

# Zastosowanie kotwi dla zwiększania rozstawu odrzwi obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych

## Application of anchors for increasing the spacing of timber frame in galleries



*Dr hab. inż. Piotr Małkowski<sup>\*)</sup>  
prof. AGH*



*Prof. dr hab. inż. Tadeusz  
Majcherczyk<sup>\*)</sup>*



*Dr hab. inż. Zbigniew  
Niedbalski<sup>\*)</sup>*

**Treść:** Obudowa stalowa podporowa podatna jest najczęściej stosowanym zabezpieczeniem wyrobisk korytarzowych w polskich kopalniach węgla. Wobec wzrastającej głębokości prowadzonej eksploatacji i związanych z nią ciśnień górotworu musi ona przenosić coraz większe obciążenia. Zmiana typu stali i przekroju kształtownika jest w tym zakresie często niewystarczająca, stąd w projekcie obudowy zmniejsza się rozstaw odrzwi obudowy podporowej. Kolejnym krokiem jest zastosowanie wzmocnień, których podstawowym elementem są często kotwy. Zastosowanie kotew w istotny sposób zmienia jednak zachowanie się górotworu wokół wyrobiska i praktyka pokazuje, że przy wystarczająco wysokich parametrach mechanicznych skał stropowych oraz podzielności blokowej górotworu, można zmniejszyć rozstaw odrzwi obudowy łukowej podatnej. W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania kotew do rozrzedzania łuków obudowy podporowej. Skuteczność działania zaprojektowanych i zastosowanych schematów obudowy podporowo-kotwowej była monitorowana pomiarami dołowymi. Schematy obejmowały przykotwienie łuków stropnicowych oraz kotwienie pomiędzy łukami. W ramach badań prowadzono pomiar konwergencji, rozwarstwień stropu, oraz obciążeń kotew i obciążenia odrzwi. Wyniki pomiarów potwierdzają, że w określonych warunkach górnico-geologicznych przy zastosowaniu kotew istnieje możliwość zwiększenia odległości między odrzwiami obudowy podporowej wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla do 1,2 m lub nawet 1,5 m.

**Abstract:** Steel chock-flexible support is the most commonly applied protection of galleries in Polish coal mines. In the light of the increasing depth of the exploitation and related rock mass pressures, it must carry even more loads. Changing the steel type and cross-section of the shape is often insufficient, hence in the support design, the spacing of the chock support door frame decreases. The next step is the application of reinforcements which are often mainly composed of anchors. However, the application of anchors changes significantly the behaviour of rock mass surrounding the excavation and experience has shown that with sufficiently high mechanical parameters of roof rocks and rock mass block divisibility, it is possible to decrease the spacing of yielding arch support door frame. This paper presents examples of anchor application in stratification of chock support arches. The efficiency of operation of the designed and applied schemes of anchored-chock support was controlled by underground measures. The schemes included anchoring of the roof-bar arches and anchoring between the arches. Within the study, convergence, roof stratification and anchor and door frame loads were measured. The measurements results confirm that in particular mining-geological conditions by the use of anchors, there is a possibility of increasing the distance between door the frame of the galleries' chock support in coal mines even up to 1.2m or 1.5m.

### **Słowa kluczowe:**

*górnictwo, obudowa wyrobisk korytarzowych, monitoring górotworu, stateczność wyrobisk*

### **Key words:**

*mining, support of galleries, rock mass monitoring, stability of excavations*

## **1. Wprowadzenie**

Obudowa stalowa łukowa podatna jest podstawowym typem obudowy stosowanym w wyrobiskach korytarzowych polskich kopalń węgla kamiennego. Powodem tego jest przede

wszystkim sposób deformowania się górotworu karbońskiego, który zwykle sukcesywnie ulega spękanom, napierając z coraz większą siłą na wykonaną obudowę. Podatność obudowy podporowej wyrobisk korytarzowych jest zatem niezbędna dla przeniesienia obciążeń od rozluźnianych skał, które w przypadku braku podatności obudowy, zdeformowałyby i zniszczyły jej sztywną konstrukcję (Majcherczyk i in. 2016).

<sup>\*)</sup> AGH, Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie

Ze względu na coraz większe głębokości i wzrastające tym samym naprężenia pierwotne, zasięg spękań skał wokół wyrobisk się zwiększa, wywołując coraz większe obciążenie obudowy, która często w swoim podstawowym schemacie nie jest w stanie przenieść tych obciążeń lub też zbyt szybko ulega zaciskaniu (Бондаренко i in. 2010, Majcherczyk i in. 2008). Aby temu przeciwdziałać zmienia się typ stali, z której wykonano łuki obudowy na bardziej wytrzymały i mniej odkształcalny, stosuje wykładkę mechaniczną, kształtowniki o większych przekrojach, kotwienie lub też, co jest najczęściej stosowaną praktyką, zagęszcza się rozstaw odrzwi (Majcherczyk i in. 2016, Rak i in. 2016, Wardas i in. 2016). Wszystkie ww. zabiegi powodują wzrost kosztów drążenia wyrobiska nawet dwukrotnie. Doświadczenia w zakresie projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych pokazują, że przy jednoczesnym wzmocnieniu obudowy podporowej obudową kotwową, można postąpić wręcz odwrotnie, czyli zwiększyć rozstaw odrzwi (Majcherczyk i in. 2008, Majcherczyk, Niedbalski 2004). Zastosowanie kotew w istotny sposób wpływa bowiem na zachowanie się górotworu wokół wyrobiska (Бондаренко i in. 2010, Turek i in. 2015). Kotwy mogą służyć do przykotwienia łuków stropnicowych, kotwienia pomiędzy odrzwiami lub kotwienia podciągów stalowych o różnej długości (Бондаренко i in. 2010, Majcherczyk i in. 2006, Majcherczyk i in. 2008, Majcherczyk i in. 2011, Turek i in. 2015). Zwiększenie rozstawu odrzwi obudowy można wykonać, zarówno za pomocą kotew prętowych (Majcherczyk i in. 2012, Turek i in. 2015), jak i strunowych (Małkowski i in. 2009), gdy wytrzymałość skał otaczających jest wysoka i wynosi co najmniej 60 MPa, a górotwór nie jest bardzo uwarstwiony (Małkowski 2014).

W artykule przedstawiono wyniki kopalnianych pomiarów zachowania się wyrobisk korytarzowych wzmocnionych kotwami, w których zwiększono rozstaw odrzwi obudowy łukowej. We wszystkich wyrobiskach jako podstawową zastosowano stalową obudowę łukową podatną typu LP, a jako wzmocnienie – kotwy stalowe lub strunowe. Monitoring stateczności wyrobiska prowadzony był w oparciu o pomiar konwergencji, rozwarstwień stropu, oraz obciążeń kotew i obciążeń obudowy podporowej.

## 2. Przykłady zastosowania kotew w celu zwiększenia rozstawu łuków obudowy podporowej

### 2.1. Pochylnia Izn w pokładzie 358/1 - obudowa podporowo-kotwowa

#### 2.1.1. Warunki górnictwo-geologiczne

Pochylnia Izn znajduje się na głębokości około 900 m. Wydrążono ją w pokładzie o miąższości 2,3 m do 2,9 m. Strop bezpośredni pokładu stanowią łupki ilaste zmiennie zapiaszczone i łupki piaszczyste (rzadko piaskowiec), a zasadniczo-naprzemianległe warstwy łupków ilastych, piaszczystych i piaskowców. Spąg w rejonie pochylni tworzą łupki ilaste i piaszczyste. Wyrobisko nie było poddane wpływowi ciśnień eksploatacyjnych oraz uskoków, a najbliższe wyrobisko równoległe występowało w odległości około 50 m.

Badania własności geomechanicznych skał stropowych pokazały, że wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, zarówno laboratoryjna, jak i penetrometryczna jest wysoka i odpowiednio wynosi:

- dla łupku ilastego:  
 $R_c = 83,65 \text{ MPa}$  i  $R_{cpen} = 42,51 \text{ MPa}$ ;
- dla łupku ilastego zapiaszczonego:  
 $R_c = 62,26 \text{ MPa}$  i  $R_{cpen} = 34,32 \text{ MPa}$ ;
- dla łupku piaszczystego:

$$R_c = 85,25 \text{ MPa} \text{ i } R_{cpen} = 49,73 \text{ MPa};$$

– dla piaskowca:

$$R_c = 90,26 \text{ MPa} \text{ i } R_{cpen} = 55,67 \text{ MPa}.$$

Wskaźnik podzielności rdzenia wiertniczego  $RQD$  dla stropu bezpośredniego wynosił 48,0-68,3%, a skały nie reagowały na działanie wody (wskaźnik rozmakalności wg GIG  $r = 1,0$ ).

#### 2.1.2. Obudowa wyrobiska i zakres monitoringu

Na ok. 200-metrowym odcinku pochylni Izn zastosowano dwa schematy obudowy, każdy na długości około 100 m:

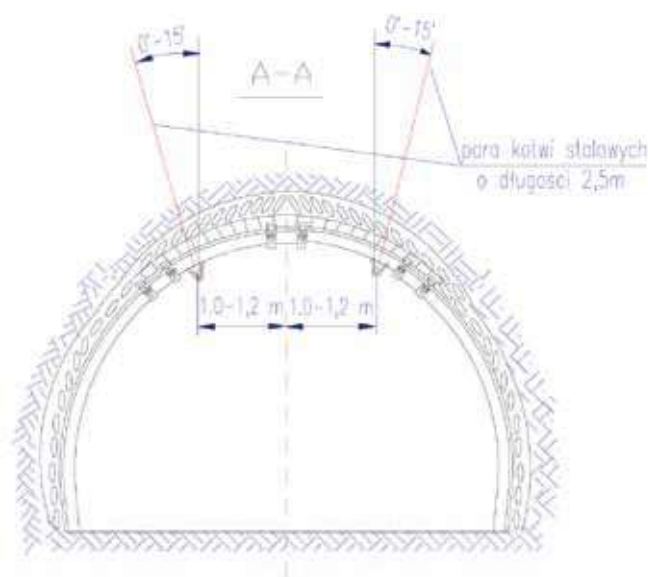
- schemat I – od 25 mb do 125 mb wykonano obudowę V29/9 o rozstawie odrzwi 1,2 m, przy wzmocnieniu stropnicy dwoma parami kotew (przez jarzmo) o długości całkowitej 2,5 m (rys. 1),
- schemat II – od 125 mb do 225 mb wykonano obudowę V29/9 o rozstawie odrzwi 1,5 m, przy wzmocnieniu stropnicy dwoma parami kotew (przez jarzmo) o długości całkowitej 2,5 m.

Kontrola stateczności wyrobiska w pochylni Izn prowadzona była na obu odcinkach pomiarowych, gdzie zgodnie z opisem w schemacie obudowy wyrobiska zmieniał się jedynie rozstaw odrzwi obudowy stalowej, a więc i krok kotwienia, wynosząc 1,2 m oraz 1,5 m. W pochylni Izn prowadzono pomiary konwergencji (od 40 dnia po wydrążeniu), rozwarstwień za pomocą rozwarstwieniomierzy linkowych (od 20-40 dnia po wydrążeniu) i obciążeń za pomocą kotew oprzyrządowanych (od 45 dnia po wydrążeniu) na kilkunastu stanowiskach pomiarowych (Majcherczyk, Niedbalski 2004). W artykule przedstawiono wyniki pomiarów ww. wielkości w czasie do roku po wydrążeniu wyrobiska.

#### 2.1.3. Monitoring wyrobiska

W celu porównania zachowania się skał wokół wyrobiska w pierwszej kolejności przedstawiono wyniki pomiarów konwergencji pionowej i poziomej pochylni Izn.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów można stwierdzić, że na pierwszym badanym odcinku, gdzie rozstaw obudowy wynosił 1,2 m, zmiana wymiarów wyrobiska



Rys. 1. Schemat obudowy w pochylni Izn pokład 358/1 (Majcherczyk i in. 2008)

Fig. 1. Scheme of the chock support in Izn inclined plane, seam no. 358/1 (Majcherczyk et al. 2008)

(konwergencja) była generalnie niewielka i nie przekraczała w przypadku wysokości -90 mm (rys. 2), a w przypadku szerokości -55 mm (rys. 3). Jedynie na 53 m i 65 m wyrobiska zaobserwowano okresowo nieco wyższe zmiany wysokości (do -125 mm). Po okresie ok. 140 dni od zabudowania punktów pomiarowych (reperów), czyli ok. 180 dni od czasu wydrążenia pochylni, na większości stanowisk nastąpiło ustabilizowanie się konwergencji, zarówno pionowej, jak i poziomej.

W przypadku konwergencji poziomej zmiany zachodziły przez cały okres pomiarowy. Były one jednak niewielkie i nie przekraczały -55 mm. W zależności od lokalizacji bazy pomiarowej końcowa konwergencja pozioma wahała się od -3 mm do -53 mm oraz wyniosła +9 mm na 65,2 m, co świadczy o nieznacznym zwiększeniu szerokości pochylni.

Generalnie zmiany wymiarów wyrobiska na pierwszym odcinku pomiarowym, gdzie zastosowano rozstaw odrzwi 1,2 m, były minimalne. Ruch skał stropowych rozpoczął się po ok. 65 dniach od dnia wydrążenia pochylni. Średnia zmiana wysokości i szerokości wyrobiska wynosiła odpowiednio -51 mm i -31 mm, stąd można stwierdzić, że zastosowana w wyrobisku obudowa w pełni zapewniła jego stateczność.

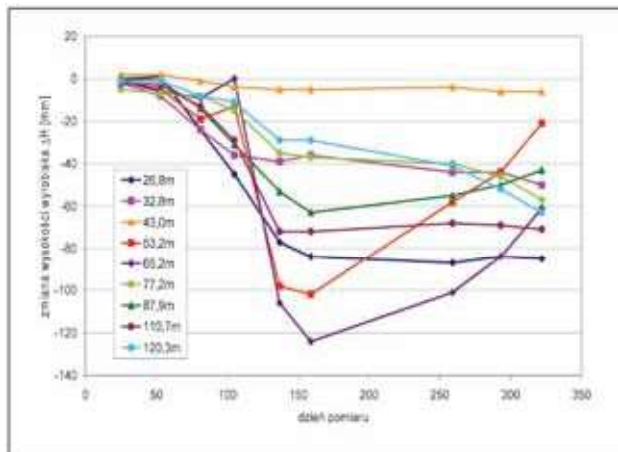
Analizując konwergencję w pochylni Izn na odcinku, gdzie rozstaw obudowy podporowej wynosił 1,5 m (rys. 4 i 5), można stwierdzić, że była ona niewiele większa w porównaniu z poprzednim odcinkiem pomiarowym. Następował jednak na

nim ciągły przyrost zmian. Wysokość wyrobiska na badanym odcinku zmniejszyła się o -37,-116 mm i zmiany te postępowały z prędkością ok. 7÷16 mm / miesiąc. Należy zauważyć, że na bazie pomiarowej nr 1 i 2 (129,8 i 141,8 m wyrobiska), a więc od strony odcinka wyrobiska z rozstawem obudowy 1,2 m, konwergencja po ok. 160 dniach pomiaru nie zmieniała się. Zatem na tym ok. 20-metrowym odcinku wyrobiska nadal był wyraźny efekt większego podparcia stropu przez obudowę.

Konwergencja pozioma wyrobiska zachodziła także przez cały okres pomiarowy, lecz zmiany te były niewielkie i nie przekraczały zwykle -60 mm. Na bazach zlokalizowanych po stronie odcinka pochylni o mniejszym rozstawie obudowy, konwergencja była niższa niż na pozostałym odcinku ponad dwukrotnie.

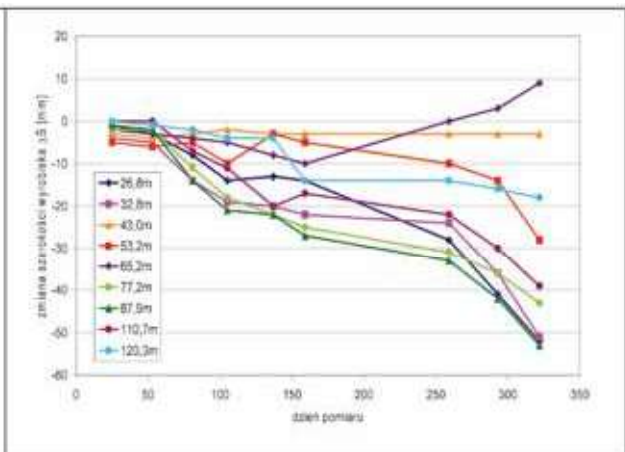
Biorąc pod uwagę, że średnie zmiany wysokości i szerokości wyrobiska na odcinku z rozstawem obudowy 1,5 m wynosiły -81 mm i -48 mm, można stwierdzić, że zastosowany schemat obudowy także w tym przypadku w pełni zapewnił jego stateczność. Należy zwrócić jednak uwagę na ciągły przyrost konwergencji po prawie roku pomiarów i po 400 dniach od czasu wydrążenia wyrobiska.

Zmiany konwergencji mają swoje odzwierciedlenie w wynikach badań rozwarstwień na obu wydzielonych odcinkach badawczych. Wartości rozwarstwień na 4 stanowiskach pomiarowych niskiego (RN o długości 3 m) i wysokiego



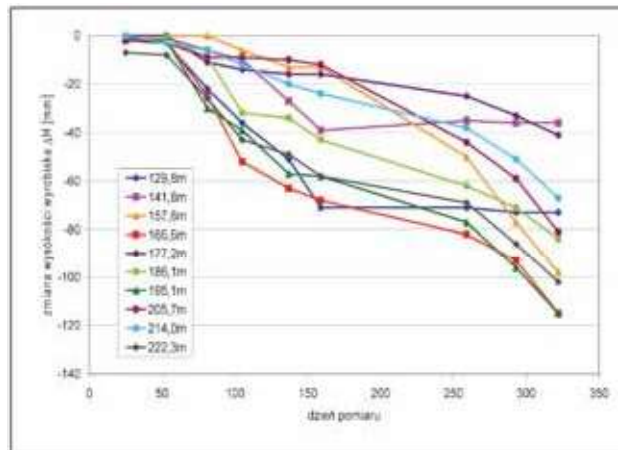
Rys. 2. Zmiany wysokości w pochylni Izn na I odcinku badawczym – rozstaw odrzwi 1,2 m

Fig. 2. Changes of Izn inclined plane height along the 1st exploratory section – timber frame spacing 1.2 m



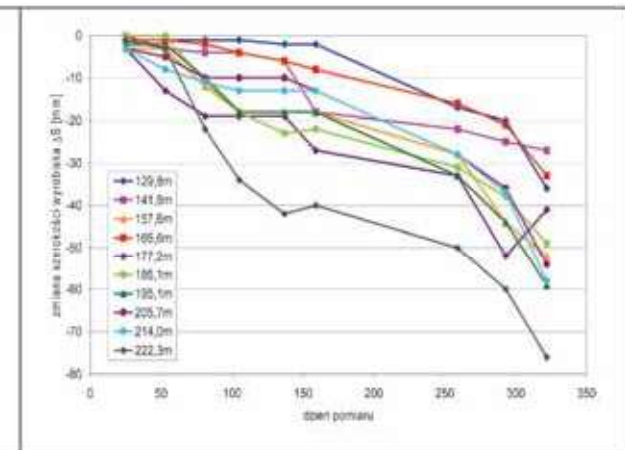
Rys. 3. Zmiany szerokości w pochylni Izn na I odcinku badawczym – rozstaw odrzwi 1,2 m

Fig. 3. Changes of Izn inclined plane width along the 1st exploratory section – timber frame spacing 1.2 m



Rys. 4. Zmiany wysokości w pochylni Izn na II odcinku badawczym – rozstaw odrzwi 1,5 m

Fig. 4. Changes of Izn inclined plane height along the 2nd exploratory section – timber frame spacing 1.5 m



Rys. 5. Zmiany szerokości w pochylni Izn na II odcinku badawczym – rozstaw odrzwi 1,5 m

Fig. 5. Changes of Izn inclined plane width along the 2nd exploratory section – timber frame spacing 1.5 m

rozwarstwienia (RW o długości 5,5 m) wskazały wartości nie większe niż 16 mm (rys. 6). Wykres zmian pokazuje jednoznacznie, że do ok. 100 dni po rozpoczęciu pomiaru rozwarstwienia narastały prawie liniowo, a ich ustabilizowanie się nastąpiło po 130÷200 dniach od rozpoczęcia pomiarów, czyli po ok. 150÷220 dniach po czasie wydrążenia tej części pochylni. Końcowe rozwarstwienia stropu na odcinku 3,0,5,5 m były zwykle o 1÷3 mm większe od rozwarstwień zachodzących w stropie do głębokości 3,0 m. Analizując powyższe, można zatem stwierdzić, że rozwarstwianie się skał stropowych zachodziło praktycznie tylko w stropie bezpośrednim. Największe co do wartości zmiany położenia kotwiczek rozwarstwiomierzy w stropie odnotowano na stanowisku 4 na 105 mb, a więc tym, który znajdował się blisko odcinka pochylni z obudową podporową rozrzedzoną do 1,5 m.

Rozwarstwienia monitorowane na trzech parach rozwarstwiomierzy na odcinku o zwiększonym do 1,5 m rozstawie odrzwi obudowy pokazują, że ich wartość wahała się od 6 mm do 20 mm (rys. 7). Różnice w wartościach były minimalne, co dowodzi, że spękanie i rozwarstwianie się skał zachodziło przede wszystkim w stropie bezpośrednim, na odcinku do 3,0 m powyżej stropu wyrobiska. Choć wartości maksymalne rozwarstwień są nieco większe niż na odcinku pochylni w obudowie o rozstawie 1,2 m, nie stanowią one problemu dla stateczności wyrobiska z obudową o wybranej konstrukcji. Należy także zauważyć, że po prawie 12 miesiącach pomiarów nadal zachodziło nieznaczne odspajanie się skał w stropie pochylni Izn na obu kontrolowanych odcinkach. Największa dynamika zmian położenia warstw stropowych zachodziła przez pierwsze 160 dni pomiaru.

O stateczności wyrobiska świadczą także wartości sił odczytane na tensometrach kotew pomiarowych. Czujniki tensometryczne zamocowane na czterech poziomach: 0,2 m, 0,6 m, 1,2 m i 2,1 m, na odcinku wyrobiska, gdzie rozstaw odrzwi wynosił 1,2 m, po roku pomiaru pokazały maksymalną wartość 33 kN. Wystąpiła ona na długości 1,2 m, wcześniej najwyższe wartości odnotowywano na długości 2,1 m. Tu zatem dochodziło do najbardziej intensywnego rozwarstwiania się skał stropowych. Różne wartości sił osiowych na długości kotwy świadczą o okresowej kompaktacji warstw skalnych.

Dla kotwy zamocowanej na odcinku pochylni Izn z rozstawem odrzwi 1,5 m uzyskano niemal trzykrotnie wyższe wartości sił (rys. 8 i 9). Największe obciążenia wystąpiły na odcinku 0,6 m, a więc bliżej konturu wyrobiska niż na poprzednio monitorowanym odcinku, najmniejsze zaś wartości sił uzyskano na końcu długości kotwy. Największy przyrost sił obciążających kotew nastąpił pomiędzy 82 a 145 dobą,

osiągając ostatecznie po 350 dniach wartość 88 kN. Taki przebieg zmian może świadczyć o ciągłych przemieszczeniach w stropie w bliskim sąsiedztwie wyrobiska i nieznacznych w górnych warstwach stropu bezpośredniego.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że przy odległości pomiędzy odrzwiami 1,2 m kotwy zabudowane w stropie pracowały przy obciążeniu 28% nośności nominalnej, czyli w konkretnych warunkach stropowych pochylni Izn nie były w pełni wykorzystane. Dopiero przy rozstawie odrzwi obudowy 1,5 m pracując przy 73% nośności nominalnej można stwierdzić, że zostały one w pełni wykorzystane dla zapewnienia stateczności wyrobiska. Wynika stąd, że dla warunków górniczo-geologicznych panujących w pochylni Izn dopiero rozstaw odrzwi 1,5 m był optymalny dla wybranego schematu i typu obudowy.

Powyższy przykład pokazuje, że obudowa podporowo-kotwowa może być skutecznie wykorzystana dla zwiększania rozstawu obudowy podporowej, co może przynieść bardzo duże korzyści ekonomiczne z faktu ograniczenia nawet o 1/3 liczby stalowych odrzwi i elementów pomocniczych. Czynnikiem, który w przypadku pochylni Izn decydował o jej stateczności była na pewno także wysoka wytrzymałość skał otaczających.

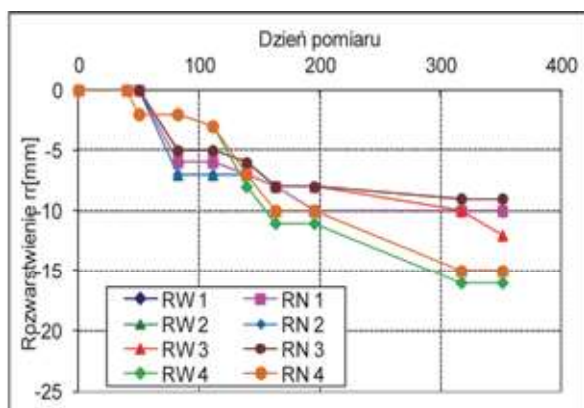
## 2.2. Chodnik łączący Z-3 – obudowa kotwowo-podporowa, kotwienie pomiędzy odrzwiami

### 2.2.1. Warunki górniczo-geologiczne

Chodnik łączący Z-3 prowadzony był w pokładzie 510/2łd o miąższości 1,5÷2,8 m. Strop pokładu 510/2łd w tym rejonie wykształcony jest w postaci 30-metrowej warstwy piaskowca różnoziarnistego. Miejscami w stropie bezpośrednim występuje metrowa warstwa łupku piaszczystego. Powyżej piaskowca występuje warstwa 7,6 m łupku ilastego oraz pokład 510/1 o miąższości około 4,0 m. Powyżej pokładu 510/1 zalega ponownie 60-metrowa ława piaskowca. W spągu pokładu występują łupki piaszczyste miejscami przechodzące w piaskowiec grubo- i średnioziarnisty o sumarycznej miąższości powyżej 40 metrów.

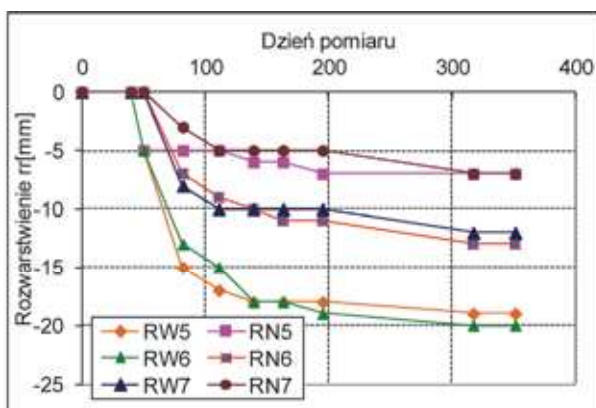
Badania własności geomechanicznych skał stropowych pokazały, że wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, zarówno laboratoryjna, jak i penetrometryczna jest wysoka i odpowiednio wynosi:

- dla piaskowca średnioziarnistego:  
 $R_c = 81,88 \text{ MPa}$  i  $R_{cpen} = 55,51 \text{ MPa}$ ;
- dla piaskowca gruboziarnistego:  
 $R_c = 73,31 \text{ MPa}$  i  $R_{cpen} = 63,80 \text{ MPa}$ .



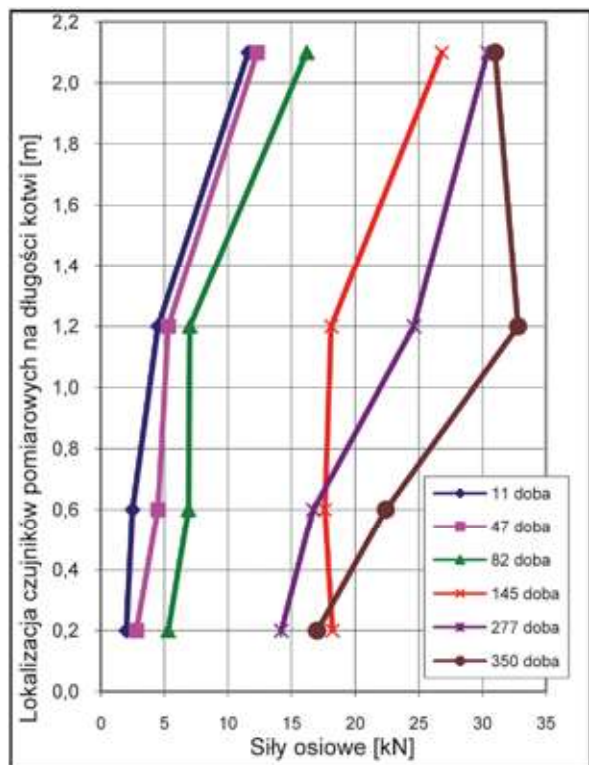
Rys. 6. Rozwarstwienia stropu pochylni Izn na I odcinku badawczym – rozstaw odrzwi 1,2 m

Fig. 6. Inclined plane Izn roof stratification along the 1st exploratory section – timber frame spacing 1.2 m



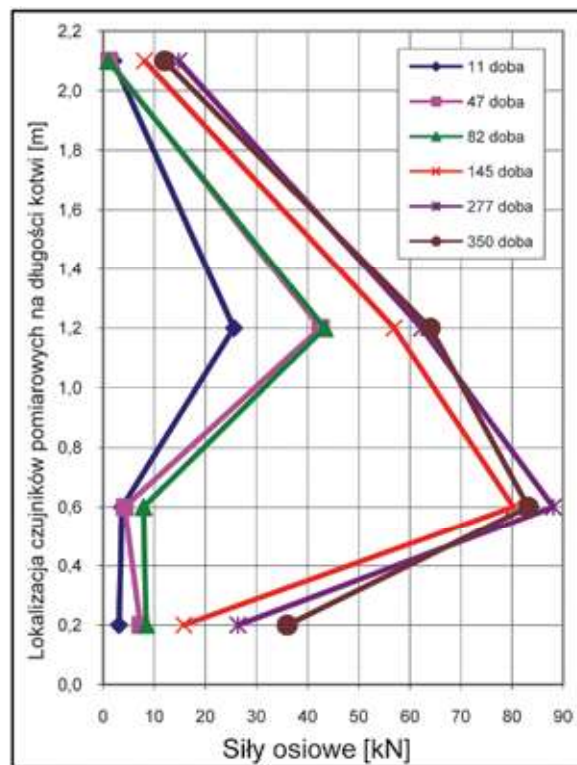
Rys. 7. Rozwarstwienia stropu pochylni Izn na II odcinku badawczym – rozstaw odrzwi 1,5 m

Fig. 7. Inclined plane Izn roof stratification along the 2nd exploratory – timber frame spacing 1.5 m



Rys. 8. Wykresy sił osiowych dla kotwy zainstalowanej w pochylni Izn na odcinku o rozstawie odrzwi 1,2 m

Fig. 8. Diagrams of axial forces for the anchor fixed to the Izn inclined plane along the section of door frame stratification of 1.2 m



Rys. 9. Wykresy sił osiowych dla kotwy zainstalowanej w pochylni Izn na odcinku o rozstawie odrzwi 1,5 m

Fig. 9. Diagrams of axial forces for the anchor fixed to the Izn inclined plane along the section of door frame stratification of 1.5m

Skały były dość słabo odkształcalne o module sprężystości podłużnej równym 12819-14049 MPa i współczynnika Poissona wynoszącym ok. 0,15 (Majcherczyk i in. 2008).

Wskaźnik podzielności rdzenia wiertniczego RQD dla stropu bezpośredniego wynosił 55,8-58,3%, a skały nie reagowały na działanie wody (wskaźnik rozmakalności wg GIG  $r = 1,0$ ).

### 2.2.2. Obudowa wyrobiska i zakres monitoringu

W chodniku łączącym Z3 zastosowano dwa schematy obudowy: na pierwszym 40-metrowym odcinku wykonano obudowę LP9/V36/4 przy rozstawie odrzwi 1,0 m, natomiast na drugim obudowę rozrzedzono do 1,2 m i co drugie odrzwia wzmocniono górotwór w stropie jedną kotwą strunową o długości całkowitej 5,0 m (rys. 10).

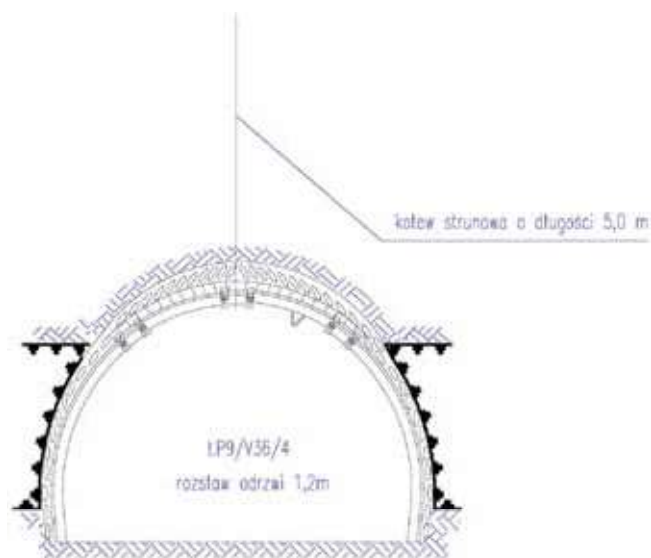
W chodniku łączącym Z3 w pokładzie 510/2 1d prowadzonych było wiele pomiarów, lecz w niniejszym artykule, dla porównania z innymi wyrobiskami, zaprezentowano wyniki pomiarów konwergencji, rozwarstwień, obciążeń kotew oraz obciążeń obudowy podporowej. Przedstawiony czas monitoringu wynosi 500-580 dni.

### 2.2.3. Wyniki monitoringu

Wyniki pomiarów realizowanych na odcinkach pomiarowych wskazują na bardzo stabilną pracę stropu i brak problemów z utrzymaniem stateczności wyrobiska.

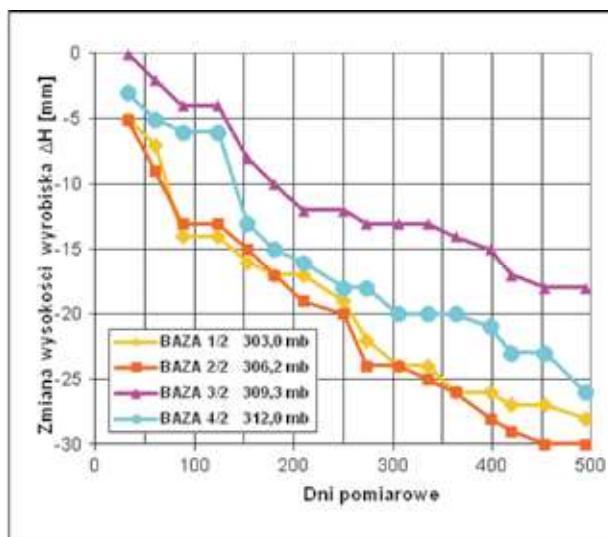
W przypadku konwergencji różnice pomiędzy wartościami maksymalnymi zmian szerokości i wysokości odcinków wyrobiska wzmocnionego kotwami z rozrzedzoną obudową, jak i wykonanego tylko w obudowie podporowej wynosiły ok. 2 cm. Zabudowanie dłuższej 5-metrowej kotwy w stropie pomiędzy odrzwiami ograniczyło konwergencję pionową

chodnika z 30 mm do 20 mm (rys. 11 i 13), zaś poziomą – z 28 mm do 23 mm (rys. 12 i 14). Generalnie w ciągu 500 dni pomiaru średnie zmiany wymiarów wyrobiska wynosiły ok. 20 mm, co z punktu widzenia możliwości utrzymania jego funkcjonalności jest wartością bardzo małą, niemającą praktycznego znaczenia.



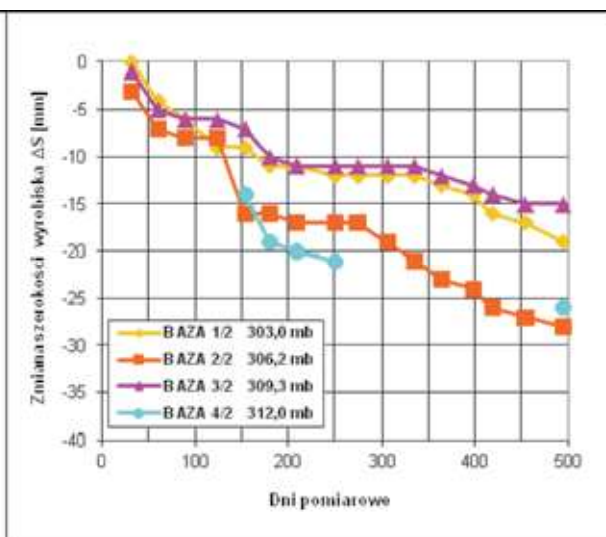
Rys. 10. Schemat obudowy w chodniku łączącym Z3 pokład 510/2 1d (Majcherczyk i in. 2008)

Fig. 10. Scheme of the chock support in the drift connecting Z3, seam no. 510/2 1d (Majcherczyk et al. 2008)



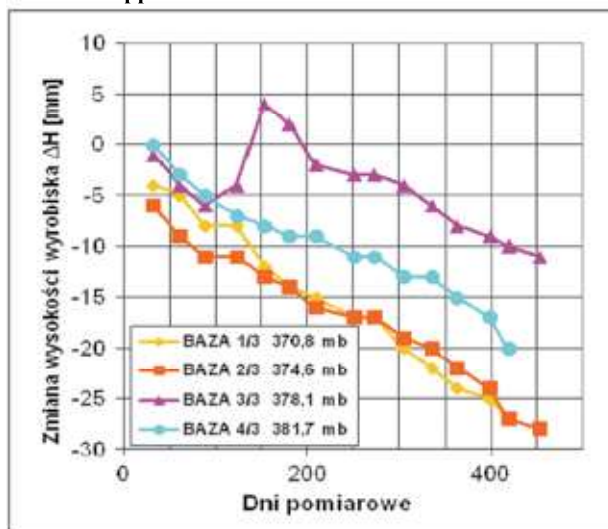
Rys. 11. Zmiana wysokości chodnika łączącego Z3 –obudowa podporowa

Fig. 11. Change of height of drift connecting Z3 – chock support



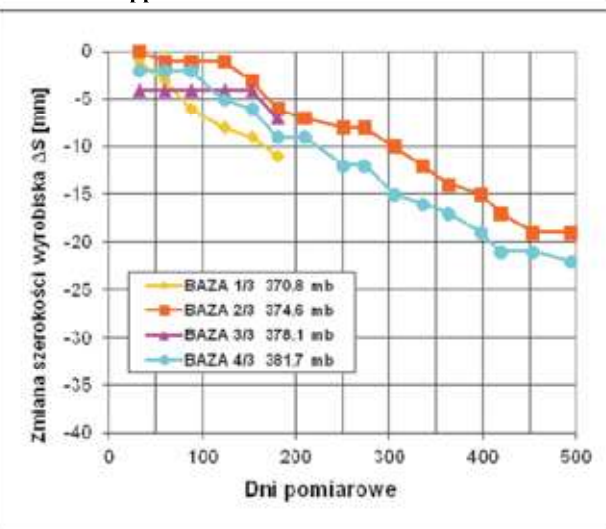
Rys. 12. Zmiana szerokości chodnika łączącego Z3 –obudowa podporowa

Fig. 12. Change of width of drift connecting Z3 – chock support



Rys. 13. Zmiana wysokości chodnika łączącego Z3 –obudowa podporowa i kotwy strunowe

Fig. 13. Change of height of drift connecting Z3 – chock support and string anchors



Rys. 14. Zmiana szerokości chodnika łączącego Z3 –obudowa podporowa i kotwy strunowe

Fig. 14. Change of width of drift connecting Z3 – chock support and string anchors

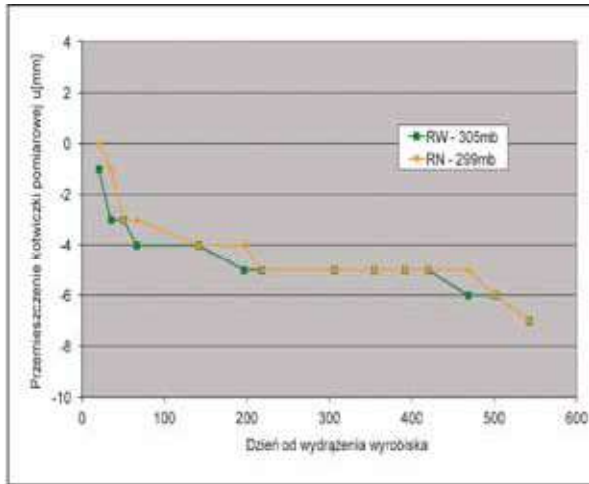
Zabudowane w stropie chodnika rozwarstwiomierze niskie miały długość 3,0 m, a rozwarstwiomierze wysokie 6,0 m. Porównując pomiary przemieszczeń punktów pomiarowych na odcinku bez kotew strunowych oraz na odcinku wzmocnionym kotwami można zauważyć, że ich wartości maksymalne są praktycznie takie same i wynoszą ok. 6÷7 mm (rys. 15-16). O ile jednak na stacji pomiarowej, gdzie nie stosowano kotew, rozwarstwienia zachodziły głównie w stropie wyrobiska do wysokości 3,0 m (rys. 15), to na odcinku wzmocnionym długimi kotwami strunowymi, skotwienie 4,5-metrowego odcinka spowodowało brak przemieszczeń w stropie do wysokości skotwienia (rys. 16). Biorąc pod uwagę prawie 580 dni pomiaru, maksymalne 7-milimetrowe przemieszczenie warstw stropu w kierunku wyrobiska można uznać za nieistotne.

Odmienny charakter pracy stropu pokazują wykresy wykonanych pomiarów obciążeń obudowy, które przeprowadzono na pierwszym monitorowanym odcinku wyrobiska za pomocą kotwy pomiarowej, a na drugim odcinku w obudowie kotwo-

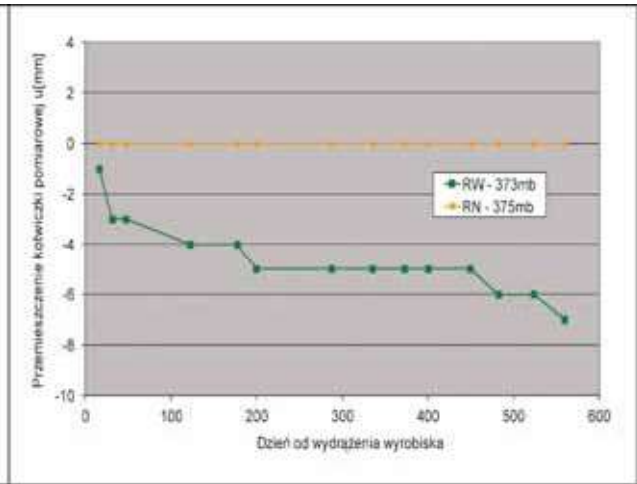
wo-podporowej za pomocą hydraulicznego dynamometru szeregowego.

Dziewięć par tensometrów naklepanych na odcinku kotwy od 0,25 m do 2,4 m do 93 dnia od wykonania wyrobiska i zabudowania stacji pomiarowej pokazywało bardzo małe siły do ok. 20 kN (rys. 17). Rejestrowano zarówno siły ściskające, jak i rozciągające, co pokazuje, że strop bezpośredni wyrobiska na poszczególnych jego odcinkach może ulegać kompaktacji bądź rozwarstwieniom. Po 93 dniach od wydrążenia wyrobiska strop był rozciągany siłami maksymalnie równymi ok. 115÷119 kN, natomiast po 254 dniach warstwy stropowe były głównie ściskane siłami dochodzącymi do -155 kN.

Zabudowanie od kotew strunowych w stropie wyrobiska na drugim odcinku pomiarowym spowodowało, że oddziaływanie warstw stropowych na obudowę podporową wynosiło początkowo tylko ok. 31 kN, a po 500 dniach pomiaru ok. 38 kN (rys. 18). Wynika z tego zatem, że większość obciążenia przejęły kotwy strunowe.



Rys. 15. Przebieg rozwarstwień na odcinku chodnika łączącym Z3 w obudowie podporowej  
Fig. 15. The course of stratification along the section of the drift connecting Z3 in the chock support



Rys. 16. Przebieg rozwarstwień na odcinku chodnika łączącym Z3 w obudowie kotwowo-podporowej  
Fig. 16. The course of stratification along the section of the drift connecting Z3 in the anchored-chock support

Biorąc pod uwagę wskaźnik nośności obudowy podatnej ŁP 10/V29 równy 173 kN/m, oddziaływanie skał stropowych na obudowę było zbyt małe by następował zsuw odrzwi i zaciskanie wyrobiska. W opisanych warunkach górnico-geologicznych, gdzie występowała jednorodność skał stropowych i wysoka ich wytrzymałość, zmiana rozstawu odrzwi obudowy podporowej do 1,2 m bez zabudowania kotew prawdopodobnie także zapewniłaby stateczność chodnika.

### 2.3. Chodnik nadścianowy 2 Z1-Z2 w pokładzie 510/2 łd – kotwienie pomiędzy odrzwiami

#### 2.3.1. Warunki górnico-geologiczne

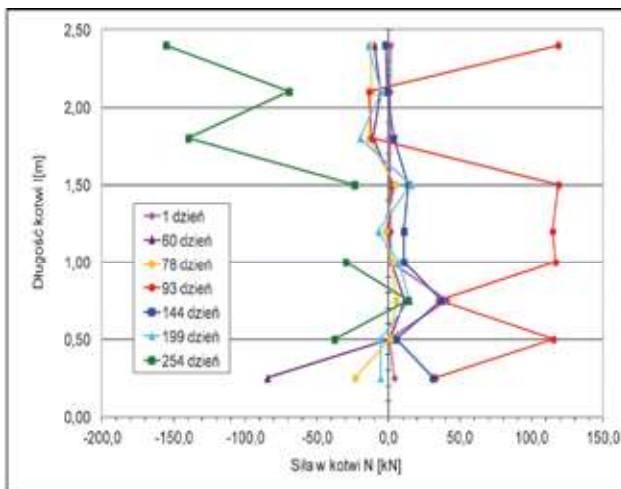
Wyrobisko prowadzone było w pokładzie o miąższości 1,5÷2,2 m i nachyleniu 5÷150. Strop pokładu 510/2 łd stanowi 30÷40 metrowa warstwa piaskowca różnoziarnistego. Miejscami w stropie bezpośrednim występuje warstwa łupku piaszczystego bądź ilastego o miąższości do 0,5 m. Powyżej piaskowca występuje kilkumetrowa warstwa łupku ilastego

oraz pokład 510/1 o miąższości około 4,0 m. Powyżej pokładu 510/1 zalega ponownie gruba warstwa piaskowca. W spągu pokładu występują łupki piaszczyste oraz łupki ilaste.

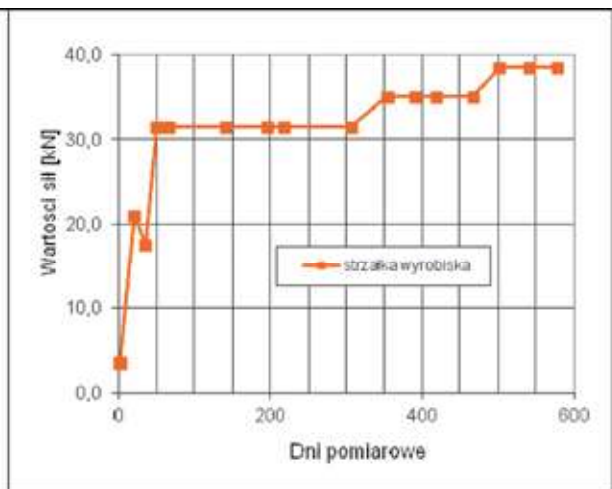
Powyżej analizowanego wyrobiska prowadzona była eksploatacja w pokładzie 510/1 w odległości pionowej około 40 m oraz w pokładzie 505/1-2 w odległości ok. 140 m nad pokładem 510/2 łd. Rejon chodnika nadścianowego 2 Z1, Z2 zaliczono m.in. do I stopnia zagrożenia tąpnięciami.

Badania własności geomechanicznych skał stropowych pokazały, że wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, zarówno laboratoryjna, jak i penetrometryczna jest średnia i odpowiednio wynosi:

- dla łupku ilastego:  
 $R_c = 59,83 \text{ MPa}$  i  $R_{cpen} = 26,63 \text{ MPa}$ ;
- dla piaskowca średnioziarnistego:  
 $R_c = 65,82 \text{ MPa}$  i  $R_{cpen} = 56,82 \text{ MPa}$ ;
- dla piaskowca gruboziarnistego:  
 $R_c = 59,65 \text{ MPa}$  i  $R_{cpen} = 52,28 \text{ MPa}$ .



Rys. 17. Rozkład sił w kotwi oprzyrządowanej – odcinek chodnika łączącego Z-3 w obudowie podporowej  
Fig. 17. Distribution of force in the instrumented anchor – section of the drift connecting Z-3 in the chock support



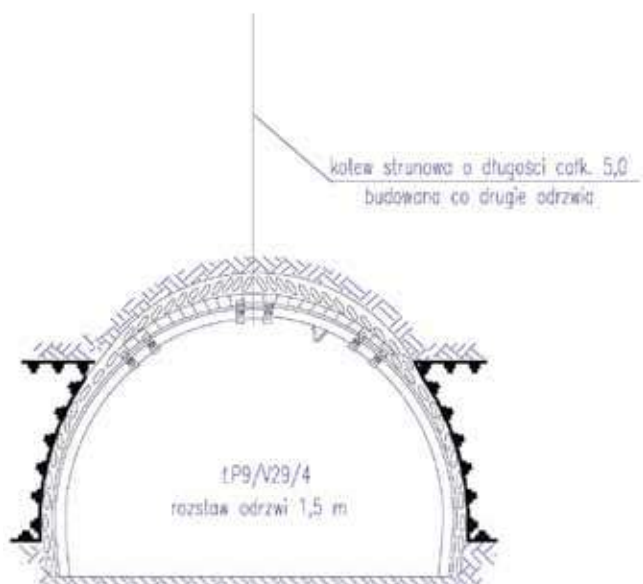
Rys. 18. Rozkład sił w dynamometrze hydraulicznym – odcinek chodnika łączącego Z-3 w obudowie kotwowo-podporowej  
Fig. 18. Distribution of forces in the hydraulic dynamometer – section of the drift connecting Z-3 in the anchor-chock support

Skały były mało odkształcalne, bowiem moduł sprężystości podłużnej dla piaskowców wynosił 15045-15655 MPa, a dla łupku ilastego 9899 MPa.

Wskaźnik podzielności rdzenia wiertniczego RQD dla stropu bezpośredniego wynosił 23,3-44,3%, a skały nie reagowały na działanie wody (wskaźnik rozmałności wg GIG  $r = 1,0$ ). W analizowanym rejonie występowały wstrząsy górnicze (Majcherczyk i in. 2008, Małkowski i in. 2009).

### 2.3.2. Obudowa wyrobiska i zakres monitoringu

W chodniku nadścianowym 2-Z1, Z2 w pokładzie 510/2 łd na dwóch różnych odcinkach wyrobiska o długościach: 52 m i 36 m zastosowano dwa schematy obudowy. Na pierwszym odcinku wykonano obudowę LP9/V29/4 przy rozstawie odrzwi 1,0 m, natomiast na drugim odcinku obudowę rozrzedzono do 1,5 m przy jednoczesnym wzmocnieniu w polu pomiędzy odrzwiami jedną kotwą strunową w stropie o długości całkowitej 5,0 m, co drugie odrzwia obudowy LP (rys. 19). Biorąc pod uwagę możliwe obciążenia dynamiczne, była to kotwa o dość dużej nośności 400 kN.



Rys. 19. Schemat obudowy w chodniku nadścianowym 2-Z1, Z2 pokład 510/2 łd (Majcherczyk i in. 2008)

Fig. 19. Scheme of the chock support in the top gate no. 2-Z1, Z2, seam no. 510/2 łd (Majcherczyk et al. 2008)

W chodniku nadścianowym 2-Z1, Z2 w pokładzie 510/2 łd prowadzono wiele pomiarów, z których do analizy wybrano pomiary konwergencji, rozwarstwień za pomocą rozwarstwieniomierzy i pomiary obciążeń obudowy za pomocą dynamometrów oraz kotew oprzyrządowanych.

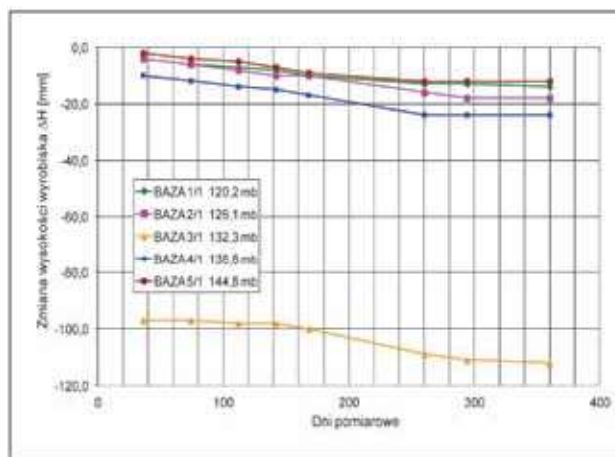
### 2.3.3. Wyniki monitoringu

Pomiar zmian wymiarów wyrobiska prowadzony przez rok wykazał, że pomimo występujących w tym rejonie wstrząsów brak jest istotnych zmian w wymiarach odcinków wyrobiska o różnej obudowie. Konwergencja pionowa wyrobiska na odcinku w obudowie podporowej wynosiła zwykle 12-22 mm (rys. 20), a na odcinku z rozstawem odrzwi 1,5 m i zabudowanymi kotwami strunowymi – 6-58 mm (rys. 22). Konwergencja pozioma wyrobiska na odcinku w obudowie podporowej zawierała się w przedziale 5-13 mm (rys. 21), a na odcinku w obudowie podporowo-kotwowej – 6-35 mm (rys. 23). Choć pomiędzy pierwszym a drugim odcinkiem pomiarowym występują różnice wartości, to są one z punktu widzenia stateczności wyrobiska nieistotne. Ponadto ich przebieg na wszystkich bazach pomiarowych jest bardzo regularny.

Analizując zachodzące w stropie rozwarstwienia warstw skalnych mierzone za pomocą rozwarstwieniomierzy linkowych, można zauważyć, że są one minimalne i wahają się od -2 mm do 2 mm na odcinku wykonanym w obudowie podporowej (rys. 24) oraz od -1 mm do 1 mm na odcinku obudowy podporowej rozrzedzonej do 1,5 m (rys. 25). Wyniki pokazują, że zmiana schematu obudowy w tych warunkach górniczo-geologicznych nie miała znaczenia dla utrzymania jego stateczności. Zwiększenie rozstawu odrzwi obudowy do 1,5 m (wskaźniki RW3 i RN3 – 220 mb) w ciągu prawie 200 dni pomiaru praktycznie nie generowało rozwarstwienia. Uzyskane wartości są tak małe, że trudno jest jednoznacznie wypowiadać się na temat wpływu kotew, natomiast można jednoznacznie stwierdzić, że w danych warunkach geologicznych 1,5-metrowy rozstaw odrzwi nie spowodował zwiększonych rozwarstwień stropu.

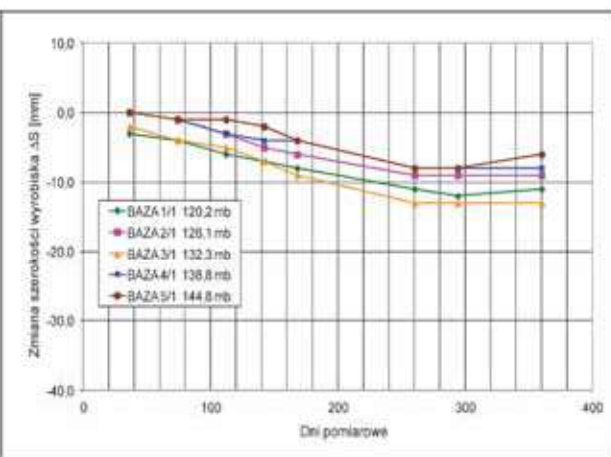
W celu sprawdzenia poziomu obciążeń obudowy przy rozstawie odrzwi 1,5 m wykonano także pomiary za pomocą dynamometrów hydraulicznych i kotew oprzyrządowanych.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów obciążenia obudowy podporowej można stwierdzić, że przy obciążeniach ze strony skał nadległych wynoszących ok. 10÷25 kN pracowała ona maksymalnie przy ok. 15% nominalnej nośności



Rys. 20. Konwergencja pionowa chodnika nadścianowego 2 – odcinek w obudowie podporowej

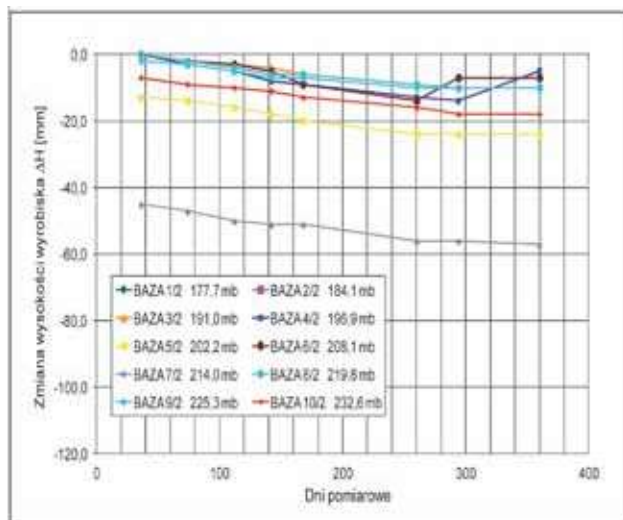
Fig. 20. Vertical convergence of the top gate no. 2 – section in the support



Rys. 21. Konwergencja pozioma chodnika nadścianowego 2 – odcinek w obudowie podporowej

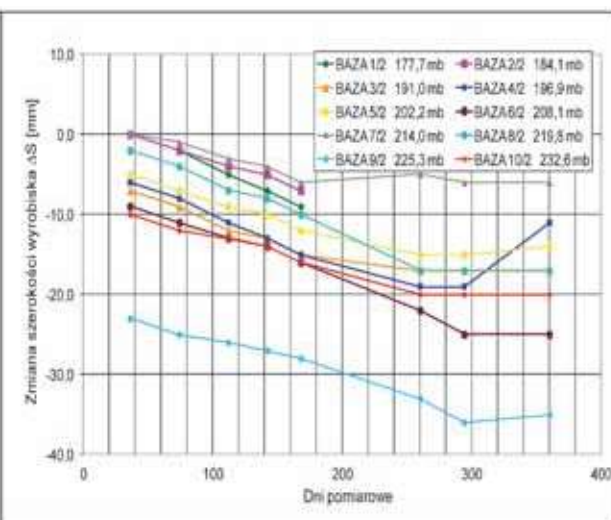
Fig. 21. Horizontal convergence of the top gate no. 2 – section in the chock support





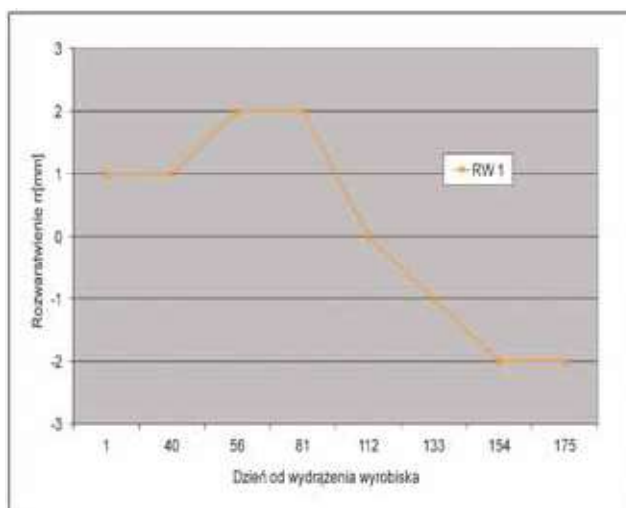
Rys. 22. Konwergencja pionowa chodnika nadścianowego 2 – odcinek w obudowie kotwowo-podporowej

Fig. 22. Vertical convergence of the top gate no. 2 – section in the anchored-chock support



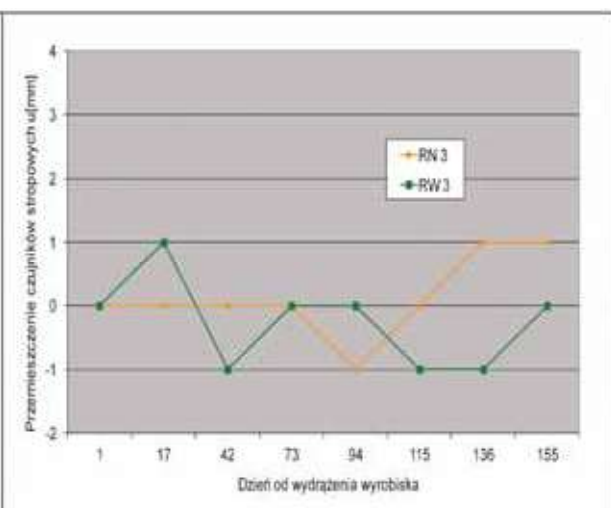
Rys. 23. Konwergencja pozioma chodnika nadścianowego 2 – odcinek w obudowie kotwowo-podporowej

Fig. 23. Horizontal convergence of the top gate no. 2 – section in the anchored-chock support



Rys. 24. Wskazania rozwarstwieniomierza w chodniku nadścianowym 2 Z1,Z2 na odcinku w obudowie podporowej

Fig. 24. Indications of the stratification meter in the top gate no. 2 Z1, Z2 along the section in the chock support



Rys. 25. Wskazania rozwarstwieniomierza w chodniku nadścianowym 2 Z1,Z2 na odcinku w obudowie kotwowo-podporowej

Fig. 25. Indications of the stratification meters in the top gate no. 2 Z1, Z2 along the section in the anchored-chock support

(rys. 26). Charakter pracy całych odrzwi obudowy wskazuje na ich nierównomierne obciążenie, które następowało przede wszystkim od prawej strony. Taki charakter pracy stropu jest typowy dla zalegających w nim mocnych jednorodnych skał lub skotwieniu stropu i wynikających z tego sprężystych deformacji belki stropowej.

Siły w kotwi zabudowanej na odcinku obudowy o rozstawie 1,5 m nie przekraczały 40 kN (rys. 27). Odcinek kotwy na długości 1,0 m był ściskany siłą ok. 40 kN, a na długości 1,8 m – rozciągany zbliżoną siłą, tj. ok. 40 kN. Generalnie, kotwę była rozciągana niewielkimi siłami, co świadczy o znikomych rozwarstwiach stropu. Biorąc pod uwagę wartości obciążenia odrzwi obudowy podporowej, można także stwierdzić, że ciężar skał nad obudową przenosiły głównie kotwy.

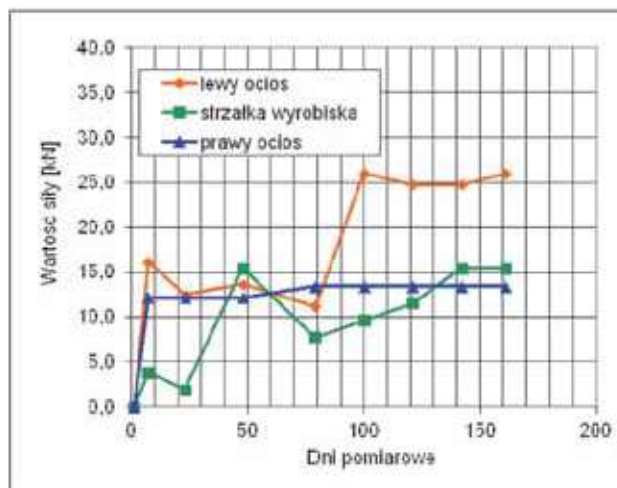
Zastosowane w przedmiotowym chodniku kotwy linowe typu IR-4W miały nośność gwarantowaną 400 kN. Przy zwiększeniu rozstawu odrzwi obudowy podporowej do 1,5

m, obciążenie nie przekraczało 10% wartości nominalnej nośności kotwy.

Prawdopodobnie przyczyną uzyskania niskich wartości mierzonych wielkości była dość jednorodna stropowa warstwa skalna, która deformowała się w niewielkim stopniu, a jej skotwienie pozwoliło na znaczące zwiększenie rozstawu odrzwi obudowy podporowej.

### 3. Podsumowanie

Przedstawione przykłady zastosowania kotew prętowych i strunowych do wzmacniania obudowy podporowej, których praca dobrze została udokumentowana pomiarami kopalnianymi pokazuje, że mogą one doskonale służyć do zwiększenia rozstawu odrzwi obudowy ŁP. Niezależnie od sposobu połączenia obudowy podporowej i kotwowej, tj.:



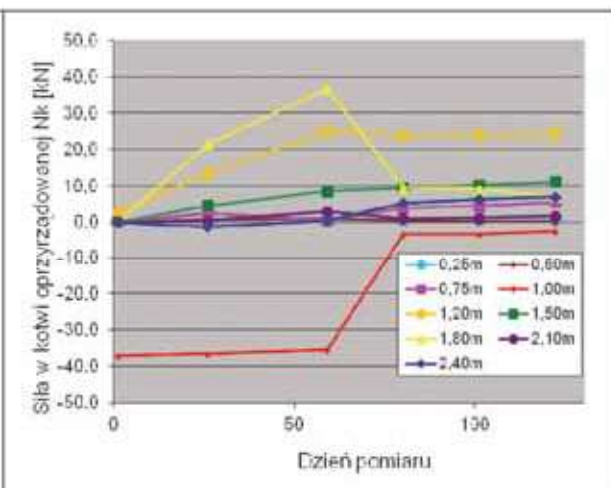
Rys. 26. Obciążenie obudowy podatnej w chodniku nadścianowym 2 Z1,Z2 na odcinku w obudowie kotwowo-podporowej

Fig. 26. The load on the flexible support in the top gate no. 2 Z1, Z2 along the section in the anchored-chock support

odrzwia połączone z kotwami, czy też kotwy i odrzvia pracujące oddzielnie, obudowa mieszana łączy aktywny charakter pracy kotew z pasywną pracą odrzvia obudowy podporowej. W pierwszej kolejności obciążenie spełnionych skał stropowych przejmują kotwy, nawet jeżeli przykotwiony zostaje łuk stropnicowy, a następnie kotwiona belka stropowa opiera się na odrzviach obudowy podporowej, obciążając odrzvia bardziej równomiernie. Należy jednak zauważyć, że podstawowym czynnikiem, który decyduje o małym obciążeniu obudowy w analizowanych przypadkach jest sam górotwór. Skały wokół wszystkich analizowanych wyrobisk miały wysoką laboratoryjną wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, wynoszącą 60÷90 MPa. W przypadku łupków ilastych, wytrzymałość penetrometryczna także była dość wysoka i wynosiła ok. 35÷60 MPa. Wskaźnik  $RQD$  dla stropu bezpośredniego przyjmował wartości 23÷68%, a skały nie reagowały na działanie wody. W warunkach występowania warstw piaskowca o grubości kilkunastu metrów, zarejestrowane ruchy górotworu oraz obciążenia obudowy były niewielkie. Głębokość zalegania wyrobisk we wszystkich przypadkach była zbliżona i wynosiła 760÷900 m, a więc przewyższała obecną średnią głębokość eksploatacji w polskich kopalniach węgla, która wynosi 740 m. Wyrobiska nie były poddane wpływowi krawędzi i uskoków. Powyższe wskazuje, że dobre warunki geologiczne i wysokie parametry geomechaniczne skał są podstawą sukcesu w rozrzedzaniu rozstawu odrzvia przy jednoczesnym wzmocnieniu górotworu kotwami.

Należy także zauważyć, że chodnik nadścianowy 2 (rozdział 2.3), jako wyrobisko przyścianowe, po kilkunastu miesiącach był poddany oddziaływaniu ściany, a przez cały okres jego istnienia występowały tam wstrząsy o energiach dochodzących do 105 J. Nie było jednak żadnych problemów z jego utrzymaniem, również na odcinku ze zwiększoną do 1,5 m odległością pomiędzy odrzvia obudowy podporowej.

Zaprezentowane przykłady powinny być zachętą do wskazywania miejsc o korzystnych warunkach górniczo-geologicznych, w których można podjąć próbę zwiększania rozstawu odrzvia obudowy podporowej, stosując jednocześnie kotwy. Metody doboru obudowy podporowo-kotwowej wyrobisk korytarzowych na coraz większych głębokościach powinny zostać zweryfikowane na podstawie monitoringu,



Rys. 27. Obciążenie kotwy w chodniku nadścianowym 2 Z1,Z2 na odcinku w obudowie kotwowo-podporowej

Fig. 27. The load on the anchor in the top gate no. 2 Z1, Z2 along the section of the anchored-chock support

na przykład za pomocą przedstawionych w artykule technik pomiarowych. Biorąc pod uwagę powszechne stosowanie kotew jako dodatkowego wzmocnienia odrzvia obudowy, można stwierdzić, że w wielu przypadkach drażonych wyrobisk korytarzowych, istnieje możliwość zmniejszenia ilości odrzvia obudowy podporowej, poprzez zwiększenie rozstawu odrzvia, co przyniesie wymierne korzyści ekonomiczne.

*Praca wykonana w ramach prac statutowych, nr umowy w AGH 11.11.100.277*

## Literatura

- БОНДАРЕНКО В.И., ЧЕРЕДНИЧЕНКО Ю.Я., КОВАЛЕВСКАЯ И.А., СИМАНОВИЧ Г.А., ВИВЧАРЕНКО А.В., ФОМИЧЕВ В.В. 2010 – Геомеханика взаимодействия анкерной и рамной крепи горных выработок в единой грузонесущей системе. Лизунов Прес, Днепропетровск, s. 174.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDBALSKI Z. 2006 – Ruchy górotworu i reakcje obudowy w procesie niszczenia skał wokół wyrobisk korytarzowych na podstawie badań „in situ”. Monografia, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDBALSKI Z. 2008 – Badania nowych rozwiązań technologicznych w celu rozrzedzenia obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych. Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDBALSKI Z. 2011 – Stand-and-roof-bolting support: an effective way of roadway reinforcement. Materiały konferencyjne: 22nd World Mining Congress & Expo: 11–16 September 2011, İstanbul, Vol. 1, s. 279–285.
- MAJCHERCZYK T., NIEDBALSKI Z., MAŁKOWSKI P. 2010 – Wzmacnianie obudowy wyrobisk korytarzowych w złożonych warunkach górniczo-geologicznych. „Górnictwo i Geoinżynieria”, R. 34, z. 2, s. 451–462.
- MAJCHERCZYK T., NIEDBALSKI Z. 2004 – Rozrzedzenie obudowy podporowej w świetle wyników badań kopalnianych. „Przełąd Górniczy” nr 10, s. 10–15.
- MAJCHERCZYK T., PRUSEK S., MAŁKOWSKI P., NIEDBALSKI Z., ROTKEGEL M., SZOT Ł. 2016 – Stalowa obudowa podporowa podatna wyrobisk korytarzowych w kopalniach Jastrzębskiej Spółki

- Węglowej SA: stan obecny i kierunki rozwoju. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- MAŁKOWSKI P. 2014 – Wpływ uwarstwienia górotworu na zasięg stref spękań wokół wyrobisk korytarzowych. „Wiadomości Górnicze” nr 5, s. 259–269.
- MAŁKOWSKI P., BORECKI J., SKATUŁA R., CHYLIŃSKI T. 2009 – Skuteczność pracy kotwi strunowych w warunkach aktywności sejsmicznej – analiza przypadku. Prace Naukowe GIG. „Górnictwo i Środowisko”, nr 4/2, s. 224–234.
- RAK Z., STASICA J., RAWICKI Z. 2016 – Wybrane zagadnienia stosowania obudowy kotwowej dla wzmacniania obudowy podporowej w wyrobiskach przygotowawczych. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” nr 2, s. 3–13.
- TUREK M., PRUSEK S., MASNY W. 2015 – Obudowa podporowo-kotwowa w kopalniach węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- WARDAS A., BOBEK R., ŚLEDŹ T., TWARDOKĘS J., RATAJCZAK A., GŁUCH P. 2016 – Sposoby wzmocnienia górotworu dla poprawy stateczności wyrobisk korytarzowych na dużej głębokości w warunkach występowania zagrożeń naturalnych i technicznych w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, nr 94, s. 53–66.

---

---

## NACZELNY REDAKTOR

w zeszycie 1-2/2010 Przeglądu Górniczego, zwrócił się do kadr górniczych z zachętą do publikowania artykułów ukierunkowanych na wywołanie

### POLEMIKI – DYSKUSJI.

Trudnych problemów, które czekają na rzetelną, merytoryczną wymianę poglądów – jest wiele! Od niej – w znaczącej mierze – zależy skuteczność praktyki i nauki górniczej w działaniach na rzecz bezpieczeństwa górniczego oraz postępu technicznego i ekonomicznej efektywności eksploatacji złóż.

**Od naszego wysiłku w poszukiwaniu najlepszych rozwiązań  
– zależy przyszłość polskiego górnictwa!!!**