



Zeszyty Naukowe

Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

rok 2017, nr 99, s. 159–170

Dariusz CHLEBOWSKI*, Zbigniew BURTAN*, Jerzy CIEŚLIK*, Andrzej ZORYCHTA**

Stan naprężenia i wyężenia w czole frontu ścianowego prowadzonego pod krawędzią eksploatacji zaszłej

Streszczenie: W nawiązaniu do doświadczeń rodzimych kopalń węgla kamiennego – wskazujących na intensyfikację skałi przejawów zagrożeń geodynamicznych, jaka towarzyszy podejmowaniu działalności górniczej w warunkach skrępowanych występowaniem różnego typu i pochodzenia zaszłości eksploatacyjnych – w artykule odniesiono się do geomechanicznych aspektów eksploatacji ścianowej w strefach oddziaływania krawędzi jako jednej z bardziej charakterystycznych zmian w stanie złoża/górotworu będących konsekwencją zaszłych dokonaniań górniczych w pokładach sąsiednich. Wychodząc z analitycznej metody opisu stanu przemieszczenia i naprężenia (wyężenia) w otoczeniu elementów ścianowego systemu eksploatacji zaprezentowano rezultaty badań modelowych w zakresie wpływu krawędzi na zachowanie się – pod kątem możliwości utraty ciągłości struktury – przyrodzokowej partii calizny w pokładzie wybieranym pod/nad zaszłością. Opierając się na o przykładowych funkcjach nieliniowych demonstrujących istnienie krawędzi w górotworze analizie porównawczej poddano dwa wzajemnie odwrotne kierunki prowadzenia frontu eksploatacyjnego, a mianowicie od strony zrobów ku caliznie oraz od strony calizny ku zrobom. Dyskusję wyników realizowano na podstawie obserwacji kształtowania się zmian wielkości ugięcia stropu oraz współczynnika koncentracji pionowej składowej stanu naprężenia w czole ściany.

Słowa kluczowe: mechanika górotworu, eksploatacja podziemna, warunki skrępowane, zagrożenie tapaniami

State of stress and strain at the workface front under the old excavation edge

Abstract: With reference to the situation experienced in several Polish collieries where the risk of occurrence of gas-geodynamic phenomena is increasing and decisions to start the mining activities need to take numerous constraints associated with previous mining into account, this paper addresses certain geo-mechanical aspects of longwall mining in the zones of excavation edge interactions giving rise to major changes in the conditions of the deposit and rock strata, as a consequence of previous mining operations in adjacent coalbeds. Starting from the analytical description of displacements and stresses in the proximity of longwall mining systems, the paper

* Dr hab. inż., ** Prof. dr hab. inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: burtan@agh.edu.pl

summarizes the results of model tests and investigations of the influence that the excavation edge has on the behavior and structural continuity of a portion of the coal body in the coalbed beneath or above an old excavation. Based on selected nonlinear functions emulating the presence of edges in the rock strata, a comparative study is carried out by investigating two opposite directions of workface advance, from the gob area towards the coal body and from the coal body towards the gobs. The discussion of the results relies on the analysis of roof deformation and the concentration factor of the vertical stress component at the workface front.

Keywords: geomechanics, underground mining, confined conditions, rockbursts

Wprowadzenie

Ogół uwarunkowań geotechnicznych kopalń węgla kamiennego, w tym rosnąca głębokość posadowienia wyrobisk w połączeniu ze stopniem szczypania złoży sprawia, że z roku na rok procesowi pozyskiwaniu kopaliny towarzyszą coraz bardziej skomplikowane warunki eksploatacji. Ponieważ istotną cechą karbonu produktywnego jest wielopokładowość złoży, toteż konsekwencją takiego stanu rzeczy jest w wielu przypadkach konieczność podejmowania równoczesnej bądź sukcesywnej eksploatacji wiązek pokładów, co pociąga za sobą powstawanie wzajemnych, w tym także niekorzystnych oddziaływań. W praktyce spotykane są nader często sytuacje prowadzenia robót górniczych (przygotowawczych, eksploatacyjnych) pod lub nad wybranymi partiami złoży, jak i w rejonach częściowo niewybranych. Potrzeba pozostawiania części złoży, skutkiem której jest występowanie krawędzi eksploatacyjnych i filarów resztkowych, wynika z lokalnych warunków geologiczno-górniczych, a u podstaw decyzyjnych w tym zakresie leżą między innymi takie kwestie, jak graniczne kryteria bilansowości, ochrona obiektów podziemnych lub powierzchniowych, tektonika złoży czy skala przejawów zagrożeń naturalnych.

Zarówno wybrane partie złoży, jak i pozostawione krawędzie i resztki pokładu – nazywane potocznie zaszłościami eksploatacyjnymi i definiowane jako elementy powodujące zmiany w stanie górotworu, będące wynikiem dawniej prowadzonych i później zaniechanych robót górniczych – stanowią kombinację obszarów różniących się właściwościami geomechanicznymi o wyraźnie odmiennej podatności na odkształcenia. Z uwagi na rodzaj oddziaływania na otaczający ośrodek skalny zaszłości możemy podzielić na takie, które wywołują spadek wartości naprężeń (obszary tzw. odprężone, generowane głównie przez zroby) oraz powodujące ich wzrost (źródłem są niewybrane części złoży – filary resztkowe i krawędzie eksploatacyjne).

Znajomość zasięgu i skali oddziaływań zaszłości jest niezbędna zarówno przy projektowaniu, jak i prowadzeniu robót górniczych w ich rejonie. Dotyczy to zwłaszcza zagadnień czasoprzestrzennego projektowania eksploatacji (w tym eksploatacji odprężającej), prognozowania stanu naprężenia w otoczeniu frontów ścianowych, czy wyznaczania obciążeń statycznych na obudowę wyrobisk. Określenie wpływu zaszłości na stan naprężenia i wyteżenia w górotworze jest również niezwykle istotne w kontekście zagrożenia tąpnięciami (Kłeczek i in. 1987; Zorychta 2003; Goszcz 2004; Zorychta i in. 2008; Chlebowski 2013). Odnosi się to nie tylko do niżej lub wyżej leżących pokładów, ale wszystkich warstw górotworu, zwłaszcza grubych i zwięzłych pakietów skalnych, gdzie wpływy zaszłości mogą być jednym z czynników sprzyjających występowaniu wstrząsów górniczych. Kwestia ta

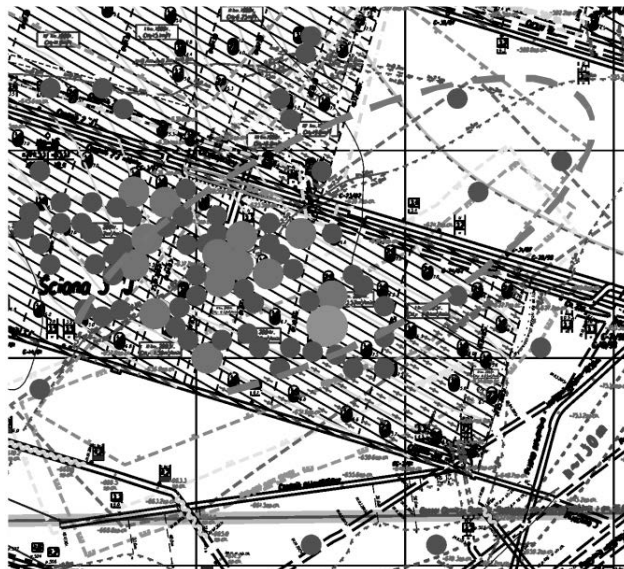
ma szczególne znaczenie z punktu widzenia doboru i efektywności metod profilaktyki tąpaniowej. Optymalizacja tego typu działań jest możliwa między innymi dzięki rezultatom odpowiednich prognoz wielkości zagrożenia tąpnięciami, w tym ocenie ryzyka zdarzenia, towarzyszącego przyszłej eksploatacji w otoczeniu krawędzi.

1. Koncepcja i podłoże teoretyczne opisu stanu naprężenia

Ogólnie rzecz biorąc wpływ dowolnego (choć w znacznie mniejszym stopniu korytarzowego) wyrobiska górniczego traktowanego jako zaszłość wyraża się zmianami stanu naprężenia w otaczających go utworach skalnych. Odnosząc się jednak do wzmiankowanych wpływów z punktu widzenia tępnięć należy mieć na względzie dwie istotne kwestie. Otóż z jednej strony zaszłości eksploatacyjne (zroby, krawędzie, filary, resztki) wywołują zmiany naprężenia, w konsekwencji również wartości gęstości energii odkształceń sprężystych w wyżej i niżej zalegających pokładach, co wyraża się większym stopniem swego rodzaju energetycznego przygotowania pokładu do tępnięcia, przy czym ten aspekt oddziaływania zaszłości jest powszechnie dostrzegany. Z drugiej strony jednak zaszłości, wpływając na cały ośrodek skalny, oddziałują również na warstwy potencjalnie wstrząsogenne, a tym samym na poziom zagrożenia sejsmicznego wywołany możliwością uaktywniania się – wskutek procesów pęknięcia – takich utworów. Potwierdzeniem tego faktu jest notowany w wielu kopalniach ponadprzeciętny wzrost aktywności sejsmicznej w trakcie prowadzenia frontów przez strefy oddziaływania zaszłości, a odzwierciedla go między innymi korelacja lokalizacji ognisk wstrząsów. Jednym z przykładów takiego stanu rzeczy było okresowe, powiązane z przebiegiem krawędzi warstw rudzkich pojawianie się – pomimo stosowania szerokiego wachlarza działań profilaktycznych – samoistnej sejsmiczności wysokoenergetycznej podczas eksploatacji pokładu 502 (również odprężonej warstwy przyspągowej) w partii J KWK Wujek ruch Śląsk (rys. 1, 2).

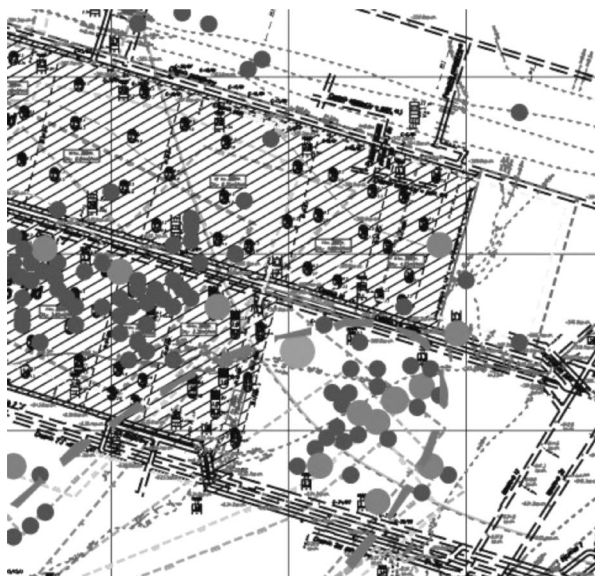
Sygnalizowana dwoistość sprawia, że właściwy projekt eksploatacji złoże w warunkach występowania zaszłości winien zawierać odpowiednią prognozę oddziaływań, w tym zagrożenia tąpnięciami, uwzględniającą oba rodzaje wpływów.

W pracy poruszana jest kwestia pierwszego (z wymienionych) aspektu oddziaływań w odniesieniu do krawędzi eksploatacji dokonanej w innym pokładzie jako jednego z powszechnie spotykanych w praktyce górniczej rodzajów zaszłości eksploatacyjnych. Z geomechanicznego punktu widzenia problem jest niewątpliwie zagadnieniem przestrzennym (między innymi z uwagi na złożoną niejednokrotnie geometrię krawędzi), niemniej jako pierwsze przybliżenie wykorzystane zostaną rozwiązania dla zagadnień płaskich. Uzyskiwane na tej podstawie oszacowania będą (pod kątem wartości wskaźników charakteryzujących stan zagrożenia tąpnięciami) bardziej niekorzystne, czyli innymi słowy tkwić w nich będzie dodatkowy zapas bezpieczeństwa. W nawiązaniu do powyższego dla określenia składowej pionowej stanu naprężenia na horyzoncie złoże wykorzystano zmodyfikowany, płaski model systemu ścianowego oparty na teorii walcowego zginania płyt na odkształcalnym podłożu. Przyjęto, iż warstwy tworzące zasadniczy strop oraz spąg złoże charakteryzowane będą ekwiwalentną sztywnością zginania, zroby traktowano jako ośrodek liniowo odkształcalny,



Rys. 1. Lokalizacja źródeł wstrząsów o energiach $\geq 10^5$ J, warstwa przystropowa pokładu 502 KWK Wujek (ruch Śląsk)

Fig. 1. Locations of rockbursts with the energy levels $\geq 10^5$ J, roof strata of the coal seam 502 in the colliery Wujek (Śląsk)

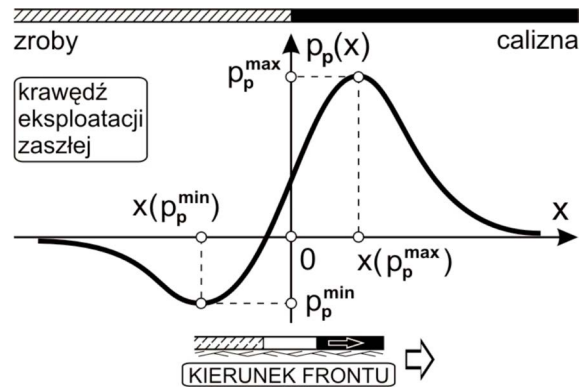


Rys. 2. Lokalizacja źródeł wstrząsów o energiach ≥ 105 J, warstwa przyspągowa pokładu 502 KWK Wujek (ruch Śląsk)

Fig. 2. Locations of rockbursts with the energy levels ≥ 105 J, floor strata of the coal seam 502 in the colliery Wujek (Śląsk)

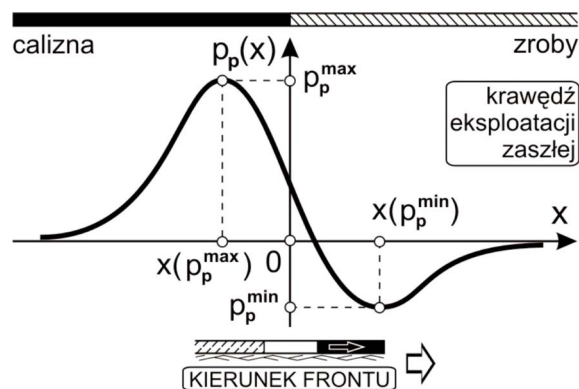
natomiast pokład – odkształcalny nieliniowo z pełną charakterystyką naprężeniową aproksymowaną odcinkami prostymi. Założono, że ugięcie stropu ponad złożem następuje pod wpływem momentu zginającego, a oddziaływanie strefy roboczej określa unormowana podporność obudowy ścianowej. Przyjęto trójosiowy stan naprężenia w pokładzie z możliwością zniszczenia struktury oparty na warunku Coulomba-Mohra, przy czym pole naprężeń opisane było wyłącznie jednokierunkową niejednorodnością podłużną.

Wobec typowych przejawów oddziaływania zaszczości w postaci dodatkowych obciążeń statycznych, jako schemat zewnętrznego obciążenia modelowanego układu warstw w otoczeniu frontu eksploatacyjnego zaproponowano, zadawane analitycznie, funkcje nierównomiernego rozkładu naprężenia (Chlebowski 2013). Dla potrzeb pracy wykorzystano najprostsze nieliniowe krzywe reprezentujące wpływ pozostawionej w pokładzie nadległym (podległym) pojedynczej krawędzi eksploatacji zaszczej, w układzie symetrycznym umożliwiającym dokonanie analizy dwóch, wzajemnie odwrotnych kierunków prowadzenia frontu ścianowego (rys. 3, 4). Zgodnie z doświadczeniami praktycznymi zaproponowane schematy



Rys. 3. Schemat naprężeń dodatkowych dla krawędzi (model A)

Fig. 3. Diagram of additional stresses for the edge (model A)



Rys. 4. Schemat naprężeń dodatkowych dla krawędzi odwróconej (model B)

Fig. 4. Diagram of additional stresses for the reversed edge (model B)

determinują występowanie w otoczeniu krawędzi zarówno stref redukcji naprężeń (fragmenty krzywych o wartościach ujemnie zdefiniowanych), jak i obszarów ich koncentracji (fragmenty opisane wartościami dodatnimi) o różnym zasięgu i intensywności oddziaływań.

2. Obszar i rezultaty modelowania analitycznego

Korzystając z formuł rozwiązania analitycznego pozwalającego na określenie stanu przemieszczenia i naprężenia (wytężenia) w poszczególnych elementach systemu eksploatacji (zrobry, przestrzeń robocza, calizna pokładu) prowadzono symulacje dla statycznych położań frontu, przy czym sukcesywnie (w kolejnych krokach obliczeniowych) modyfikowano jego odległość w stosunku do krawędzi, śledząc zachowanie tylko jednego punktu w czole przodka (ściany). Zakres poziomy obliczeń ustalono w przedziale wystarczającym dla wychwylenia początku i końca (zaniku) oddziaływań funkcji dociążenia na obserwowane parametry wynikowe. Uznano, że taki tryb postępowania ilustruje w przybliżeniu postępującą eksploatację długim frontem, a skoro ewentualny proces zniszczenia struktury pokładu rozpoczyna się w czole przodka – może zostać wykorzystany do poszukiwania sytuacji niekorzystnych z tapaniowego punktu widzenia.

Ze względu na wyłącznie prezentacyjny charakter symulacji skorzystano z uśrednionych wartości parametrów geomechanicznych skał (Kidybiński 1982; Bukowska 2002) oraz danych w zakresie elementów systemu wybierania. Założono, że eksploatacja jest rozwinięta (w sensie odpowiednio dużej szerokości zrobów), prowadzona w 3-metrowym pokładzie, kierowanie stropem odbywa się z podszadaniem przestrzeni wybranej (opisanej właściwym modułem odkształcenia), a rozpiętość i podporność obudowy zmechanizowanej ustalono na poziomie średniej spośród pracujących obecnie w kopalniach węgla kamiennego. Stosunek modułu pozniszczeniowego do odkształcalności podłużnej przyjęto równy jedności, przy odpowiednio dobranych relacjach pomiędzy własnościami wytrzymałościowymi (doraźnymi, residualnymi) pokładu w odniesieniu do grawitacyjnych naprężeń pionowych. Przyjmując kierunek eksploatacji zgodny z kierunkiem osi odciętych układu kartezyjskiego obliczenia prowadzono dla krawędzi opisanych przedstawianymi wcześniej (rys. 3, 4) schematami obciążeń zewnętrznych o następujących cechach:

- model A, krawędź (calizna po prawej, rys. 3), współrzędne poziome lokalizacji ekstremów $x(p_p^{\min})$, $x(p_p^{\max})$ odpowiednio -15 m (minimum) oraz $+10$ m (maksimum),
- model B, krawędź odwrócona (calizna po lewej, rys. 4), współrzędne poziome lokalizacji ekstremów odpowiednio -10 m (maksimum), $+15$ m (minimum),

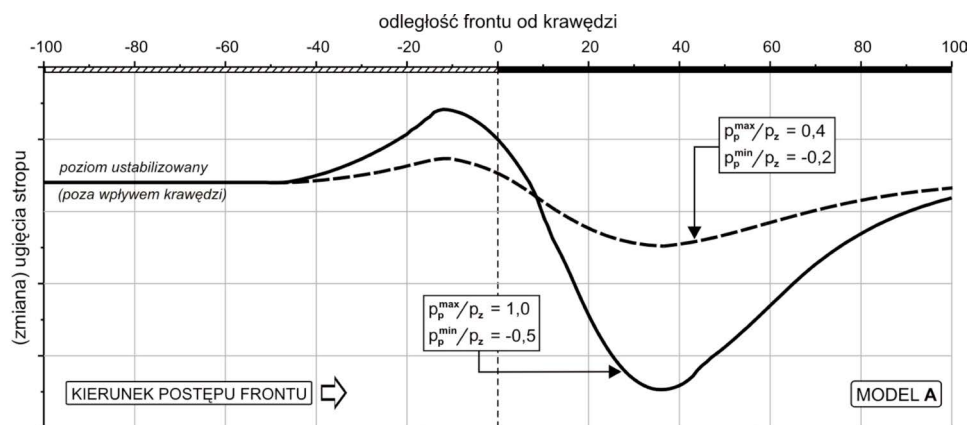
przy czym ogólny zasięg oddziaływań (ich asymptotyczny zanik w poziomie) oscylował w przedziale ± 50 m. W celach porównawczych rozważano dwa zakresy zmienności wartości ekstremalnych przy analogicznym kształcie funkcji aproksymujących, w tym współrzędnych poziomych położenia ekstremum. W pierwszym przypadku maksymalne ciśnienie dociążające (p_p^{\max}) równe było co do wartości pierwotnemu naprężeniu grawitacyjnemu a minimalna wartość odciążająca (p_p^{\min}) – jego połowie, w drugim zaś maksimum dociążenia wynosiło 40% naprężeń pierwotnych, minimum odciążenia – 20% jego wartości. Kierowano się zasadą, aby spadkowi maksimum oddziaływań (koncentracji naprężeń) generowanych

przez calizny towarzyszył spadek bezwzględnej wartości odprężenia pochodzącego od zrobów, podejmując w ten sposób próbę uwzględniania ogólnych relacji dotyczących wieku zaszłości bądź jej odległości od pokładu eksploatowanego. Rezultaty przeprowadzonych symulacji zestawiono w postaci wykresów płaskich, charakteryzujących przebiegi zmienności przemieszczeń (obniżen stropu) oraz współczynnika koncentracji naprężeń pionowych na froncie eksploatacyjnym w funkcji zmieniającej się płynnie odległości czoła przodka od osi krawędzi. Dobór schematów obciążeń zewnętrznych miał na celu ilustrację dwóch sposobów przechodzenia pod/nad pozostawioną krawędzią. Pierwszy obejmuje sytuację, kiedy front przemieszcza się spod zrobów pod caliznę (model A, rys. 3), drugi natomiast dotyczy kierunku odwrotnego, czyli spod calizny pod zrob (model B, rys. 4).

Z racji charakteru przebiegu funkcji aproksymującej dla przypadku pierwszego (model A, rys. 3) najpierw mamy do czynienia z przejściem pod zmieniającym się (co do wartości) odcieżeniem, a następnie wejście pod strefę dociążającą. Sytuację tę potwierdza przebieg przemieszczeń (rys. 5), gdzie dla ujemnych współrzędnych poziomych odpowiadających generalnie położeniu frontu pod zrobami dochodzi do zmniejszenia osiadań w trakcie prowadzenia eksploatacji. Z obniżeniami większymi w stosunku do początkowych (ustabilizowanych, poza wpływem zaszłości) mamy do czynienia dopiero w pewnej odległości za osią krawędzi (współrzędne poziome dodatnie), przy czym odległość, o której mowa jest tym większa im silniejsze jest dociążenie zadane. Zgodnie z oczekiwaniami osiągnięcie większych wartości przemieszczeń pionowych odpowiada krzywej większego dociążenia, gdzie dodatkowo zauważalny jest pewien wzrost zasięgu oddziaływań i asymetryczny, łagodniejszy niż wynikałoby to z funkcji modelowej, powrót do stanu niezaburzonego.

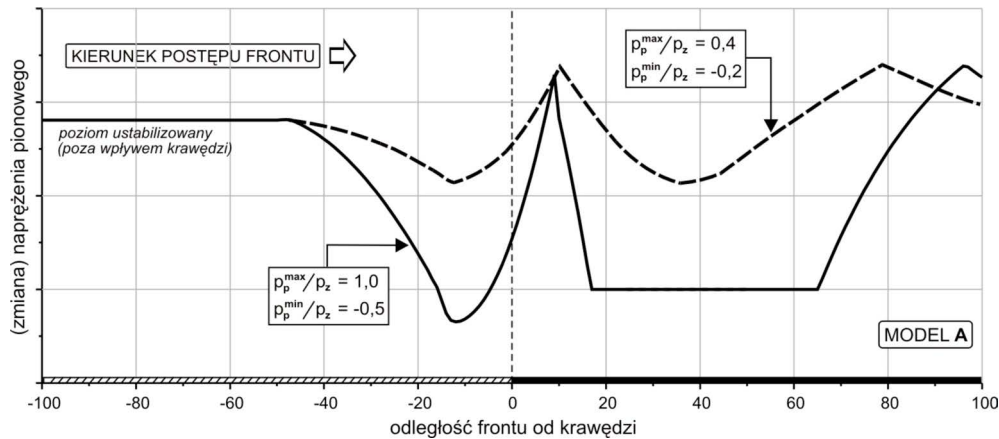
Wykształcone na froncie przemieszczenia pionowe skutkują powstaniem odpowiadających im zgodnie z charakterystyką naprężeń, gdzie w zależności od modelowanej wartości ekstremum obciążeń mamy do czynienia z różnym zachowaniem się ośrodka pokładu.

Śledząc przebieg zmienności współczynnika koncentracji naprężeń pionowych (rys. 6) największe zmiany w kontekście przekroczenia warunku wytrzymałościowego na froncie



Rys. 5. Rozkład przemieszczeń pionowych w funkcji dociążenia (model A)

Fig. 5. Distribution of vertical displacements in the function of loading (model A)



Rys. 6. Rozkład naprężeń na froncie w funkcji dociążenia (model A)

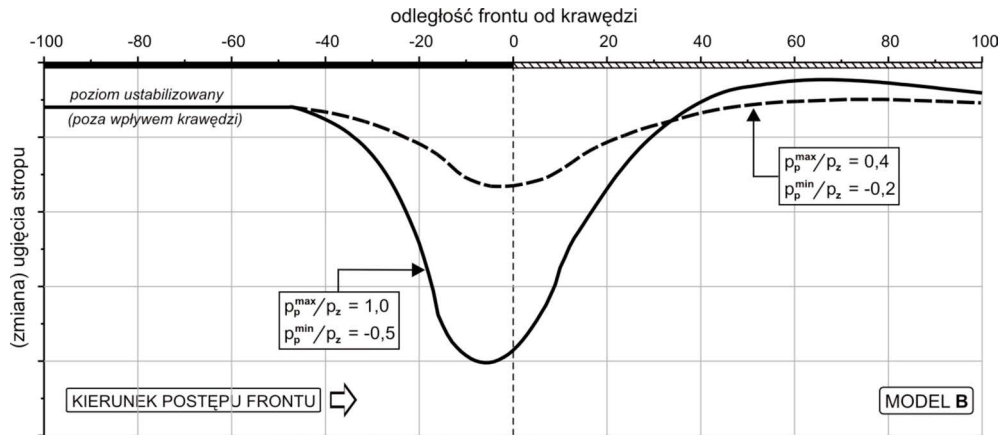
Fig. 6. Stress distribution at the workface front on the function of loading (model A)

robót odpowiadają oczywiście największemu dociążeniu, przy czym dla poszczególnych przedziałów odległościowych zaobserwować można następujące fazy charakteryzujące omawiany rozkład naprężeń:

- początek oddziaływań krawędzi i odciążanie pokładu (od 50 do 15 m),
- wzrost naprężeń aż do osiągnięcia wyężenia krytycznego (od 15 do +8 m),
- na froncie pojawia się strefa spękań, dochodzi do redukcji naprężeń zgodnie z pełną charakterystyką ośrodka (od +8 do +18 m),
- czoło frontu w stanie rozluźniania (od +18 do +66 m),
- ponownie front w strefie spękań i wynikającego stąd wzrostu naprężenia w stronę wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe (od +66 do +95 m),
- powrót do stanu ustabilizowanego (od +95 m).

W przypadku, gdy $p_p^{\max}/p_z = 40\%$ (odpowiednio $p_p^{\min}/p_z = -20\%$) nie powstaje strefa rozluźniania, a strefa spękań towarzyszy wybiegowi frontu w przedziale odległościowym od +8 m do +80 m od krawędzi.

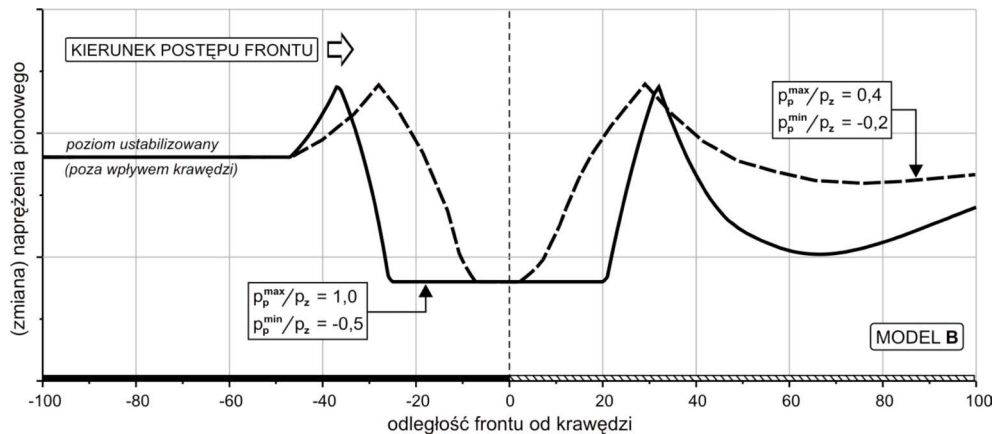
Przechodząc do analizy eksploatacji wg drugiego schematu dociążenia (model B, rys. 4), który z praktycznego punktu widzenia ilustruje odwrotny kierunek wybierania złoża, zauważalnym jest, że poza naturalną zmianą kolejności występowania poszczególnych stref, w tym przypadku mamy do czynienia z bardziej niekorzystną – w stosunku do rozważanej wcześniej – sytuacją geomechaniczną na froncie. Już na podstawie przebiegu kształtowania się przemieszczeń pionowych (rys. 7) można stwierdzić większe (o około 8%) wartości tego parametru wraz z sytuowaniem się jego maksimum dla współrzędnych, które opisują lokalizację czoła przodka jeszcze przed osiągnięciem osi krawędzi. Powyższe spostrzeżenie wskazuje, że nie sama krawędź (jej bezpośrednia nad- lub podległość w profilu w stosunku do frontu) stanowi miejsce najbardziej niebezpieczne, lecz obszary od niej odsunięte w stronę zrobów lub calizny zależnie od kierunku prowadzenia frontu (modelu obciążenia).



Rys. 7. Rozkład przemieszczeń pionowych w funkcji dociążenia (model B)

Fig. 7. Distribution of vertical displacements in the function of loading (model B)

Analizując kształtowanie się współczynnika koncentracji naprężeń pionowych (rys. 8) należy zauważyć, że generalnie następuje gwałtowniejsze przejście przez przedział wzrostu naprężeń do osiągnięcia warunku wytrzymałościowego determinującego stan, w którym pojawia się strefa zniszczenia struktury pierwotnej pokładu. Rozpatrując zagadnienie pod kątem wpływu modyfikacji ekstremów funkcji dociążenia można stwierdzić, że spadek wartości ekstremum wiąże się, podobnie jak dla kierunku odwrotnego, ze zwiększaniem obszarów objętych strefą spękań i zmniejszaniem zasięgu z pojawiającą się na froncie strefą rozluźniania. W przeciwieństwie do schematu wcześniej rozważanego (model A) dla przypadku $p_p^{\max}/p_z = 40\%$ w czole przodka eksploatacyjnego nadal występuje zarówno strefa rozluźniania, jak i spękań, lecz o zdecydowanie mniejszym zasięgu poziomym.



Rys. 8. Rozkład naprężeń na froncie w funkcji dociążenia (model B)

Fig. 8. Stress distribution at the workface front on the function of loading (model B)

Podsumowanie i wnioski

Wskazując na doświadczenia „tąpjących” kopalń węgla kamiennego, prowadzących roboty górnicze w partiach złoże poddanych wpływom różnego rodzaju zaszłości eksploatacyjnych, w artykule zaprezentowano rezultaty badań modelowych w zakresie kształtowania się stanu przemieszczenia, naprężenia i wyężenia na froncie ścianowym postępującym w strefie oddziaływania krawędzi eksploatacji dokonanej (w innym pokładzie). Przedstawiono koncepcję i zarys wykorzystanej metody modelowania matematycznego, w tym sposób zadawania – symulujących istnienie w górotworze krawędzi – funkcji zewnętrznych obciążeń dodatkowych modelowego układu warstw skalnych. W ramach podjętych badań analizie porównawczej poddano dwa wzajemnie odwrotne kierunki prowadzenia frontu eksploatacyjnego w stosunku do krawędzi (zroby-calizna, calizna-zroby) w aspekcie obserwacji zmian wielkości ugięcia stropu i pionowej składowej stanu naprężenia w czole ściany.

Na podstawie przytoczonych rozważań oraz wyników analiz zrealizowanych obliczeń numerycznych sformułować można następujące wnioski ogólne:

- prowadzenie eksploatacji złoże wielopokładowego wiąże się z występowaniem niejednorodnego stanu naprężenia i przemieszczenia w caliznie oraz pozostałych elementach systemu wybierania,
- krawędzie eksploatacji zaszłej determinują istnienie w górotworze obszarów redukcji oraz koncentracji naprężeń o różnym zasięgu i intensywności, co wpływa na charakter zmian przemieszczeń i naprężeń na frontach prowadzonych w rejonach ich oddziaływań,
- w strefach koncentracji naprężeń rośnie prawdopodobieństwo inicjowania w pokładzie procesów wyężeniowych, kreujących warunki sprzyjające zwiększonemu ryzyku tąpnięcia na wybiegu frontu,
- zauważalne jest zjawisko relokalizacji ekstremalnych wartości przemieszczeń i naprężeń pionowych w pokładzie względem położenia minimum i maksimum dociążenia zewnętrznego opisującego konkretną krawędź,
- z punktu widzenia zmian wielkości przemieszczeń i naprężeń w strefie przyprzodkowej z relatywnie bardziej niekorzystną sytuacją mamy do czynienia w przypadku przemieszczania się frontu eksploatacyjnego w kierunku od calizny pod zroby pokładu nadległego (podległego).

Wobec faktu, że przytoczone wyniki odnoszą się do przykładowych (teoretycznych) sytuacji górniczych prowadzenia frontu pod/nad krawędzią i bazują na uśrednionych parametrach geomechanicznych górotworu GZW, sformułowane wnioski mogą mieć wyłącznie charakter jakościowy. Zmienność naprężeń na poziomie eksploatowanego złoże, a tym samym wielkość zagrożenia tąpnięciami, jest funkcją lokalnych uwarunkowań geologiczno-górniczych i z tego względu dla opracowania ocen ilościowych konieczne jest dysponowanie szczegółowymi danymi w tym zakresie.

Artykuł zrealizowano w ramach prac statutowych AGH Akademii Górniczo-Hutniczej nr 11.11.100.005.

Literatura

- Bukowska, M. 2002. Geomechaniczne własności skał w aspekcie zagrożenia tąpniętami. *Archives of Mining Sciences* Vol. 47, No 2.
- Chlebowski, D. i Burtan, Z., 2007. Poziom zagrożenia sejsmicznego w kopalniach węgla kamiennego a prowadzenie eksploatacji w warunkach skrzepowanych. *Czasopismo naukowo-techniczne Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* nr 9/440. Wyd. Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG.
- Chlebowski, D. 2013. Analityczne modelowanie eksploatacji skrzepowanej w aspekcie identyfikacji stref zagrożonych tąpniętami. *Rozprawy-Monografie* nr 290. Kraków: Wyd. AGH.
- Goszcz, A. 2004. *Wybrane problemy zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpniętami kopalniach podziemnych. Biblioteka Szkoły Podziemnej Eksploatacji Złóż.* Wyd. Nauka i Technika.
- Kidybiński, A. 1982. *Podstawy geotechniki kopalnianej.* Wyd. Śląsk.
- Kłeczek i in. 1987 – Kłeczek, Z., Małoszewski, J., Parysiewicz, S. i Zorychta, A., 1987. *Geomechaniczne kryteria zagrożeń tąpniętami przy eksploatacji pokładów węgla kamiennego.* Prace GIG, seria dodatkowa.
- Zorychta, A. 2003. *Geomechaniczne modele górotworu tąpniętego.* Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, seria z perlikiem nr 7. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Zorychta i in. 2008 – Zorychta, A., Chojnacki, J., Krzyżowski, A. i Chlebowski, D., 2008. Ocena możliwości wybierania resztkowych partii pokładów w polskich kopalniach węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 1/2.

