

Badania rozwarstwień skał w stropie wyrobiska z obudową kotwową

The research of rocks deformation around excavations with bolt support



Mgr inż. Stanislav Rodzin^{)}*



*Dr hab. inż. Ivan Sakhno^{**)}*



Mgr inż. Krzysztof Ostrowski^{)}*



*Mgr inż. Svetlana Sakhno^{**)}*

Treść: W artykule przedstawiono wyniki rozwoju rozwarstwień skał wokół wyrobiska przygotowawczego w KWK „Dobropolskaja” na Ukrainie. Konstrukcję stacji pomiarowych wykonano zgodnie z metodą WNIMI (Wszeczwiązkowy Instytut Miernictwa Naukowo-Badawczy). Stacje pomiarowe były wyposażone w rozwarstwieniomierze, które zainstalowano bezpośrednio w przodku chodnika. Analizę dynamiki rozwoju strefy rozwarstwienia skał stropu wyrobiska sporządzono na podstawie wyników przemieszczeń rozwarstwieniomierzy wielopunktowych. W podsumowaniu podano czas, dla którego w górotworze skalnym zaczynają pojawiać się deformacje, których dalszy rozwój może doprowadzić do obwałów stropu powyżej strefy skotwionej. Stwierdzono, że dla warunków górniczo-geologicznych poziomu 450, zakotwiony strop przemieszcza się bez znacznych rozwarstwień na głębokości od konturu 1,0 ÷ 2,3 m, a odcinek stropu na głębokości między 0,5 ÷ 1,0 m odpaja się od wyżej leżącej części.

Abstract: This paper presents the results of development of delaminations of rocks around preparatory gateroad in hard coal mine „Dobropolskaja” in Ukraine. The construction of measuring stations were carried out in accordance with the method of the Institute of Metrology WNIMI (All-union Metrology Institute for Scientific Research). Measuring stations were equipped with deep datum points, installed directly in the forehead of gateroad. In order to analyze the dynamics of the development of zone around the damaged rock excavation, deformation graphs of rocks depending on the distance from the contour of the excavation on the basis of deep datum points movements were prepared. In conclusion, the period of time for which the rock mass began to demonstrate deformation, which can later lead to roof falls outside the protected area through bolt support, was given. It was found that for the geological – mining conditions on the 450 level, the bolted roof is moved without any significant delamination at a depth of 1,0 ÷ 2,3 m, and a section of roof at a depth of between 0.5 ÷ 1.0 m is loosening from the above-lying parts.

Słowa kluczowe:

wyrobisko przygotowawcze, obudowa kotwowa, rozwarstwienie

Key words:

preparatory excavation, bolt support, delamination of roof rocks

^{*)} Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

^{**)} Doniecki Narodowy Uniwersytet Techniczny, m. Pokrowsk, Ukraina

1. Wprowadzenie

Obudowa kotwowa jest stosowana od wielu lat do wzmocnienia górotworu wokół wyrobisk jako samodzielny rodzaj obudowy, bądź w połączeniu z obudową podatną łukową stalową. Jest to spowodowane stosunkowo prostą technologią wykonywania, wysokim stopniem bezpieczeństwa prowadzenia robót oraz względami ekonomicznymi tego rodzaju obudowy (Булат, Виноградов 2002, Dolinar 2000, Hou i in. 1998). Ze względu na fakt, że zastosowanie nowoczesnych kompleksów zmechanizowanych umożliwia prowadzenie eksploatacji wysokowydajnych przodków wybierkowych, których postęp miesięczny osiąga 200-250 metrów i więcej, technologia kotwienia jest idealnym rozwiązaniem dla zabezpieczenia wyrobisk przygotowawczych, pozwalającym na szybsze przygotowanie pól eksploatacyjnych (Korzeniowski i in. 2013, Niedbalski 2014). Zapewnienie niezbędnego tempa drażenia wyrobisk może zostać osiągnięte dzięki stosowaniu różnych systemów kotwienia.

W górnictwie ukraińskim kotwienie jako samodzielny rodzaj obudowy jest stosowany w wyrobiskach, które nie znajdują się w strefie wpływu robót eksploatacyjnych. W połączeniu z elementami obudowy prostokątnej są wykorzystywane do zabezpieczenia wyrobisk przygotowawczych. Potwierdza to bogata praktyka tego typu rozwiązań w licznych przedsiębiorstwach węglowych m.in.: DTEK, Pokrowskoje, KWK „im. O.F. Zasiadki”, KWK „Krasnolimanskaja”.

Według autorów istnieją dwa przypadki oberwania się skał, przy stosowaniu obudowy kotwowej (rys. 1):

- oberwanie się skotwionej części górotworu jednym blokiem od skał stropu;
- oberwanie skał z przykonturowej części wyrobiska z obniżeniem się kotwy

Objawy te są obserwowane w wyrobiskach narażonych na znaczne konwergencje i świadczą o tym, że skały w granicach strefy skotwionej rozwarstwiają się. Jednakże nadal nierozwiązaną kwestią jest okres czasu trwania rozwarstwiania. Pomimo tego możliwe jest zdeterminowanie mechanizmu pracy obudowy kotwowej, określenie jej skuteczności oraz obliczenie obciążenia na opinę obudowy. Rozwarstwienie ośrodka skalnego prowadzi bezpośrednio do oberwania skał (obwału), a zatem określa stopień bezpieczeństwa prowadzenia robót, zwłaszcza w tych wyrobiskach, gdzie obudowa kotwowa jest jedynym rodzajem obudowy.

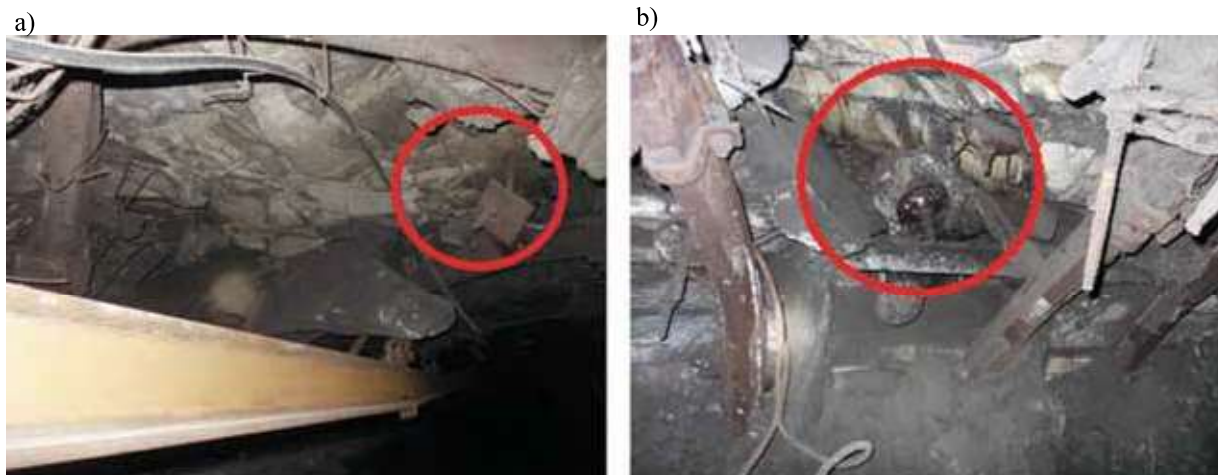
Badania Zhang i in. (2008) wykazały, że maksymalne przemieszczenia skał na obrysie wyrobiska występują w kierunku prostopadłym do uwarstwienia skał. Zasadniczą część przemieszczeń w kierunku wyrobiska spowodowana jest zwiększeniem się objętości skał podczas ich deformacji. Wielkość strefy deformacji nieciągłych zależy od głębokości wyrobiska, jego wymiarów oraz wytrzymałości skał otaczających i wynosi od 2 m do 9 m (Черняк 1993). W przypadku braku wtórnego naruszenia stanu równowagi, 50 ÷ 60% całkowitych przemieszczeń na konturze wyrobiska powstaje w pierwszym miesiącu po jego drażeniu, następnie prędkość deformacji maleje. W wyrobiskach z obudową łukową stalową maksymalne przemieszczenia występują na konturze wyrobiska, natomiast ze wzrostem odległości od konturu zanikają.

Z uwagi na niewielką liczbę badań poświęconych zależnościom rozwarstwienia skał w wyrobiskach z obudową kotwową w górnictwie ukraińskim, autorzy podjęli próbę ustalenia zależności kształtowania się strefy deformacji nieciągłych wokół wyrobiska w obudowie kotwowej przy użyciu monitoringu deformacji skał *in situ* na konturze wyrobiska za pomocą reperów na specjalnie wyposażonych stacjach pomiarowych.

Celem niniejszej pracy jest określenie charakteru deformacji wokół wyrobiska z obudową kotwową. Wielkość i intensywność rozwoju strefy deformacji nieciągłych (strefy spekań) zależy w dużej mierze od wartości przemieszczenia konturu wyrobiska przygotowawczego oraz obciążenia na jego obudowę (Zhang i in. 2008).

2. Opis badań

Pomiary zostały przeprowadzone w chodniku przygotowawczym pokładu k_3 poziom 450 m KWK „Dobropolskaja”. Wyrobisko było przeznaczone dla prowadzenia wydobycia metodą zwiercenia eksploatacyjnego (rys. 2). Głębokość zalegania pokładu wynosiła 462 m, natomiast kąt nachylenia warstw 8° . Miąższość pokładu zmieniała się od 0,63 m do 0,7 m. Strop bezpośredni pokładu stanowił łupek ilasty ciemnoszary o miąższości 1,9 m, o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie $27 \div 29$ MPa. Strop zasadniczy - łupek ilasty ciemnoszary o wytrzymałości jednoosiowej na ściskanie 30 MPa.



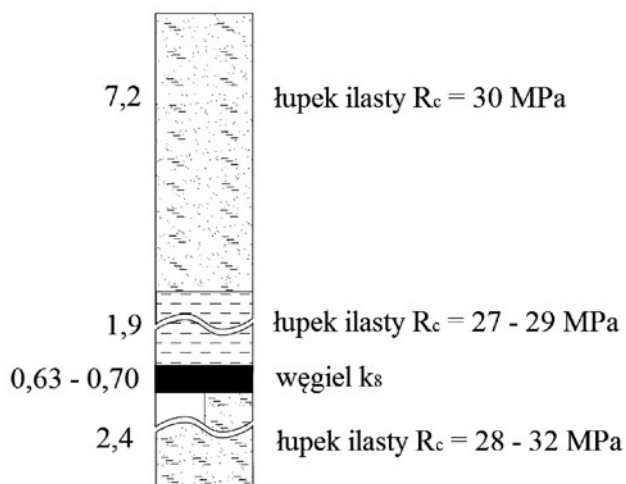
Rys. 1. Oberwanie się skał w pobliżu kotwy z przykonturowej części chodnika przyścianowego KWK „Pokrowskoje” a) w stropie chodnika, b) w ociosie chodnika

Fig. 1. Roof fall of rocks near the bolt from contour section of gateroad at „Pokrowskoje” hard coal mine; a) in the roof of gateroad, b) in the side wall of gateroad



Rys. 2. Widok głowic zwiercających przy ociosie węglowym
Fig. 2. View of drilling heads by the coal sidewall

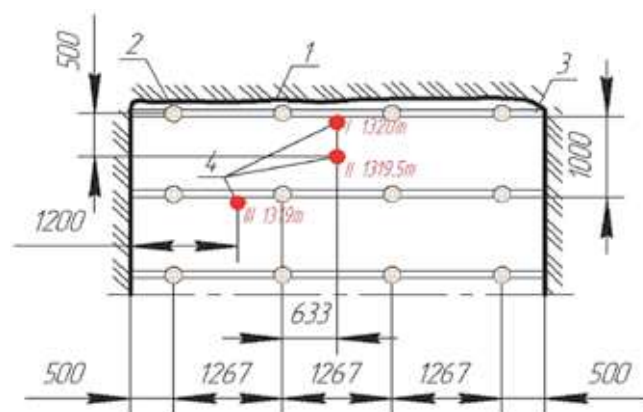
W spągu bezpośrednim zalegał łupek ilasty szary. Miąższość warstwy 2,4 m, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie $28 \div 32$ MPa. Poniżej zalegał piaskowiec jasnoszary o miąższości 3,5 m, o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie $32 \div 37$ MPa (rys. 3). Przekrój poprzeczny chodnika miał kształt prostokątny. Wysokość wyrobiska podczas drążenia wynosiła $h = 3,3$ m, szerokość $b = 4,8$ m (rys. 4).



Rys. 3. Profil litologiczny w miejscu badań
Fig. 3. Lithological profile in the place of survey

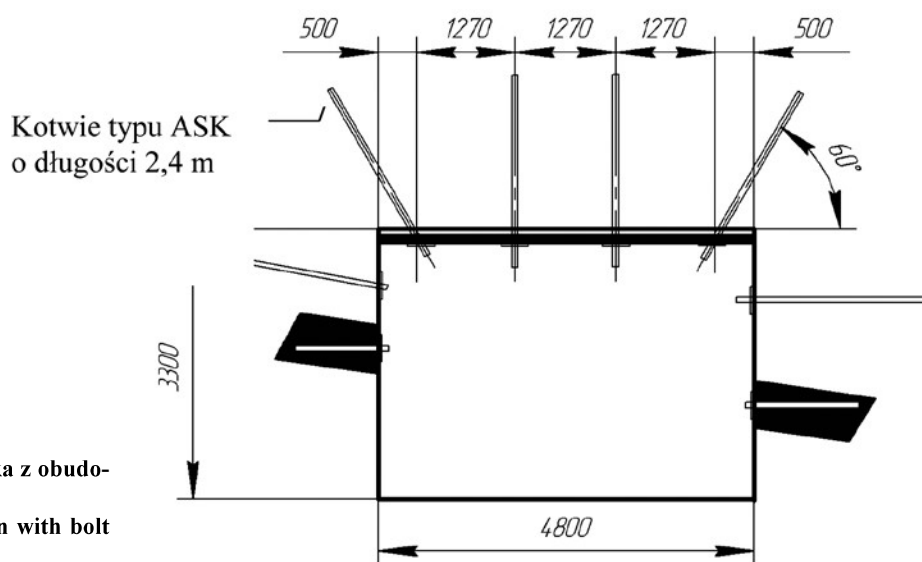
Wyrobisko o długości 270 m było drążone za pomocą kombajnu KPD. Średnia prędkość postępu przodka przygotowawczego wynosiła 190 m/miesiąc. Kotwie wklejane typu ASK o długości $l = 2,4$ m i średnicy $d = 0,032$ m były instalowane w przodku wyrobiska, pod podciągami wykonanym z profilu V-22. Przymocowanie stalowej kotwy w otworze było wykonywane przy użyciu ładunków na bazie żywicy epoksydowej. Gęstość rozstawu kotwi wynosi 0,77 kotwy / m^2 .

Konstrukcję stacji pomiarowych przeprowadzono zgodnie z metodą WNIMI (Wszeczwiązkowy Instytut Miernictwa Naukowo-Badawczy) (Методические ... 1973). Stacje pomiarowe wyposażone w rozwarstwieniomierze, zostały zainstalowane bezpośrednio w przodku chodnika. W wyrobisku zainstalowano trzy stacje pomiarowe (rys. 5). Pierwsza stacja – w środku przekroju chodnika w bezpośrednim sąsiedztwie przykotwionego podciągu (1320 m wyrobiska), druga stacja – między rzędami kotwi w środku przekroju chodnika (1319,5 m wyrobiska), trzecia stacja pomiarowa – w odległości 1,2 m od ociosu wyrobiska (rys. 6).



Rys. 5. Schemat usytuowania stacji pomiarowych z rozwarstwieniomierzem w przodku wyrobiska:
1 – kontur wyrobiska; 2 – kotwie; 3 – przykotwiony podciąg stalowy, 4 – stacje pomiarowe

Fig. 5. Location scheme of measuring station with deep datum points in the forehead of gateroad;
1 – contour of excavation, 2 – rock bolt, 3 – bolted steel horsehead, 4 – measuring stations



Rys. 4. Przekrój poprzeczny wyrobiska z obudową kotwową
Fig. 4. Cross-section of the excavation with bolt support



Rys. 6. Ogólny widok trzeciej stacji pomiarowej
Fig. 6. General view of the third measuring station

Każda stacja składała się z rozwarstwieniomierza wielopoziomowego, instalowanego w stropie wyrobiska. Schemat konstrukcji stacji pomiarowej pokazano na rys. 7.

W celu wykonania stacji pomiarowej w stropie wyrobiska wykonano pionowy odwiert o średnicy 27 mm i o długości 4,4 m, w którym za pomocą specjalnego instalatora były umieszczone repery (1) (rys. 7b). Reper był odwzorowany przy pomocy odcinka z rury stalowej (5) o długości 40 mm, na którą przy pomocy obejm (7) z czterech stron była przymocowana taśma stalowa (6) w celu rozklinowania reperu w otworze. Od każdego reperu wyprowadzono z otworu specjalne cięgno stalowe, na końcu którego był przymocowany pierścień (4) z numerem reperu (identyfikator). Rozklinowanie reperów w otworze przeprowadzono przy pomocy przemieszczenia ich w stronę wylotu za cięgna.

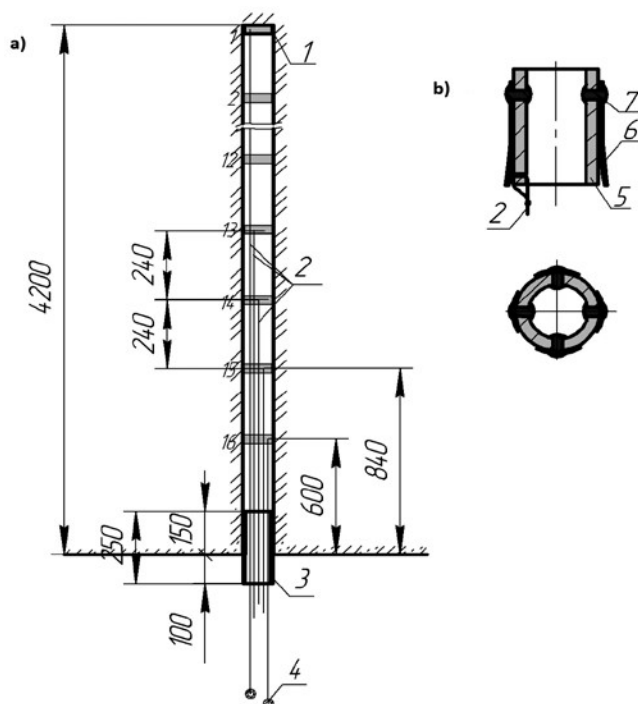
Po rozklinowaniu reperu w odwiercie umieszczano kolejny, aż do instalacji ostatniego. Następnie na wylocie odwiertu był umieszczany kontroler (3) o długości 0,25 m, stanowiący bazę pomiarową przemieszczających się cięgien, przy pomocy którego odczytywano początkowe wartości przemieszczeń od wysuniętej części kontrolera do identyfikatora. Naciąg cięgna był wykonywany za pomocą linki z haczykiem, który przewlekał się przez pierścień pomiarowy. Przeciwny koniec linki był połączony z pionem (godziną mierniczą), znajdującym się na spagu.

Przemieszczenia były wyznaczane na podstawie różnicy odległości między pierścieniem i bazą pomiarową. Pomiaru były wykonane przy użyciu taśmy pomiarowej instytutu WNIMI (z dokładnością $\pm 0,5$ mm). Każdy pomiar powtórzono trzykrotnie, za wartość przemieszczenia przyjęto średnią arytmetyczną z trzech pomiarów. Założono, że reper nr 1 o maksymalnej głębokości stanowi punkt bazowy.

W artykule podano wyniki pomiarów przemieszczeń powstałych w ciągu 14 dni, po czym w okresie od 14 do 30 dnia obserwowano stabilizację prędkości przemieszczeń. Założono, że strefa deformacji nieciągłych w stropie w tym czasie nie osiągnie wartości 4,2 m, co jest zgodne z wynikami badań Czerniaka (Черняк 1993).

Do analizy dynamiki rozwoju strefy przemieszczenia skał wokół wyrobiska, sporządzono wykresy deformacji skał w zależności od odległości od konturu wyrobiska (rys. 8) na podstawie wyników przemieszczeń rozwarstwieniomierzy.

Analiza wykresów deformacji skał na odcinku eksperymentalnym wykazuje, że największe przemieszczenia są obserwowane w środkowej części wyrobiska (stacje pomiarowe 1 i 2). Już po 14 dniach od wydrążenia wyrobiska na odległości 2,7 m od konturu wyrobiska (stacji pomiarowe 1 i 2) skały rozwarstwiają się, co zostało zarejestrowane. Na



Rys. 7. Schemat stacji pomiarowej (a) i konstrukcja rozwarstwieniomierza (b):

1 – reper głębiny; 2 – ciągi reperów głębiny; 3 – baza pomiarowa (tuleja); 4 – pierścień pomiarowy; 5 – odcinek rury stalowej; 6 – taśma stalowa; 7 – obejma

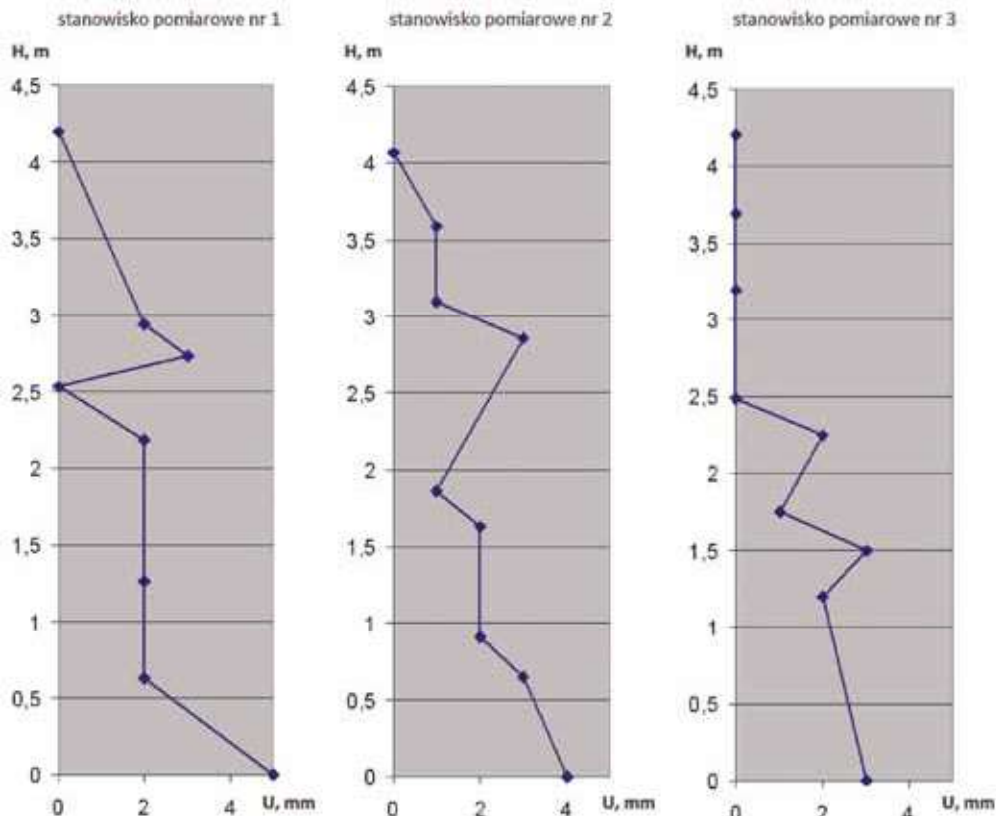
Fig. 7. Scheme of the measurement station (s) and design of deep datum point (b):

1 - deep datum point; 2 - strings of datum points; 3 - measuring base (controller); 4 - measuring ring; 5 - section of steel tube; 6 - steel strip; 7 - clamp

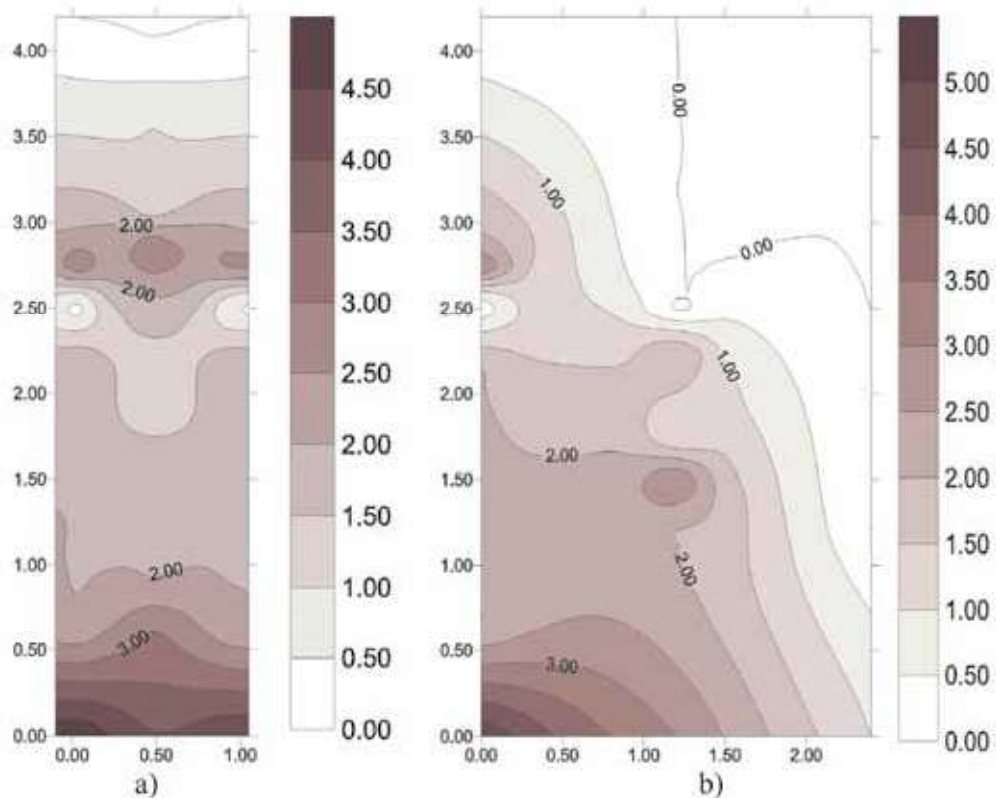
pierwszej stacji zaobserwowano strefę ściskania skał między reperami na 2,7 i 2,5 m. W bezpośrednim sąsiedztwie od kotwy (stacja pomiarowa 1) skały przemieszczają się jednym blokiem, co jest obserwowane na reperach na głębokości $0,6 \div 2,2$ m. Między rzędami kotew (stacja pomiarowa 2) przemieszczenia rosną w przybliżeniu jednolicie w kierunku konturu wyrobiska. Przemieszczenie konturu po okresie 14 dni w środkowej części wyrobiska dla stacji pomiarowych 1 i 2 wyniosły odpowiednio 5,0 mm i 4,0 mm, a w przypadku stacji nr 3 – 3,0 mm. Na wszystkich stacjach pomiarowych strefa przy obrysie wyrobiska ($0,6 \div 0,8$ m) uległa największemu rozwarstwieniu.

W oparciu o program Surfer sporządzono izoliny powierzchniowego rozkładu przemieszczeń osrodka skalnego (rys. 9). Podczas wykonywania wykresów przyjęto założenia, iż przemieszczenia pionowe na sąsiednich przyległych rzędach kotew są sobie równe, natomiast na obwodzie wyrobiska są równe zero.

Na rys. 9a przedstawiono charakterystykę przemieszczeń w przekroju podłużnym chodnika w osi centralnej wyrobiska, a na rysunku 9b – w jego przekroju poprzecznym. Na podstawie rysunku 8a, powyżej górnego punktu mocowania kotwy obserwowana jest strefa powstała od przemieszczenia skał w kierunku konturu wyrobiska na odcinku $2,6 \div 3,0$ m. W rzeczywistości w tej strefie pojawiają się rozwarstwienia, które przy rozwoju deformacji mogą doprowadzić do odspojenia zakotwionej części od skał zalegających wyżej. Odcinek skał na głębokości $1,0 \div 2,3$ m przemieszcza się bez rozwarstwienia.



Rys. 8. Wykresy przemieszczeń reperów głębinyowych na odcinkach eksperymentalnych przez okres 14 dni po wydrążeniu wyrobiska
 Fig. 8. Displacement graphs of deep datum points on the experimental sections for a period of 14 days after excavation has been driven



Rys. 9. Izolinie rozkładu przemieszczeń reperów głębinyowych; a) na stacjach pomiarowych 1-2, b) na stacjach pomiarowych 2-3
 Fig. 9. Isolines of distribution displacements of deep datum points: a) on the measuring stations 1-2, b) on the measuring stations 2-3

nia. Wartość przemieszczeń strefy przykonturowej ($0,45 \div 0,5$ m) wynosi 3 mm, w odległości 1,0 m od konturu wyrobiska – 2 mm, gdzie obserwujemy wystąpienie rozwarstwień. Z rysunku 9b wynika, że pionowe przemieszczenia zarówno w głębi górotworu, jak i na konturze są maksymalne w środkowej części wyrobiska. Niebezpieczną strefą z uwagi na występujące rozwarstwienia jest strefa środkowa w odległości 1,2 m od osi wyrobiska.

3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że w ciągu 14 dni od wydrążenia wyrobiska, w górotworze skalnym zaczynają pojawiać się deformacje, które później mogą doprowadzić do obwałów stropu pomiędzy kotwami oraz powyżej skotwionego pakietu skał.

Cechą charakterystyczną powstania strefy spękań wokół wyrobiska górniczego wzmocnionego obudową kotwową jest to, że zakotwiony strop przemieszcza się bez znacznych rozwarstwień na głębokości $1,0 \div 2,3$ m, a odcinek stropu na głębokości między $0,5 \div 1,0$ m odpaja się od wyżej leżącej części. Skały wokół wyrobiska górniczego, zabezpieczone obudową kotwową, podlegają deformacjom rozciągającym i ściskającym.

Otrzymane wyniki można wytłumaczyć powstaniem wokół wyrobiska strefy deformacji, wskutek sprężysto-plastycznego przemieszczenia skał podczas drażenia wyrobiska i redystrybucji naprężeń wokół wyrobiska, co prowadzi do rozwoju frontu deformacyjnego od konturu wyrobiska i dalej w głąb górotworu. Po zainstalowaniu obudowy kotwowej zjawiska te nie znikają, lecz trwają do momentu rozpoczęcia współpracy obudowy kotwowej ze wzmacnianymi warstwami górotworu, które tworzą strefę wzmocnioną.

Przy odpowiednio dobranych parametrach kotwienia, utworzona strefa ma wyższe cechy wytrzymałościowe niż

otaczający górotwór, co sprzyja zachowaniu jego stateczności. Jednak należy zwrócić uwagę, iż od tego momentu skały w bezpośrednim sąsiedztwie konturu mogą być zniszczone i ulegają przemieszczeniom. Obwały skał stropu są szczególnie niebezpieczne w wyrobiskach, gdzie obudowa kotwowa jest stosowana jako samodzielna.

Literatura

- DOLINAR D.R. 2000 - Trends in Roof Bolt Application / D.R. Dolinar, S.K. Bhatt / Proceedings, New Technology for Coal Mine Roof Support. (NIOSH) Publication No. 2000-151 : IC 9453. pp. 43-52.
- HOU C.H., GUO L.S., GUO P.F. 1998 - Bolt support in coal roadway. Beijing: China University of Mining and Technology Press.
- KORZENIOWSKI W., HERZY Ł., KRAUZE K., RAK Z., SKRZYPKOWSKI K. 2013 - Monitoring górotworu na podstawie analizy pracy sekcji obudowy zmechanizowanej. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- NIEDEBALSKI Z. 2014 - Prognoza utrzymania funkcjonalności wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- ZHANG P., WADE S., ZEGLEN E., PETERSON S., LAWRENCE R., MISHRA M., et al. 2008 - Roof bolting in low seam mining with thick "stack rock" roof under high horizontal stress. Proceedings of the 29th international conference on ground control in mining; Morgantown: West Virginia University. p. 11.
- БУЛАТ А.Ф., ВИНОГРАДОВ В.В. 2002 - Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Днепропетровск - Вильпо, 372 с. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах. – Л.: ВНИМИ. – 1973. – 102 с.
- ЧЕРНЯК И.Л. 1993 - Повышение устойчивости подготовительных выработок. Издательство Недр – 256 с.

Artykuł wpłynął do redakcji – listopad 2016
Artykuł akceptowano do druku 5.03.2017