

Tadeusz Majcherczyk, Zbigniew Niedbalski*, Piotr Małkowski**

WZMACNIANIE OBUDOWY WYROBISK KORYTARZOWYCH W ZŁOŻONYCH WARUNKACH GÓRNICZO-GEOLOGICZNYCH**

1. Wstęp

Zaprojektowanie optymalnej obudowy dla wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego, szczególnie w warunkach występowania wzmożonych ciśnień górotworu jest wyzwaniem stawianym przed kadrą inżynierską oraz producentami. Istniejące rozwiązania technologiczne są cały czas doskonałe, a jednocześnie powstaje wiele nowych rozwiązań w tym zakresie.

Szersze zastosowanie nowych rozwiązań obudowy dla wyrobisk korytarzowych powinno być poprzedzone odpowiednimi badaniami w warunkach naturalnych [7, 9, 10]. Ze względu na prowadzenie wyrobisk górniczych na coraz większych głębokościach pojawiają się przypadki, dla których rozwiązania techniczne obudowy należy rozpatrywać indywidualnie. Wymagają one jednocześnie szerokiego zakresu badań własności geomechanicznych i oceny sytuacji górniczej, która może się zmieniać na kolejnych odcinkach danego wyrobiska wraz z upływem czasu jego utrzymania [5, 11]. Wdrożenie nowego schematu obudowy jest szczególnie trudne ze względu na skomplikowaną budowę górotworu karbońskiego tj. dużą zmienność warstw litologicznych, liczne spękania i zaburzenia geologiczne [6]. Wszystko to sprawia, że badania nad nowymi rozwiązaniami technologicznymi trwają bardzo długo, a więc przez okres kilku, a nawet kilkunastu lat. Projektując i wykonując obudowę w całkowicie nowych warunkach należy mieć pewność, że będzie ona skuteczna i efektywna przez wymagany okres czasu [2, 10, 12].

W artykule przedstawiono analizę pracy wybranych schematów obudowy wyrobisk korytarzowych. Stanowiły ją odrzwia łukowej obudowy podatnej wzmocnione kotwami i podciągami. Prezentowane wyniki badań kopalnianych w zakresie zmian zachodzących wokół

* Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza w Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.100.277/TM

analizowanych wyrobisk, dotyczą przypadków prowadzenia ich na dużych głębokościach i w złożonych warunkach górniczo-geologicznych.

Wyniki badań oraz uzyskane doświadczenia w warunkach *in situ* pozwoliły na zaprojektowanie przekopu w obudowie mieszanej podporowo-kotwowej. Przedmiotowy przekop stanowić ma główne wyrobisko udostępniające na głębokości niemal 1300 m.

2. Sposoby wzmocnień wyrobisk narażonych na duże obciążenia

Przy projektowaniu obudowy wyrobisk korytarzowych, bądź planowaniu ich wzmocnienia szczególną uwagę należy zwrócić na złożone warunki górniczo-geologiczne, do których należy zaliczyć:

- zaleganie wokół wyrobiska skał o małej wytrzymałości na ściskanie (poniżej 20 MPa),
- głębokość eksploatacji większą od 800 m,
- występowanie warstw wodonośnych, obniżających parametry wytrzymałościowe górotworu,
- występowanie silnie warstwowej budowy górotworu z płaszczyznami uławicenia,
- występowanie w pobliżu wyrobiska uskoków oraz innych zaburzeń tektonicznych,
- deformacje górotworu wywołane dokonaną lub prowadzoną w pobliżu eksploatacją.

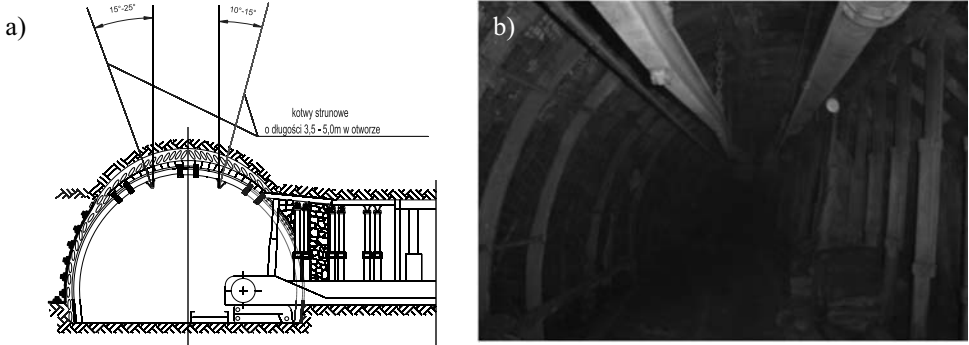
Zastosowanie w takich warunkach typowej obudowy (np. ŁP) nie gwarantuje zachowania wymaganych gabarytów i poziomu bezpieczeństwa w całym okresie jego użytkowania. Nadmierna konwergencja wyrobiska może uniemożliwić poprawne funkcjonowanie wyrobiska, bądź też w skrajnie niekorzystnej sytuacji może dojść do obwałowania skał stropowych lub ociosowych.

Obudowę wyrobisk korytarzowych wykonuje się najczęściej jako obudowę odrzwiową typu ŁP, z rozstawem odrzwi od 0,5 do 1,0 m, wykorzystując kształtownik o profilu V. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że obudowa ta nie zapewnia pełnej stateczności wyrobisk w trudnych warunkach geomechanicznych. Najczęściej obudowę chodnika w zależności od możliwości i potrzeb techniczno-ruchowych wzmacnia się poprzez:

- zabudowę jednego lub większej liczby podciągów stalowych lub drewnianych,
- podparcie stojakami typu Valent lub SV,
- przykotwianie odrzwi obudowy podporowej,
- kotwienie pomiędzy odrzwiami obudowy,
- przykotwianie podciągu z kształtowników V lub KS/KO,
- wzmacnianie mieszane (rys. 1),
- torkretowanie.

Jednym z szeroko stosowanych sposobów wzmacniania obudowy jest wykorzystanie kotwi. Przykotwianie odrzwi obudowy podporowej powoduje nie tylko wzmocnienie górotworu i obniżenie obciążenia działającego na obudowę, ale czyni konstrukcję bardziej stabilną. Do wzmocnienia obudowy podporowej stosuje się różną liczbę kotwi, dostosowaną do panujących warunków. Przykotwianie łuków może być również realizowane poprzez przykotwianie specjalnych podciągów stalowych. Mocuje się je do stropu przy pomocy długich kotew linowych

lub strunowych, co pozwala na zastabilizowanie obudowy podporowej w strefie górotworu, który nie ulega odprężeniu i spękaniu w trakcie eksploatacji wyrobiska.



Rys. 1. Sposób wzmocnienia stropu za pomocą kotew linowych w chodniku przyścianowym utrzymywanym za frontem ściany
a) schemat, b) widok ogólny wyrobiska 250 m za frontem ściany

W chodnikach zagrożonych deformacją obudowy, szczególnie za frontem ściany, często stosuje się wzmocnienie chodnika poprzez zabudowę dwóch podciągów, przykotwianie zarówno łuków stropnicowych, jak i kotwienie pomiędzy łukami oraz zabudowę stojaków typu SV i Valent. Stosowanie tego rozwiązania w wyrobiskach transportowych i odstawczych jest jednak niepraktyczne, ze względu na zmniejszenie użytecznego przekroju wyrobiska.

3. Badania obudowy podporowo-kotwowej

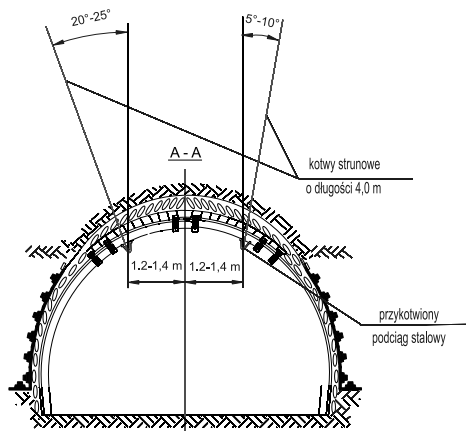
Wyniki badań w warunkach naturalnych przy zastosowaniu wzmocnienia w postaci kotew strunowych, przedstawiono dla dwóch wyrobisk [7]:

- chodnika B-7 występującego na głębokości około 800 m, gdzie obudowę ŁP o rozstawie 0,75 m wzmocniono dwoma przykotwionymi podciągami (rys. 2);
- chodnika Cw-1 badawczego występującego na głębokości około 1100 m, gdzie obudowę ŁP o rozstawie 1,0 m wzmocniono dwoma rzędami kotew strunowych pomiędzy odrzwiami.

Badania kopalniane w przedmiotowych wyrobiskach objęły szereg technik pomiarowych, wśród których znalazły się pomiary: parametrów wytrzymałościowych za pomocą penetrometru, obciążeń obudowy za pomocą dynamometrów oraz kotwi oprzyrzędowanych, rozwarstwień skał stropowych za pomocą ekstensometrów i endoskopu oraz konwergencji.

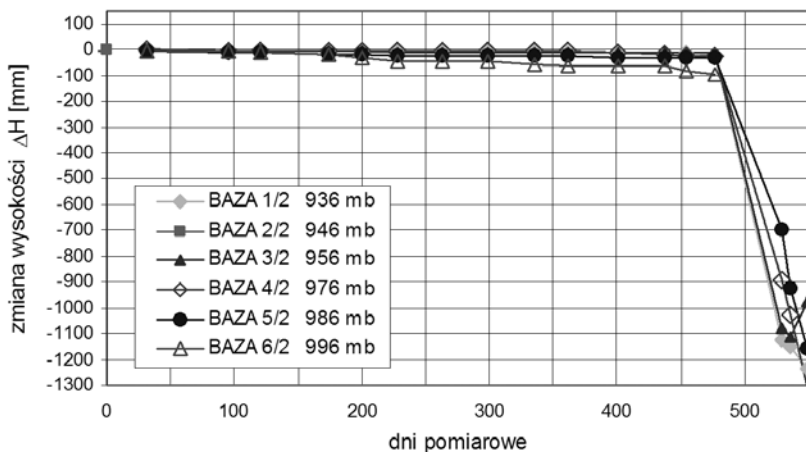
3.1. Chodnik B-7 pokład 403/3

Do ważniejszych czynników charakteryzujących stateczność wyrobiska należy zaliczyć konwergencję [1, 5, 7]. Badania wykazały, że do czasu ujawnienia się wpływów eksploatacji



Rys. 2. Obudowa w chodniku B-7 pokład 403/3

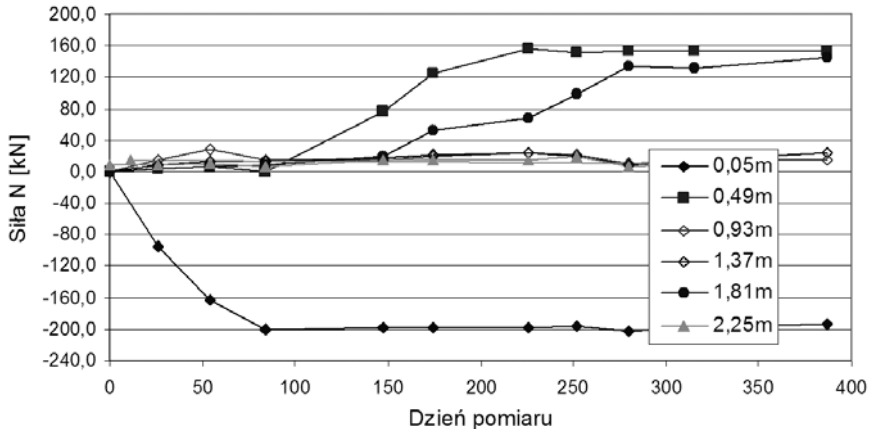
(chodnik przyścianowy) w okresie niemal 1,5 roku zmiana wysokości wyrobiska nie przekraczała kilku centymetrów (rys. 3). Dopiero zbliżenie się frontu eksploatacyjnego spowodowało znaczące zmniejszenie wysokości o około 1,1–1,2 m.



Rys. 3. Zmiana wysokości chodnika B-7

Innym pomiarem opisującym charakter pracy obudowy, szczególnie samodzielnej obudowy kotwowej lub obudowy kotwowo-podporowej, jest pomiar obciążenia za pomocą kotew oprzyrzędowanych, mierzących siły osiowe [5, 7, 9]. Urządzenie to zabudowane na stacji pomiarowej, gdzie stosowano wzmocnienie stropu kotwami linowymi pokazuje, że ściskanie pręta kotwy występowało tylko na odcinku blisko nakrętki (0,05 m), natomiast na pozostałych występowało rozciąganie (rys. 4).

Po ok. 80 dniach nastąpiło ustabilizowanie się sił na początkowym odcinku stropu, które wynosiły ok. –200 kN, natomiast nastąpił wzrost sił na poziomach 0,49 m i 1,81 m do war-

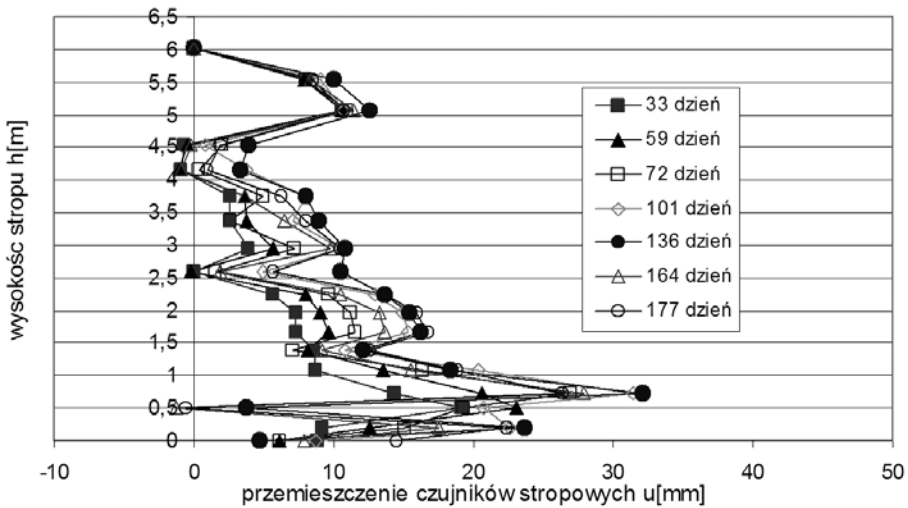


Rys. 4. Obciążenie kotew w chodniku B-7 na odcinku z obudową podporową wzmocnioną dwoma przykotwionymi podciągami stalowymi

tości odpowiednio 143 kN i 157 kN. Na pozostałych poziomach wartości sił rozciągających nie przekraczały 22 kN.

3.2. Chodnik Cw-1 badawczy

W ramach oceny stateczności chodnika Cw-1 badawczego prowadzony był pomiar rozwarstwień skał stropowych za pomocą ekstensometru. Analiza otrzymanych wyników przemieszczeń pokazuje, że rozwarstwienia na poszczególnych poziomach różnią się wartościami i dochodzą maksymalnie do 30 mm w stropie bezpośrednim (rys. 5).



Rys. 5. Przemieszczenie warstw stropu w chodniku Cw-1

Na dalszym odcinku przemieszczenia są nieco mniejsze i nie przekraczają już 20 mm. Strop rozwarstwa się więc najbardziej do głębokości ok. 1,0 m, a wartości przemieszczeń są z reguły dodatnie i w czasie sukcesywnie rosną. Jedynie na poziomach stropu 0,5 m, 2,5 m i 4,5 m następuje nieznaczna kompaktacja warstw skalnych. Wykres wskazuje dodatkowo, że rozwarstwianie się stropu zachodziło bezpośrednio nad pakietem skotwionych skał na wysokości ok. 5,0 m. Struny zabudowanych kotew na odcinku 4,0–4,5 m nie pozwalały praktycznie w ogóle na przemieszczanie się warstw stropowych.

Należy zwrócić uwagę, że już w początkowym okresie, tj. zaraz po wykonaniu wyrobiska, odnotowano znaczne rozwarstwienia skał stropowych, co zostało stwierdzone za pomocą badań endoskopowych (tabela 1). Na początkowych dwóch metrach stropu stwierdzono bardzo duże strefy spękań i rozwarstwień sięgające 184 mm i 83 mm. Zasięg strefy spękań sięgał 4,7 m. Można więc stwierdzić, że przy bardzo dużym zniszczeniu początkowym stropu bezpośredniego, długie kotwy linowe wydatnie ograniczyły dalsze przyrosty degradacji warstw stropowych.

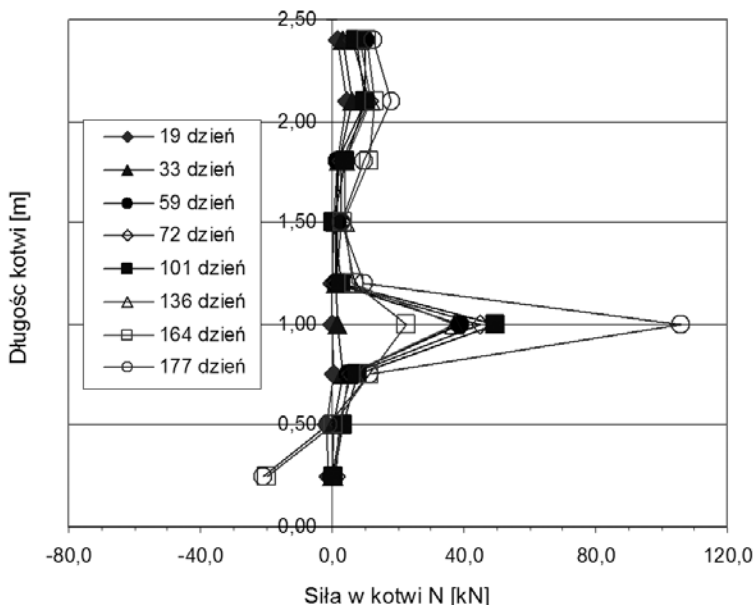
TABELA 1
Wynik badań endoskopowych

Metr bieżący otworu	Ilość spękań	Rozwarstwienie r_r [mm]
1	12	184
2	9	83
3	7	15
4	5	9
5	4	6
6	0	0
7	0	0
suma	37	294
Zasięg strefy spękań f_s [m]		4,7

Analiza obciążenia kotew oprzyrządowanych na odcinku stropu do głębokości 2,5 m pokazuje, że było ono również niewielkie (rys. 6). Obciążenie kotwy przez 177 dni pomiaru było bardzo małe i nie przekraczało 22 kN. Jedynie na wysokości 1,0 m od 59 dnia kontroli wzrastała siła rozciągająca, która w ostatnim dniu pomiaru osiągnęła wartość 114 kN. Pierwsze istotne rozwarstwienie stropu występowało zatem właśnie na tej wysokości. Interesujący jest również fakt, że po 164 dniu pomiaru początkowy odcinek kotwy zaczął być ściskany mniej więcej stałą siłą 22 kN.

4. Możliwość wykorzystania długich kotwi w wyrobiskach korytarzowych na dużych głębokościach

Wykonane badania kopalniane w różnych warunkach górniczo-geologicznych oraz doświadczenia ruchowe potwierdzają, że zastosowanie kotew poprawia stateczność wyrobisk



Rys. 6. Obciążenie kotwy oprzyrządowanej — chodnik Cw-1 badawczy

oraz umożliwia ich bezpieczne użytkowanie w trudnych warunkach oraz w długim okresie czasu. Dlatego też założono zastosowanie tego typu wzmocnienia dla przekopu położonego na głębokości około 1300 m.

Dla określenia stateczności przekopu zdecydowano się zastosować metodę elementów skończonych (MES) korzystając z programu Phase2 [4, 13]. Stan naprężenia określono dla tarczy o jednostkowej grubości wyciętej z górotworu, znajdującej się w płaskim stanie odkształcenia. Model obliczeniowy był modelem sprężysto-plastycznym z osłabieniem [3].

Ze względów ruchowych przyjęto, że zastosowana będzie obudowa podporowo-kotwowa, którą stanowią będą łuki stalowe obudowy typu ŁP11/V32 CORR oraz dwie kotwy strunowe o długości w otworze 4,0 m i dwie kotwy stalowe o długości w otworze 2,7 m. Nośność kotew strunowych przyjęto na poziomie 0,28 MN, natomiast dla kotew stalowych przyjęto nośność 0,12 MN.

Własności fizyczno-mechaniczne warstw skalnych występujących w otoczeniu rozpatrywanego wyrobiska chodnikowego określono na podstawie badań laboratoryjnych oraz dostępnych danych geologicznych. Wzięto pod uwagę wpływ czasu na parametry wytrzymałościowe oraz różnice w parametrach geomechanicznych pomiędzy górotworem a próbką. Do obliczeń przyjęto parametry geomechaniczne wyznaczone dla całego masywu skalnego, które określono na podstawie badań próbek skalnych oraz rdzeni wiertniczych z wykorzystaniem warunku Hoeka–Brown. Wartości parametrów fizyczno-mechanicznych przyjęte do obliczeń umieszczono w tabeli 2.

W modelu obliczeniowym założono, że w przekroju wyrobiska zalega od spągu: 3,5 m łupku ilastego oraz 0,60 m piaskowca. Bezpośrednio w stropie wyrobiska zalega 0,4 m pia-

TABELA 2

Własności warstw skalnych przyjęte do obliczeń numerycznych

Rodzaj skały	Moduł Younga, E [MPa]	Wskaźnik GSI	Współczynnik Poissona, ν	Wytrzymałość na ściskanie, σ_c [MPa]	Stała kryterium Hoeka–Brownna m_b	Stała kryterium Hoeka–Brownna s
węgiel	3500	40	0,30	10,54	1,374	0,0013
łupek ilasty (zapiaszczony)	10000	50	0,26	60,73	1,677	0,0039
łupek piaszczysty	15000	60	0,24	94,00	2,157	0,0117
piaskowiec	17878	65	0,24	71,55	4,298	0,0205

skowca, 2,4 m węgla pokładu 405/2 oraz 7,2 m łupku ilastego. Następnie występuje 7,8 m piaskowca, 6,5 m łupku piaszczystego, 0,7 m łupku ilastego, 2,0 m piaskowca, 0,2 m węgla oraz 2,7 m łupku ilastego. Spąg wyrobiska stanowi łupek ilasty o grubości 5,5 m, pod którym zalega 1,0 m węgla pokładu 406/1. Poniżej występuje łupek ilasty z warstwą węgla pokładu 406/2 o grubości 0,8 m.

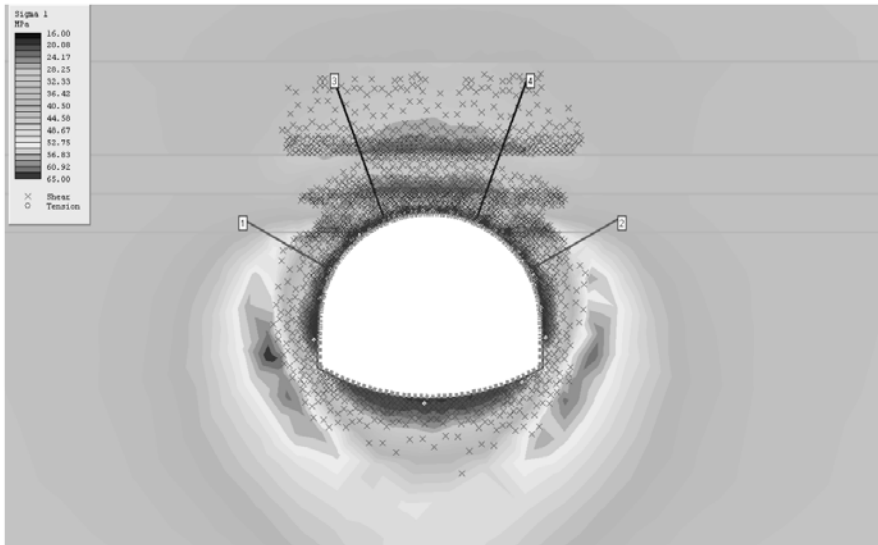
W ramach obliczeń numerycznych przeprowadzono całą serię obliczeń obejmujących różny rozstaw obudowy łukowej podatnej oraz różny rozstaw kotew. Dodatkowo wśród wariantów uwzględniono również obudowę łukową podatną zamkniętą. Poniżej przedstawiono rozwiązanie uznane za najbardziej optymalne, przy jednoczesnym założeniu najbardziej niekorzystnych warunków górniczo-geologicznych. Ostatecznie przyjęto, że przekop zabezpieczony będzie obudową ŁPZ/V32 CORR o rozstawie 0,50 m, przy jednoczesnym wzmocnieniu stropnicy dwoma rzędami podciągów przykotwionych kotwami linowych oraz wzmocnieniu ociosów za pomocą przykotwionych podciągów.

5. Analiza wyników obliczeń

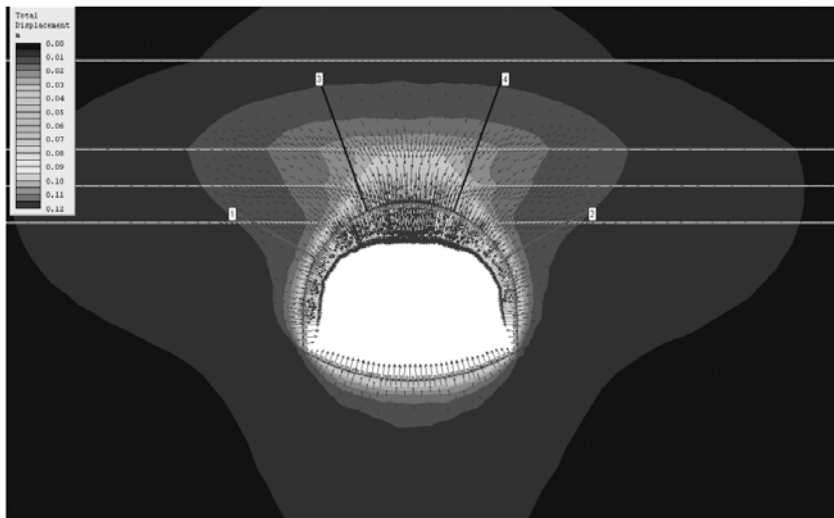
Na rysunku 7 przedstawiono mapę naprężeń głównych s_1 wraz ze strefą potencjalnej strefy spękań. Z mapy wynika, że wielkość strefy w stropie może sięgać do wysokości około 3,8 m nad wyrobiskiem (do warstwy węgla), natomiast w spągu oraz w ociosach do głębokości około 2,0 m. Można więc stwierdzić, że zastosowanie odrzwi zamkniętych ogranicza w sposób istotny strefę spękań w spągu wyrobisk.

W przypadku przemieszczeń wokół przekopu C-1 stwierdzono, że wystąpią one głównie w stropie i mogą osiągnąć wartość około 0,11 m (rys. 8). W spągu oraz ociosach wyrobisk wartość przemieszczeń może osiągnąć około 0,05 m. Wynika z tego, że zastosowanie obudowy zamkniętej wpływa znacząco na ograniczenie przemieszczeń wokół wyrobisk. Należy się jednak spodziewać znacznych obciążeń na połączeniach łuków ociosowych z łukami spagnicowymi, co wymusza bardzo staranne wykonawstwo.

W przypadku obciążenia kotew przy zastosowaniu odrzwi zamkniętych obudowy łukowej podatnej obliczenia wskazują, że wzdłuż kotwy 1 i 2 — na odcinku od 0,0 m do 0,60 m, siła rozciągająca wynosi 0,12 MN, a następnie spada równomiernie do zera na końcu dłu-



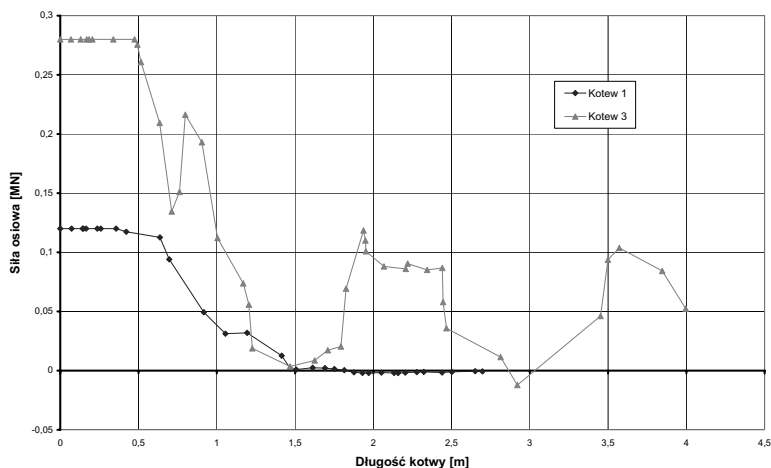
Rys. 7. Mapa naprężeń głównych σ_1 oraz stref potencjalnego zniszczenia dla długotrwałych własności wytrzymałościowo-odkształceniowych — obudowa ŁPZ11/V32 CORR



Rys. 8. Mapa przemieszczeń całkowitych dla długotrwałych własności wytrzymałościowo-odkształceniowych — obudowa ŁPZ11/V32 CORR

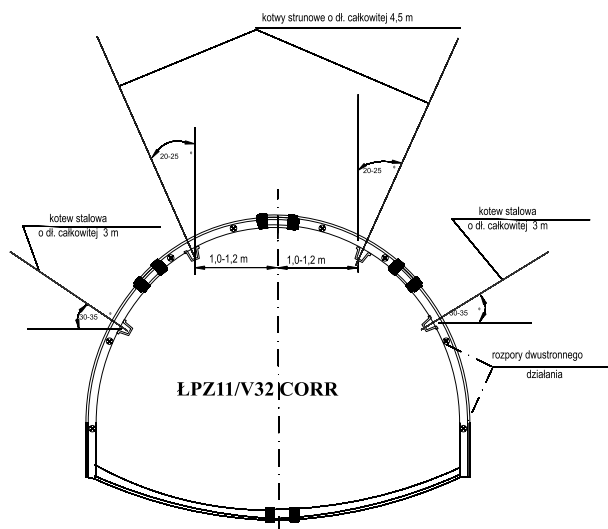
gości kotwy tj. na długości 2,7 m (rys. 9). Wzdłuż kotwy 3 i 4 — na odcinku od 0,0 m do 0,50 m siła rozciągająca wynosi 0,28 MN, w punkcie 1,50 m spada nierównomiernie do zera, a następnie wartość siły waha się w granicach 0–0,12 MN, osiągając wartość 0,05 MN na końcu długości kotwy, tj. na długości 4,0 m.

Można więc stwierdzić, że dla założonych warunków górniczo-geologicznych, zastosowanie obudowy zamkniętej przyczyni się także do zmniejszenia obciążeń kotew tak strunowych, jak i stalowych (prętowych), szczególnie na większych głębokościach strefy skotwionej.



Rys. 9. Wykres sił osiowych w kotwach dla długotrwałych własności wytrzymałościowo-odkształceniowych — obudowa ŁPZ11/V32 CORR

Obliczenia wykazały, że zastosowanie obudowy ŁPZ11/V32 CORR o rozstawie 0,5 m wraz ze wzmocnieniem dwoma kotwami strunowymi oraz dwoma kotwami stalowymi (prętowymi), zapewni stateczność analizowanego przekroju w długim okresie czasu (rys. 10).



Rys. 10. Schemat obudowy dla projektowanego przekroju

Ograniczone zostaną też wypiętrzenia spągu, oraz zasięg strefy spękań w porównaniu z obudową otwartą.

6. Podsumowanie

Dobór obudowy dla wyrobisk korytarzowych to jedno z ważniejszych zagadnień w praktyce górniczej, bowiem w dużej mierze decyduje o bezpieczeństwie załogi oraz ciągłości produkcji. Tym trudniejsze jest zaprojektowanie obudowy w złożonych warunkach geologicznych, takich jak duże obciążenia, czy duża głębokość. Choć w ogólnym zarysie sposób zabezpieczania wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego nie zmienił się znacząco od lat, bowiem nadal stosowana jest głównie obudowa łukowa podatna, to jednak prowadzone są ciągle badania mające na celu doskonalenie każdego z elementów zabezpieczających wyrobiska korytarzowe. Przetestowanie danej konstrukcji, połączone z licznymi badaniami opisującymi charakter pracy takiej obudowy, pozwala z dużą pewnością wskazać na jej przydatność.

W przypadku obudowy podporowej wzmocnionej za pomocą kotew strunowych poprzez podciągi, bądź kotwieniem pomiędzy odrzwiami, stwierdzono, że spełnia ona wymagania pozwalające na stosowanie jej w warunkach wzmoczonych naprężeń, czy to od strony frontu eksploatacyjnego, czy też dużych głębokości. Wzmocnienie warstw stropowych pozwala na ograniczenie powstawania strefy spękań a tym samym zmniejszenie obciążenia obudowy.

Powyższe zalety były powodem, dla których obudowa z wykorzystaniem długich kotwi strunowych, została zaprojektowana dla przekopu na głębokości niemal 1300 m. Wykonana cała seria obliczeń dla różnych schematów obudowy, pozwoliła na stwierdzenie, że w analizowanych warunkach najkorzystniejsze będzie zastosowanie obudowy ŁPZ11/V32 CORR o rozstawie 0,5 m wraz ze wzmocnieniem czterema rzędami przykotwionych podciągów tj.: w stropie kotwami strunowymi, a w ociosach kotwami stalowymi (prętowymi). Zaproponowane rozwiązanie jest bezpieczne i zapewnia stateczność wyrobiska w długim okresie czasu.

LITERATURA

- [1] *Chunlin Li C.*: Stabilization of Highly Stressed Weak and Soft Rocks — Observations, Principles and Practice. Proceedings of 11th Conference of The International Society of Rock Mechanics — Ribeiro e Sousa, Olalla & Grossman eds., Taylor & Francis Group. London 2007, s. 1041–1046
- [2] *Duży S.*: Ocena bezpieczeństwa konstrukcji wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z uwzględnieniem zmienności warunków naturalnych i górniczych. Materiały sympozjum „Warsztaty Górnicze 2005”, Kazimierz Dolny nad Wisłą 20-22.06.2005. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2005, s. 243–256
- [3] *Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A.*: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Śląskie Wydawnictwo techniczne. Katowice 1994, s. 318
- [4] *Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B.*: Hoek-Brown failure criterion — 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, 2002

- [5] *Majcherczyk T., Małkowski P., Niedbalski Z.*: Ruchy górotworu i reakcje obudowy w procesie niszczenia skał wokół wyrobisk korytarzowych na podstawie badań *in situ*. Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH, Kraków 2006, s. 130
- [6] *Majcherczyk T., Szaszenko A., Sdwiżkowa E.*: Podstawy geomechaniki. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków 2006, s. 293
- [7] *Majcherczyk T., Małkowski P., Niedbalski Z.*: Badania nowych rozwiązań technologicznych w celu rozrzedzania obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków 2008, s. 211
- [8] *Nazimko V.V., Alexandrov S.N., Zakharov V.S.*: Prognozowanie zaciskania wyrobisk podziemnych. Budownictwo Górnicze i Tunelowe nr 2, 2001, s. 23–29
- [9] *Piechota S., Korzeniowski W.*: Rozkład siły osiowej wzdłuż kotwi na podstawie badań *in situ*. Przegląd Górniczy nr 12, 2000, s. 22–28
- [10] *Szczepaniak Z., Głuch P., Urbańczyk J., Michatek M.*: Stalowe obudowy odrzwiowe dla warunków deformacyjnego ciśnienia górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo z. 222, 1994, s. 165–178
- [11] *Wang C., Wang Y., Lu S.*: Deformational Behaviour of Roadways in Soft Rocks in Underground Coal Mines and Principles for Stability Control. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, nr 37, 2000, s. 937-946
- [12] *Wichur A., Gruszka R.*: Nowe normy projektowania obudowy długotrwałych podziemnych wyrobisk korytarzowych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, AGH Kraków 2000, s. 595–604
- [13] *Wojtaszek A.*: Ocena obciążeń obudowy wyrobisk górniczych z wykorzystaniem kryteriów Hoeka-Browna i Coulomba-Mohra. Prace Naukowe Politechniki Śląskiej, Konferencje nr 33, 1994, s. 269–280