

Metoda oceny deformacji obudowy wyrobiska korytarzowego

Method for the assessment of ground support deformation in excavation



Prof. dr hab. inż. Tadeusz Majcherczyk^{*)}



Dr inż. Łukasz Bednarek^{*)}

Treść: Zwiększająca się co roku głębokość eksploatacji pokładów węgla kamiennego skutkuje wykonaniem wyrobisk na coraz większych głębokościach, przekraczających często 1000 m. Dlatego istotne jest prowadzenie badań w wyrobiskach na dużych głębokościach, aby możliwe było sformułowanie wniosków na temat zachowania się górotworu i jego współpracy z obudową. Niniejszy artykuł prezentuje identyfikację parametrów i czynników wpływających na stateczność obudowy w wyrobiskach korytarzowych oraz metodykę prognozowania obciążeń i deformacji obudowy wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego. Zaproponowana prognoza obciążenia i deformacji obudowy wykorzystuje zależności dotyczące: głębokości wyrobiska względem głębokości krytycznej oraz jakości górotworu określonej na podstawie różnicy wskaźnika litologii stropu W_L i współczynnika intensywności spękań n .

Abstract: Every year coal seams are exploited at greater depths, thus excavations need to be driven deeper and deeper, often going below 1000 m. Therefore, it is important to conduct the investigations at workings at great depths in order to formulate conclusions about the behavior of the rock mass and its interaction with the ground support. This paper presents the identification of the parameters and factors influencing the stability of ground support in the excavations and a methodology of forecasting the load strains and deformations of ground support in excavations of coal mines. The proposed forecast of the load strain and deformation of support system uses dependencies related to: the depth of the excavation in relation to the critical depth and the quality of the rock mass determined on the basis of the difference of the WL roof lithology index and the n crack intensity factor.

Słowa kluczowe:

stateczność, obciążenie, deformacje

Keywords:

stability, load, deformations

1. Wprowadzenie

Prowadzona od wielu lat eksploatacja pokładów węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym spowodowała stopniowe wyczerpywanie się złożeń z udostępnionych wcześniej poziomów. Średnia głębokość eksploatacji po 1989 roku wzrosła o 210 m i co roku zwiększa się stopniowo o 5 ÷ 8 metrów (Dubiński, Turek 2012). Konieczne zatem staje się udostępnienie i przygotowanie kolejnych partii pokładów węgla, które zlokalizowane są coraz głębiej (Czornik i in. 2011, Majcherczyk i in. 2013).

Zaprojektowanie schematu obudowy wyrobisk korytarzowych położonych na głębokościach przekraczających 1000 m jest dla projektantów wielkim wyzwaniem (Kang 2014, Walentek, Lubosik 2017). Projekt obudowy powinien być

wykonany dla konkretnych warunków geologiczno-górnicych oraz zapewnić stateczność i funkcjonalność wyrobiska w długim okresie czasu jego istnienia (Chudek 1986, Duży 2007, Hoek i in. 1995, Kłęczek 1994, Majcherczyk i in. 2011).

W artykule przedstawiono metodę oceny deformacji obudowy wyrobisk korytarzowych nieobjętych wpływami eksploatacyjnymi, którą można zastosować na etapie projektowania wyrobiska. Rezultaty uzyskane przy zastosowaniu zaproponowanej metody porównano z wynikami z badań kopalnianych w wybranych wyrobiskach korytarzowych.

2. Czynniki wpływające na stateczność wyrobiska korytarzowego

Dla oceny stateczności wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego, podjęto prace badawcze przy użyciu

^{*)} AGH w Krakowie

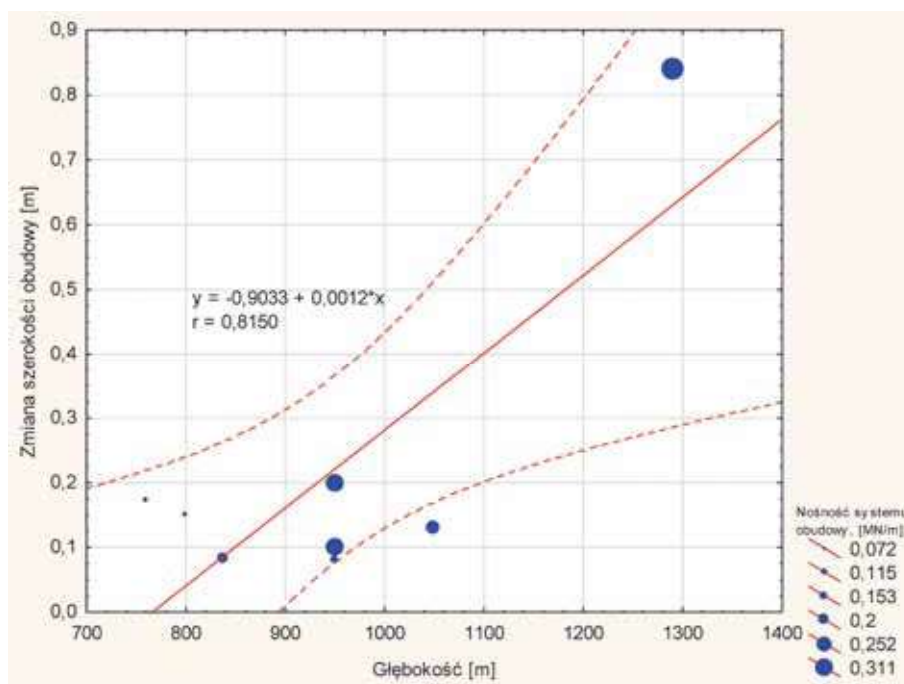
specjalistycznej aparatury pomiarowej. Badania kopalniane prowadzone były w wyrobiskach zlokalizowanych na głębokościach $760 \div 1290$ m, gdzie zabudowane zostały specjalne stacje pomiarowe monitorujące zachowanie się górotworu. Wykonywano pomiary następujących parametrów: obciążenie obudowy łukowej podatnej przy użyciu dynamometrów hydraulicznych, obciążenie obudowy kotwowej przy użyciu kotwy pomiarowej oraz zmiany gabarytów wyrobiska. W celu rozpoznania własności geomechanicznych warstw skalnych, w rejonach wszystkich stanowisk pomiarowych odwiercono otwory rdzeniowe, z których pobrano próbki do badań. W odwierconych otworach przeprowadzono dodatkowo badania penetrometryczne w celu określenia parametrów wytrzymałościowych badanych warstw skalnych, następnie otwory posłużyły do przeprowadzenia badań endoskopowych. Z kolei na próbkach pobranych z rdzeni wiertniczych przeprowadzono szereg badań mających na celu wyznaczenie

właściwości wytrzymałościowych, odkształceniowych i strukturalnych skał znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska (tab. 1).

Istotnym czynnikiem decydującym o stateczności obudowy łukowej podatnej jest jej nośność. Wartość nośności obudowy zależy między innymi od wielkości odrzwi, rodzaju kształtownika oraz stali z jakiej obudowa jest wykonana. Na podstawie pomiarów zmian szerokości odrzwi obudowy oraz nośności systemu obudowy i głębokości wyrobiska sporządzono wykres przedstawiony na rysunku 1. Nośność systemu obudowy przypadająca na 1 m długości i 1 m szerokości wyrobiska została obliczona, uwzględniając rozstaw odrzwi obudowy łukowej podatnej oraz dodatkowe wzmocnienie jakim były w kilku przypadkach kotwy. Z analizy wynika, że mimo stosowania schematów obudowy o wysokiej nośności nie można zapobiec deformacjom odrzwi obudowy zwłaszcza w wyrobiskach zlokalizowanych na dużej głębokości.

Tabela 1. Zestawienie wyników badań w monitorowanych wyrobiskach
Table 1. Summary of research results in the monitored excavations

Wyrobisko	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Głębokość [m]	1290	1050	950	950	950	1075	760	800	838			
Rc stropu [MPa]	pen	38,1	40,5	55,8	27,8	23,3	51,0	54,4	51,2	31,9	44,8	41,3
	lab	67,9	70,2	58,8	52,9	56,2	50,7	62,4	54,9	53,9	45,2	85,3
RQD [%]	6,6	43,7	60	14,6	13,7	85,4	46	27	27,3	84,8	34	
Liczba warstw pakietu stropowego	13	12	3	9	3	6	4	3	6			
Liczba spękań w stropie	36	27	0	7	10	2	19	5	5	0	5	
Maksymalna siła na dynamometrach [kN]	187	222	13	299	120	0	268	233	101	15	146	
Maksymalna siła rozciągająca w kotwi pomiarowej [kN]	277	281	153	150	255	229	75	-	265			
Zmiana szerokości wyrobiska [m]	0,84	0,13	0,08	0,22	0,06	-	0,17	0,15	0,08			



Rys. 1. Wykres zmian szerokości obudowy łukowej podatnej w zależności od głębokości i nośności systemu obudowy (Bednarek 2017)

Fig. 1. Graph of variations in the width of steel arch support depending on the depth and bearing capacity of the support system (Bednarek 2017)

Głębokość lokalizacji wyrobiska nie jest parametrem jednoznacznie wpływającym na obciążenie obudowy łukowej podatnej. Na rysunku 2 zaprezentowano porównanie wskaźnika RQD stropu z maksymalnym obciążeniem obudowy łukowej podatnej. Współczynnik korelacji wynoszący $r = -0,67$ można ocenić za istotny statystycznie. Z przedstawionej zależności można wywnioskować, że wraz ze wzrostem wartości wskaźnika RQD maleje wartość obciążenia obudowy łukowej podatnej. Niska wartość wskaźnika RQD świadczy o kostkowej lub płytowej klasie podzielności masywu oraz intensywnej sieci spękań, która może generować większy nacisk na obudowę zastosowaną w danym wyrobisku. Masyw skalny o klasie podzielności co najmniej blokowej ($RQD \geq 51$ %) może zachowywać się jak podparta na ociosach belka i w mniejszym stopniu oddziaływać swoim ciężarem na obudowę łukową podatną.

3. Kryteria oceny stateczności wyrobiska korytarzowego

Na podstawie przeprowadzonych badań przyjęto, że głównymi czynnikami wpływającymi na stateczność wyrobiska korytarzowego, nieobjętego wpływami eksploatacyjnymi jest głębokość oraz jakość górotworu (Bednarek 2017). Czynniki te nie wpływają w równym stopniu na dany rodzaj obudowy, dlatego do prognozy obciążenia i deformacji schematu obudowy zaproponowano trzy kryteria dotyczące odpowiednio głębokości i zeszcelinowania skał stropowych.

W pierwszym kryterium sprawdza się, czy głębokość, na której zlokalizowano wyrobisko przekracza głębokość krytyczną. Zaleca się obliczanie głębokości krytycznej ze wzoru (1).

$$H_{kr} = \frac{R_{c\ pen}}{K \cdot \gamma} \quad (1)$$

gdzie:

$R_{c\ pen}$ – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie określona penetrometrem, [MPa],

γ – ciężar objętościowy skał, [MN/m³];

K – współczynnik koncentracji naprężeń w górotworze.

Proponuje się, aby wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie warstw stropowych była określana przy pomocy penetrometru otworowego w warunkach kopalnianych. Dodatkowo przyjęto, że współczynnik koncentracji naprężeń $K = 2$, ponieważ odpowiada to założeniu, że górotwór zachowuje właściwości sprężyste, gdy ciśnienie pierwotne nie przekracza 50% wytrzymałości górotworu na jednoosiowe ściskanie. Kryterium jest spełnione, gdy spełniona jest nierówność (2):

$$\frac{H}{H_{kr}} \leq 1 \quad (2)$$

Przy ilorazie głębokości zlokalizowanego wyrobiska do głębokości krytycznej równym co najmniej jedności, wyrobisko zlokalizowane jest na głębokości, na której górotwór może utracić właściwości sprężyste. Powodować może to trudności w utrzymaniu stateczności danego wyrobiska.

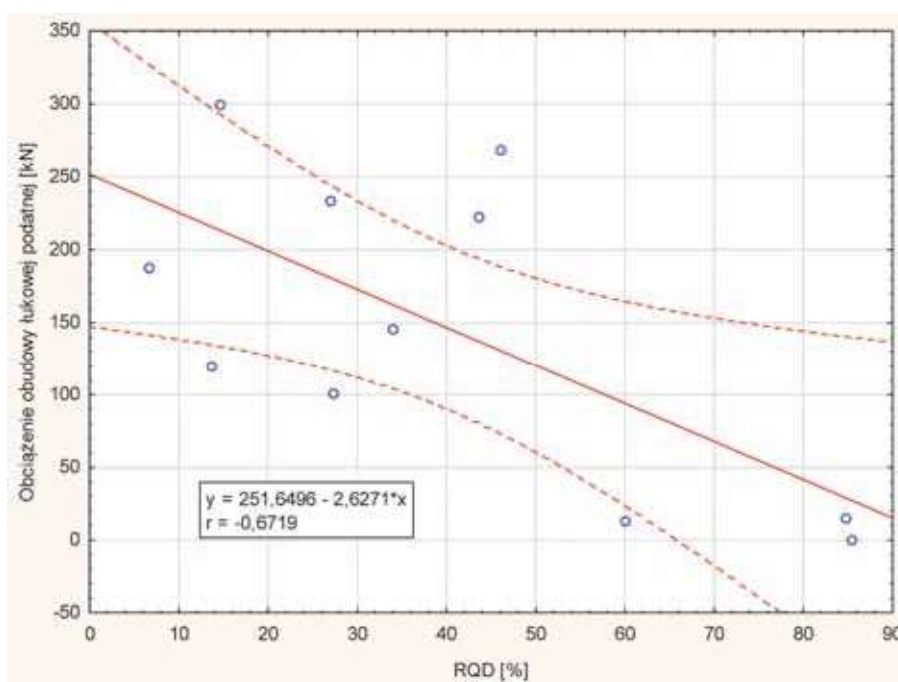
Stosowanie głębokości krytycznej do oceny stateczności wyrobiska jako samodzielne kryterium nie jest wystarczające, dlatego proponuje się drugie kryterium określające jakość górotworu znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska. Dotyczy ono litologii warstw stropowych w najbliższym sąsiedztwie wyrobiska. Przyjęto, że jednym z parametrów określających jakość górotworu jest wskaźnik litologii stropu W_L (3) określany jako suma miąższości poszczególnych warstw skalnych Σh_i przemnożonych przez odpowiedni współczynnik redukcji r_i (zależny od litologii) do całej długości analizowanego rdzenia skalnego pobranego ze stropu wyrobiska:

$$W_L = \frac{\Sigma h_i r_i}{\Sigma h_i} \quad (3)$$

gdzie:

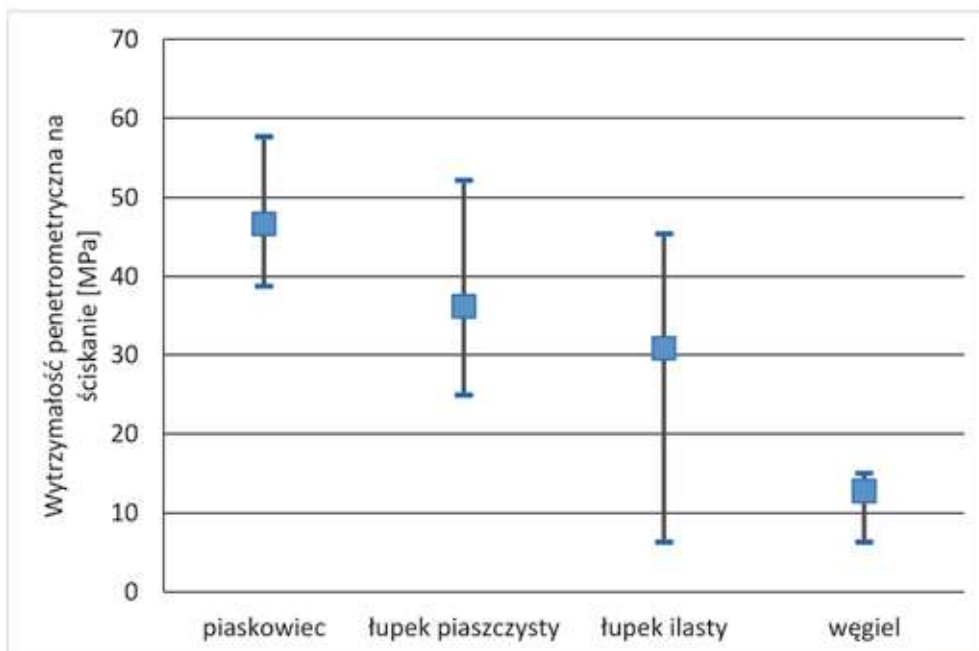
h_i – miąższość i -tej warstwy skalnej, [m];

r_i – współczynnik redukcji dla i -tej warstwy zależny od litologii.



Rys. 2. Zależność pomiędzy obciążeniem obudowy łukowej podatnej a wskaźnikiem RQD (Bednarek 2017)

Fig. 2. The relationship between the load of the steel arch support and the RQD index (Bednarek 2017)



Rys. 3. Średnia wytrzymałość penetrometryczna na ściskanie i przedziały zmienności dla poszczególnych warstw litologicznych (Bednarek 2017)

Fig. 3. Average penetrometric strength for compression and variation intervals for individual lithological layers (Bednarek 2017)

Wartości współczynnika redukcyjnego r dla poszczególnych rodzajów skał wynikają z ich wytrzymałości i podzielności warstwowej, co ma bezpośredni wpływ na możliwość generowania obciążeń statycznych na obudowę podporową wyrobisk. Rozkład zbadanej za pomocą penetrometru otworowego wytrzymałości na ściskanie dla każdego rodzaju skał przedstawiono na rysunku 3. Wartości współczynnika redukcyjnego r (tab. 2) określono jako iloraz wytrzymałości danej warstwy litologicznej do wytrzymałości piaskowca jako warstwy najmocniejszej.

Tabela 2. Wartość współczynnika redukcyjnego dla poszczególnych rodzajów skał

Table 2. Reduction factor value for particular types of rocks

Rodzaj warstwy skalnej	Współczynnik redukcyjny r
piaskowiec	1,00
łupek piaszczysty	0,77
łupek ilasty	0,66
węgiel	0,27

Wskaźnik W_L określa jakość stropu pod względem jego litologii i będzie zawsze posiadał wartość w przedziale $0 \div 1$. Wartość wskaźnika litologii stropu zbliżona do jedynki oznacza, że w stropie wyrobiska dominującą warstwą skalną jest piaskowiec. Jeżeli wskaźnik W_L ma wartość w przedziale $0,3 \div 0,5$ świadczy to o występowaniu w stropie głównie łupku ilastego lub węgla. Otrzymana w ten sposób wartość wskaźnik litologii stropu W_L , w której wagę stanowi miąższość warstw wskazuje, który rodzaj skały w analizowanym stropie jest dominujący.

Kolejnym, trzecim kryterium proponowanym do oceny charakterystyki górotworu przydatnym do projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych jest współczynnik intensywności spękań n (4). Jest to iloraz liczby spękań określonej na podstawie badań endoskopowych do liczby warstw geologicznych wyróżnionych na badanym odcinku:

$$n = \frac{l_s}{l_w} \quad (4)$$

gdzie:

l_s – liczba spękań w stropie,
 l_w – liczba warstw w stropie.

Analiza uwarstwienia stropu powinna odbywać się na podstawie oceny rdzenia wiertniczego otrzymanego z otworu badawczego. Zaleca się, aby długość rdzenia odpowiadała co najmniej podwójnej wysokości wyrobiska lecz nie przekraczała 10 m, tak aby analizie poddany został strop bezpośredni danego wyrobiska. Przyjęto, że ocenę litologii warstw stropowych oraz zagęszczenia powierzchni osłabionej spójności w najbliższym otoczeniu wyrobiska jest określana wzorem (5). Jakość warstw stropowych danego wyrobiska pozwala na zachowanie jego stateczności gdy spełniona jest nierówność:

$$W_L - n > 0 \quad (5)$$

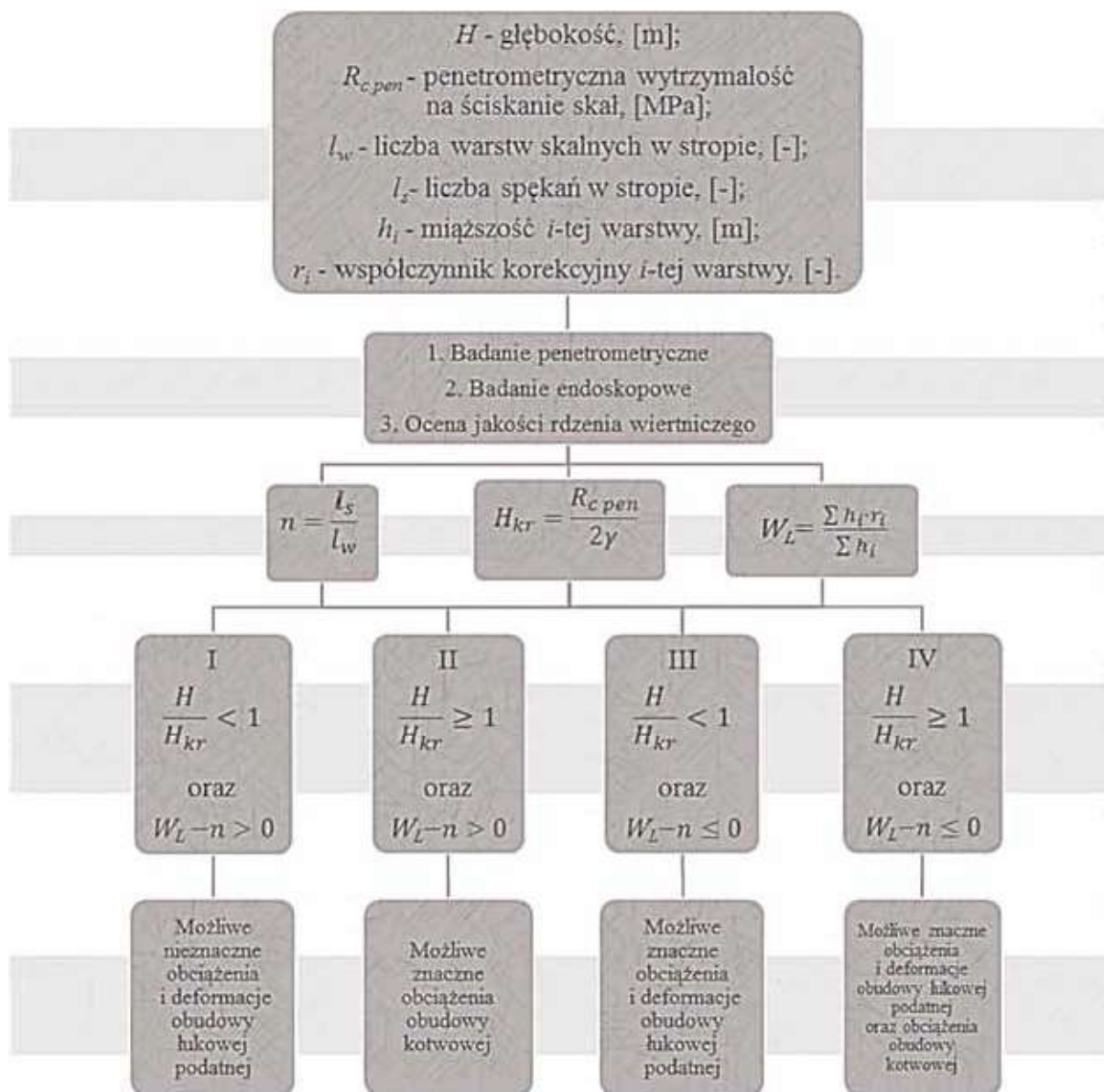
gdzie:

W_L – wskaźnik litologii stropu,
 n – współczynnik intensywności spękań.

Wykorzystując omawiane kryteria opracowano schemat blokowy (rys. 4) postępowania przy prognozowaniu obciążeń i deformacji obudowy wyrobisk korytarzowych.

W celu pozyskania danych wejściowych należy wykonać badania penetrometryczne i endoskopowe w otworze wykonanym w stropie przedmiotowego wyrobiska, a na podstawie otrzymanego rdzenia wiertniczego określić jakość górotworu. Wynikiem przeprowadzonych badań są dane służące do wyznaczenia głębokości krytycznej H_{kr} , współczynnika n oraz wskaźnika W_L .

Po wyznaczeniu potrzebnych parametrów kolejny krok przewiduje sprawdzenie, czy głębokość, na której zlokalizowane jest wyrobisko przekracza wartość głębokości krytycznej. W celu określenia zakresu obciążenia i deformacji zastosowanej obudowy, należy sprawdzić czy wartość wskaźnika



Rys. 4. Schemat blokowy oceny deformacji obudowy wyrobisk korytarzowych niepoddanych wpływom eksploatacyjnym (Bednarek 2017)

Fig. 4. Block diagram for assessment of ground support deformation not affected by exploitation (Bednarek 2017)

litologii stropu W_L pomniejszona o wartość współczynnika intensywności spękań n jest większa od zera. Współczynnik intensywności spękań n określa jakość górotworu w stropie wyrobiska, biorąc pod uwagę ilość spękań oraz gęstość uwarstwienia stropu. Wartość wskaźnika W_L bliska jedności oraz niski współczynnik n zbliżony lub równy zeru spowoduje, że różnica tych parametrów będzie liczbą dodatnią. Sytuacja ta może mieć miejsce, gdy w stropie wyrobiska będą występowały grube warstwy piaskowca o małej intensywności spękań.

Na styku dwóch warstw znajduje się płaszczyzna osłabionej spójności, co przy cienkich warstwach sprzyja intensyfikacji sieci spękań w stropie wyrobiska. Duża liczba cienkich warstw w stropie o niskiej wytrzymałości może powodować dodatkowe obciążenie obudowy związane z rozwarstwieniem się poszczególnych warstw skalnych. W tabeli 3 przedstawiono możliwe warianty prognozy obciążeń i deformacji obudowy wraz z sugerowanymi dodatkowymi wzmocnieniami schematu obudowy.

W zależności od otrzymanych wartości możliwe są cztery warianty obciążenia i deformacji danego rodzaju obudowy w wyrobisku. Wariant I oznacza, że wyrobisko zlokalizowane jest w skałach o wysokiej wytrzymałości, a strop nie posiada gęsto rozwiniętej sieci spękań. Odpowiednim schematem obudowy dla takich warunków byłaby samodzielna obudowa łukowa podatna bez dodatkowych wzmocnień.

W wariantcie II wyrobisko wykonane jest na dużej głębokości w mocnym i niespękanym górotworze. Najbardziej odpowiednim schematem obudowy dla wspomnianych warunków będzie obudowa łukowa podatna wraz z kotwami prętowymi lub strunowymi.

Wariant III oznacza, że wyrobisko wykonane w górotworze o niskiej wytrzymałości z intensywną siecią spękań. W takich warunkach efektywne jest zastosowanie schematu obudowy składającego się z odrzwi obudowy łukowej podatnej ze stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych z kotwami pomiędzy odrzwiami lub przykotwionymi podciągami.

Tabela 3. Propozycja wzmocnień schematu obudowy w zależności od przewidywanego wariantu
Table 3. Suggestion for reinforcement of the ground support system depending on the expected variant

	Wariant			
	I	II	III	IV
$\frac{H}{H_{kr}}$	< 1	≥ 1	< 1	≥ 1
$W_L - n$	> 0	> 0	≤ 0	≤ 0
Dodatkowe wzmocnienia schematu obudowy	brak	kotwy prętowe lub strunowe	obudowa łukowa podatna o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych z kotwami lub z przykotwionymi podciągami	obudowa łukowa podatna o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych z przykotwionymi podciągami za pomocą kotew o podwyższonej nośności

Wariant IV zakłada znaczne obciążenia oraz deformacje obudowy łukowej podatnej jak i duże obciążenia obudowy kotwowej. Jest to możliwe wówczas, gdy wyrobisko znajduje się poniżej głębokości krytycznej w górotworze zbudowanym z cienkich warstw o niskiej wytrzymałości i intensywnej sieci spękań. Utrzymanie stateczności takiego wyrobiska może być trudne, jednakże w celu zachowania jego gabarytów zaleca się zastosowanie obudowy łukowej podatnej ze stali o podwyższonej wytrzymałości z kotwami prętowymi lub strunowymi o podwyższonej nośności.

4. Zastosowanie proponowanej metody

Przedstawioną powyżej metodę zastosowano do oceny obciążeń i deformacji obudowy w dziewięciu wyrobiskach znajdujących się w podobnych warunkach górniczo-geologicznych, ale znajdujących się na różnej głębokości. Wyniki przeprowadzonej prognozy przedstawiono w tabeli 5. Informacje z badań *in situ* pozwoliły na weryfikację metody i ustalenie wariantu schematu obudowy.

Z wykonanej weryfikacji wynika, że tylko w dwóch wyrobiskach tj. nr 3 i 8, zarówno obudowa łukowa podatna, jak i kotwowa nie powinny przenosić znacznych obciążeń pochodzących od skał otaczających (wariant I). W obu wyrobiskach strop zbudowany był generalnie z warstw piaskowca z nielicznymi spękaniami, a głębokość lokalizacji wyrobisk nie przekraczała głębokości krytycznej określonej na podstawie penetrometrycznej wytrzymałości na ściskanie skał stropowych. Wyniki monitoringu wyrobisk potwierdzają słuszność prognozy, bowiem w obu przypadkach obciążenie obudowy łukowej podatnej było niewielkie bądź zerowe, a wartości sił w

kotwi pomiarowej zainstalowanej w wyrobisku nr 3 nie przekraczały 160 kN, czyli około 75% wartości nośności kotwy.

Wyrobisko nr 6 zostało wykonane na głębokości większej niż głębokość krytyczna. Z prognozy wynika, że obudowa łukowa podatna nie powinna być obciążana, natomiast na żerdz kotwy powinny działać znaczne wartości sił osiowych. Ocena zachowania się obudowy w analizowanym wyrobisku dotyczy wariantu II, co ma odzwierciedlenie w wynikach monitoringu. Przez cały okres obserwacji obudowy łukowej podatnej w wyrobisku nr 6 dynamometry zainstalowane pod stopami i w stropie nie zanotowały obciążeń. Natomiast w kotwi pomiarowej rejestrowano wysokie wartości sił osiowych. Największa wartość siły obciążającej kotwę pomiarową wynosiła 229 kN, czyli była zbliżona do nośności pręta kotwy.

W przypadku wyrobiska nr 7 ocena obciążeń i deformacji obudowy przewidywała mniejsze obciążenia w przypadku obudowy kotwowej, natomiast znacznie większe obciążenia na obudowę łukową podatną (wariant III). W przedmiotowym wyrobisku liczba spękań przekraczała znacznie liczbę warstw skalnych stropu zbudowanego w przeważającym stopniu z łupku ilastego. Głębokość krytyczna w tym przypadku nie została przekroczona. Otrzymane rezultaty monitoringu stateczności wyrobiska potwierdzają słuszność prognozy. Obciążenie kotwy pomiarowej w całym okresie monitoringu wyrobiska nie przekraczało wartości 80 kN. Na obu stacjach pomiarowych wyrobiska nr 7, gdzie zabudowano dynamometry, maksymalne obciążenie odrzwi obudowy łukowej podatnej wynosiło 233 i 268 kN.

W pozostałych sześciu wyrobiskach tj. 1, 2, 4, 5, 8, i 9 głębokość wykonanego wyrobiska przekraczała głębokość krytyczną, a wartość wskaźnika litologii stropu W_L pomniejszona o współczynnik intensywności spękań n była mniejsza

Tabela 5. Wyniki prognozy obciążenia i deformacji obudowy wyrobisk korytarzowych
Table 5. Forecasts of loading and deformation of the ground support system

Wyrobisko		1	2	3	4	5	6	7		8		9
Głębokość [m]	lokalizacji	1290	1050	950	950	950	1075	760		800		838
	krytyczna	705	750	1035	516	431	945	1008	948	591	829	764
Wskaźnik litologii stropu, W_L		0,82	0,66	0,97	0,60	0,74	0,98	0,67	0,67	0,96	0,96	0,71
Współczynnik intensywności spękań, n		2,8	2,25	0	0,78	3,33	0,33	4,75	1,25	1,67	0	0,83
Wariant prognozy wzmocnienia		IV	IV	I	IV	IV	II	III	III	IV	I	IV

od zera. Odnotowywane maksymalne wartości obciążenia obudowy łukowej podatnej zbliżone były do wartości 300 kN, jak miało to miejsce w wyrobisku nr 4. Największe wartości sił osiowych rejestrowane w kotwi pomiarowej przekraczały nośność kotwy, powodując nawet częściowe uszkodzenie aparatury pomiarowej, co skutkowało brakiem możliwości pełnego odczytu obciążenia. Powyższe potwierdza słuszność przedstawionej metodyki, na podstawie której dane wyrobiska sklasyfikowano jako przypadek, w którym obudowa łukowa podatna wraz z kotwami będzie silnie obciążana i deformowana (wariant IV).

5. Wnioski

Analiza zaproponowanej metody oraz jej weryfikacja pozwała na sformułowanie następujących wniosków:

1. W wyrobiskach wykonanych na głębokości około 1000 m mimo zastosowania schematów obudowy o podwyższonej nośności w stosunku do wyrobisk położonych na mniejszej głębokości, odnotowane zmiany szerokości wyrobiska przekraczały wartość 0,8 m. Zauważono również duży wpływ wartości wskaźnika RQD na obciążenie obudowy łukowej podatnej. Wraz ze wzrostem wskaźnika RQD , a tym samym wyższej klasie podzielności masywu skalnego, obciążenie obudowy wyrobiska maleje.
2. Dla zastosowania proponowanej metody do oceny deformacji obudowy w danym wyrobisku należy wykonać badania wytrzymałości skał metodą penetrometryczną oraz obserwacje sieci spękań przy pomocy endoskopu. Zaproponowana metoda wykorzystuje dwie zależności dotyczące: głębokości wyrobiska względem głębokości krytycznej oraz jakości górotworu określonej na podstawie różnicy wskaźnika litologii stropu W_L i współczynnika intensywności spękań n .
3. W zależności od otrzymanych wartości możliwe są cztery warianty obciążenia i deformacji danego rodzaju obudowy. Wariant I nie przewiduje znacznych trudności w utrzymaniu stateczności wyrobiska. Z kolei ostatni wariant (IV) zakłada znaczne obciążenia jak i deformacje obudowy kotwowej i łukowej podatnej.
4. Weryfikacja przedstawionej metody na podstawie badań *in situ* dowiodła jej słuszności. Wyrobiska nr 3 i 8, które zakwalifikowano do wariantu I w całym okresie monitoringu zachowywały określone gabaryty i swoją funkcjonalność.

Natomiast wyrobiska nr 1, 2, 4, 5, i 9, którym przypisano wariant IV, wykazywały pewne trudności w utrzymaniu ich stateczności w postaci dużych obciążeń i deformacji zastosowanej obudowy.

Literatura

- BEDNAREK Ł., 2017 - Wpływ dużej głębokości wyrobisk udostępniających w kopalni węgla kamiennego na zachowanie się górotworu i deformacje obudowy (rozprawa doktorska - praca niepublikowana).
- CHUDEK M., 1986 - Obudowa wyrobisk górniczych, część 1. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
- CZORNIK G., ZIOMBER S., STRZELEC G., 2011 - Rozwój bazy zasobowej JSW SA. Materiały XXV Konferencji z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej, Zakopane, s. 43-54.
- DUBIŃSKI J., TUREK M., 2012 - Szanse i zagrożenia rozwoju górnictwa węgla kamiennego w Polsce. „Wiadomości Górnicze” nr 11, s. 626-633.
- DUŻY S., 2007 - Wpływ głębokości lokalizacji wyrobisk górniczych na niezawodność i bezpieczeństwo ich konstrukcji. Warsztaty 2007 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie, s. 183-196.
- HOEK E., KAISER P., BAWDEN W., 1995 - Support of underground excavation in hard rock. Rotterdam.
- KANG H., 2014 - Support technologies for deep and complex roadways in underground coal mines: a review. International Journal of Coal Science & Technology, vol. 1, nr 3, s. 261-277.
- KŁECZEK Z., 1994 - Geomechanika górnicza. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice.
- MAJCHERCZYK T., NIEDBALSKI Z., BEDNAREK Ł., 2011 - Wpływ warunków górniczych na zachowanie się wybranych wyrobisk chodnikowych w długim czasie funkcjonowania. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko Górnicze Zagrożenia Naturalne, s. 221-231.
- MAJCHERCZYK T., NIEDBALSKI Z., BEDNAREK Ł., 2013 - Analiza statystyczna właściwości mechanicznych skał płonnych w otoczeniu pokładów węgla na głębokości 800 - 1300 m. „Przeгляд Górniczy” nr 12, s. 89-97.
- WALENTEK A., LUBOSIK Z., 2017 - Optymalizacja obudowy wyrobisk przyścianowych zlokalizowanych na głębokości większej niż 1000 m. „Przeгляд Górniczy” nr 2, s. 76-84.

Artykuł wpłynął do redakcji – czerwiec 2017
Artykuł akceptowano do druku 10.09.2017