

Zenon PILECKI\*

## ***Modelowanie numeryczne pola naprężenia w górotworze naruszonym wielopokładową eksploatacją węgla kamiennego w warunkach silnego zagrożenia sejsmicznego***

Streszczenie: Przedstawiono numeryczną dwuwymiarową symulację pola naprężenia wytworzonego w wyniku wielopokładowej eksploatacji węgla kamiennego, prowadzonej w trudnych warunkach zagrożenia sejsmicznego, w jednej z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Obliczono wpływ projektowanej eksploatacji w dwóch wariantach na zmianę pola naprężenia w górotworze. Dokonaną eksploatację symulowano w kolejności chronologicznej, w okresach kwartalnych. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wybranych przekrojów geologicznych, w przybliżeniu prostopadłych do siebie. Przemieszczenia pionowe w modelu kontrolowano na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych obniżenia powierzchni terenu. Obliczenia wykonano w ośrodku sprężysto-plastycznym z kryterium wytrzymałościowym Coulomba-Mohra za pomocą programu FLAC ver. 5.0. Generalnie, analiza numeryczna pokazała, że projektowana eksploatacja w zależności od wariantów w zróznicowany sposób zmieniała pole naprężeń w analizowanej partii górotworu. Podkreślono, że duży wpływ na kształtowanie się zagrożenia sejsmicznego miały koncentracje naprężeń, zwłaszcza w strefie uskokowej, grubych warstwach skalnych i w rejonie krawędzi eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: modelowanie numeryczne, wielopokładowa eksploatacja pokładów węgla, pole naprężenia, zagrożenie sejsmiczne

### ***Numerical modeling of stress field influenced by multi-seam hard coal mining in strong seismic threat conditions***

Abstract: Numerical simulation of stress field influenced by multi-seam hard coal mining, in difficult geological and mining conditions, in one of the coal mine of Upper Silesian Basin has been presented. The changes of stress field in rock mass, as a result of up to date mining and planned mining in different variants, have been calculated. Simulation has been carried out for two geological cross-sections, perpendicular each other

---

\* Dr hab. inż., prof. nadzw., Zakład Geodynamiki i Inżynierii Środowiska, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: pilecki@min-pan.krakow.pl

approximately, in direction of N-S and W-E. In the model, vertical displacements have been controlled by results of geodetic measurements of terrain surface subsidence. Calculation has been done in elastic-plastic medium with Mohr-Coulomb criterion with the help of the FLAC v. 5.0 system.

These numerical analysis enables to estimate the influence of planned mining on stress field, and as well seismic threat. Generally, obtained results showed, that planned mining in analyzed variants may cause different stress changes, especially in fault zone, thick geological layers, and close to neighboring seam edges, and finally different seismic threat forming.

Key words: numerical modeling, multi-seam hard coal mining, stress field, seismic threat

## **Wprowadzenie**

Podstawowym celem dwuwymiarowej symulacji numerycznej była analiza pola naprężenia w górotworze, wytworzonego w wyniku dotychczasowej i projektowanej, wielopokładowej eksploatacji pokładów węgla kamiennego w warunkach silnego zagrożenia sejsmicznego, w jednej z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Projektowanej eksploatacji na dużej głębokości około 1000 m towarzyszyły duże wartości naprężeń pierwotnych dodatkowo zaburzone dotychczasową wielopokładową eksploatacją. Niekorzystny wpływ na kształtowanie się stanu naprężenia i deformacji miała tektonika utworów karbońskich oraz grube warstwy piaskowców, mułowców i iłowców, a zwłaszcza tzw. piaskowca zameckiego (ok. 68 m) występującego nad pokładem 703/1 w odległości pionowej około 220 m. Przedstawione obliczenia numeryczne są fragmentem większego opracowania wykonanego w IGSMiE PAN (Dokumentacja 2006).

Symulację numeryczną przeprowadzono dla dwóch sytuacji geologiczno-górnich, w jednym rejonie eksploatacji, opisanych dwoma przekrojami geologicznymi A-A' i B-B' w przybliżeniu prostopadłymi do siebie (rys. 1). Dotychczasowe pole naprężenia wytworzone w wyniku wieloletniej eksploatacji pokładów węgla odtworzono w sposób chronologiczny. Analizowano rozkłady naprężenia pionowego, poziomego i stycznego, a zwłaszcza duże zmiany tych wielkości pod kątem występowania stref zagrożenia sejsmicznego. W szczególności analizowano pole naprężenia dla wariantowej eksploatacji ścian I-E1 i II-E1 w pokładzie 703/1.

Modelowanie numeryczne przeprowadzono w następujących podstawowych etapach:

- konstrukcja modelu fizycznego,
- konstrukcja modelu obliczeniowego,
- doprowadzenie do równowagi sił w modelu w polu naprężeń pierwotnych,
- wprowadzenie punktów monitorujących obniżenia powierzchni terenu,
- chronologiczna symulacja dokonanej eksploatacji pokładów węgla z etapową stabilizacją sił w modelu po uzyskaniu wartości obniżenia powierzchni terenu odpowiadających wynikom pomiarów geodezyjnych,
- symulacja projektowanej eksploatacji pokładów węgla w dwóch wariantach,
- analiza jakościowych i ilościowych zmian pola naprężenia.

Obliczenia numeryczne przeprowadzono za pomocą programu *FLAC v. 5.0*, prod. Itasca, USA bazującego na metodzie różnic skończonych (Flac 2005).

Praca przedstawia możliwości dwuwymiarowej symulacji numerycznej pola naprężeń wytworzonego przez wielopokładową eksploatację węgla kamiennego. Pokazuje ona zalety oraz ograniczenia w realizacji tego rodzaju obliczeń.

## 1. Model fizyczny

Opracowano dwa modele fizyczne na podstawie dwóch przekrojów geologicznych (rys. 1): A-A', przechodzącego przez linię wyznaczoną przez chodnik międzyścianowy dla ścian I-E1 i II-E1 w pokładzie 703/1 w kierunku zbliżonym do N-S (rys. 2) oraz przekrój B-B', przechodzący przez linię utworzoną przez fronty ścian I-E1 i II-E1 w przybliżeniu prostopadłym do przekroju A-A' w kierunku zbliżonym do W-E (rys. 3).

Model fizyczny A-A' zbudowano z 61 warstw geologicznych przeciętych w części południowej uskokiem rydułtowskim III. Model posiadał wymiary prostokąta o wysokości 1260 metrów i szerokości 2800 m. W modelu A-A' eksploatację symulowano chronologicznie w 8 pokładach w następującej kolejności: 604, 606, 613, 615, 620/1-2, 624, 703/1 i 713/1-2.

Model fizyczny B-B' zbudowano z 65 warstw geologicznych zmiennie nachylonych zgodnie z kształtem modelowanej niecki. Model posiadał wymiary prostokąta o wysokości 1260 m i szerokości 4280 m. W modelu B-B' eksploatację symulowano chronologicznie w 14 pokładach w następującej kolejności: 604, 613/3, 615/1, 616/2, 620/1-2, 624, 626, 629/1, 703/1 (1988-2003), 713/1-2 (2000-2004), 703/1 (2002-2005), 706 i 713/1-2. W pokładach 703/1, 706 i 713/1-2 obliczenia wykonano w dwóch wariantach zmieniając kolejność eksploatacji projektowanych ścian.

Stałe materiałowe górotworu przyjęte w obu modelach fizycznych wyznaczono według metody Hoeka na podstawie danych z badań laboratoryjnych skał (dokumentacje opracowane przez Główny Instytut Górnictwa, firmę Labor, Stację Mechaniki Górotworu KWK „Marcel”) oraz innych prac wykonanych w podobnych warunkach (tab. 1 i 2).

Dane z badań laboratoryjnych zostały uśrednione dla każdej badanej warstwy. Dane pomiarowe zasadniczo dobrze opisywały warstwy jaklowieckie, a warstwy porębskie zostały zbadane fragmentarycznie. Uskok rydułtowski III zamodelowano w taki sposób, aby tzw. wskaźnik mobilności wynosił  $M_{fi} = 75\%$ . Wskaźnik ten opisuje stosunek maksymalnego przemieszczenia cząsteczki ośrodka nie zaburzonego uskokiem do maksymalnego przemieszczenia płaszczyzn uskoku względem siebie. Dla przyjętego wskaźnika mobilności pozostałe stałe materiałowe uskoku rydułtowskiego III zestawiono w tabeli 2.

## 2. Model obliczeniowy

Obliczenia numeryczne przeprowadzono w ośrodku sprężysto-plastycznym z warunkiem wytrzymałościowym Coulomba-Mohra. Modelowany stan naprężenia ma charakter przestrzenny, w którym dwie składowe naprężenia poziomego, w układzie naprężeń głównych, mają równe wartości. Wielkość składowych naprężenia pionowego i poziomego przyjęto w obu modelach A-A' i B-B' jako zmienne w przedziale głębokości modelu. Pionowe naprężenie pierwotne  $\sigma_v$  wprowadzono zgodnie ze wzorem:

$$\sigma_v = \sum (\rho_i \cdot h_i) \cdot g \quad (1)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie = 9,81 m/s<sup>2</sup>,

TABELA 1. Stałe materiałowe modeli numerycznych A-A' i B-B'

TABLE 1. Material constants of numerical models A-A' and B-B'

Warstwa geologiczna	Gęstość objętościowa [kg/m <sup>3</sup> ]	Moduł sprężystości objętościowej [GPa]	Moduł sprężystości postaciowej [GPa]	Współczynnik Poissona [-]	Kąt tarcia wewn. [stopnie]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Spójność [MPa]
Nadkład	2 090	0,279	0,056	0,40	38,4	0,002	0,002
Howce	2 120–2 650	4,14–10,3	2,13–6,16	0,25–0,28	13,3–47,0	0,070–0,46	0,047–3,55
Mułowce	2 060–2 660	0,797–2,99	0,411–1,79	0,25–0,28	12,9–32,8	0,028–0,087	0,227–2,2
Węgiel	1 200–1 320	0,320–0,806	0,13–0,33	0,32	9,1–14,6	0,04–0,019	0,082–0,82
Piaskowce	1 990–2 610	0,669–18,8	0,46–12,9	0,22	36,0–52,1	0,007–0,551	0,217–5,78
Piaskowiec zamecki	2 550	17,8	12,3	0,22	52,1	0,551	3,26
Piaskowiec	2 600	12,7	8,75	0,22	43,8	0,305	4,74
Węgiel p. 629/630	1 240	0,453	0,185	0,32	7,4	0,8	0,12
Węgiel p. 703	1 250	0,717	0,293	0,32	14,6	0,011	0,382
Węgiel p. 706	1 250	0,717	0,293	0,32	14,6	0,011	0,382
Węgiel p. 713	1 320	0,717	0,293	0,32	10,5	0,045	0,124

TABELA 2. Stale materiałowe uskoku rydułtowskiego III

TABLE 2. Material constants of rydułtowski III fault

Parametry mechaniczne	Wartość
Współczynnik sztywności normalnej $k_n$ [MPa/m]	125
Współczynnik sztywności stycznej $k_s$ [MPa/m]	50
Kąt tarcia wewnętrznego [stopnie]	30
Spójność [MPa]	0,5
Wytrzymałość na rozciąganie [Pa]	15

$\rho_i$  – gęstość objętościowa konkretnej warstwy modelu,

$h_i$  – grubość konkretnej warstwy modelu.

Natomiast poziome naprężenie pierwotne  $\sigma_H$  obliczono ze wzoru:

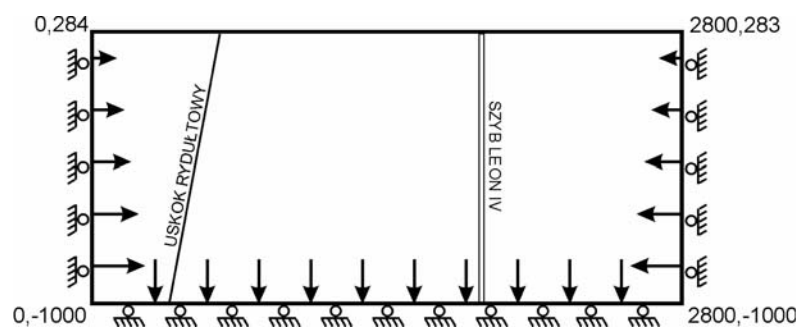
$$\sigma_H = \lambda \cdot \sigma_v \quad (2)$$

gdzie:

$\lambda$  – współczynnik rozporu bocznego = 0,42.

Stan naprężenia i deformacji kontrolowany był wielkością obniżenia powierzchni terenu w wybranych charakterystycznych punktach pomierzonych metodą geodezyjną dla każdej dokonanej eksploatacji konkretnego pokładu w okresach kwartalnych.

Warunki brzegowe i początkowe dla modelu A-A' zilustrowano na rysunku 4. Na prawej i lewej krawędzi modelu unieruchomiono przemieszczenia poziome dopuszczając jedynie swobodny ruch w kierunku pionowym. Natomiast na dolnej krawędzi zablokowano przemieszczenia pionowe dopuszczając ruch w kierunku poziomym. Górna ramka – powierzchnia terenu – była powierzchnią swobodną. Oczko siatki obliczeniowej wynosiło od około



Rys. 4. Model obliczeniowy wzdłuż przekroju A-A'

Fig. 4. Calculation model along A-A' cross-section

0,5 × 0,5 metra dla utworów jakłowieckich i do kilku metrów maksymalnie dla utworów porębskich. W przybliżeniu model posiadał około 2 mln oczek siatki obliczeniowej.

W modelu B-B' przyjęto analogiczne jak dla modelu A-A' warunki brzegowe i początkowe oraz założenia dotyczące siatki obliczeniowej. Posiadał on w przybliżeniu około 5 mln oczek obliczeniowych.

### **3. Analiza wyników obliczeń**

#### **3.1. Analiza numeryczna pola naprężenia wytworzonego w górotworze w wyniku wielopokładowej eksploatacji wzdłuż przekroju A-A'**

Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono na podstawie rozkładów naprężenia w górotworze po etapowym symulowaniu eksploatacji pokładów węgla. W szczególności zwrócono uwagę na zmiany naprężenia w warstwie piaskowca zameckiego oraz w sąsiedztwie uskoku rydułtowskiego mające istotny wpływ na kształtowanie się zagrożenia sejsmicznego w rejonie projektowanej eksploatacji pokładów 703/1 i 713/1-2. Rozkład naprężeń pionowych, poziomych i stycznych po eksploatacji pokładów 604, 606, 613, 615, 620/1-2 i 624 został przyjęty jako stan początkowy dla obliczenia zmian pola naprężenia wytworzonych eksploatacją pokładu 703/1 i 713/1-2. Na rysunku 5a, b i c przedstawiono w odpowiedniej kolejności pola naprężenia pionowego, poziomego i stycznego przed eksploatacją pokładów 703/1 i 713/1-2. Zmiany naprężeń wytworzone eksploatacją pokładu 703/1 przedstawiono na rysunkach 6a, b i c, a 713/1-2 na rysunkach 7a, b i c.

#### ***Pole naprężenia w górotworze po eksploatacji pokładów 604, 606, 613, 615, 620/1-2 i 624***

W rejonie nienaruszonym eksploatacją pokładów 703/1 i 713/1-2, wartości naprężeń pionowych wynosiły od około 18 MPa do około 30 MPa. W warstwie piaskowca zameckiego wartość naprężenia pionowego wynosiła od około 18 MPa do około 24 MPa. Zauważalne były zaburzenia pola naprężeń pionowych w rejonie uskoku rydułtowskiego o wartościach dochodzących do 50 MPa, które mogły być przyczyną występującej sejsmiczności. W strefie przyuskokowej wartość naprężeń poziomych zmieniała się od około 10 MPa do około 20 MPa. W warstwie piaskowca zameckiego naprężenia te zmieniały się od około 6 MPa do około 10 MPa, ale w sąsiedztwie uskoku rosły do około 20 MPa.

Wartość naprężeń stycznych wynosiła około do 1 MPa, a w sąsiedztwie uskoku rosła do około 13 MPa. Analogiczne wartości naprężeń stycznych zaobserwowano w piaskowcu zameckim.

#### ***Pole naprężenia w górotworze po eksploatacji pokładów 604, 606, 613, 615, 620/1-2, 624 i 703/1***

Eksploatacja pokładu 703/1, generalnie wytworzyła strefę odprężenia sięgającą w stropie do pokładu 624, a w spągu częściowo do pokładu 713/1-2. Wartość naprężenia pionowego w rejonie pokładu 703/1 zmalała od około 26MPa do około 22 MPa (współczynnik koncentracji naprężeń wynosi  $k_s = 0,85$ ), przy czym pojawiły się koncentracje tych naprężeń

w rejonie projektowanych linii rozpoczęcia i zakończenia biegu ścian w pokładzie 703/1. Wartość naprężenia pionowego w obu strefach koncentracji dochodzi do około 44 MPa.

W strefie przyuskokowej pole naprężeń ma skomplikowany kształt. W rejonie pokładu 713/1-2, w środkowej części projektowanej do eksploatacji, wartość naprężeń pionowych zmalała od około 28MPa do około 24 MPa (współczynnik koncentracji naprężeń wynosi  $k_s = 0,86$ ). Zaznacza się natomiast wyraźny wpływ oddziaływania krawędzi pokładu 703/1 do wartości około 30 MPa. Kąt oddziaływania krawędzi wynosi około 60 stopni.

Wartość naprężenia poziomego w bezpośrednim otoczeniu pokładu 703/1 zmalała od około 12 MPa do około 10 MPa (współczynnik koncentracji naprężeń wynosi  $k_s = 0,83$ ). W strefach koncentracji (od strony uskoku i od strony filara szybowego) naprężenia poziome wzrosły do około 26 MPa. Zauważalny był wzrost naprężenia poziomego w piaskowcu zameckim do około 40MPa w jego części stropowej.

Wartość naprężenia stycznego wyraźnie wzrosła w rejonach krawędzi pokładu 703/1 do około 8MPa. Zaobserwowano charakterystyczny zasięg ścinania w stropie pokładu 703/1 sięgający do piaskowca zameckiego (ok. 5 MPa).

#### *Pole naprężenia w górotworze po eksploatacji pokładów 604, 606, 613, 615, 620/1-2, 624, 703/1 i 713/1-2*

W wyniku zasymulowania eksploatacji pokładu 713/1-2 nastąpiło powiększenie zasięgu strefy odprężenia oraz zmniejszenie wartości maksymalnego naprężenia pionowego do około 22 MPa (współczynnik koncentracji naprężeń wynosił  $k_s = 0,92$ ) w sąsiedztwie pokładu 713/1-2, a do około 20 MPa w sąsiedztwie pokładu 703/1-2 (współczynnik koncentracji naprężeń wynosił  $k_s = 0,91$ ). Maksymalne naprężenia w sąsiedztwie uskoku i filara zasadniczo nie zmieniły swoich wartości, natomiast geometria ich pola stała się bardziej skomplikowana.

Obraz pola naprężeń poziomych był bardzo podobny do stanu przed wybraniem pokładu 713/1-2. Generalnie zaobserwowano wzrost naprężeń poziomych w warstwach pomiędzy pokładami 703/1 i 713/1-2 do dominującej wartości około 12 MPa.

Nastąpił dalszy wzrost wartości naprężenia stycznego w strefie rozpoczęcia i zakończenia eksploatacji pokładu 703/1-2, lokalnie w bezpośrednim stropie do około 10 MPa (współczynnik koncentracji naprężeń wynosił  $k_s = 0,80$ ). W pokładzie 713/1-2 w analogicznych strefach koncentracji naprężeń zaobserwowano mniejsze wartości naprężenia stycznego do około 5 MPa. Charakterystyczny był dalszy rozwój strefy „ścinania” w warstwach stropowych pokładu 703/1-2 sięgający do piaskowca zameckiego. Wartość naprężeń stycznych osiągała w tym piaskowcu około 7 MPa. Taki rozwój pola naprężenia wskazywał na możliwy udział piaskowca zameckiego w kształtowaniu sejsmiczności w analizowanym rejonie.

#### *3.2. Analiza numeryczna pola naprężenia wytworzonego w górotworze w wyniku wielopokładowej eksploatacji wzdłuż przekroju B-B'*

W pokładach 703/1, 706 i 713/1-2 zasymulowano dwa warianty kolejności eksploatacji projektowanych ścian:

- I wariant - VI-E1 (703/1); **I-E1 (703/1)**; XIV-E1 (713/1-2); I-E1 (706) + VII-E1 (703/1); II-E1 (706); VIII-E1 (703/1); XV-E1 (713/1-2); III-E1 (706); IX-E1 (703/1);
- II wariant - VI-E1 (703/1); **I-E1 (703/1)**; **II-E1 (703/1)**; VII-E1 (703/1); XIV-E1 (713/1-2); I-E1 (706); VIII-E1 (703/1); II-E1 (706); IX-E1 (703/1); XV-E1 (713/1-2).

Wybrane wyniki obliczeń dla projektowanej eksploatacji dla wariantu I zilustrowano na rysunku 8, a dla wariantu II na rysunku 9. Oba warianty analizowano głównie pod kątem zmian pola naprężenia w otoczeniu ścian zamykających I i II-E1 w pokładzie 703/1.

#### *Wariant I*

Eksploatacja pokładu 703/1 spowodowała częściowe odprężenie górotworu, a zwłaszcza w sąsiedztwie pokładów 706 i 713/1-2. Eksploatacja ściany I-E1 spowodowała redystrybucję naprężeń poziomych w piaskowcu zameckim – powiększył się zasięg izol linii naprężenia do 9MPa. Eksploatacja kolejnej ściany XIV-E1 w pokładzie 713/1-2 nie miała wyraźnego wpływu na wartość naprężenia w sąsiedztwie ścian zamykających.

Eksploatacja kolejnej ściany I-E1 w pokładzie 706 spowodowała spadek naprężeń pionowych (odprężenie) warstw stropowych i spągowych w jej bezpośrednim otoczeniu oraz wzrost naprężeń pionowych (do ok. 42 MPa) i stycznych (do 9 MPa) w otoczeniu ściany I-E1 w pokładzie 703/1 (rys. 8).

Eksploatacja kolejnych ścian w pokładzie 703/1, 706 i 713/1-2 w zasadzie nie zmieniła kształtu pola naprężenia w rejonie ścian zamykających. Spowodowała natomiast niewielkie wzrosty naprężeń pionowych do około 45 MPa w rejonie niewybranej ściany II-E1 w pokładzie 703/1 i naprężeń stycznych do około 11 MPa w warstwach stropowych nad polem ściany II-E1.

#### *Wariant II*

Wyniki obliczeń pokazały jednoznacznie, że eksploatacja ściany VI-E1 w pokładzie 703/1-2 nie miała wpływu na wartość naprężenia w rejonie ścian zamykających I i II-E1 w tym pokładzie. Eksploatacja w dalszej kolejności ściany I-E1 w pokładzie 703/1 dała analogiczny efekt jak w wariantcie I. Eksploatacja kolejnej ściany II-E1 w pokładzie 703/1, zamykającej eksploatację tego pokładu, zdecydowanie poprawiła stan naprężenia (rys. 9). W otoczeniu tej ściany zmniejszyły się nadmierne koncentracje naprężeń pionowych i stycznych i w dużym stopniu poziomych. Zostały wytworzone bardziej korzystne warunki naprężenia dla eksploatacji pokładów 706 i 713/1-2. Wzrosły natomiast naprężenia poziome w piaskowcu zameckim do poziomu około 30 MPa. Eksploatacja kolejnych ścian VII-E1 w pokładzie 703/1, XIV-E1 w pokładzie 713/1-2 (713) i I-E1 w pokładzie 706 nie wprowadziła istotnych zmian stanu naprężenia w sąsiedztwie ścian zamykających. Eksploatacja kolejnej ściany I-E1 w pokładzie 706 spowodowała w jej bezpośrednim otoczeniu spadek naprężeń pionowych (odprężenie) warstw stropowych i spągowych. Natomiast eksploatacja w dalszej kolejności ścian VIII-E1 w pokładzie 703/1, II-E1 w pokładzie 706, IX-E1 w pokładzie 703/1 i XV-E1 w pokładzie 713/1-2 spowodowała dalsze częściowe odprężenie górotworu.

Reasumując, eksploatacja ściany II-E1 w pokładzie 703/1, jako zamykającej eksploatację tego pokładu (po wybraniu ściany I-E1), zdecydowanie poprawiła stan naprężenia w tej partii górotworu, lecz zagrożenie sejsmiczne nie zostało zlikwidowane. W rezultacie wybrania tej ściany zmniejszyły się wszystkie nadmierne koncentracje naprężeń pionowych



i stycznych i w dużym stopniu poziomych. Zostały wytworzone bardziej korzystne warunki naprężeniowe dla eksploatacji pokładów 706 i 713/1-2. W przypadku pozostawienia niewybranej ściany II-E1 w pokładzie 703/1, krawędzie wytworzonej resztki silnie oddziaływały na pokłady 706 i 713/1-2 pod kątem około 60°.

Wybranie ściany I-E1 w pokładzie 703/1, w wariantcie pozostawionej niewybranej parceli ściany II-E1 w pokładzie 703/1, spowodowało częściowe odprężenie górotworu w sąsiedztwie pokładów 706 i 713/1-2. Wybranie tej ściany nie miało większego wpływu na zmniejszenie naprężeń skoncentrowanych od strony wschodniej ściany II-E1 w pokładzie 703/1. Wyniki obliczeń wskazały, że eksploatacja ściany I-E1 spowodowała istotną redystrybucję naprężeń poziomych w piaskowcu zameckim.

### **Podsumowanie**

W pracy analizowano zmiany pola naprężenia w górotworze wytworzone w wyniku projektowanej eksploatacji w złożonych warunkach geologicznych i górniczych. W tym celu zamodelowano pole naprężenia wytworzone przez dotychczasową wieloletnią i wielopokładową eksploatację. Na podstawie tak otrzymanego pola naprężenia podjęto symulację projektowanej eksploatacji w dwóch wariantach. Modelowanie przeprowadzono dla dwóch przekrojów geologicznych, w przybliżeniu prostopadłych do siebie.

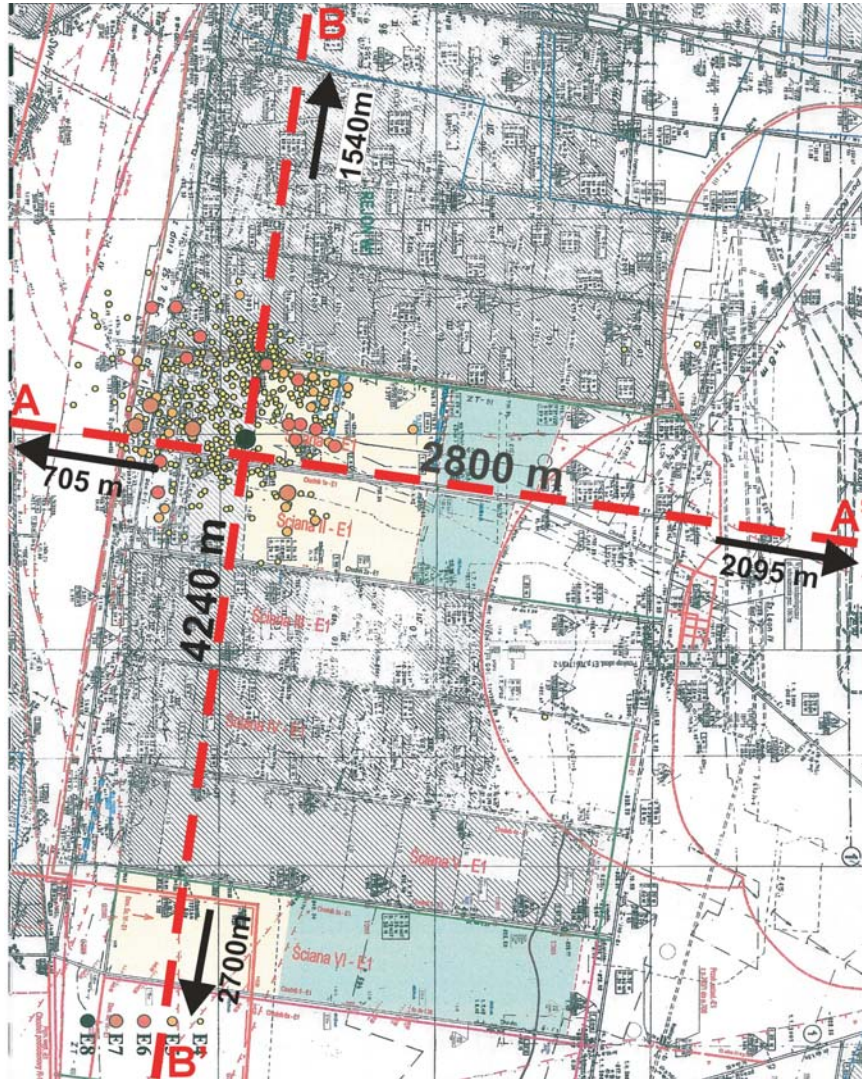
Uzyskane wyniki w postaci obrazu izolinowego pola naprężenia pionowego, poziomego i stycznego pozwoliły na analizę wpływu eksploatacji na kształtowanie się zagrożenia sejsmicznego w górotworze. Zwrócono szczególną uwagę na duże zmiany naprężenia, zwłaszcza stycznego w sąsiedztwie strefy uskokowej i grubej warstwy piaskowca zameckiego. Wartości tych zmian wskazywały na możliwy rozwój procesu niszczenia w górotworze i w efekcie generowania sejsmiczności.

Obliczenia pokazały również, że zmiany pola naprężenia i ich wartości ściśle były związane z rozwojem eksploatacji. Generalnie, pole naprężenia w miarę rozwoju eksploatacji komplikowało się. Pojawiały się strefy koncentracji naprężeń na krawędziach eksploatacji w strefie kontaktu z uskokiem. Występowały lokalne strefy koncentracji naprężeń w sąsiedztwie chodników przyścianowych oraz w strefach przy uskoku rydułtowskim i w sąsiedztwie filara szybowego. Warstwy skalne, zwłaszcza jakłowieckie, były deformowane przez eksploatację w sposób istotny i w rezultacie stwarzały zagrożenie sejsmiczne.

Przedstawiona analiza jest przykładem możliwości dwuwymiarowej symulacji numerycznej pola naprężeń wytworzonego w górotworze przez złożoną, wielopokładową eksploatację węgla kamiennego. Niewątpliwie zawiera ona duże uproszczenia związane z opisem budowy i właściwości górotworu, czy symulacją wybierania pokładów węgla, pomimo kontroli przemieszczeń pionowych w górotworze opartej na geodezyjnych danych pomiarowych. Niemniej jednak uzyskane wartości naprężeń są realne i w sposób bardzo prawdopodobny wskazują na strefy zagrożenia sejsmicznego.

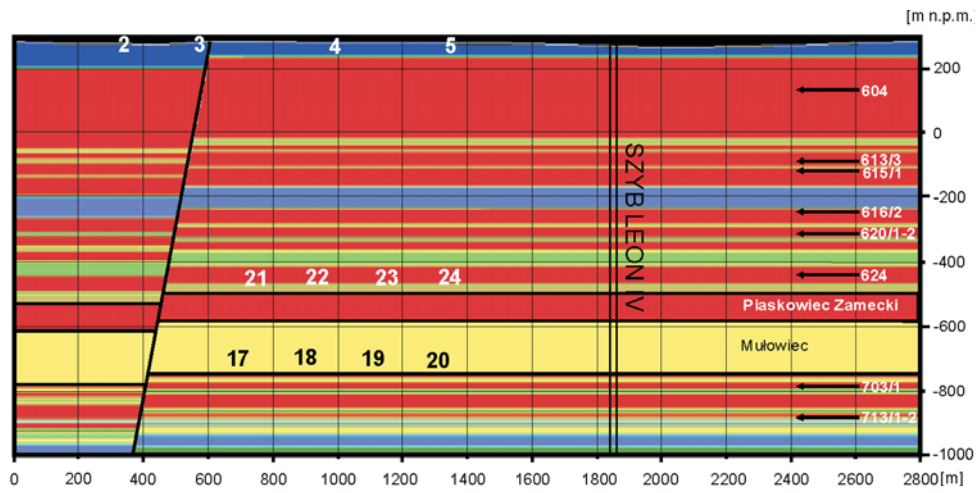
## *Literatura*

- Dokumentacja pracy badawczej pt. Symulacja numeryczna wraz z wyznaczeniem właściwości górotworu dla oceny stanu naprężeniowo-deformacyjnego. Praca wykonana pod kier. Z. Pileckiego, IGSMiE PAN, Kraków 2006 (praca niepublikowana).
- FLAC Fast Lagrangian Analysis of Continua, Version 5.0, Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, Minnesota, USA, 2005.
- Pilecki Z., 2002 – Wyznaczanie parametrów górotworu na podstawie klasyfikacji geotechnicznych. Wyd. Drukrol, Kraków.
- Pilecki Z., Mutke G., 2003 – Oddziaływanie wstrząsu górniczego w strefie bliskiego pola falowego na wyrobisko chodnikowe – analiza numeryczna. Mat. Międzynarodowej Konf. Tapania 2003, Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych GIG, Katowice, 223–232.



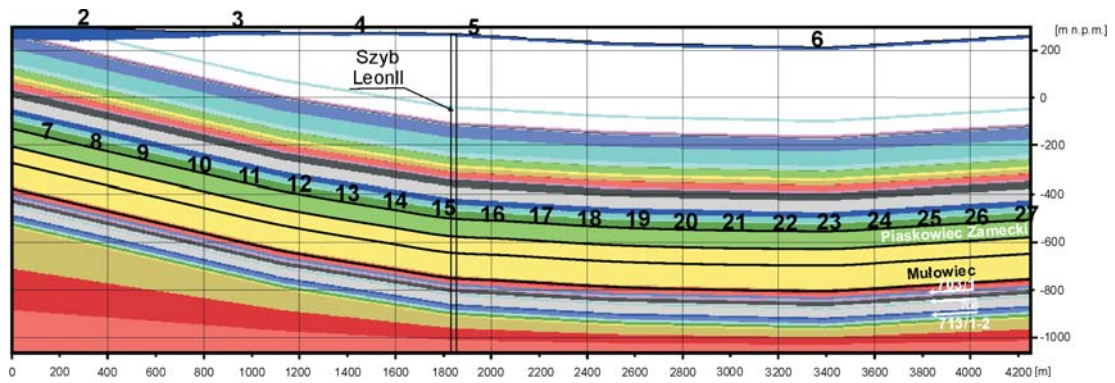
Rys. 1. Schemat położenia linii przekrojów geologicznych A-A' i B-B'

Fig. 1. A scheme of location of geological cross-sections A-A' and B-B'



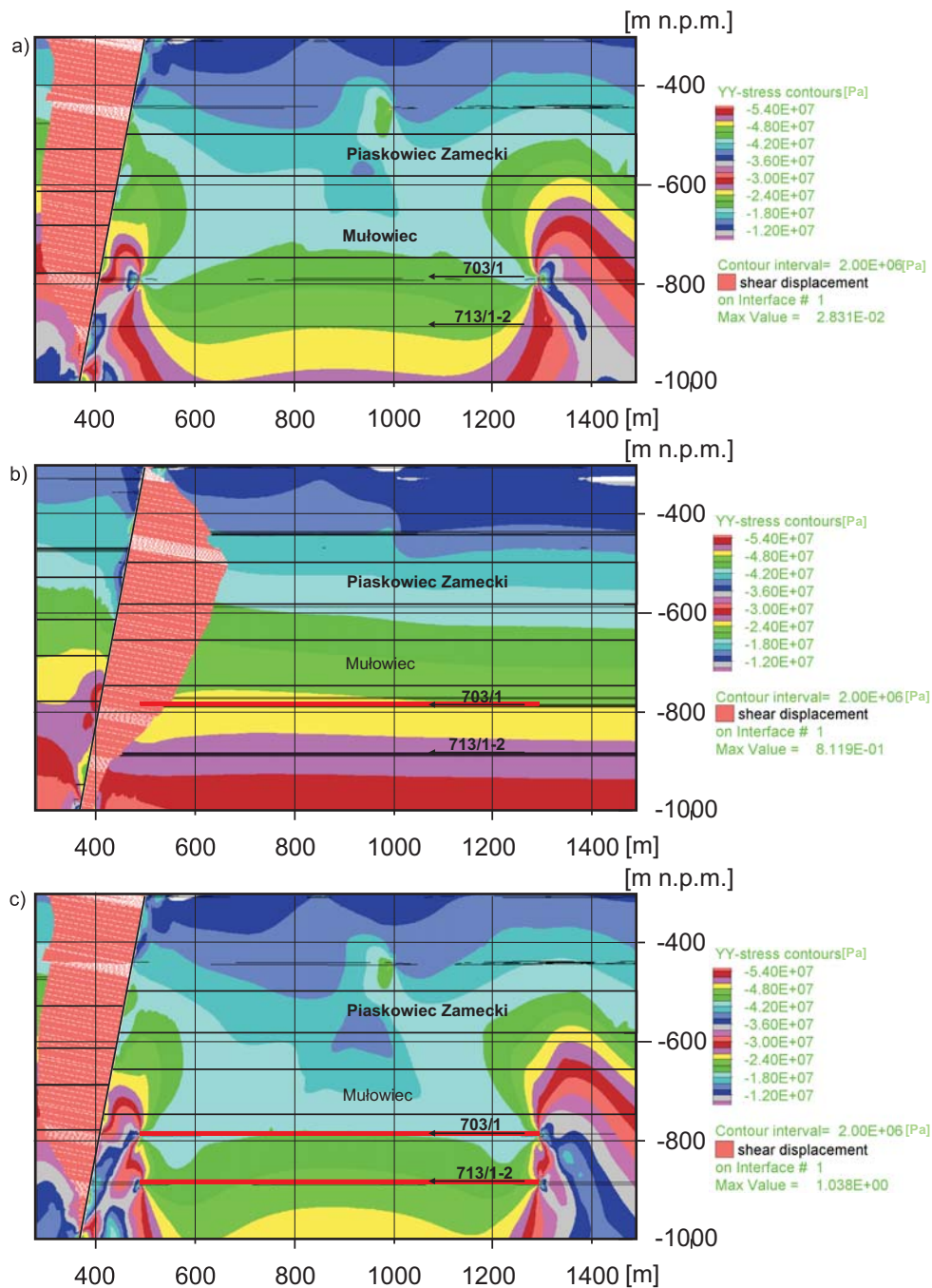
Rys. 2. Model fizyczny wzdłuż przekroju geologicznego A-A' z zaznaczonymi punktami monitorującymi

Fig. 2. Physical model along A-A' cross-section with monitoring points



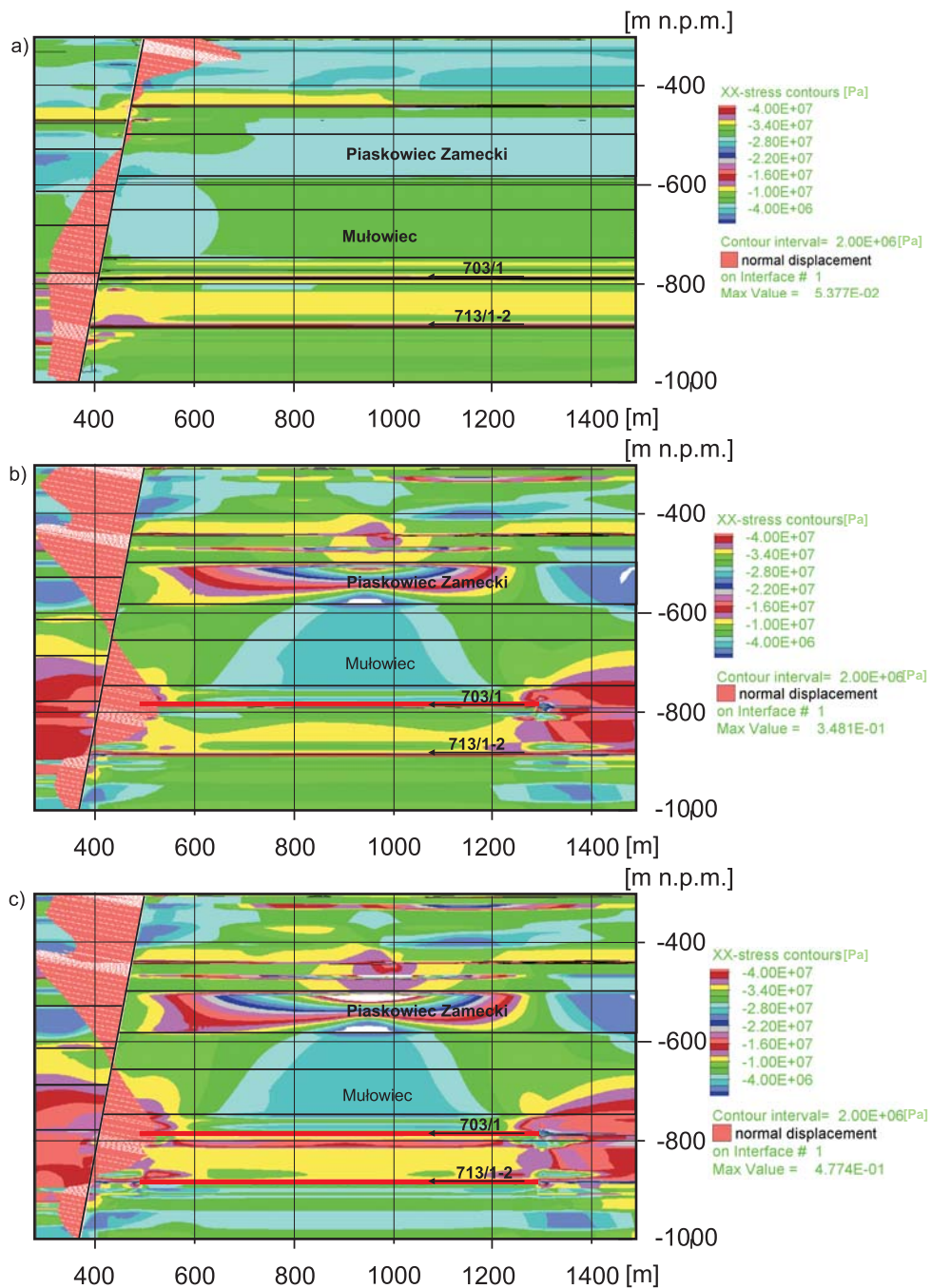
Rys. 3. Model fizyczny wzdłuż przekroju geologicznego B-B' z zaznaczonymi punktami monitorującymi

Fig. 3. Physical model along B-B' cross-section with monitoring points



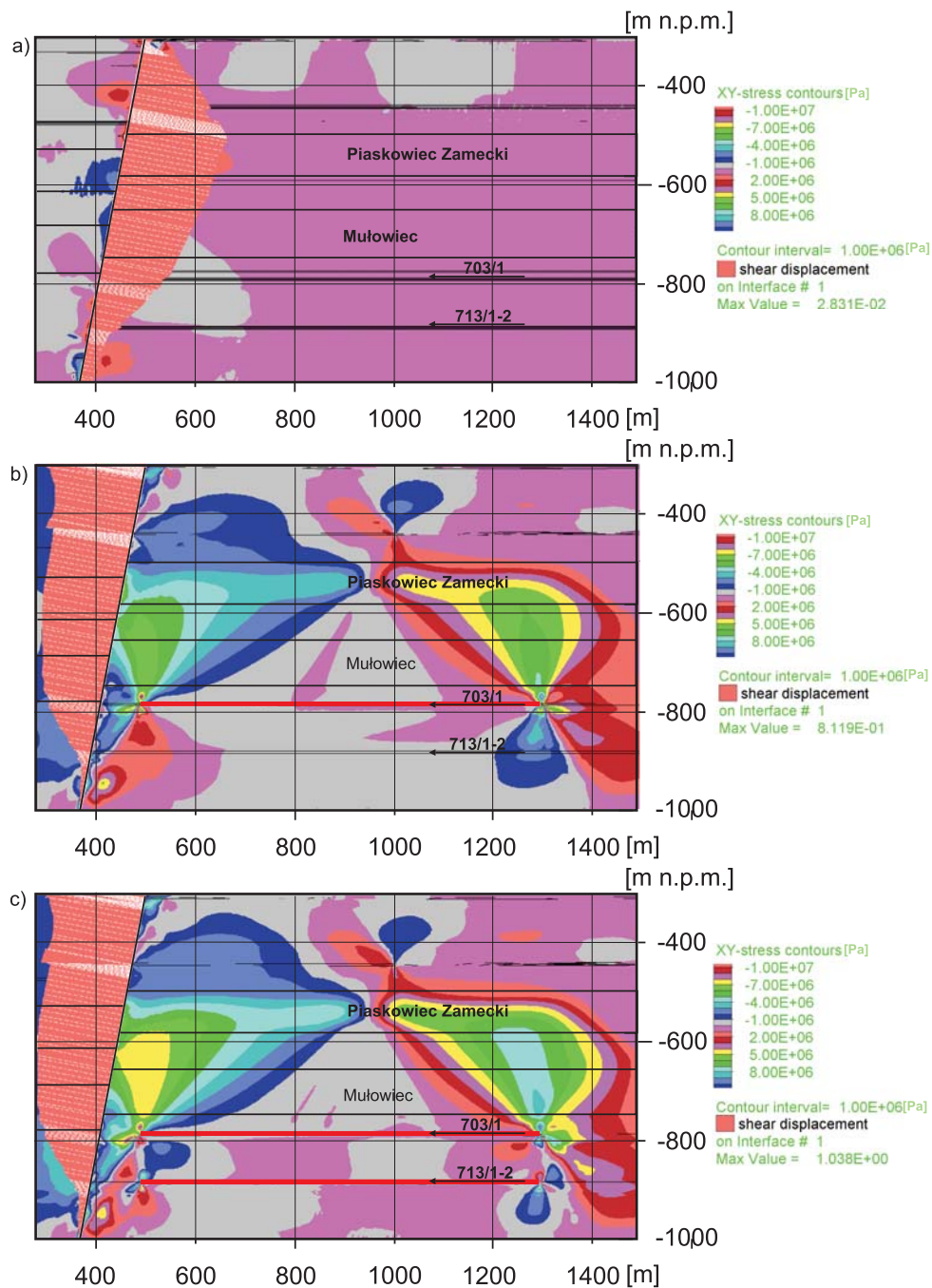
Rys. 5. Pole naprężenia pionowego po eksploatacji pokładów 604, 606, 613, 615, 620/1-2 i 624 (a) pokładu 703/1 (b) i 713/1-2 (c) dla modelu A-A'

Fig. 5. Field of vertical stresses resulted of 604, 606, 613, 615, 620/1-2 i 624 coal seams mining (a) 703/1 (b) and 713/1-2 (c) for A-A' model



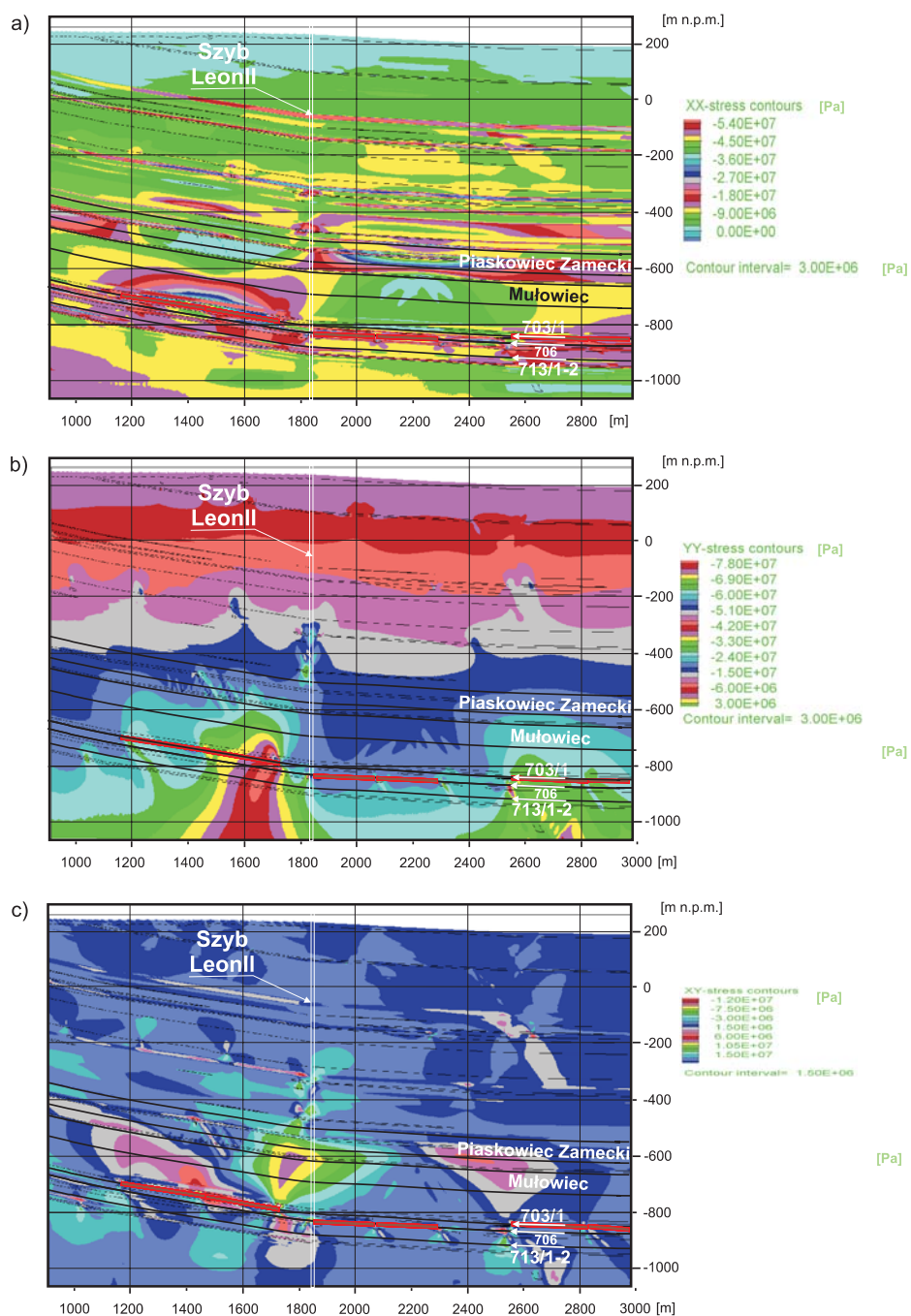
Rys. 6. Pole naprężenia poziomego po eksploatacji pokładów 604, 606, 613, 615, 620<sub>1,2</sub> i 624 (a) pokładu 703/1 (b) i 713/1-2 (c) dla modelu A-A'

Fig. 6. Field of horizontal stresses resulted of 604, 606, 613, 615, 620<sub>1,2</sub> i 624 coal seams mining (a) 703/1 (b) and 713/1-2 (c) for A-A' model



Rys. 7. Pole naprężenia stycznego po eksploatacji pokładów 604, 606, 613, 615, 620/1-2 i 624 (a) pokładu 703/1 (b) i 713/1-2 (c) dla modelu A-A'

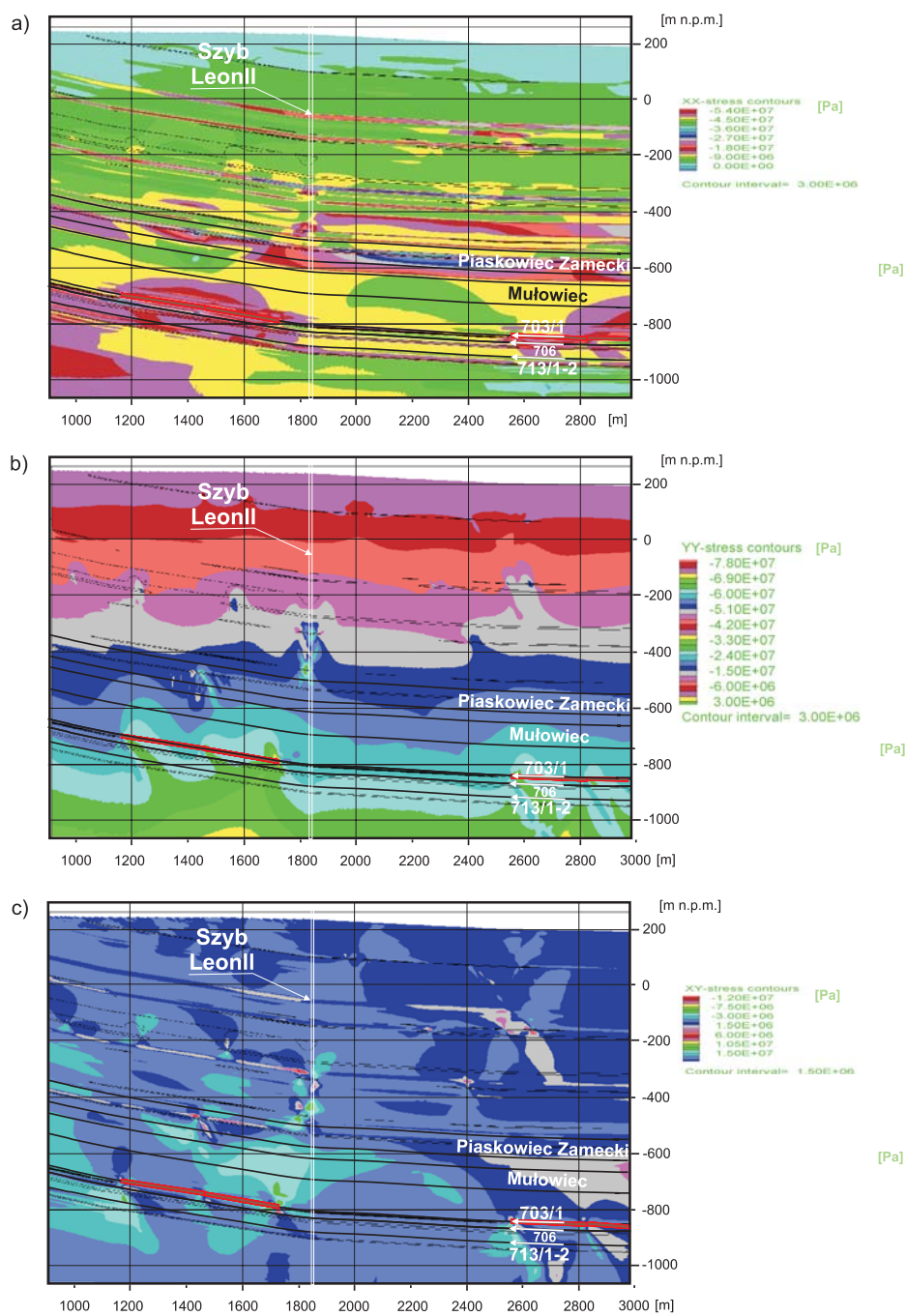
Fig. 7. Field of tangential stresses resulted of 604, 606, 613, 615, 620/1-2 i 624 coal seams mining (a) 703/1 (b) and 713/1-2 (c) for A-A' model



Rys. 8. Pole naprężenia poziomego (a) pionowego (b) i stycznego (c) po eksploatacji ściany IX-E1 w pokładzie 703/1 dla wariantu I

Fig. 8. Field of horizontal (a) vertical (b) tangential (c) stresses resulted after IX-E1 longwall mining in 703/1 coal seam for B-B' model I variant





Rys. 9. Pole naprężenia poziomego (a); pionowego (b); i stycznego (c) po eksploatacji ściany II-E1 w pokładzie 703/1 dla wariantu II

Fig. 9. Field of horizontal (a); vertical (b); tangential (c) stresses resulted after II-E1 longwall mining in 703/1 coal seam for B-B' model, II variant

