływy prowadzonych robót górniczych w bezpośrednim sąsiedztwie stanowiska badawczego.

Prowadzenie pomiarów ciśnień w górotworze pozwala na rozpoznanie przebiegu zjawisk zachodzących w zmiennych warunkach litologicznych. Dysponując wynikami z trzech poduszek zainstalowanych w górotworze, można wyznaczyć wartości naprężeń i kierunki naprężeń głównych w badanym obszarze. Ilościowe opisanie zjawisk zachodzących w górotworze zwiększa możliwości korzystania z techniki obliczeniowej przy projektowaniu eksploatacji złoża i kontroli stateczności zboczy odkrywki.

Dotychczasowe doświadczenia oparte na przedstawionych powyżej przykładach wskazują, że prowadzenie monitoringu górotworu o skomplikowanej budowie geologicznej, poddanego wpływom wielopoziomowej eksploatacji, pozwala na rozpoznanie zjawisk zachodzących w warunkach naturalnych, kontrolę tempa ich rozwoju, a w konsekwencji na podejmowanie działań przeciwdziałających powstaniu zagrożeń. Uzyskane wyniki pomiarów pozwalają na stworzenie bazy danych dla projektowania nowych prac realizowanych w porównywalnych warunkach górniczo-geologicznych.

LITERATURA

- [1] *Czarnecki L., Dynowska M., Szymański J.*: Badania stanu naprężeń w górotworze jako element kontroli stateczności skarp w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 4, 2002, 13–18
- [2] *Krywult J., Glötzl R.*: Erfahrungen und neue Erkenntnisse zum Spannungsverhalten einer Braunkohlenschürfe. *Geotechnik*
- [3] *Dynowska M., Gruszka R., Krywult J.*: Zbocze północne, rejon zaburzeń związanych z występowaniem olistolitu — badanie stanu naprężeń górotworu poduszkami Glötzla w pokładzie głównym węgla brunatnego. *Sprawozdanie z badań w otworze 1451Bbis, prace OBR BG „BUDOKOP”, Mysłowice 2004*
- [4] *Chrost A., Dynowska M., Gruszka R., Krywult J.*: Badanie rozwoju odkształceń górotworu w nawiązaniu do postępu eksploatacji. *Sprawozdanie z pomiarów Etap II, prace ZPPUH „BUDOKOP”, 2007*
- [5] *Chrost A., Dynowska M., Gruszka R., Krywult J.*: Badanie rozwoju odkształceń górotworu w nawiązaniu do postępu eksploatacji. *Sprawozdanie z pomiarów Etap III, prace ZPPUH „BUDOKOP”, 2007*
- [6] *Chrost A., Dynowska M., Gruszka R., Krywult J.*: Badanie rozwoju odkształceń górotworu w nawiązaniu do postępu eksploatacji. *Sprawozdanie z pomiarów Etap IV, prace ZPPUH „BUDOKOP”, 2007*