

33

NUMERYCZNA SYMULACJA DYNAMICZNEGO ODDZIAŁYWANIA WSTRZĄSU GÓROTWORU NA WYROBISKO KORYTARZOWE

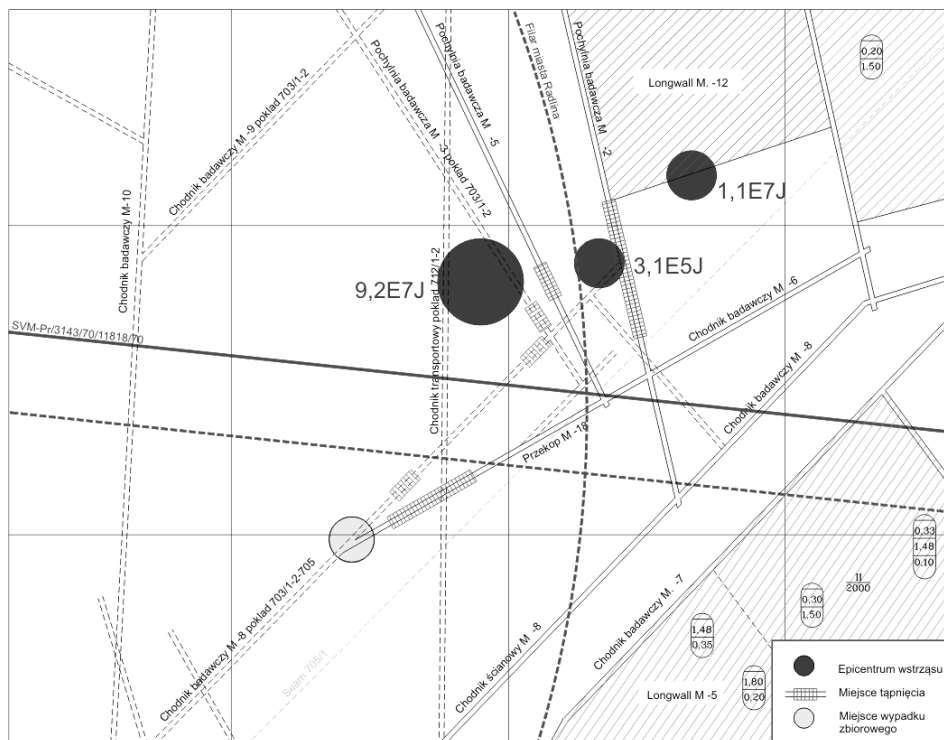
33.1 WPROWADZENIE

Kopalnia „Marcel” prowadzi działalność górnictwą od połowy XIX w. sukcesywnie wybierając kolejne pokłady w porządku z góry w dół, w dwóch podstawowych partiach złoża tj. markłowickiej i macierzystej. W partii macierzystej, wskutek znacznego wyczerpania zasobów eksploatacja prowadzona jest pod licznymi krawędziami i resztkami w pokładach nadległych oraz w warunkach występowania potencjalnie wstrząsogennych warstw piaskowców. Eksploatacji górnictwa w kopalni „Marcel” towarzyszy wysoka sejsmiczność, która stwarza potencjalne zagrożenie tąpnięciami wyrobisk górnictwa. Z tego powodu uwzględnienie dynamicznego oddziaływania wstrząsów na wyrobiska górnictwa jest niezwykle istotne dla potencjalnej oceny stanu zagrożenia tąpnięciami.

W dniu 08.03.2012 r. o godzinie 20¹⁹, zarejestrowany został wysokoenergetyczny wstrząs górotworu o energii $9,2 \times 10^7$ J, którego epicentrum zlokalizowano w odległości około 100 m na zachód od frontu ściany M-12, w filarze ochronnym dla centrum miasta Radlina, zaś hipocentrum, w warstwie piaskowca o grubości ok. 70 m. Mapę pokładu 707/2 z zaznaczonym epicentrum wstrząsu z dnia 08.03.2012 r. przedstawia rys. 33.1.

Wstrząs spowodował tąpnięcie w dwóch wyrobiskach w zalegającym powyżej pokładzie 703/1-2-705/1 oraz był przyczyną wypadku zbiorowego (jednego śmiertelnego oraz dwóch lekkich). Przykład uszkodzonego wyrobiska w skutek zaistniałego wstrząsu przedstawia rys. 33.2.

W poniższym artykule podjęto próbę opisu wpływu wstrząsu na wyrobisko korytarzowe, przy wykorzystaniu modelowania numerycznego. Po doprowadzeniu modelu do stanu równowagi oraz wykonaniu obliczeń związanych z fazą statyczną wykonano dodatkowe obliczenia numeryczne, uwzględniające obciążenia związane ze zjawiskami dynamicznymi. Do opisu wymuszeń dynamicznych wykorzystano rzeczywiste pomiary prędkości drgań cząstek górotworu wykonane na stanowisku sejsmometru S-14 zabudowanego w pochylni diagonalnej I wschodniej. Sejsmometr S-14 znajdował się ok. 470 m od epicentrum wstrząsu.



Rys. 33.1 Mapa pokładu 707/2 z zaznaczonym epicentrum wstrząsu wysokoenergetycznego



Rys. 33.2 Tąpnięcie w pochylni M-2 w pokładzie 707/2

33.2 WARUNKI GEOLOGICZNO-GÓRNICZE

Pokład 703/1-2 zaliczony jest w analizowanym rejonie do III stopnia zagrożenia tąpnięciami, II kategorii zagrożenia metanowego. Powyżej występują krawędzie i resztki wyeksploatowanych pokładów zalegających w znacznej (ok. 150 m) odległości nad pokładem 703/1-2.

W stropie pokładu 703/1-2 występują dwie charakterystyczne ławice piaskowca. Pierwsza z nich zalega w odległości 4,3 m ponad pokładem (spąg warstwy). Druga z nich

o miąższości 68 m znajduje się w odległości ok. 200 m ponad pokładem 703/1-2 (spąg warstwy). W profilu skał budujących strop pokładu 703/1-2 ponadto występują cieńsze warstwy piaskowców, mułowców i iłowców. Spąg pokładu stanowią warstwy: piaskowców, łupków piaszczystych i ilastych oraz pokłady 705/1-2 707/1 i 707/2. Pokład 707/2 zbudowany jest z jednorodnej warstwy węgla o grubości średnio 1,6 m. W analizowanym rejonie zaliczony jest on do III stopnia zagrożenia tąpnięciami.

33.3 METODA SYMULACJI NUMERYCZNEJ

Do modelowania numerycznego, przeprowadzonego na potrzeby niniejszej pracy, wykorzystano program komputerowy *FLAC* (Fast Lagrangian Analysis of Continua) firmy Itasca Consulting Group, oparty na metodzie różnic skończonych, a opracowany przez dr. Petera Cundalla w 1986 roku, wraz z współpracownikami z University of Minnesota i Itasca Consulting Group, Inc. [2].

Program *FLAC* służy do budowy numerycznych modeli górotworu i symulowania zachowania się ośrodków gruntowych i skalnych, które doznają plastycznego płynięcia lub kruchego pęknięcia po osiągnięciu punktu plastyczności lub granicy wytrzymałości. Program ten jest szczególnie polecany do rozwiązywania zagadnień inżynierii skalnej. Wykorzystywany on jest zarówno do oceny zachowania się górotworu w rejonie wyrobisk górniczych, jak i do symulacji zjawisk zachodzących w „dużych” obszarach. Program *FLAC* umożliwia modelowanie nieciągłości w ośrodkach skalnych, symulowanie zachowania się masywu skalnego i budowli przy wymuszeniach dynamicznych.

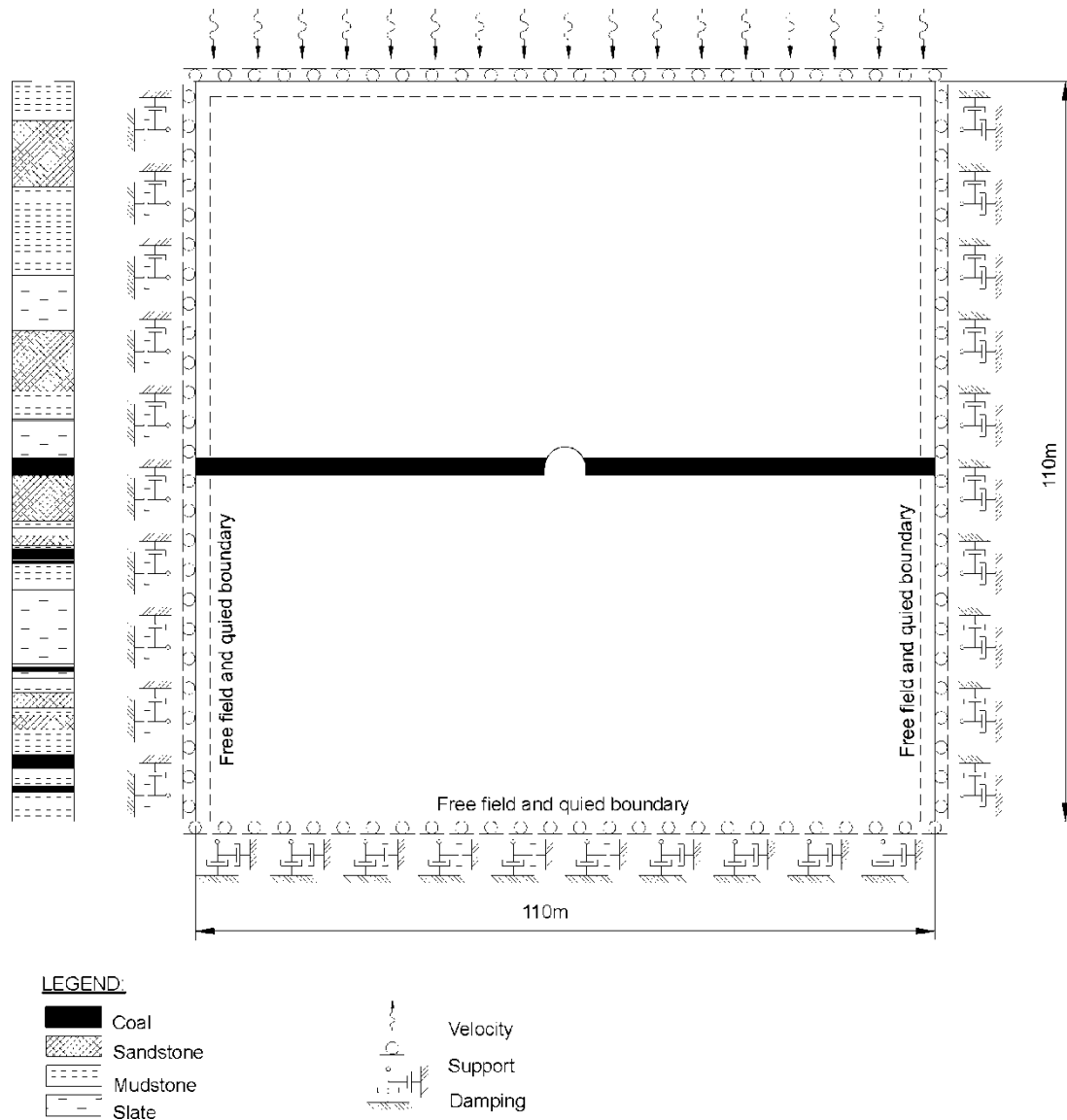
Uwzględnianie plastyczności górotworu w modelu polega na przyjęciu założenia, że w obszarze ograniczonym pewnymi powierzchniami górotwór zachowuje się liniowo sprężyste, a poza tym obszarem plastycznie. W programie *FLAC* plastyczność opiera się na założeniu, że całkowity przyrost odkształcenia jest rozdzielany na przyrost odkształcenia sprężystego oraz przyrost odkształcenia plastycznego [2].

W procedurze numerycznej jako pierwszy jest obliczany przyrost odkształcenia wynikający z zastosowania prawa Hooke’a, a następnie na podstawie wartości odkształceń, określane są naprężenia. Jeżeli otrzymane wartości naprężeń znajdują się poza powierzchnią graniczną (definiującą przyjęte kryterium wytrzymałościowe) to przyjmuje się, że zachodzą plastyczne deformacje. W takim wypadku tylko odkształcenia sprężyste uczestniczą w procedurze kolejnych obliczeń przyrostów naprężenia [2].

33.4 MODEL GÓROTWORU

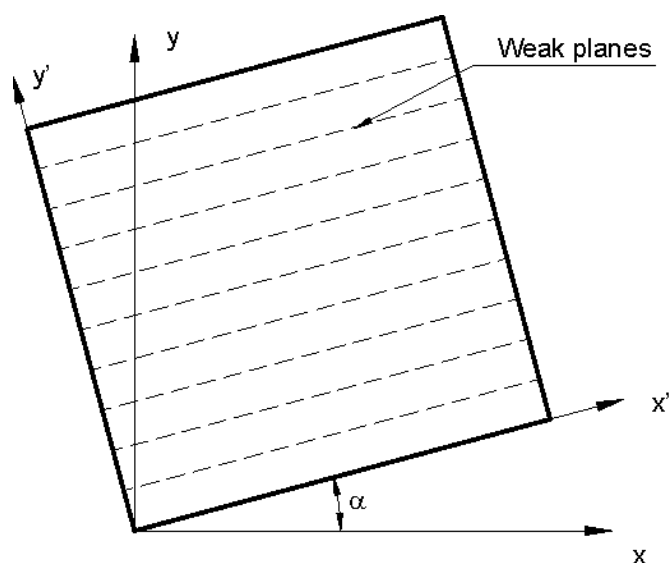
Do analizy zachowania się górotworu w rejonie wyrobiska korytarzowego, poddanego wpływom zjawisk dynamicznych, zbudowano model górotworu, w płaskim stanie odkształcenia, o wymiarach 110 m x 110 m, składający się z 193600 stref o wymiarach 0,25 m x 0,25 m. Na głębokości ok. 860 m zamodelowano pokład węgla o grubości 2,4 m, w którym zlokalizowane zostało wyrobisko korytarzowe w obudowie ŁP9/V32/A (rys. 33.3).

Model górotworu podzielono na poziome warstwy o zróżnicowanych parametrach odkształceniowych i wytrzymałościowych. Górotwór powyżej pokładu opisano na podstawie przedstawionego na rys. 35.3 profilu litologicznego warstw.



Rys. 33.3 Model górotworu

Pod względem matematycznym, warstwy budujące model górotworu opisane zostały przez ośrodek ubiquitous joint (rys. 33.4). Model ten jest anizotropowym modelem plastycznym zawierającym płaszczyzny osłabienia określonej orientacji. W modelu tym zaimplementowany został, podobnie jak w przypadku modelu sprężysto-plastycznego izotropowego, warunek wytrzymałościowy (uplastycznienia) Coulomba-Mohra. Do uplastycznienia może dojść zarówno w obrębie płaszczyzn osłabienia jak i samego masywu skalnego. Płaszczyzny izotropii oraz płaszczyzny osłabienia mogą być nachylone pod dowolnym kątem α do kierunku osi X.



Rys. 33.4 Ośrodek ubiquitous joint

Parametry wytrzymałościowe oraz odkształceniowe warstw przyjęte do obliczeń zestawiono w tabeli 33.1. Podstawę, założonych w modelu parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych warstw skalnych stanowiły wyniki badań kopalnianych. Określając wartości parametrów płaszczyzn osłabienia posłużono się przypadkiem opisanym w pracy [8].

Tabela 33.1 Przyjęte do obliczeń parametry odkształceniowe i wytrzymałościowe warstw modelu ubiquitous joint

	Jednostka	Mułowiec	Łupek ilasty	Piaskowiec	Węgiel
Parametry masywu skalnego					
Współczynnik sprężystości postaciowej G	<i>MPa</i>	3790	2680	4350	864
Współczynnik sprężystości objętościowej K	<i>MPa</i>	3730	2630	4760	1830
Kohezja c	<i>MPa</i>	7,2	6,1	11,3	3,3
Kąt tarcia wewnętrznego ϕ	<i>stopnie</i>	25	24	25	24
Wytrzymałość na rozciąganie R_r	<i>MPa</i>	2,1	1,9	3,3	1,3
Gęstość objętościowa ρ	<i>kg/m³</i>	2550	2610	2450	1400
Kąt dylatacji Ψ	<i>stopnie</i>	12	12	13	12
Parametry płaszczyzn osłabienia					
Kohezja c	<i>MPa</i>	0,07	0,06	0,1	0,03
Kąt tarcia wewnętrznego ϕ	<i>stopnie</i>	24	24	25	24
Wytrzymałość na rozciąganie R_r	<i>MPa</i>	0,02	0,02	0,03	0,01
Kąt dylatacji Ψ_j	<i>stopnie</i>	12	12	13	12
Kąt nachylenia płaszczyzn α	<i>stopnie</i>	0	0	0	0

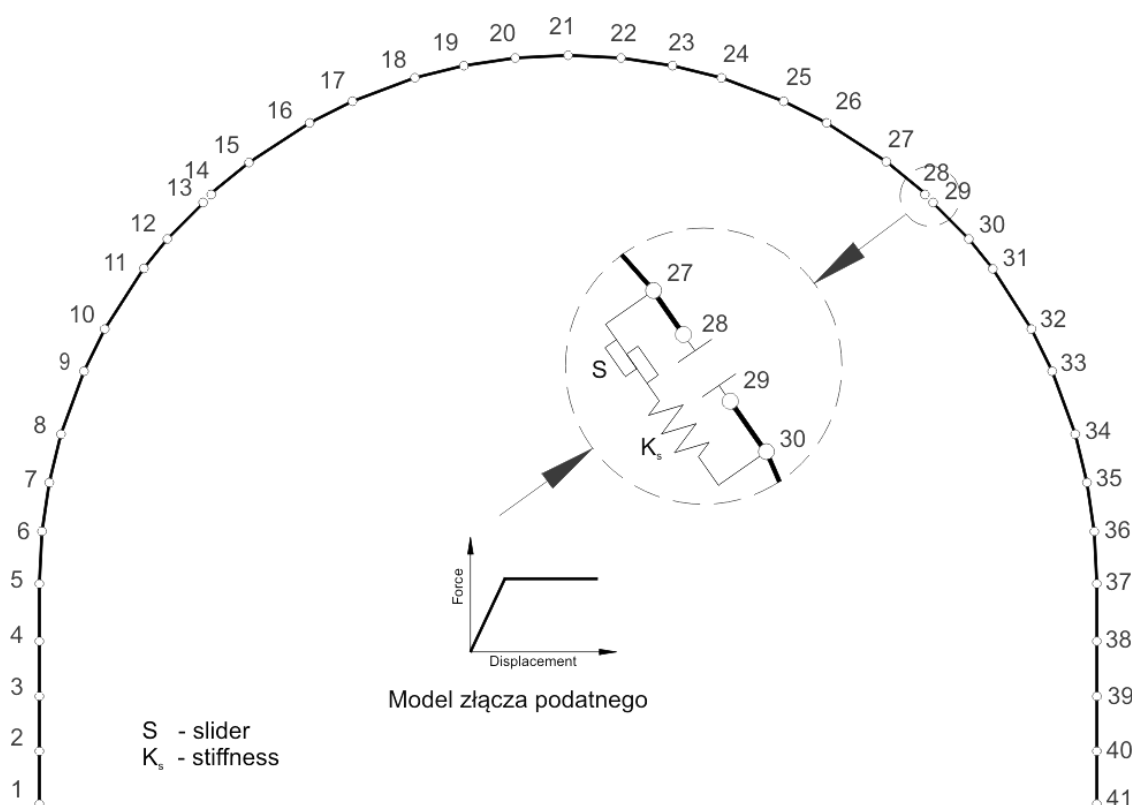
Budując siatkę różnic, przyjęto założenie, że punkty węzłowe, znajdujące się na pionowych krawędziach bocznych tarczy, mogą swobodnie przemieszczać się w kierunku pionowym, a w kierunku poziomym ich przemieszczenia są równe zero. Węzły znajdujące się na podstawie modelowej tarczy oraz jego górnej krawędzi mogą swobodnie przemieszczać się w kierunku poziomym. Pionowa wartość przemieszczeń

tych punktów określona została jako zerowa. Pozostałe punkty węzłowe przynależne do modelu mają możliwość swobodnego przemieszczania się w dowolnym kierunku płaszczyzny $X-Z$ [1, 4, 10, 11].

Celem wyeliminowania możliwych odbić powstałej fali sejsmicznej od krawędzi ograniczających analizowany model, graniczne strefy różnic skończonych, potraktowane zostały jako pola wolne (free field) oraz lepkie tłumiki wibracji (quied bondary) [2]. Zastosowanie tego typu stref umożliwia ograniczenie gabarytów modelu, w którym analizowane będą zjawiska dynamicznego oddziaływania wstrząsu. Gabaryty tej części modelu wynoszą odpowiednio 108 m w kierunku poziomym oraz 109 m w kierunku pionowym. Dodatkowo wprowadzono w modelu 5% tłumienie Rayleigha dla częstotliwości 20 Hz [9].

Określając warunki brzegowe, założono, że wartość pierwotnych naprężeń pionowych w górotworze będzie sumą sił masowych odpowiadającą głębokości 860 m. Zgodnie z tym założeniem przyjęto, że wartość naprężeń pionowych wynosi $\sigma_z = 20$ MPa. Poziome naprężenie pierwotne σ_x przyjęto jako równe naprężeniu pionowemu σ_z , co jest na ogół zgodne dla większych głębokości w górotworze [5, 7, 12].

Do symulacji obudowy odrzwiowej zastosowano elementy typu „pile” [2], które budują łuk o wymiarach zbliżonych do obudowy ŁP9/V32/A (rys. 33.5).



Rys. 33.5 Model obudowy łukowej podatnej z elementów typu „pile”

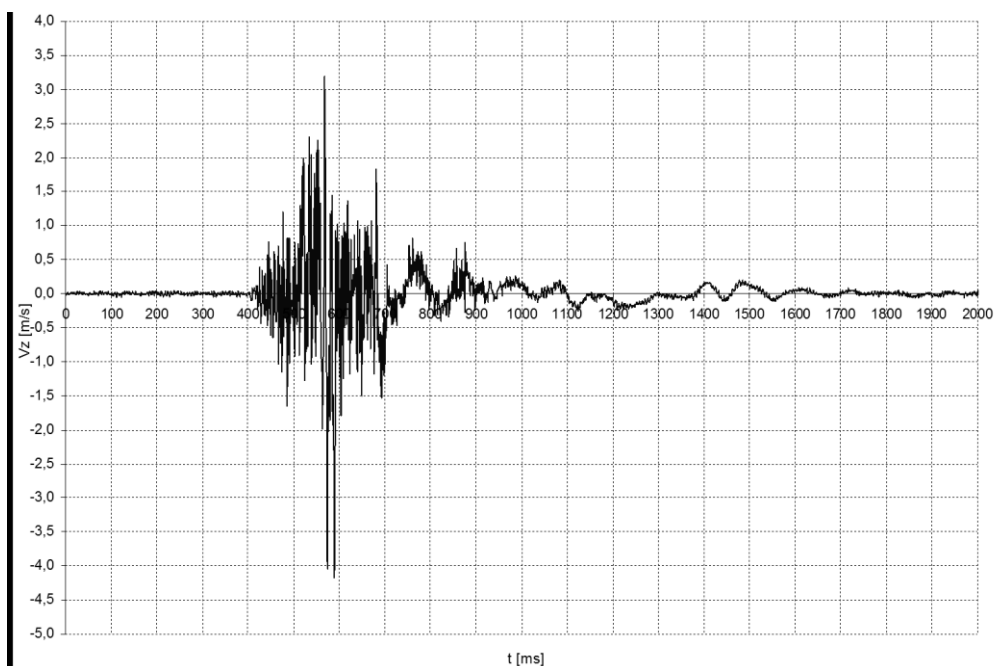
Źródło: [3]

Przyjęte na tej podstawie gabaryty wyrobiska korytarzowego wynoszą: szerokość wyłomu 5,0 m, wysokość wyłomu 3,5 m. Własności elementów typu „pile” przyjęte w

obliczeniach odzwierciedlają parametry kształtowników stalowych typu V 29 i przedstawiają się następująco:

- moduł Younga $E = 200 \text{ GPa}$,
- współczynnik Poissona $\nu = 0,2$,
- powierzchnia przekroju $A = 0,0036 \text{ m}^2$.

Modelując układ połączenia elementów typu „pile” z górotworem założono, że górotwór ma możliwość przemieszczania się wzdłuż elementów obudowy. Wykładka pomiędzy obudową a zasadniczym górotworem została odwzorowana za pomocą grupy stref różnic skończonych umiejscowionych pomiędzy elementami typu „pile” a górotworem. Dla tych stref przyjęto sprężysto-plastyczny model mechaniczny o zerowej kohezji.



Rys. 33.6 Sejsmogram prędkości zarejestrowany na stanowisku S-14

Złącze podatne zamodelowane zostało poprzez usunięcie jednego z elementów typu „pile” budującego model w rejonie połączenia łuku ociosowego ze stropowym pomiędzy węzłami. W miejscu usuniętych elementów „pile” wstawiono elementy upodatniające (rys. 33.5), które mają możliwość przenoszenia momentów zginających [3]. Uproszczone zamodelowanie złącza podatnego w obudowie ŁP, osiągnięto poprzez:

- uniemożliwienie wzajemnego przemieszczania się obu węzłów w płaszczyźnie prostopadłej do osi usuniętego elementu,
- uniemożliwienie wzajemnej rotacji łączonych węzłów,
- zezwolenie na wzajemne przemieszczanie się węzłów wzdłuż osi usuniętego elementu,
- zdefiniowanie sztywności połączenia, tak dobranej, aby w zakresie obciążeń nie wywołujących zsuwu deformacje obudowy nie wskazywały na brak usuniętego elementu,

- określenie granicy plastyczności przy ściskaniu, po osiągnięciu której zastosowane połączenie odkształca się przenosząc jedynie siły nie przekraczające wartości granicznej – do obliczeń przyjęto wartość 250 kN co odpowiada średniej nośności zamków stosowanych do łączenia łuków podatnych [6].

Dodatkowe obciążenia dynamiczne działające na górotwór otaczający wyrobisko i jego obudowę wynikają z wystąpienia wstrząsu górotworu. Do opisu wymuszenia dynamicznego wykorzystano rzeczywisty pomiar prędkości drgań zarejestrowany na stanowisku sejsmometru S-14 (rys. 33.6).

Przedstawiony sygnał źródłowy, przykładany był wyłącznie dla składowej pionowej prędkości przemieszczania się punktów węzłowych (na górnej krawędzi modelu). Na potrzeby niniejszej pracy założono, że analizowane w modelu wyrobisko zlokalizowane będzie ok. 60 m poniżej stanowiska S-14.

33.5 WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Po zainicjowaniu pierwotnego stanu naprężeń w modelu obliczeniowym przystąpiono do symulacji zachowania się górotworu w rejonie wyrobiska korytarzowego. Ta część symulacji komputerowej podzielona została na dwa podstawowe etapy:

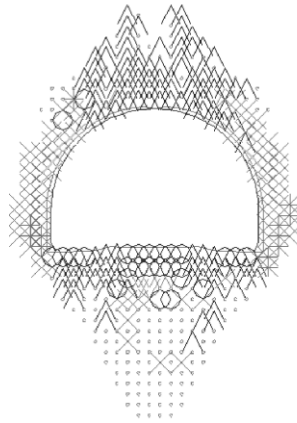
- symulację statyczną – obejmująca ocenę stanu zniszczenia struktury skalnej w rejonie wykonanego wyrobiska korytarzowego,
- symulację dynamiczną – obejmująca analizę oddziaływania obciążeń związanych ze wstrząsem na górotwór otaczający wyrobisko oraz jego obudowę. Czas oddziaływania symulowanego wstrząsu na model wynosił 2 s zgodnie z przedstawionym na rys. 33.6 sejsmogramem prędkości drgań zarejestrowanym na stanowisku S-14.

Pierwszy etap analizy obejmował określenie stanu uplastycznienia górotworu po wydrążeniu wyrobiska korytarzowego. W etapie tym doprowadzono model do stanu równowagi a następnie wykonano obliczenia związane z fazą statyczną.

Bezpośrednio po wydrążeniu wyrobiska, powstają stosunkowo niewielkie strefy zniszczeń w górotworze otaczającym (rys. 33.7). W stropie wyrobiska zniszczenia struktury skalnej sięgają do wysokości ok. 2,75 m, a ich maksymalna wysokość odnotowana została w rejonie osi wyrobiska. Zniszczenia stropowe wynikają głównie z przekroczenia wytrzymałości skał na rozciąganie w obrębie płaszczyzn osłabienia modelu ubiquitous joint. W miejscach tych odnotowano również niewielki uślizg płaszczyzn osłabienia, co może stanowić przyczynę zwiększonego obciążenia łuku stropnicowego obudowy podporowej.

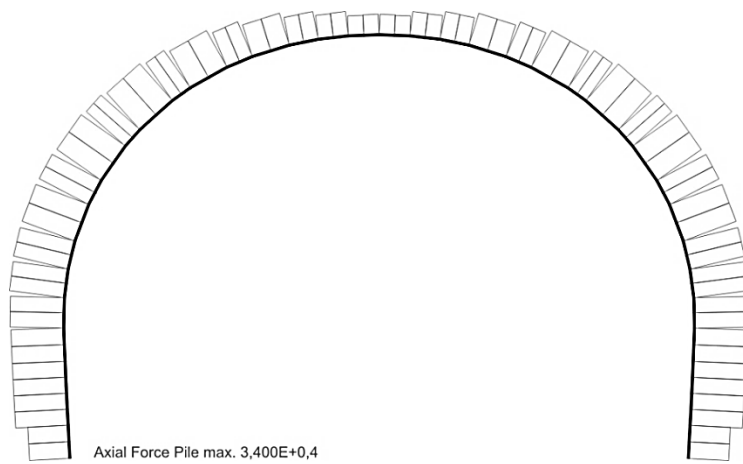
Na tym etapie symulacji komputerowych nie wystąpiła jednak istotna deformacja obudowy podporowej wyrobiska, co potwierdzają przedstawione na rysunkach 33.8 i 33.9 wykresy sił osiowych i momentów gnących w elementach obudowy podporowej.

W ociosach wyrobiska głębokość zniszczeń dochodzi do 0,75 m, a ich maksymalna głębokość odnotowana została na wysokości ok. 1 m licząc od spodka wyrobiska.

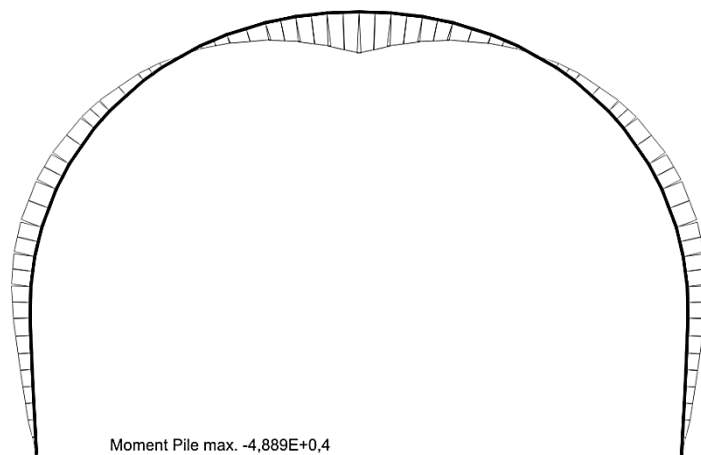


Plasticity Indicator
* at yield in shear or vol. o at yield in tension . ubiq. joints fail in past
X elastic, at yield in past ^ slip along ubiq. joints v tens. fail ubiq. joints
Pile Plot
Structural Displacement
Max Value = 1.316E-03

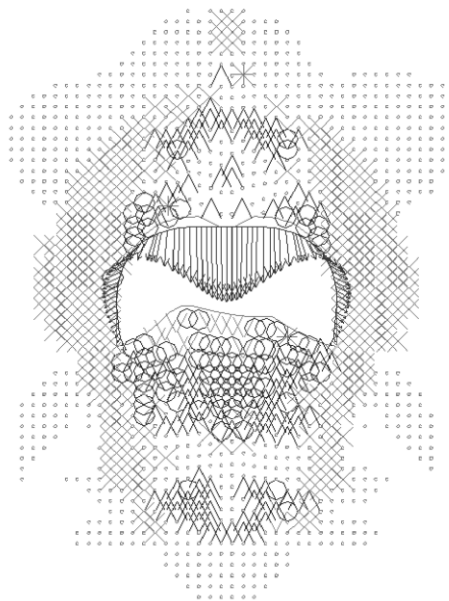
Rys. 33.7 Strefy zniszczeń górotworu wyznaczone po wydrążeniu wyrobiska



Rys. 33.8 Siły osiowe w obudowie po wydrążeniu wyrobiska



Rys. 33.9 Momenty gnące w obudowie po wydrążeniu wyrobiska



Plasticity Indicator
* at yield in shear or vol. o at yield in tension . ubiq. joints fail in past
X elastic, at yield in past ^ slip along ubiq. joints v tens. fail ubiq. joints
Pile Plot
Structural Displacement
Max Value = 5.961E-01

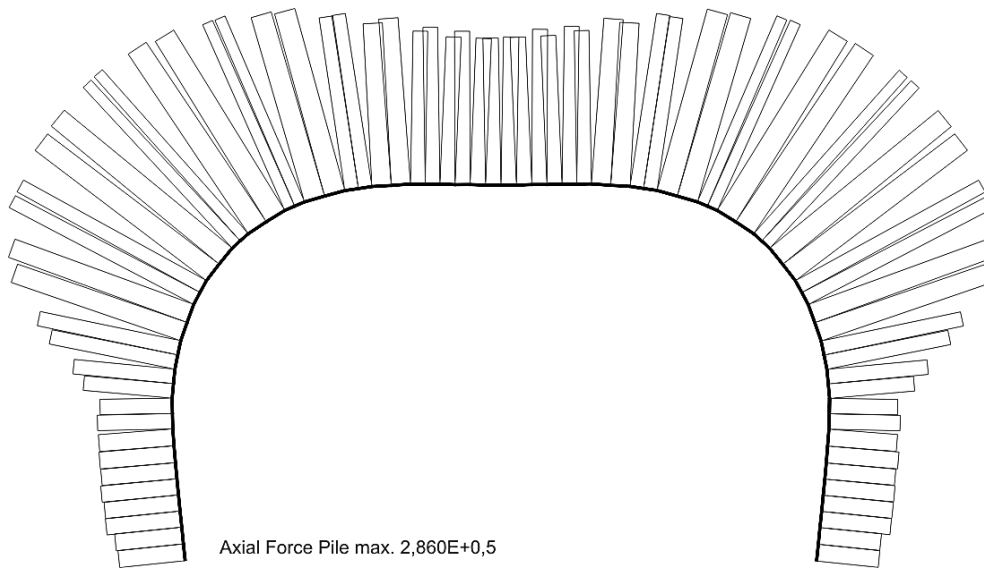
Rys. 33.10 Strefy zniszczeń górotworu wyznaczone dla fazy dynamicznej

Przyczyną tych zniszczeń jest przede wszystkim przekroczenie wytrzymałości na ścinanie.

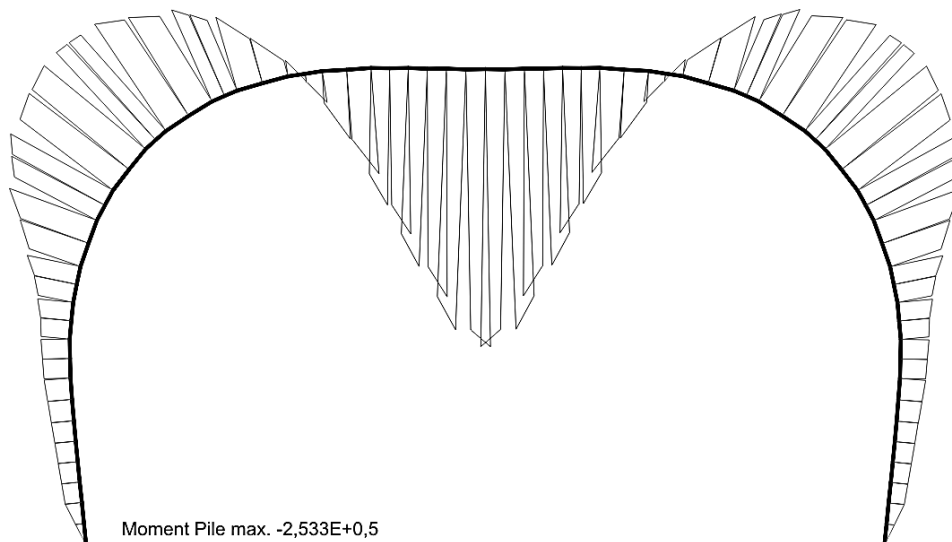
W spągu wyrobiska zasięg zniszczeń struktury skalnej osiąga wartość ok. 3,65 m, a ich największa głębokość odnotowana została w osi wyrobiska. Podobnie jak w przypadku zniszczeń stropowych w spągu wyrobiska wynikają one głównie z przekroczenia wytrzymałości skał na rozciąganie w obrębie płaszczyzn osłabienia modelu ubiquitous joint. Tutaj również występuje niewielki uślizg w obrębie płaszczyzn osłabienia. Wyznaczona na tej podstawie wielkość wypiętrzenia spągu do wyrobiska nie przekracza jednak 0,05 m. Można zatem stwierdzić, że na etapie analizy statycznej deformacje konturu wyrobiska są bardzo małe i nie wpływają na jego funkcjonalność.

Wyniki obliczeń z fazy statycznej były danymi wejściowymi dla kolejnego etapu obliczeń numerycznych z uwzględnieniem dodatkowych obciążeń dynamicznych związanych z symulowanym wstrząsem górotworu. Wyniki obliczeń przedstawione zostały na rysunkach 33.10 do 33.12.

Jak wynika z rys. 33.10 wzrost obciążeń związanych ze symulowanym zjawiskiem wstrząsu górotworu spowodował istotny przyrost zniszczeń w górotworze otaczającym rozpatrywane wyrobisko. W stropie wyrobiska zniszczenie struktury skalnej uległo powiększeniu do wysokości ok. 5,0 m, co w odniesieniu do poprzedniego etapu symulacji numerycznej stanowi przyrost o ok. 85%. Podobnie jak w poprzednim etapie symulacji komputerowych zniszczenia te wynikają z przekroczenia wytrzymałości skał na rozciąganie w obrębie płaszczyzn osłabienia.

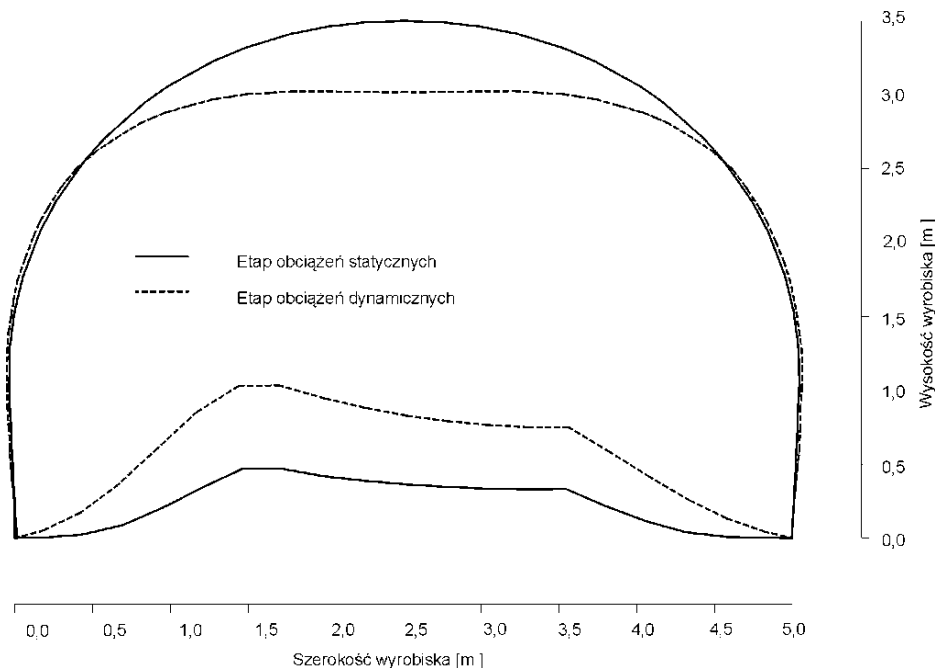


Rys. 33.11 Siły osiowe w obudowie wyznaczone dla fazy dynamicznej



Rys. 33.12 Momenty gnące w obudowie wyznaczone dla fazy dynamicznej

W ociosach wyrobiska dynamiczny przyrost obciążenia wynikającego ze wstrząsu spowodował wzrost zniszczeń w strukturze pokładu do głębokości ok. 2,0 m. W przeważającej części są one wynikiem przekroczenia wytrzymałości pokładu na ścinanie. Największy przyrost zniszczeń dla tego etapu symulacji wyznaczony został w spągu chodnika. Głębokość zniszczeń spągowych wyznaczona w tym etapie symulacji komputerowych wynosi ok. 7 m. Wyznaczona na tej podstawie wartość wypiętrzenia spągu do wyrobiska wynosi ok. 1,05 m (rys. 33.13). Tak znaczący przyrost zniszczeń górotworu spowodował istotną deformację konturu wyrobiska, co potwierdzają wykresy sił osiowych i momentów gnących w elementach obudowy łukowej (rys. 33.11 i 33.12) oraz rysunek 33.13.



Rys. 33.13 Deformacje konturu wyrobiska wyznaczone w poszczególnych etapach obliczeń

33.6 PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawione zostały wyniki modelowania numerycznego wpływu obciążeń dynamicznych, wywołanych wstrząsem górotworu, na zachowania się skał w rejonie wyrobiska korytarzowego. Do procesu modelowania wykorzystano program różnic skończonych *FLAC*. Ocenę zmian zachodzących w rejonie wyrobiska wykonano przy wykorzystaniu anizotropowego modelu *ubiquitous joint*. Na podstawie wyników modelowania numerycznego sformułowano następujące wnioski:

1. Jak wynika z obliczeń dla fazy statycznej istotnym elementem prowadzonych symulacji komputerowych jest stosowanie właściwego modelu konstytutywnego. Przyjęcie do obliczeń modelu *ubiquitous joint* umożliwia prawidłowe odwzorowanie stref zniszczeń oraz deformacji konturu wyrobiska.
2. Wyniki obliczeń z fazy dynamicznej potwierdziły fakt, że wzrost obciążeń, związanych z oddziaływaniem symulowanego wstrząsu, spowodował znaczący przyrost zniszczeń w górotworze otaczającym rozpatrywane wyrobisko. Wyznaczony przyrost zniszczeń górotworu spowodował istotne deformacje konturu wyrobiska i obudowy ŁP naruszając jego pierwotną stateczność.
3. Głównymi ograniczeniami symulacji numerycznej są trudności w matematycznym opisie procesów dynamicznych, brak dokładnego rozeznania niejednorodności górotworu i dobór odpowiednich stałych materiałowych.

LITERATURA

1. S. Bock, "Numerical modelling of a void behind shaft lining sing FDM with a concrete spalling algorithm", *Journal of Sustainable Mining* 2013(20), s. 14-21
2. *FLAC User's Manual. Itasca Consulting Group. Minneapolis 1992.*

3. M. Jendryś, „Wpływ eksploatacji górniczej na nadbierane korytarzowe wyrobiska udostępniające w świetle obliczeń numerycznych”, *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice 2009.
4. P. Kołodziejczyk, M. Wesołowski, „Możliwość numerycznej symulacji parametrów drgań powierzchni terenu od wstrząsów górotworu”, *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* Katowice 2007 s. 103-111.
5. H. Marczak, „Analiza wpływu pierwotnego stanu naprężenia na obciążenie obudowy wyrobiska korytarzowego”, *Przegląd Górniczy*, nr 6, 2006.
6. J. Perek, B. Sawka, „Nośność zsuwna złącz a stateczność łukowych odrzwi podatnych typu ŁP”, *XIX Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu*, Kraków 1996.
7. W. Pytel, „Geomechaniczne problemy doboru obudowy kotwowej dla wyrobisk górniczych”, *KGHM Cuprum – Centrum Badawczo-Rozwojowe*, 2012
8. B. Sainsbury, M. Pierce, D. Mas Ivars, “Simulation of rock mass strength anisotropy and scale effects using a Ubiquitous Joint Rock Mass (UJRM) model”, *Continuum and Distinct Element Numerical Modeling in Geo-Engineering – 2008 – Hart, Detournay & Cundall (eds.) Paper: 06-02 Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis*,
9. K. Stec, W. Masny, „Analiza numeryczna dynamicznego oddziaływania wstrząsów górotworu na wyrobisko korytarzowe w zależności od położenia płaszczyzny pęknięcia w ognisku wstrząsu”, *Warsztaty z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie*. Katowice 2012, s. 387-400.
10. K. Tajduś, “Numerical simulation of underground mining exploitation influence upon terrain surface”, *Archives of Mining Sciences*, vol. 58 issue 3. Kraków 2013.
11. M. Wesołowski, „Numeryczny model wyrobiska korytarzowego w górotworze uwarstwionym”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, s. Górnictwo, z. 254, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
12. M. Wesołowski, „Zastosowanie liniowego ośrodka transwersalnie izotropowego do modelowania deformacji terenu górniczego”, *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice 2013.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2016

dr inż. Marek Wesołowski, dr inż. Piotr Kołodziejczyk, doc. w Pol. Śl.,
dr hab. inż. Piotr Bańka, prof. Pol. Śl., dr hab. inż. Henryk Badura, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska Gliwice, Wydział Górnictwa i Geologii
Instytut Eksploatacji Złóż
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: marek.wesolowski@polsl.pl; piotr.kolodziejczyk@polsl.pl
piotr.bank@polsl.pl; henryk.badura@polsl.pl

NUMERYCZNA SYMULACJA DYNAMICZNEGO ODDZIAŁYWANIA WSTRZĄSU GÓROTWORU NA WYROBISKO KORYTARZOWE

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki modelowania numerycznego wpływu obciążeń dynamicznych skał w rejonie wyrobiska korytarzowego, wywołanych wstrząsem górotworu. Ocenę zmian zachodzących w rejonie wyrobiska wykonano przy użyciu anizotropowego modelu ubiquitous joint. Przeprowadzona symulacja komputerowa obejmowała dwa zasadnicze etapy: symulację statyczną – obejmującą ocenę stanu zniszczenia struktury skalnej w rejonie wykonanego wyrobiska korytarzowego oraz symulację dynamiczną – obejmującą analizę dodatkowego obciążenia górotworu otaczającego wyrobisko i jego obudowę w wyniku wystąpienia wstrząsu. Jak wykazały przeprowadzone obliczenia numeryczne wzrost obciążeń wywołany wstrząsem górotworu spowodował istotne zwiększenie zasięgu stref zniszczeń w górotworze oraz deformacje konturu wyrobiska.

Słowa kluczowe: deformacje wyrobiska, model górotworu, naprężenia, strefy zniszczeń, wstrząs

NUMERICAL SIMULATION OF DYNAMIC EFFECTS OF A ROCKMASS SHOCK ON A MINE WORKING

Abstract: The paper presents results of numerical modeling of the effects of dynamic loads in an area of a mine working resulted from a rockmass shock. The assessment of changes affecting the working area has been evaluated with use of an anisotropic ubiquitous joint model. Computer simulation covered two main stages: static simulation, which includes assessment of the destruction state of rock structure in the surroundings of the mine working, and dynamic simulation that includes additional loads of the rockmass, which surrounds the working and its support in the result of the shock. Conducted numerical calculations demonstrated that increased loads resulted from a rockmass shock results in significant increase of destructions in the rockmass and increased deformations of the working profile.

Key words: destruction zones, rockmass model, shock, stresses, working's deformations