

# STAN NAPRĘŻENIA W GÓROTWORZE W OTOCZENIU PÓL ŚCIANOWYCH W KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO „BOGDANKA”

## Streszczenie

*W artykule przedstawiono wyniki badań numerycznych, dotyczące koncentracji naprężeń pionowych w sąsiedztwie chodników przyścianowych w KWK „Bogdanka”, która prowadzi eksploatację na dużej głębokości, w trudnych warunkach geologicznych. Uzyskane wyniki badań dają ogólny pogląd o wielkości i zasięgu wzmożonych naprężeń, w tym również pod krawędziami pokładu niżej zalegającego. Oszacowana wielkość tzw. współczynnika koncentracji naprężeń pozwala na poprawną lokalizację i dobór obudowy wyrobisk przygotowawczych dla kolejnych ścian.*

## 1. WSTĘP

Złoże węgla kamiennego w kopalni „Bogdanka” zalegają na dużej głębokości, rzędu około 950 m. Aktualnie eksploatuje się złoże w dwóch pokładach 382 i 385/2, zalegających w odległości około 40 m od siebie. Pokłady wybiera się systemami ścianowymi z zawałem stropu. Długość ścian wynosi od 200 do 300 m a wybiegi wynoszą około 2000 m.

Od początku istnienia kopalni występowały trudności z utrzymaniem wyrobisk chodnikowych, które objawiają się intensywnym wypiętrzaniem spągu i poziomym zaciskaniem konturów wyrobiska. Zjawiska te szczególnie nasilają się w strefie oddziaływania ciśnień eksploatacyjnych. W początkowym okresie eksploatacji postęp ścian wynosił  $1 \div 3$  m/dobę i prowadzono eksploatację ścian w kierunku „do pola”. Utrzymanie wyrobisk za frontem ściany było bardzo trudne i kosztowne. Zmiana kierunku prowadzenia ścian na kierunek „od pola”, zastosowanie nowych obudów i nowych sposobów zabezpieczenia skrzyżowań ściana-chodnik oraz zwiększenie postępów ścian do  $6 \div 10$  mm/dobę (maksymalny postęp 17 mb/dobę), spowodowały poprawę stateczności chodników przyścianowych w strefie oddziaływania ciśnień eksploatacyjnych.

Podstawową bazą do poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie zachowania stateczności i funkcjonalności wyrobisk chodnikowych były i są wyniki pomiarów „in situ” na stanowiskach badawczych, na których prowadzi się pomiary pionowego i poziomego zaciskania wyrobisk, rozwarstwień skał w otoczeniu wyrobisk, badania parametrów wytrzymałościowych skał realizowane głównie penetrometrem otworowym. W wyniku badań i obserwacji stwierdzono, że wpływ prowadzenia ściany na deformację górotworu i obudowy chodników przyścianowych zaznacza się do odległości około 160 m przed frontem ściany. Istotny wzrost deformacji następuje w odległości mniejszej niż 50 m. W profilu pionowym deformacje stanowi głównie wypiętrzanie spągu (około 90 % wielkości zaciskania pionowego).

Analiza wielkości zaciskania wyrobisk w strefie oddziaływania ciśnień eksploatacyjnych oraz parametrów wytrzymałościowych skał stanowiły podstawę do zaproponowania wielkości współczynnika wpływu ciśnień eksploatacyjnych na wzrost zasięgu strefy spękań i obciążenia obudowy [1].

Współczynnik ten wykorzystuje się przy projektowaniu wyrobisk chodnikowych w kopalni „Bogdanka”. Weryfikacja zaproponowanych wielkości współczynnika ciśnień eksploatacyjnych jest możliwa na drodze badań numerycznych. Uwzględniając wyniki badań *in situ* zbudowano w tym celu modele numeryczne dla przeprowadzenia analizy naprężenia, przemieszczenia i wyteżenia w otoczeniu chodników przyścianowych.

## 2. MODELOWANIE NUMERYCZNE

Zadawalające wyniki porównania prognoz numerycznych z obserwacjami kopalnianymi [2] doprowadziły do opracowania koncepcji tzw. współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha$ , który uwzględniałby wpływ krawędzi parcel eksploatacyjnych na stateczność wyrobisk korytarzowych. Tak zdefiniowany współczynnik określany byłby za pomocą wzoru [3,4]:

$$\alpha = \frac{\sigma_z}{p_z}$$

gdzie:

$\sigma_z$  - naprężenie pionowe wywołane działalnością górnictwem,

$p_z$  - pierwotne naprężenie pionowe.

Prowadzenie działalności górniczej zmienia pierwotny stan naprężenia w górotworze. W górotworze nienaruszonym eksploatacją współczynnik koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha = 1$ . Wybieranie kolejnych parcel ścianowych powoduje tworzenie się stref powiększonych

naprężeń pionowych oraz stref pomniejszonych naprężeń pionowych. Mówimy wtedy o strefach koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha > 1$  oraz o strefach odprężonych  $\alpha < 1$ .

Strefy koncentracji naprężeń pionowych tworzą się w rejonie oddziaływania krawędzi eksploatacyjnych. Z racji zakończenia eksploatacji w partii V pokładu 382 praktycznie będziemy mieć do czynienia tylko z wybieraniem kolejnych parcel ścianowych w pokładzie 385/2. Wiąże się to oczywiście z koniecznością wydrążenia odpowiedniej liczby wyrobisk korytarzowych, które będą najbardziej narażone na niekorzystne oddziaływanie zarówno dokonanej eksploatacji w pokładzie 382 jak i trwającej eksploatacji w pokładzie 385/2.

Poniżej omówiono wykonane serie przestrzennych obliczeń numerycznych symulujących kilka sytuacji mogących wystąpić podczas prowadzenia eksploatacji w pokładzie 385/2. Taki sposób obliczeń był niewątpliwie bardziej utylitarny i pozwolił na uzyskanie istotnych uogólnień dotyczących zasięgu stref koncentracji naprężeń poziomych jak i stref odprężonych.

### 3. MODELOWANIE NUMERYCZNE

#### 3.1. Budowa modeli numerycznych

Model numeryczny stanowiła prostopadłościenna kostka podparta u dołu i po bokach oraz obciążona od góry obciążeniem ciągłym wynikającym z grawitacji.

Problem rozpatrzono w przestrzennym stanie odkształcenia i naprężenia. Na bocznych oraz dolnej krawędzi tarczy przyjęto warunki przemieszczeniowe. Na obu bocznych krawędziach założono zerowe przemieszczenia poziome, zaś na dolnej zerowe przemieszczenia pionowe (rys. 3.0). Do krawędzi górnej przyłożono ciśnienie 20 MPa wynikające z grawitacji.

Przyjęto, że poniżej pokładu węgla 385/2, zalega warstwa łupku ilastego spągowego o miąższości 10 m, a następnie gruba warstwa mułowca i piaskowca. Przyjęto także, że pomiędzy pokładami 382 i 385/2 oraz powyżej pokładu 382 także zalega warstwa mułowca i piaskowca.

Podstawowe parametry odkształceniowe i wytrzymałościowe warstw skalnych oraz własności elementów obudowy przyjęte do obliczeń zamieszczono w tabeli 3.1.

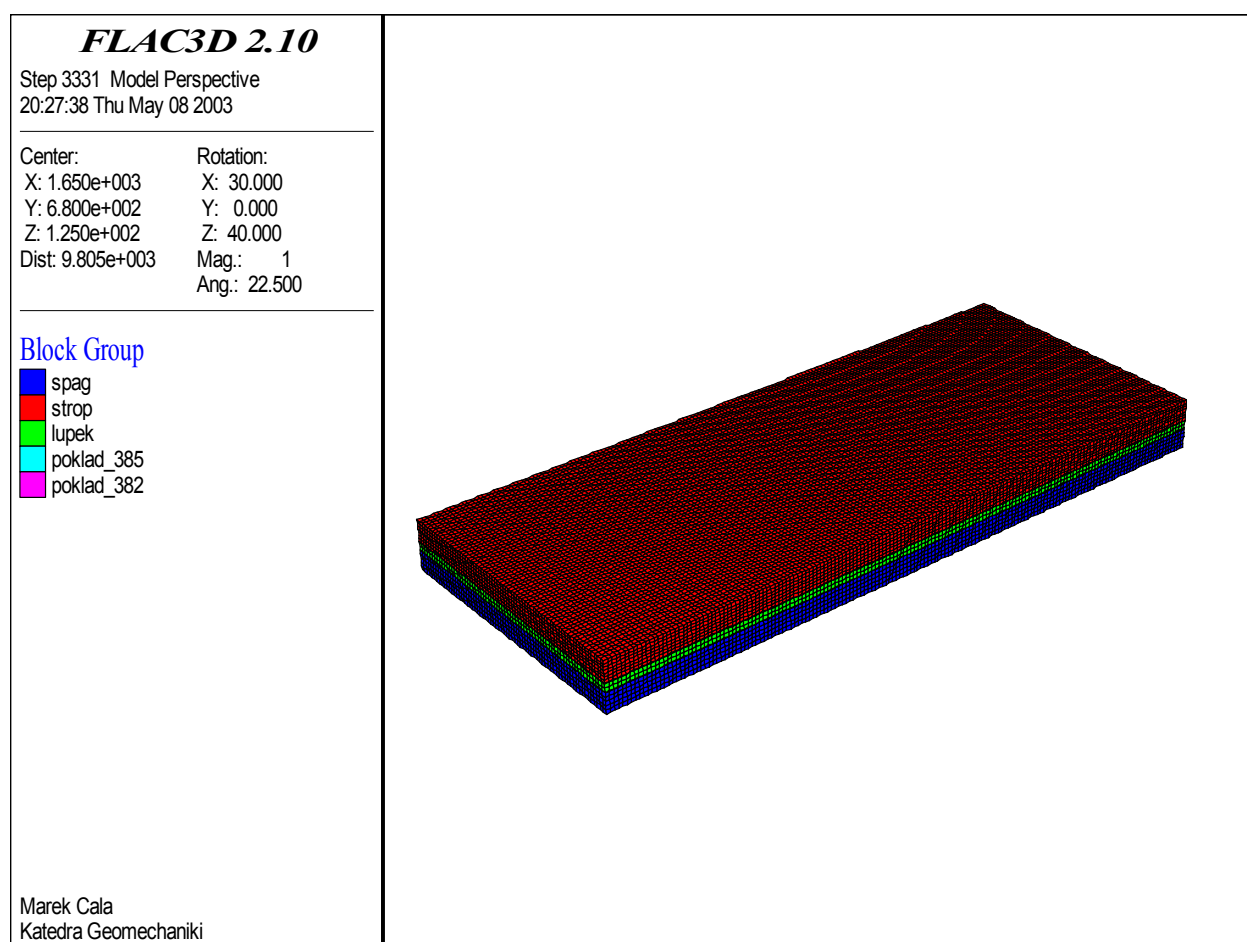
Tabela 3.1 Podstawowe parametry modelu obliczeniowego.

Parametr		Wartość				
Wymiary tarczy		3300 m x 1360m x 250 m				
Warunki brzegowe		Mieszane				
model ośrodka		sprężysto-plastyczny C-M				
Parametry górotworu						
Warstwa	Gęstość objętościowa, kg/m <sup>3</sup>	Moduł Younga, MPa	Liczba Poissona	Kohezja, MPa	Kąt tarcia wewnętrznego, stopnie	Wytrzymałość na rozciąganie MPa

łupek ilasty spągowy	2500	2900	0.25	1.2	28	1.2
piaskowiec + mułowiec	2500	9000	0.25	2.5	30	2.5
węgiel	1600	3500	0.25	1.5	30	1.5
zroby zawalowe	2250	125	0.25	0	10	0

Wszystkie obliczenia dla potrzeb niniejszego opracowania przeprowadzono za pomocą programu Metody Różnic Skończonych FLAC3D v. 2.1. Podstawy teoretyczne MRS, założenia przyjęte przez twórców programu oraz charakterystyka dostępnych modeli ośrodka są szczegółowo opisane w literaturze [5,6,7].

Dla zbudowanego modelu numerycznego przeanalizowano 3 zasadnicze warianty przestrzennego ułożenia parcel eksploatacyjnych w obu pokładach.



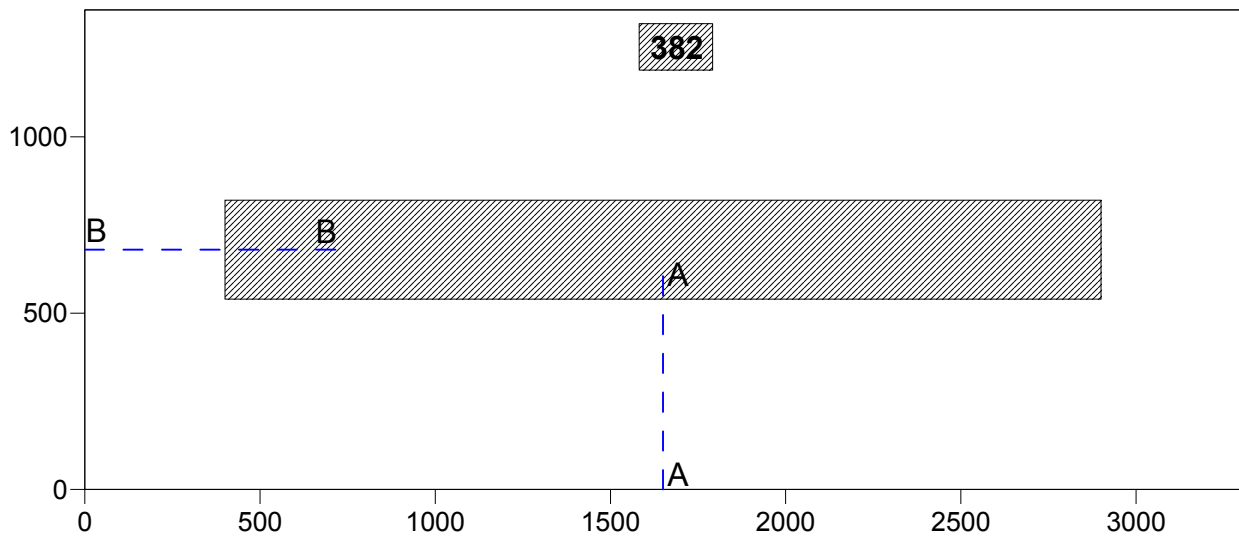
Rys.3.0. Geometria przestrzennego modelu numerycznego przyjętego do obliczeń.

### 3.2 Obliczenia numeryczne dla wariantu 1

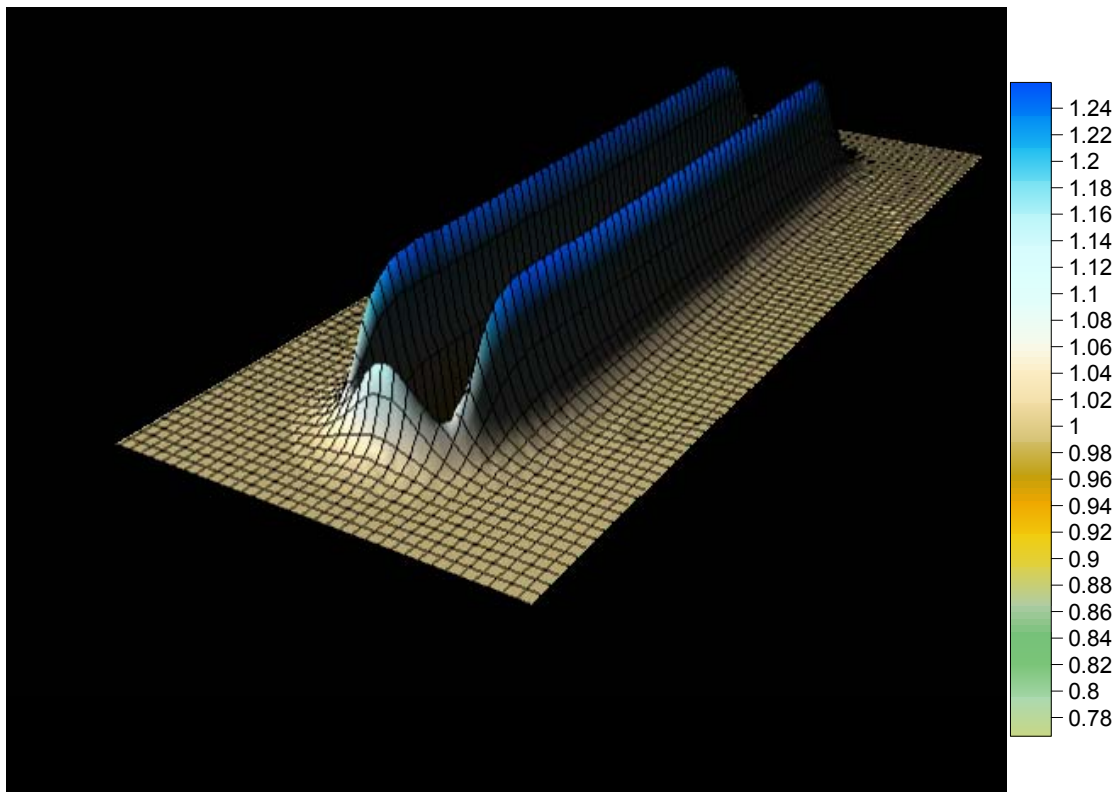
W **wariancie 1** założono, że w pokładzie 382 została wyeksploatowana parcela ścianowa o wybiegu 2500 m i szerokości 280 m. Na schemacie przedstawionym na rys. 3.1. pokazano także przerywaną czarną linią przekroje A-A i B-B, dla których sporządzono, na poziomie pokładu 382 oraz w zalegającym niżej pokładzie 385/2 wykresy przebiegu zmienności wskaźnika  $\alpha$ .

Na kolejnych rysunkach przedstawiono:

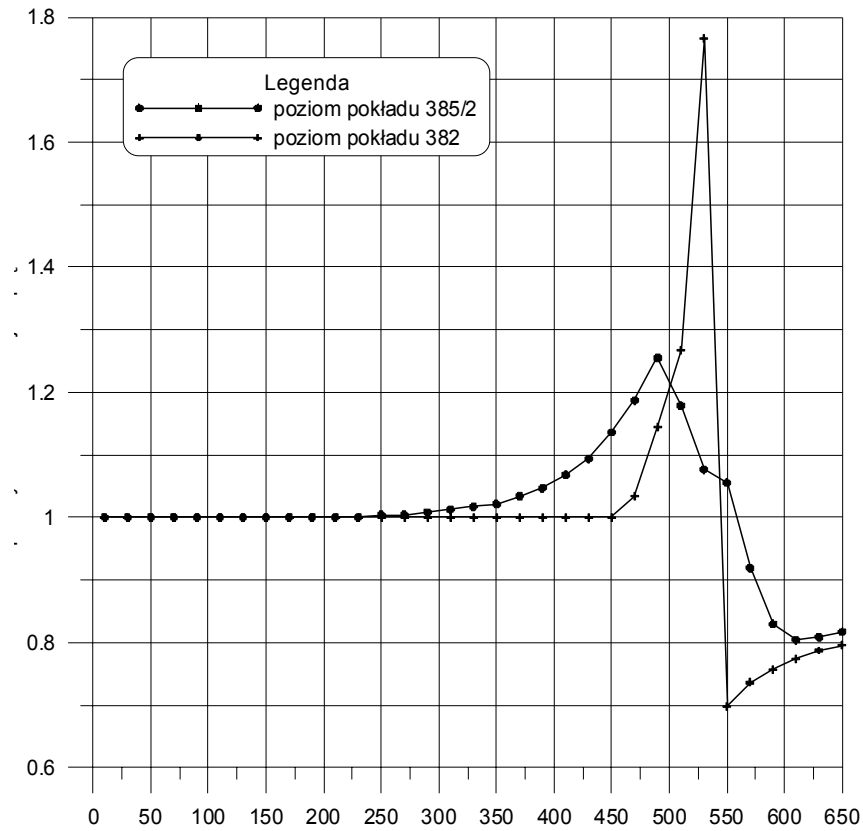
- rys. 3.2. przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 1** na poziomie pokładu 385/2,
- rys. 3.3. wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju A-A dla **wariantu 1** na poziomie pokładów 382 i 385/2,
- rys. 3.4. wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju B-B dla **wariantu 1** na poziomie pokładów 382 i 385/2.



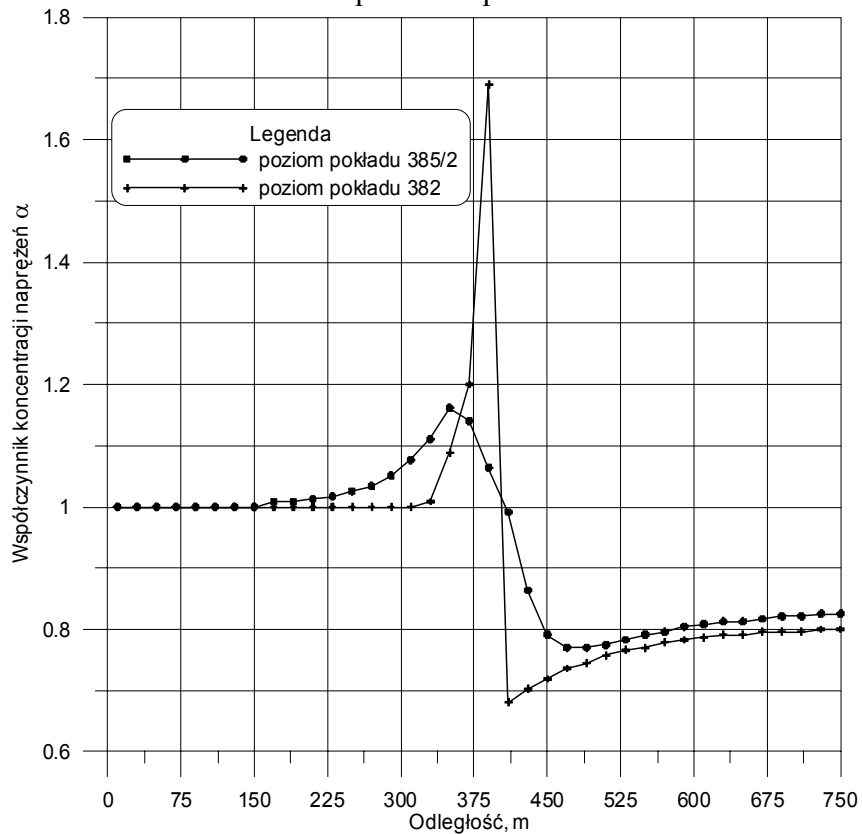
Rys.3.1. Schemat eksploatacji dla wariantu 1



Rys. 3.2. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla wariantu 1 na poziomie pokładu 385/2



Rys. 3.3. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha$  w przekroju A-A dla wariantu 1 na poziomie pokładów 382 i 385/2.



Rys. 3.4. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha$  w przekroju B-B dla wariantu 1 na poziomie pokładów 385/2 i 382.

Na rys. 3.3 i 3.4 maksymalne wartości współczynnika koncentracji naprężeń pionowych na poziomie pokładu 382 powinny występować bezpośrednio ponad krawędzią pokładu. Niewielkie przesunięcie, w stronę od krawędzi, jest spowodowane rozmiarami przyjętych do obliczeń stref.

W przekroju A-A maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  dla poziomu pokładu 382 są równe 1.77. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości 1.03 w odległości 70 m. Dla poziomu pokładu 385/2 maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  występują w odległości 50 m od krawędzi i są równe 1.249. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości 1.05 w odległości 150 m.

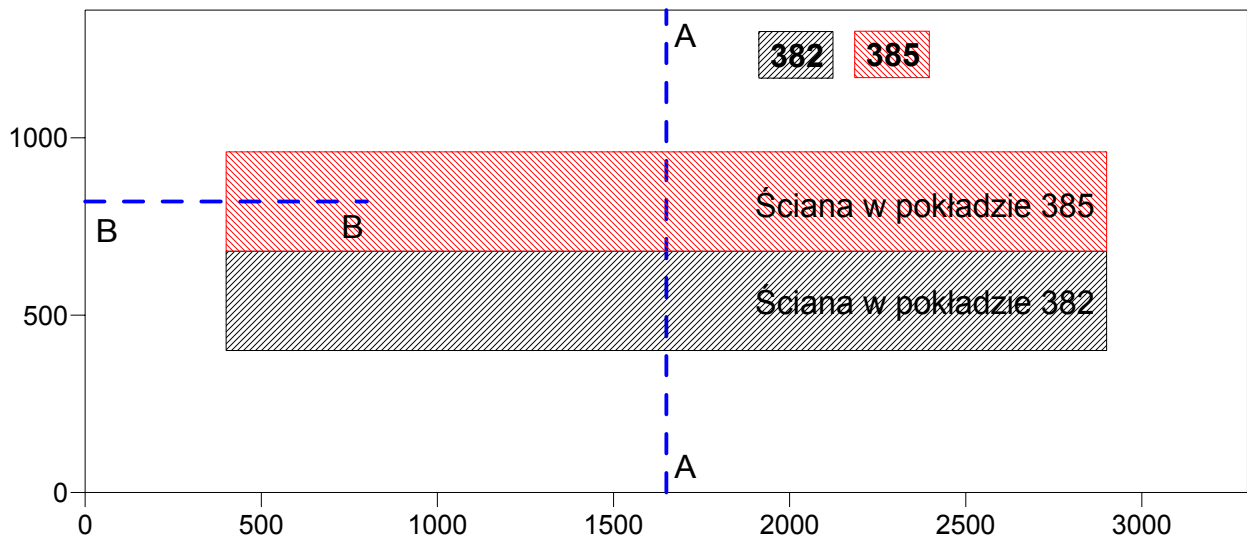
Z kolei dla przekroju B-B maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  dla poziomu pokładu 382 są równe 1.69. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości 1.05 w odległości 60 m. Dla poziomu pokładu 385/2 maksymalne wartości  $\alpha$  występują w odległości 50 m od krawędzi i są równe 1.162. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości poniżej 1.05 w odległości 110 m.

Przy wejściu pod krawędź zrobów, praktycznie dla obu analizowanych poziomów, zarówno w przekroju A-A jak i B-B, można mówić o strefie odprężonej.

Widać wyraźnie, że oddziaływanie krawędzi eksploatacji pokładu 382 na poziomie pokładu 385/2 jest przesunięte. Maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$ , zarówno dla przekroju A-A jak i B-B, występują w odległości około 50 m od krawędzi ściany.

### 3.3 Obliczenia numeryczne dla wariantu 2

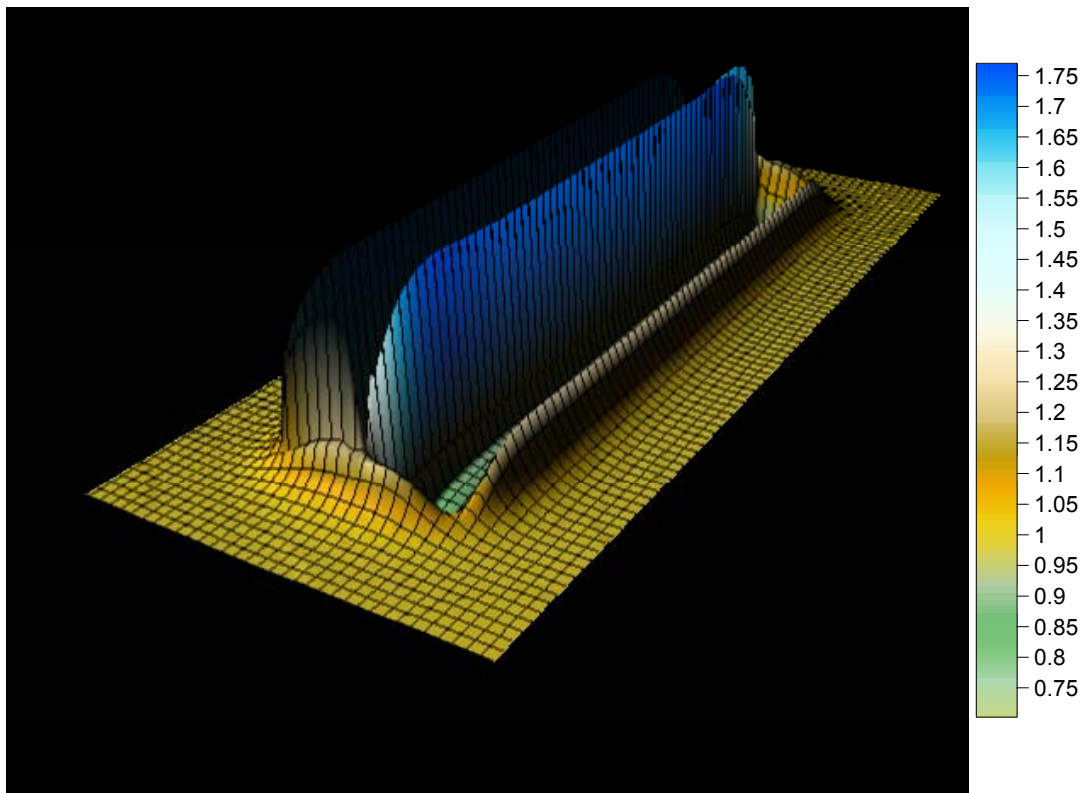
W **wariancie 2** założono, że w pokładzie 382 została wyeksploatowana parcela ścianowa o wybiegu 2500 m i szerokości 280 m oraz w pokładzie 385 też wybrano parcelę ścianową o takich samych wymiarach (rys.3.5). Wymienione parcele przylegają do siebie wzdłuż chodnika przyścianowego (krawędzi zrobów). Na schemacie przedstawionym na rys. 3.5 pokazano przerywana niebieską linią przekroje A-A i B-B, dla których sporządzono na poziomie pokładu 385, wykresy przebiegu zmienności wskaźnika  $\alpha$ .



Rys.3.5. Schemat eksploatacji dla wariantu 2

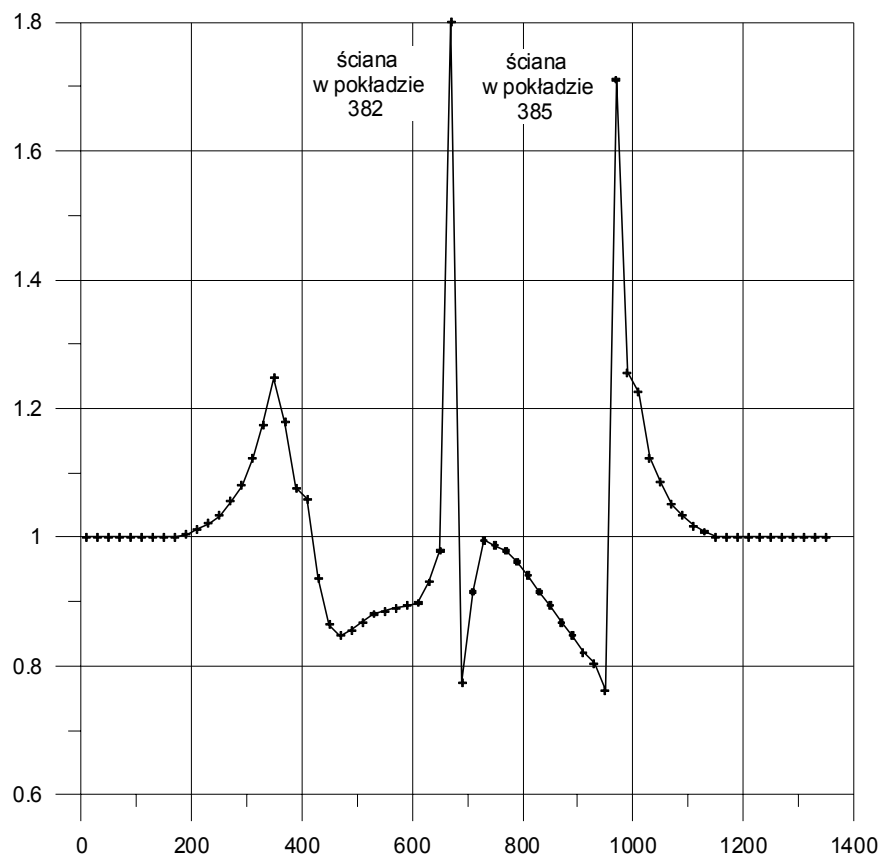
Na kolejnych rysunkach przedstawiono:

- rys. 3.6. przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 2**,
- rys. 3.7. wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju A-A dla **wariantu 2**,
- rys. 3.8. wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju B-B dla **wariantu 2**.

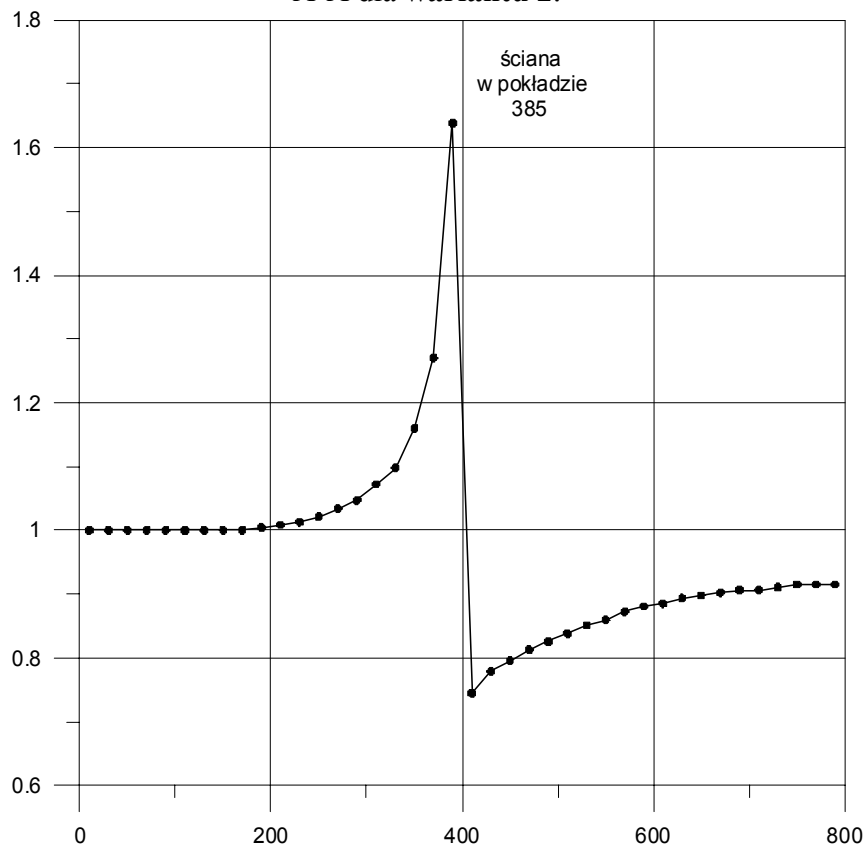


Rys. 3.6. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 2**.





Rys. 3.7. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju A-A dla wariantu 2.



Rys. 3.8. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju B-B dla wariantu 2.

W przekroju A-A maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  dla poziomu pokładu 385/2 są równe 1.80 i występują w rejonie sumowania się wpływów krawędzi ścian w pokładach 382 i 385/2. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości 1.00 w odległości 30 m. Kolejne maksimum wartości współczynnika  $\alpha$  występuje w rejonie drugiej krawędzi ściany w pokładzie 385/2. Tutaj maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  są równe 1.74. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości 1.055 w odległości 110 m.

Dla przekroju B-B maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  dla poziomu pokładu 385/2 są równe 1.64. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości 1.043 w odległości 110 m.

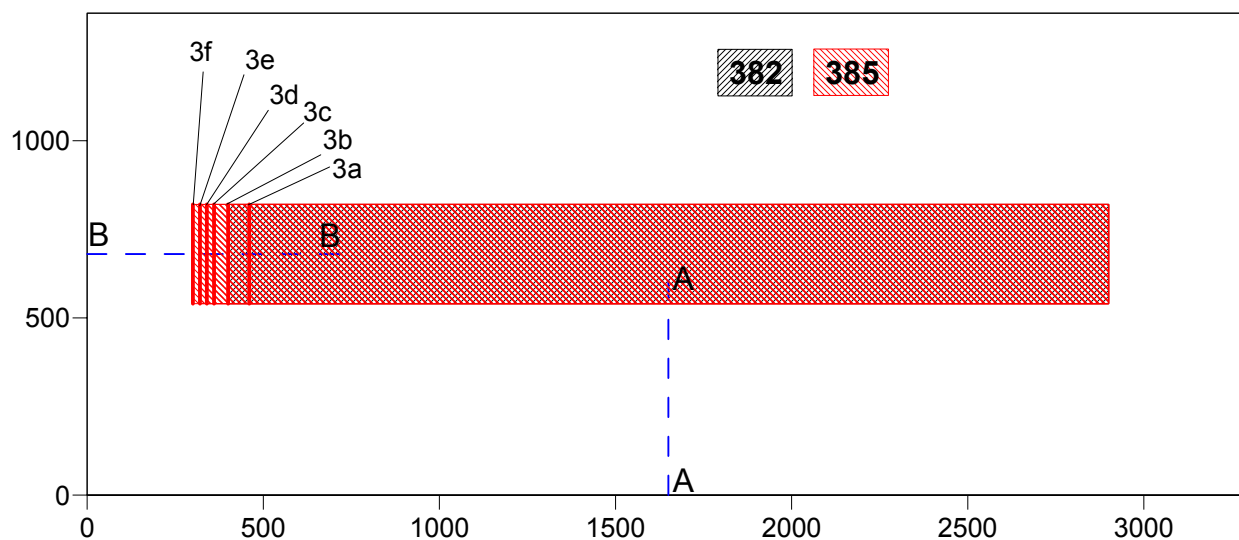
### 3.4 Obliczenia numeryczne dla wariantu 3

W **wariancie 3** założono, że w pokładzie 382 została wyeksploatowana parcela ścianowa o wybiegu 2500 m i szerokości 280 m oraz w pokładzie 385/2, bezpośrednio pod wybraną wyżej parcelą, też wyeksploatowano ścianę o takich samych wymiarach (rys.3.9).

W ramach **wariantu 3** rozpatrzono następujący sposób eksploatacji ściany w pokładzie 385/2:

W **wariancie 3a** założono, że linia frontu ściany w pokładzie 385 znajduje się 60 m przed krawędzią ściany w pokładzie 382. W **wariancie 3b** założono, że linia frontu ściany w pokładzie 385 znajduje się bezpośrednio pod krawędzią ściany w pokładzie 382. W **wariancie 3c** założono, że linia frontu ściany w pokładzie 385 znajduje się 40 m za krawędzią ściany w pokładzie 382; w **wariancie 3d** 60 m za krawędzią; w **wariancie 3e** 80 m za krawędzią i w **wariancie 3f** 100 m za krawędzią ściany w pokładzie 382.

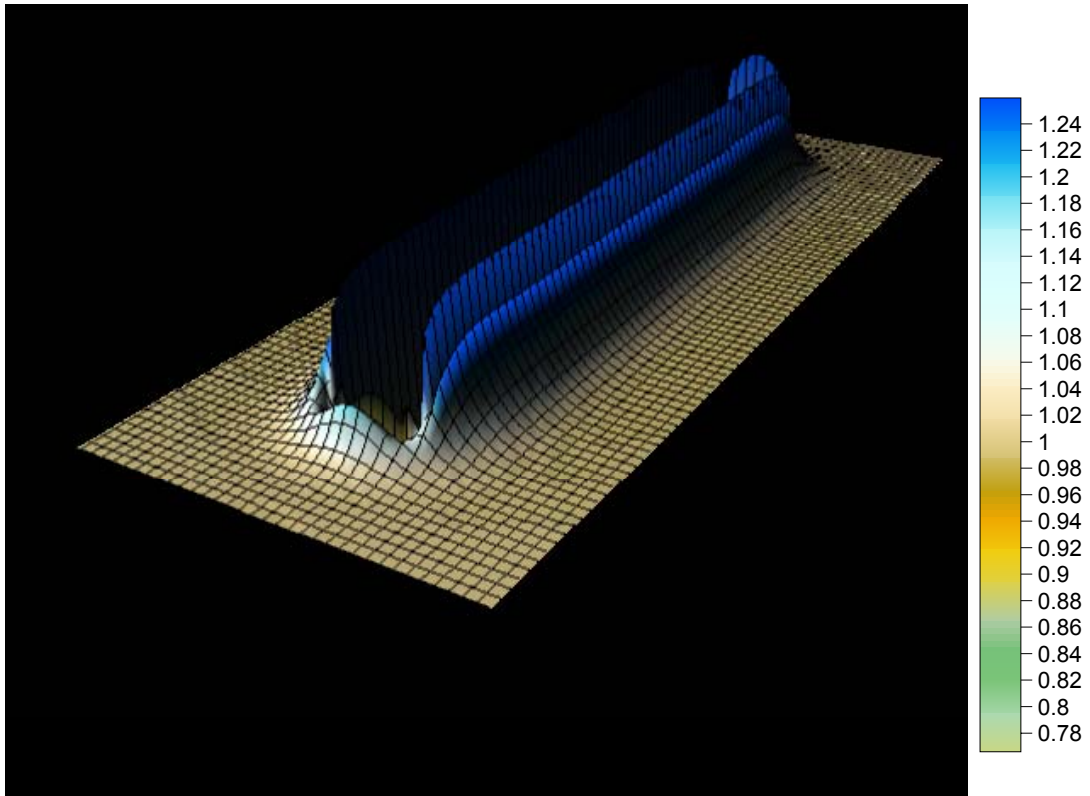
Na schemacie przedstawionym na rys. 3.9. pokazano także przerywaną niebieską linią przekroje A-A i B-B, dla którego sporządzono, na poziomie pokładu 385 wykresy przebiegu zmienności wskaźnika  $\alpha$ .



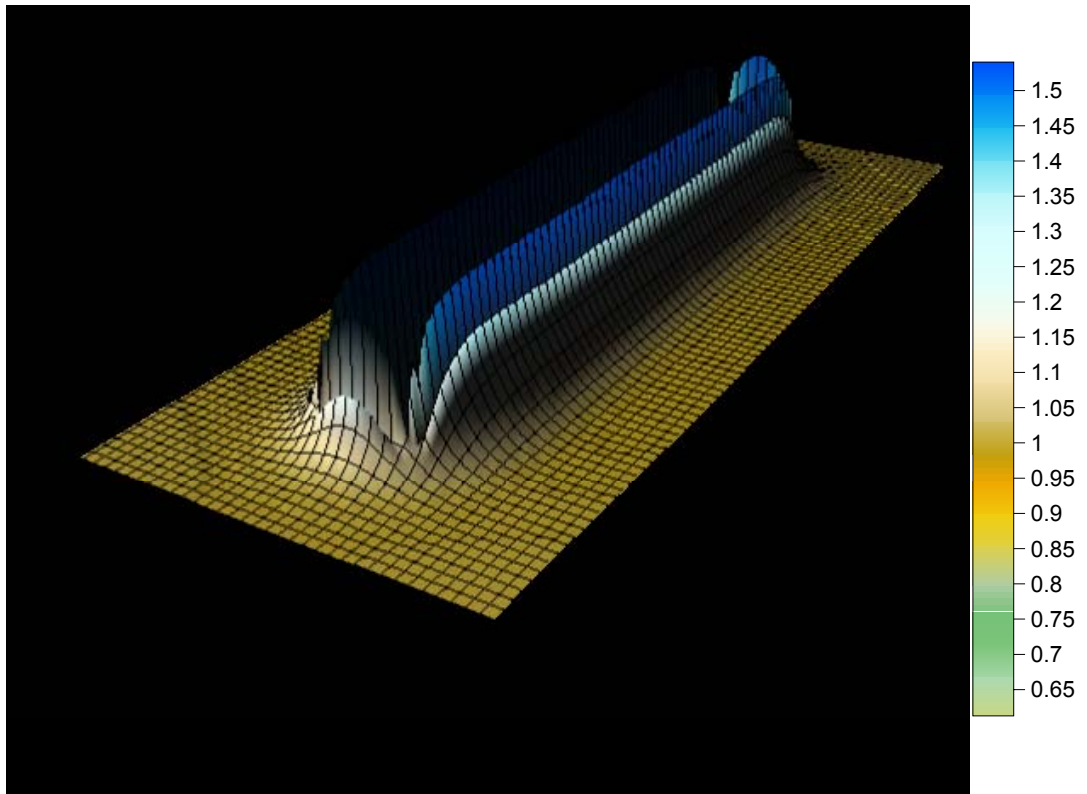
Rys.3.9. Schemat eksploatacji dla wariantu 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f

Na kolejnych rysunkach przedstawiono:

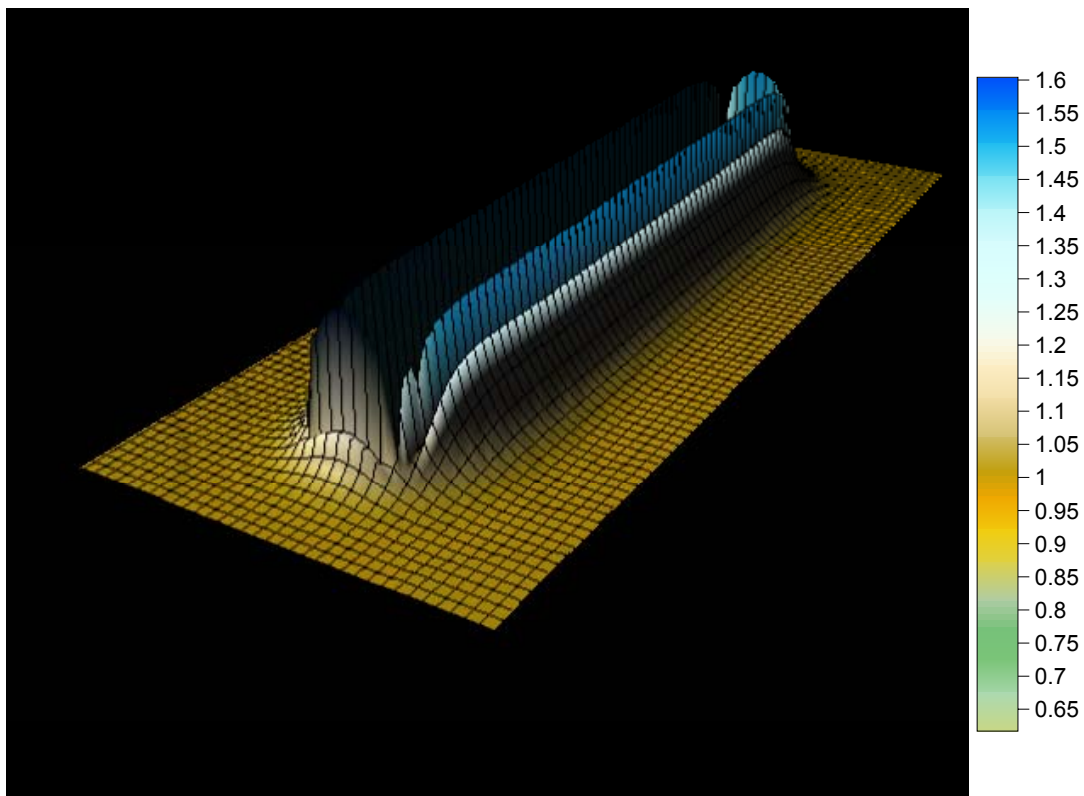
- rys. 3.10a. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 3a**,
- rys. 3.10b. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 3b**,
- rys. 3.10c. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 3c**,
- rys. 3.10d. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 3d**,
- rys. 3.10e. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 3e**,
- rys. 3.10f. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla **wariantu 3f**,
- rys. 3.11. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju A-A dla **wariantów 3a-3f**,
- rys. 3.12. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $a$  w przekroju B-B dla **wariantów 3a-3f**.



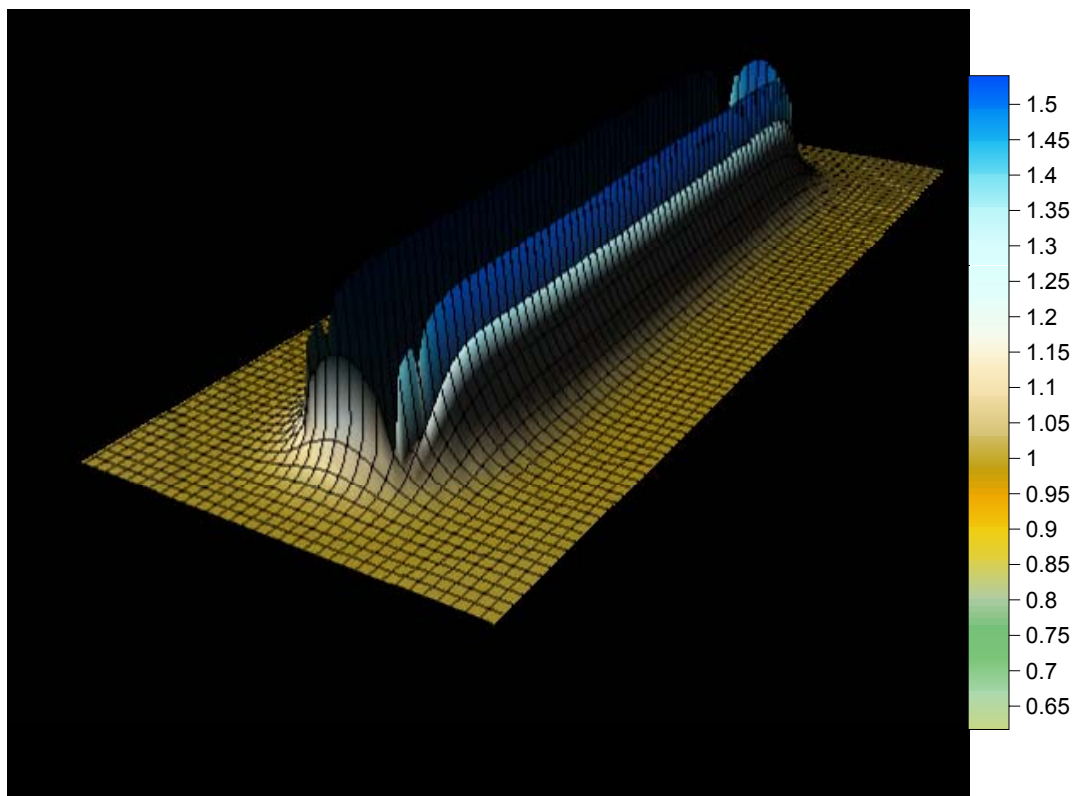
Rys. 3.10a. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla wariantu 3a.



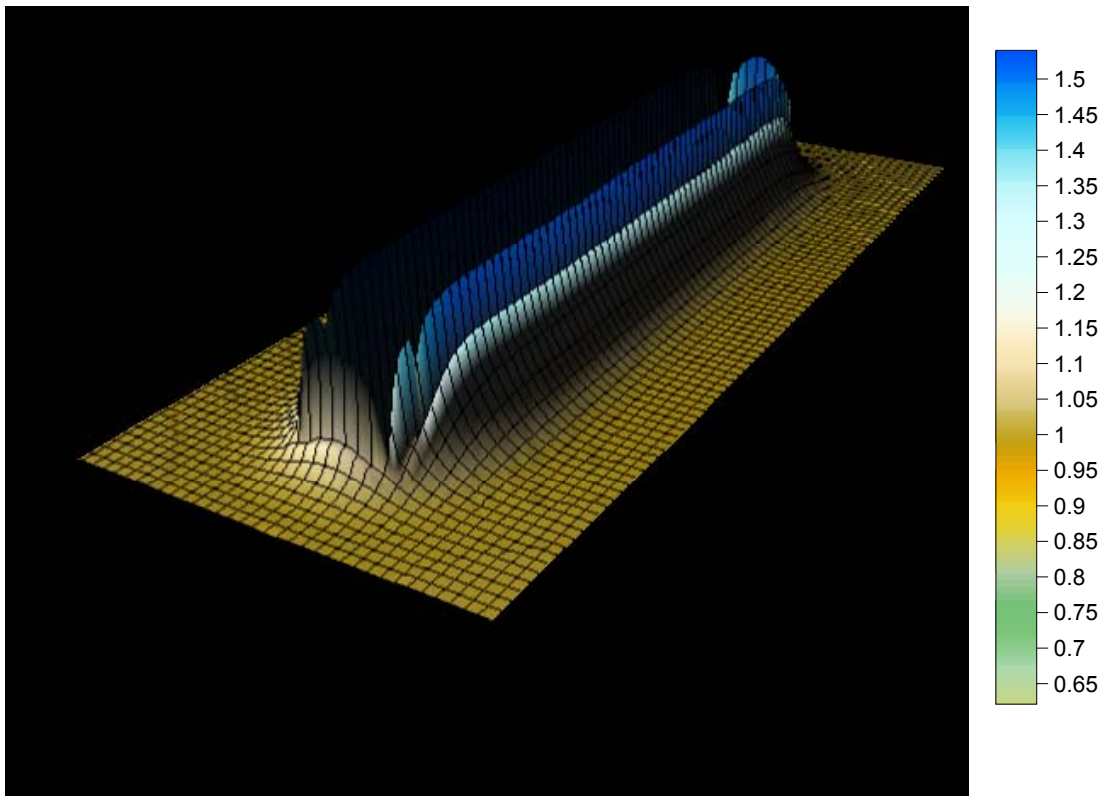
Rys. 3.10b. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla wariantu 3b.



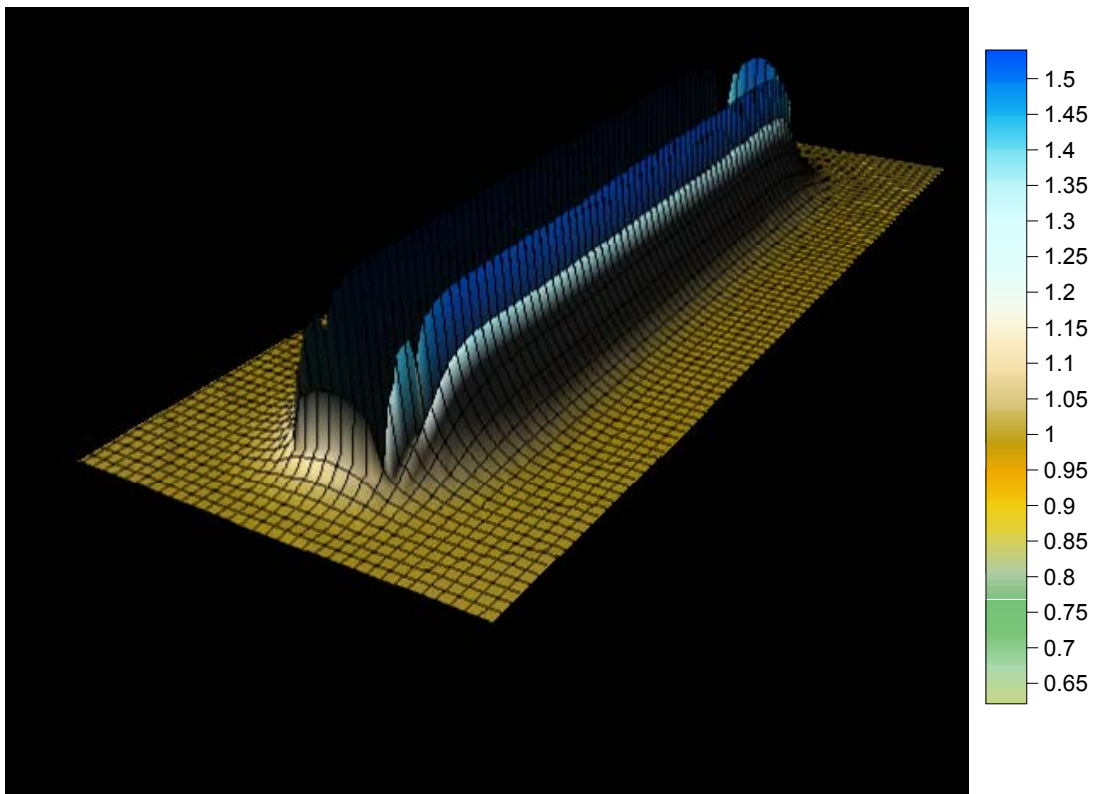
Rys. 3.10c. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla wariantu 3c.



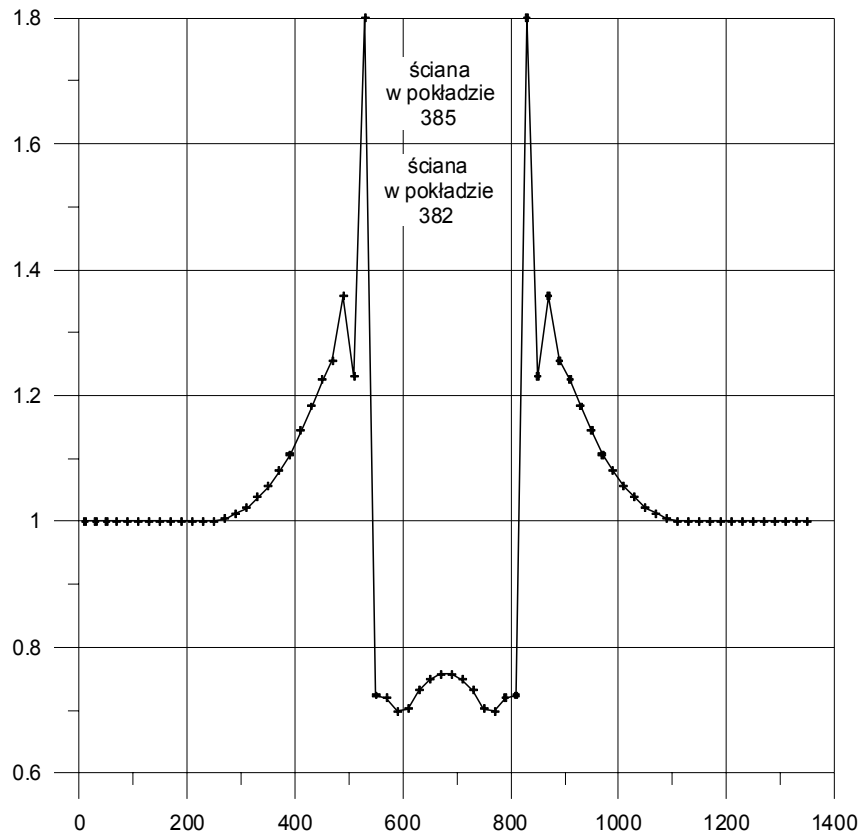
Rys. 3.10d. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla wariantu 3d.



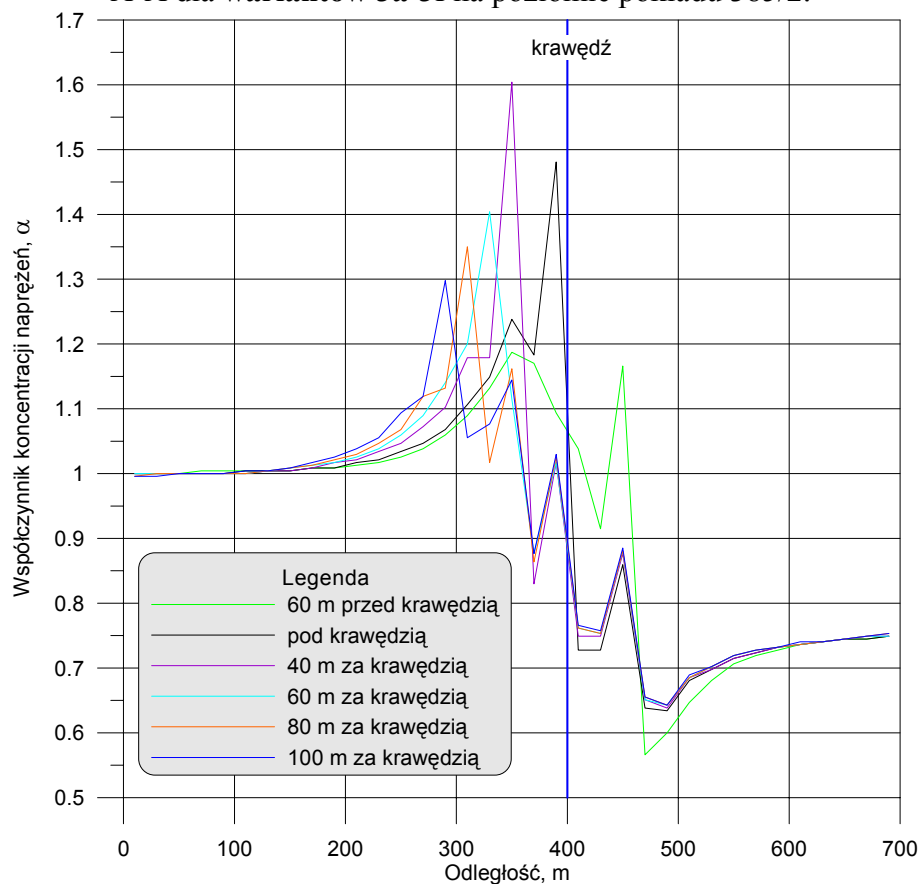
Rys. 3.10e. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla wariantu 3e.



Rys. 3.10f. Przestrzenna mapa rozkładu wskaźnika  $a$  dla wariantu 3f.



Rys. 3.11. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha$  w przekroju A-A dla wariantów 3a-3f na poziomie pokładu 385/2.



Rys. 3.12. Wykres zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha$  w przekroju B-B dla wariantów 3a-3f na poziomie pokładu 385/2.

W przekroju A-A maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  dla poziomu pokładu 385/2 są równe 1.80 i występują w rejonie sumowania się wpływów krawędzi ścian w pokładach 382 i 385/2. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, osiągając jeszcze lokalne maksimum w rejonie oddziaływania krawędzi ściany w pokładzie 382. W tym rejonie osiąga maksymalne wartości równe 1.357 w odległości 40 m od krawędzi obu ścian. Dalej, w miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości 1.055 w odległości 110 m.

Informacje dotyczące zmienności rozkładów współczynnika  $\alpha$  w przekroju B-B zebrano w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Charakterystyka zmienności współczynnika  $\alpha$  dla wariantów **3a-3f** w przekroju B-B

<b>Położenie frontu ściany w pokładzie 385</b>	<b>Lokalizacja maksymalnej wartości współczynnika <math>\alpha</math></b>	<b>Współczynnik <math>\alpha</math></b>
60 m przed krawędzią ściany w pokładzie 382	50 m przed krawędzią ściany w pokładzie 382	1.166
	50 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	1.187
pod krawędzią ściany w pokładzie 382	10 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	1.481
40 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	50 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	1.604
60 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	70 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	1.404
80 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	90 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	1.350
100 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	100 m za krawędzią ściany w pokładzie 382	1.298

W miarę zbliżania się z eksploatacją w pokładzie 385/2 do krawędzi ściany w pokładzie 382 wzrastają maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$ . Maksymalne wartości  $\alpha$  występują po przejściu pod krawędzią w odległości około 50 m. Następuje tam superpozycja wpływów eksploatacji parcel w obu pokładach i maksymalny współczynnik  $\alpha$  jest równy 1.604.

## **4. PODSUMOWANIE**

W powyższej pracy przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych przeprowadzonych dla określenia wpływu pól eksploatacyjnych w pokładach 382 oraz 385/2 na stan naprężenia w ich otoczeniu dla kilku charakterystycznych sytuacji górniczych. Zadawalające wyniki porównania prognoz numerycznych z obserwacjami kopalnianymi pozwoliły na sformułowanie koncepcji współczynnika koncentracji naprężeń pionowych  $\alpha$ , który uwzględnia wpływ krawędzi parcel eksploatacyjnych na stan naprężenia w ich otoczeniu.



Wyniki obliczeń numerycznych wskazują, że maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  występują na poziomie eksploatowanej parceli. Oddziaływanie krawędzi eksploatacji pokładu 382 na poziomie pokładu 385/2 jest przesunięte. Maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$  występują w odległości około 50 m od krawędzi ściany. W miarę oddalania się od krawędzi, współczynnik  $\alpha$  maleje, aż do osiągnięcia wartości poniżej 1.05 w odległości 110 m.

W przypadku prowadzenia eksploatacji parceli w pokładzie 385/2 bezpośrednio pod parcelą wybraną w pokładzie 382, w miarę zbliżania się frontu ściany do krawędzi, wzrastają maksymalne wartości współczynnika  $\alpha$ . Występują one po przejściu pod krawędzią w odległości około 50 m. Następuje tam superpozycja wpływów eksploatacji parcel w obu pokładach i maksymalny współczynnik  $\alpha$  jest równy 1.604.

Wartości współczynnika  $\alpha$ , określone w oparciu o przeprowadzone obliczenia numeryczne, pozwalają na uproszczone oszacowanie wpływu eksploatacji parcel ścianowych w pokładach 382 i 385/2 na stan naprężenia w ich otoczeniu i określenie współczynnika wpływu ciśnień eksploatacyjnych na wzrost obciążenia obudowy wyrobisk korytarzowych. Dla przyjętego w pracy [1] modelu obciążenia obudowy, współczynnik wpływu ciśnień eksploatacyjnych można określić z zależności:

$$n_3 = \frac{q_{zk}}{q_z}$$

gdzie:

$q_z$  – charakterystyczne ciśnienie statyczne obciążające obudowę obliczone przy założeniu, że  $\sigma_z = p_z$ , [1],

$q_{zk}$  - ciśnienie statyczne obciążające obudowę obliczone przy założeniu, że  $\sigma_z = \alpha \cdot p_z$ , [8].

Przykładowo dla głębokości eksploatacji  $H = 920$  m, wytrzymałości na ściskanie górotworu w charakterystycznym profilu geologicznym  $R_{cg} = 20$  MPa i współczynnika koncentracji naprężeń  $\alpha = 1,77$ , współczynnik wpływu ciśnień eksploatacyjnych  $n_3 = 1,25$ . Jest to wielkość zbieżna z wartością współczynnika określoną według zaleceń zawartych w „Instrukcji ...” [1].

## 5. LITERATURA

1. Piechota S. i inni: Instrukcja doboru obudowy wyrobisk korytarzowych w kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A., Kraków-Bogdanka, 2002.
2. Piechota S. i inni: Badania wpływu zrobów i eksploatacji pokładu 382 na warunki wybierania w pokładzie niżej leżącym 385/2. Etap I i II. KGP. AGH, 2002.
3. Cała M., Tajduś A. Stan naprężenia pod pozostawionym filarem lub resztką pokładu. *Tapania 2001*. Wydawnictwo GIG, 2001.
4. Tajduś A., Flisiak J., Cała M. Estimation of rockburst hazard basing on 3D stress field analysis. *Rockburst & Seismicity in Mines* (edited by Lasocki & Gibowicz). Kraków, 1997.
5. FLAC3D v. 2.1a. *Users manual*. 2001. Itasca Consulting Group. Minneapolis. USA.
6. FLAC3D v. 2.1b. *Optional features*. 2001. Itasca Consulting Group. Minneapolis. USA.
7. FLAC3D v. 2.1c. *Theory and background*. 2001. Itasca Consulting Group. Minneapolis. USA.
8. Norma branżowa BN-82/0434-07 – Wyrobiska korytarzowe i komorowe, obudowa powłokowa. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych.