

Marian MADAJ, Marek WESOŁOWSKI, Wojciech KLIMAS  
Politechnika Śląska, Gliwice

## WPŁYW RODZAJU SPOIWA NA SZEROKOŚĆ TAMY IZOLACYJNO-OPOROWEJ

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono wyniki numerycznych badań modelowych określenia szerokości tam izolacyjnych (oporowych) w zależności od rodzaju stosowanego konstrukcyjnego materiału wiążącego. Tamy oporowe Ti-137 i Ti-138 zostały zaprojektowane w związku z koniecznością likwidacji upadowych Iz i Iw pokładu 338/2 na poz. 700 m. Do badań laboratoryjnych zastosowano popioły lotne dostarczone przez JWSA KWK „Budryk”. Określono receptury materiałów wiążących do wykonania tam, różniące się właściwościami fizykomechanicznymi, uwzględniając ich przygotowanie na powierzchni w instalacji podsadzkowej i hydrauliczny transport siecią istniejących rurociągów podsadzkowych do miejsca wykonania tam upadowych Iz i Iw.

## THE INFLUENCE OF THE KIND OF BUILDING MATERIAL ON WIDTH OF THE DAM

**Summary.** Analysis of numerical calculation results determine the width of the isolating dam depending on kind of applied building material in paper has been presented. Dams Ti-137 and Ti-138 planed in relation with necessity of liquidation of dip-headings Iz and Iw of the layer 332/2 on the level. 700m in hard coal mine BUDRYK. Fly-ashes supply from hard coal mine „Budryk” applied to laboratory tests. Compositions of the building materials defined in laboratory tests has differing proprieties physical and mechanical and take into consideration hydraulically transport over long distance from surface to mining excavations in hard coal mine BUDRYK.

### 1. Wprowadzenie

W związku z koniecznością likwidacji wyrobisk poniżej chodnika podstawowego w pokładzie 338/2 na poziomie 700 m, obejmujących upadowe Iz i Iw wraz z przecinkami łączącymi te upadowe z wykorzystaniem doszczelniającej mieszanki podsadzkowej, zaplanowano zamknięcie tych wyrobisk przez zabudowę dwóch tam izolacyjnych (oporowych) Ti-137 w upadowej Iz oraz Ti-138 w upadowej Iw [7]. Instalacja podsadzkowa w KWK „Budryk”, wyposażona w odpowiednie urządzenia dozujące i kontrolne, pozwala na wytwarzanie mieszanki podsadzkowej o powtarzalnych własnościach fizycznych. Mieszanki podsadzkowe są wykonywane na bazie popiołów lotnych, odpadów

poftotacyjnych oraz słonych wód dołowych z dodatkiem niewielkiej ilości cementu. Przewidywana ilość mieszaniny podsadzkowej doszczelniającej do likwidacji nieczynnych wyrobisk Iz i Iw wraz z łączącymi je przecinkami powinna wynieść około 25 tys. m<sup>3</sup>. Wykonanie tam Ti-137 i Ti-138, odcięcie nieczynnych i podsadzonych wyrobisk w pokładzie 338/2 na poz. 700 m, miało zapewnić dalsze bezpieczne funkcjonowanie szybu I KWK „Budryk”.

Przyjęto następujące założenia [7]:

- materiał wiążący do wykonania tamy będzie zawierał będzie popiół lotny z Elektrowni „Opole” lub Elektrociepłowni „Żerań” (takie popioły stosuje kopalnia do wytwarzania mieszanin podsadzkowych),
- ze względu na brak w upadowych Iz i Iw instalacji elektrycznej, wody oraz środków transportu kołowego, materiał wiążący do wykonania tamy (popiołowo-cementowy) przygotowywany będzie na powierzchni w instalacji podsadzkowej i transportowany siecią rurociągów podsadzkowych do upadowych Iz i Iw.

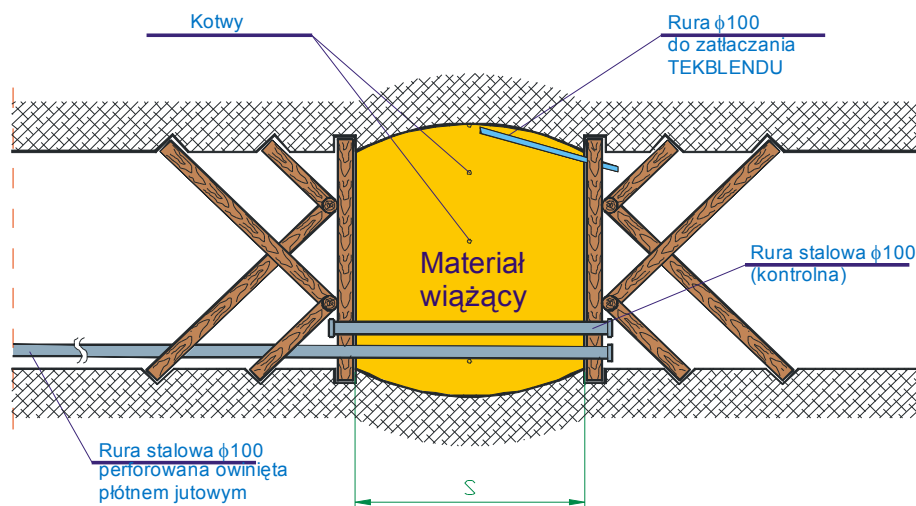
Własności mieszaniny podsadzkowej (rozlewność) przygotowanej bez udziału chemicznych środków modyfikujących jej właściwości reologiczne (plastyfikatory, upłynniacze) zależą w dużym stopniu od jej gęstości, która z kolei zależy od wskaźnika wodno-spoiwowego. Zachodzi więc ścisła korelacja pomiędzy wskaźnikiem w/s, gęstością, rozlewnością a wytrzymałością na ściskanie transportowanego materiału wiążącego. Im większa wartość wskaźnika w/s, tym mniejsza gęstość, a większa rozlewność i w końcowym efekcie łatwiejszy transport mieszaniny podsadzkowej. Wskaźnik w/s decyduje natomiast o końcowej wytrzymałości na ściskanie – im większa wartość wskaźnika w/s, tym mniejsza wytrzymałość końcowa materiału wiążącego [8, 9, 10].

W wyniku prowadzonych badań laboratoryjnych określono receptury i właściwości takiego materiału wiążącego, który spełniałby warunki reologiczne mieszanin podsadzkowych, transportowanych instalacją KWK „Budryk”, a jednocześnie charakteryzował się odpowiednimi własnościami fizykomechanicznymi, niezbędnymi do wykonania tamy o charakterze izolacyjno-oporowym [7]. W badaniach laboratoryjnych uwzględniono również fakt, że tama oporowa narażona także na działanie odcieków wodnych z mieszanin podsadzkowych. Do wykonania tam Ti-137 i Ti-138 zaproponowano materiał wiążący popiołowo-cementowy o wytrzymałości na ściskanie  $R_c=6$  MPa lub  $R_c=12$  MPa [7]. Wytrzymałość na ściskanie ma decydujący wpływ na szerokość tamy oporowej. Przeprowadzone numeryczne badania modelowe pozwoliły na określenie optymalnej

szerokości tamy z uwzględnieniem wytrzymałości na ściskanie jej materiału konstrukcyjnego tamy.

## 2. Charakterystyka tam

Zgodnie z projektem kopalnianym, tamy Ti-137 i Ti-138 będą tamami drewnianymi o konstrukcji tam przeciwybuchowych, obustronnie oryglowane i wypełnione materiałem wiążącym. Korzystając z doświadczeń, dla dodatkowego wzmocnienia konstrukcji tam, a zwłaszcza związania tamy z górotworem, proponuje się wykonanie w obrębie pola każdej z tam na jej obwodzie wieńca z kotew zagłębionych na ok. 1,0 m w górotwór i wystających również na ok. 1,0 m w obręb pola tamy. Schemat konstrukcji tam przedstawiono na rysunku 1 [7].



Rys. 1. Schemat konstrukcji tam Ti-137 i Ti-138 [7]

Fig. 1. Scheme of Ti-137 and Ti-138 dam construction [7]

Przeprowadzona analiza wyrobisk przeznaczonych do likwidacji mieszaniną podsadzkową na bazie popiołów lotnych wykazała, że maksymalna wysokość słupa mieszaniny doszczelniającej wynosić będzie odpowiednio:

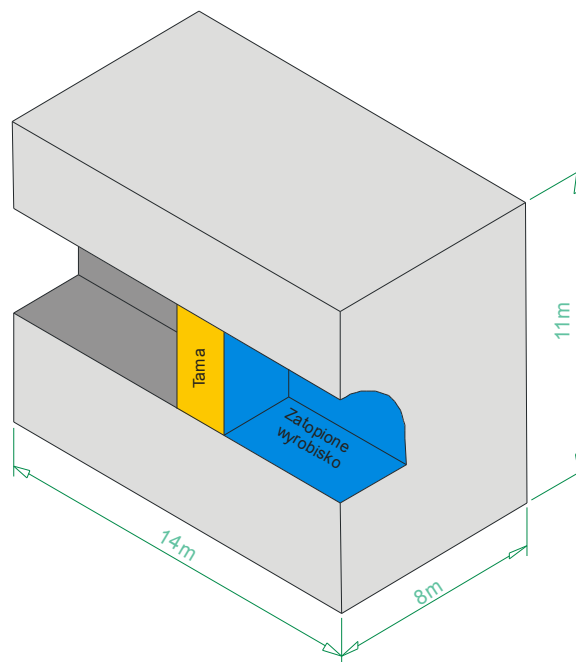
- dla upadowej Iz:  $L=98$  m z ilością ok.  $1540$  m<sup>3</sup> mieszaniny doszczelniającej,
- dla upadowej Iw:  $L=93$  m z ilością ok.  $1520$  m<sup>3</sup> mieszaniny doszczelniającej.

W związku z powyższym do obliczeń przyjęto, że maksymalna wysokość słupa mieszaniny doszczelniającej wynosić będzie  $L=100$  m, a napór mieszaniny na tamy wynosić będzie ok.  $P=1,5$  [MPa].

### 3. Model górotworu

Aby określić minimalną grubość tamy Ti-137 i Ti-138, zbudowano model numeryczny w postaci przestrzennej bryły o wymiarach 8 m x 14 m x 11 m (rys. 2). Przedstawiony model stanowi osiowo symetryczny układ tamy zabudowanej w wyrobisku górniczym. Zastosowanie osiowo symetrycznego modelu numerycznego pozwoli skrócić czas obliczeń oraz dokładniej odwzorować najważniejsze cechy modelu przy stałej liczbie równań [1].

W modelu numerycznym odwzorowano zarys konturu wyrobiska korytarzowego o wysokości 5,6 m i szerokości 3,8 m oraz tamę wypełnioną konstrukcyjnym materiałem wiążącym. Przyjęta szerokość tamy, w zależności od analizowanego wariantu, wynosić będzie 2,5 m. W odniesieniu do konstrukcji rzeczywistej tamy, w modelu numerycznym nie zostały uwzględnione kotwie stabilizujące tamę w wyrobisku. Połączenie punktów węzłowych w modelu wyklucza konieczność stosowania dodatkowych elementów stabilizacyjnych.



Rys. 2. Schemat modelu numerycznego  
Fig. 2. Scheme of numerical model

Aby uprościć proces obliczeń, przyjęto, że górotwór stanowić będzie model sprężysty, natomiast analizowana tama model sprężysto-plastyczny opisany warunkiem wytrzymałościowym Coulomba-Mohra [4]. Parametry górotworu przyjęto na podstawie materiałów dostarczonych przez KWK „Budryk” oraz literatury [3], natomiast parametry materiału wykorzystanego do budowy tamy dobrano na podstawie materiałów producenta [7].

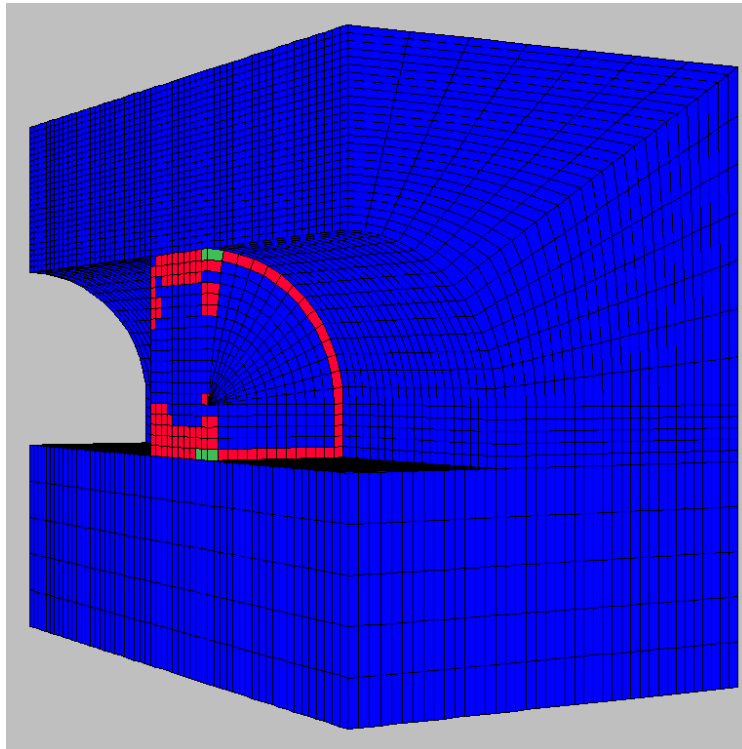
Celem przeprowadzenia obliczeń numerycznych, bryłę górotworu podzielono siatką elementów. Budując siatkę elementów modelu górotworu, przyjęto zasadę, że punkty węzłowe znajdujące się na skrajnych płaszczyznach bocznych oraz podstawie modelu mogą przemieszczać się jedynie w obrębie tych płaszczyzn. Pozostałe węzły modelu mogą swobodnie przemieszczać się w dowolnym kierunku [1, 2]. Określając warunki początkowe, założono, że naprężenia pierwotne wywołane są siłami grawitacji, co jest na ogół słuszne dla górotworu niezaburzonego tektonicznie. Poziome naprężenia pierwotne  $\sigma_x$  oraz  $\sigma_y$  zostały wyznaczone na podstawie klasycznej teorii sprężystości i stanowią ułamek właściwy naprężenia pionowego zależny od liczby Poissona poszczególnych warstw [5, 6]. Obliczenia numeryczne przeprowadzono metodą różnic skończonych, z wykorzystaniem programu FLAC 3D.

#### 4. Omówienie wyników obliczeń

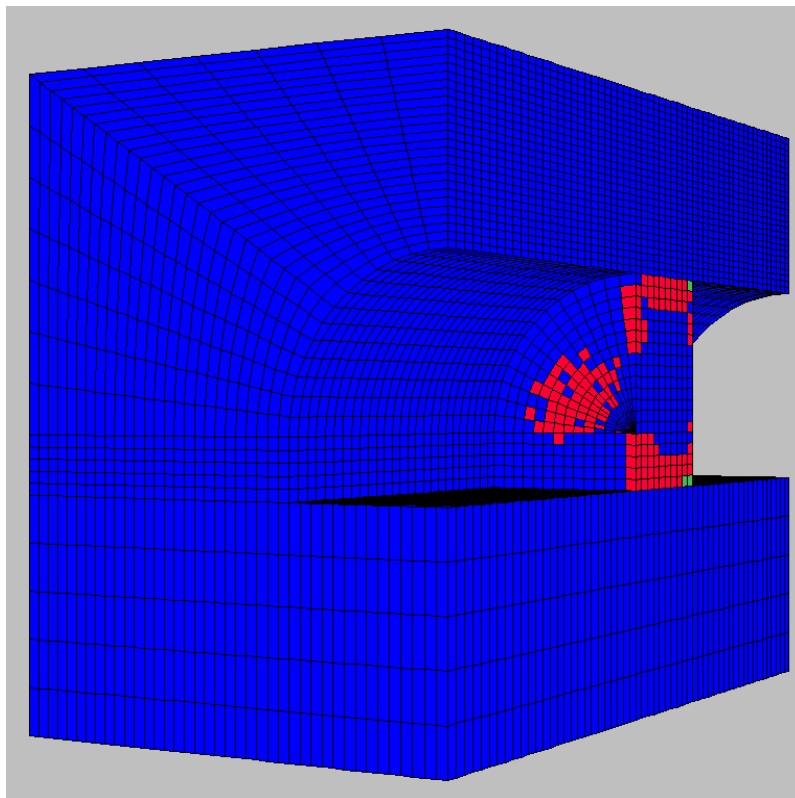
Na bazie przedstawionego powyżej modelu górotworu, przeprowadzona została analiza stabilności tam Ti-137 oraz Ti-138 dla materiału wiążącego o wytrzymałościach  $R_c=6$  [MPa] oraz  $R_c=12$  [MPa]. Do obliczeń przyjęto, że maksymalny napór na tamy wyniesie 1,5 [MPa]. Na podstawie uzyskanych wyników symulacji komputerowej sformułowano następujące wnioski:

**Wariant I – materiał wiążący o wytrzymałości  $R_c=6$  [MPa].** Jak wykazała symulacja komputerowa, tama o grubości 2,5 m, wykonana z materiału wiążącego o wytrzymałości  $R_c=6$  [MPa], nie jest w stanie przejąć naporu mieszaniny podsadzkowej. Odnotowane zniszczenia zarówno po stronie naporu mieszaniny podsadzkowej, jak i po stronie czynnej wyrobiska (rys. 3 i 4) są wynikiem przekroczenia naprężeń rozciągających (kolor czerwony) oraz lokalnie naprężeń ścinających (kolor zielony).

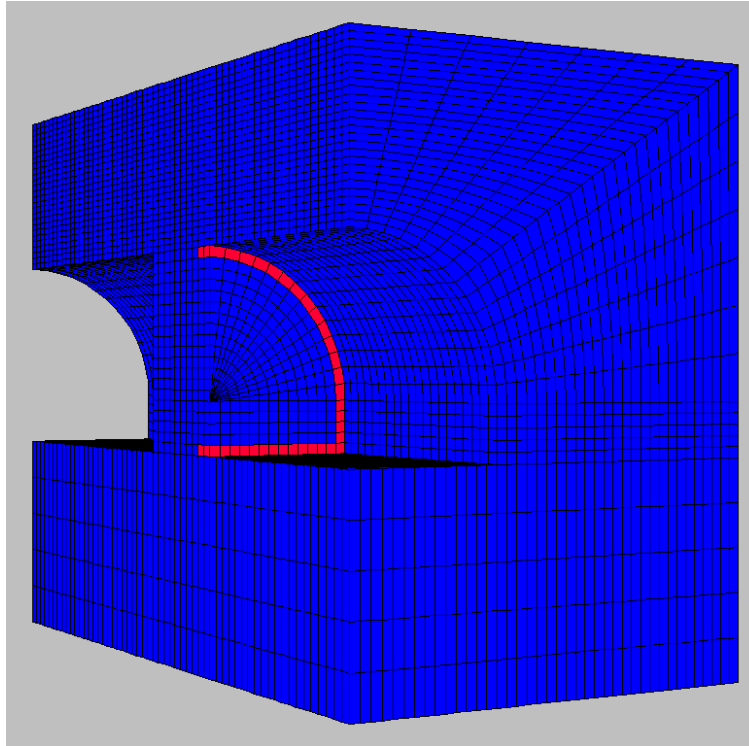
**Wariant – II materiał wiążący o wytrzymałości  $R_c=12$  [MPa].** Zastosowanie do wykonania tamy konstrukcyjnego materiału wiążącego wytrzymałości  $R_c=12$  [MPa], ograniczyło wielkość zniszczeń będących efektem naprężeń rozciągających w materiale wiążącym. Zarówno od strony naporu mieszaniny podsadzkowej (rys. 5), jak i od strony czynnej wyrobiska (rys. 6) zniszczenia tamy mają charakter naprężeń rozciągających (kolor czerwony). Po stronie czynnej wyrobiska nie odnotowano zniszczeń. Należy zatem stwierdzić, że tama będzie w stanie przejąć napór mieszaniny podsadzkowej.



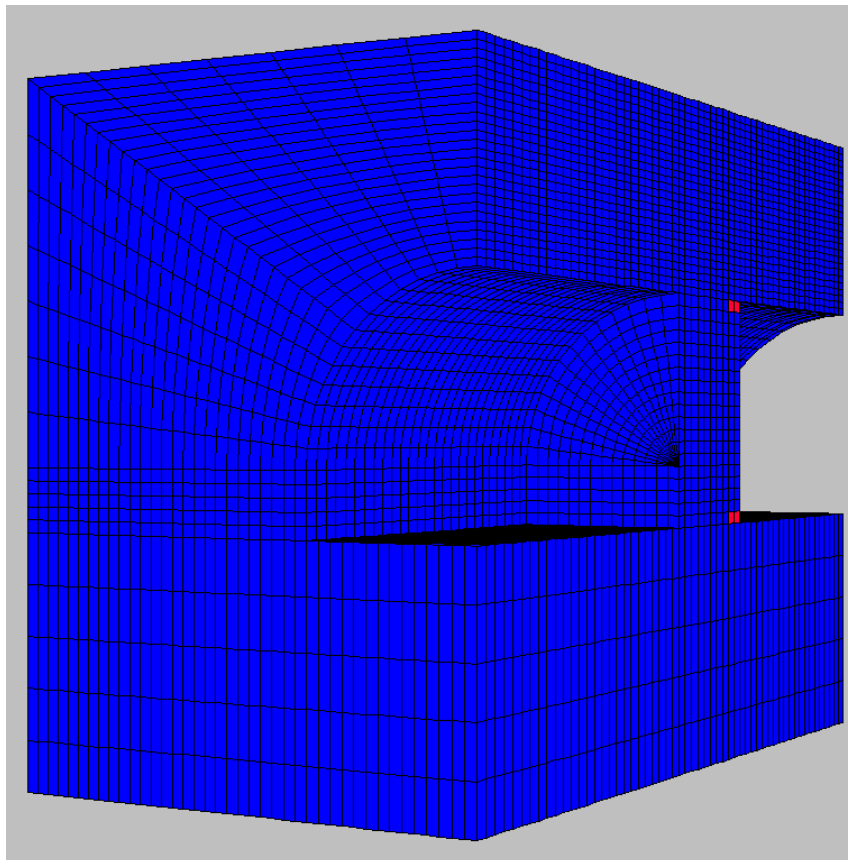
Rys. 3. Zniszczenia w tamie o grubości 2,5 m – widok od strony podsadzanej  
Fig. 3. Failure pattern in the isolating dam 2.5 width – view from backfilling side



Rys. 4. Zniszczenia w tamie o grubości 2,5 m – widok od strony czynnej upadowej  
Fig. 4. Failure pattern in the isolating dam 2.5 width – view from dig-heading side



Rys. 5. Zniszczenia w tamie o grubości 2,5 m – widok od strony podsadzanej  
Fig. 5. Failure pattern in the isolating dam 2.5 width – view from backfilling side



Rys. 6. Zniszczenia w tamie o grubości 2,5 m – widok od strony czynnej upadkowej  
Fig. 6. Failure pattern in the isolating dam 2.5 width – view from dip-heading side

## 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedmiotem przedstawionego artykułu była analiza numeryczna stateczności tam izolacyjnych (oporowych, podsadzkowych) Ti-137 i Ti-138, zaplanowanych do wykonania w upadowych Iz i Iw wraz z przecinkami łączącymi te upadowe w pokładzie 338/2 na poziomie 700 m. Do obliczeń przyjęto, że szerokość tam wynosić będzie 2,5 m, natomiast napór mieszaniny na tamy wynosić będzie ok.  $P=1,5$  [MPa]. Obliczenia numeryczne przeprowadzone zostały metodą różnic skończonych, z wykorzystaniem programu FLAC 3D. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń numerycznych sformułowano następujące wnioski:

1. Przeprowadzone obliczenia numeryczne wykazały, że istnieje możliwość określenia stabilności tam izolacyjnych (oporowych) zabudowanych w wyrobisku górniczym, będących pod wpływem naporu mieszaniny podsadzkowej dostarczonej do likwidowanych wyrobisk górniczych. Obliczenia można prowadzić, uwzględniając parametry wytrzymałościowe materiału wiążącego.
2. Zwiększenie wytrzymałości na ściskanie materiału wiążącego do  $R_c=12$  [MPa] do wykonania tam pozwala na ograniczenie szerokości przyjętych tam do 2,5 m. Potwierdzeniem tego jest redukcja stref zniszczeń w tamie oraz powiększenie nośnej części analizowanych tam.

## BIBLIOGRAFIA

1. Drzęzła B., Wesołowski M.: Określenie stref deformacji w górotworze w czasie rozruchu wyrobiska ścianowego. Część I – Ogólne zasady numerycznego modelowania górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górniczo, z. 239, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
2. Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A.: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
3. Kidybiński A.: Podstawy Geotechniki Kopalnianej. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1982.
4. Kwaśniewski M., Wang J.: Analiza numeryczna deformacji górotworu wywołanych eksploatacją górniczą. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej'96, Kraków 1996.
5. Wesołowski M. i in.: Oddziaływanie prędkości eksploatacji na rozkład naprężeń i wielkość deformacji górotworu otaczającego. Część I – Naprężenia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górniczo, z. 242, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
6. Wesołowski M.: Numeryczny model wyrobiska korytarzowego w górotworze uwarstwionym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górniczo, z. 254, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
7. Madaj M., Klimas W.: Ocena możliwości zastosowania popiołów lotnych z Elektrowni Opole oraz Elektrociepłowni Żerań – Warszawa do sporządzania mieszaniny podsadzkowej o charakterze konstrukcyjnym do wykorzystania w wyrobiskach pokładu 338/2 przewidzianych do likwidacji. Praca NB-238/RG4/2008.



8. Jahn Ch., Madaj M.: Transport hydrauliczny górnich spoiw mineralnych z powierzchni kopalni. Międzynarodowa Konferencja „VII Szkoła Geomechaniki”, Gliwice – Ustroń 2005.
9. Madaj M.: Transport grawitacyjny spoiw mineralnych. Międzynarodowa Konferencja „VIII Szkoła Geomechaniki”, Gliwice – Ustroń 2006.
10. Jahn Ch., Madaj M., Klimas W.: Wybrane problemy technologiczne transportu grawitacyjnego mineralnych spoiw górnich. Międzynarodowa Konferencja „VIII Szkoła Geomechaniki”, Gliwice – Ustroń, 16 – 19 października 2007.
11. Jahn Ch., Madaj M., Klimas W.: Transport hydromechaniczny mineralnych materiałów wiążących w technologiach górnich. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona Środowiska w Górnictwie Podziemnym i Odkrywkowym”, Gliwice, 25 maja 2008.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marian Łączny

### **Abstract**

Dams Ti-137 and Ti-138 planed in relation with necessity of liquidation of dip-headings Iz and Iw of the layer 332/2 on the level. 700 m in hard coal mine BUDRYK using salt mine water, fly ash with flotation tailings mixture for hydraulic backfilling. Fly-ashes from “Opole” Power Station and “Żerań” Heat Power Station applied as a component to laboratory tests. Interdependences between density and spill radius of tested binding agents on their compressive strength in laboratory has been described. Compositions of the building materials defined in laboratory tests has differing proprieties physical and mechanical and take into consideration hydraulically transport by pipeline system from the surface over long distance to dip-headings Iz and Iw of the layer 332/2 on the level. 700 m in hard coal mine BUDRYK. In laboratory tests obtained two kinds of building construction materials, 6 N/mm<sup>2</sup> and 12 N/mm<sup>2</sup> compression strength. Analysis of numerical calculation results determine the width of the isolating dam depending on kind of applied building material in paper has been presented.