

Antoni Tajduś, Marek Cała*, Jerzy Flisiak*, Mieczysław Lubryka***

OCENA MOŻLIWOŚCI CZĘŚCIOWEGO NARUSZANIA FILARÓW OCHRONNYCH SZYBÓW NA PODSTAWIE OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH STANU NAPRĘŻENIA W OTOCZENIU RURY SZYBOWEJ

1. Wprowadzenie

Zasadniczym problemem, który pojawia się w czasie eksploatacji górniczej, jest konieczność zachowania stateczności wyrobisk górniczych przez wymagany czas. Problem ten dotyczy nie tylko wyrobisk eksploatacyjnych czy przygotowawczych, ale także pionowych wyrobisk udostępniających, czyli szybów.

Podstawowym sposobem ochrony terenu górniczego, a w szczególności obiektów budowlanych i inżynierskich na powierzchni terenu oraz ochrony szybów górniczych jest ustanowienie tzw. filara ochronnego. Zgodnie z definicją jest to część obszaru górniczego, w której dla ochrony terenów, budowli i urządzeń naziemnych oraz podziemnych przed szkodami wskutek robót górniczych, prowadzenie tych robót jest zastrzeżone i może być dozwolone w zakresie ustalonych kategorii ochrony, tj. w zależności od stopnia ważności i wrażliwości obiektów na odkształcenia.

Obserwacje w naturze wskazują, że prowadzenie w długim okresie eksploatacji okołofilarowej wpływa na stateczność filara ochronnego rozpatrywanego w całości. Interesujące jest więc określenie, jak wpływa odległość eksploatowanego pola wybierkowego, jego głębokość oraz własności ośrodka skalnego na rozkład naprężeń i odkształceń w wyznaczonym filarze ochronnym, a więc i w wyrobisku szybowym, znajdującym się w tym filarze.

Można sformułować następującą tezę, że w warunkach kopalń węgla kamiennego istnieje możliwość naruszenia wyznaczonych granic filarów szybowych. Na zasięg eksploatacji w filarze istotny wpływ wywiera zmiana naprężenia w otoczeniu filara, odległość eksploatacji od osi szybu, jej głębokość oraz własności ośrodka skalnego.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Kopalnia Węgla Kamiennego „JAS-MOS”, Jastrzębie Zdrój

Dla wykazania tezy niezbędna jest odpowiedź na następujące pytania:

- jaki jest wpływ zbliżającego się frontu ścianowego na stan naprężenia występujący w najbliższym otoczeniu szybu?
- jaki jest wpływ własności sprężystych górotworu na stan naprężenia, jaki powstaje w otoczeniu szybu i w otoczeniu zbliżającego się do niego wyrobiska ścianowego?
- jak wpływa głębokość eksploatacji na stan naprężenia, jaki powstaje w górotworze w otoczeniu szybu i w otoczeniu zbliżającego się do niego wyrobiska ścianowego?

2. Czynniki wpływające na wielkość i rozkład deformacji w szybie

Z punktu widzenia właściwego funkcjonowania zakładu górniczego podstawowym obiektem, jaki należy chronić, jest szyb. Pomimo tego, iż wyrobiska szybowe zlokalizowane są w filarach ochronnych, przemieszczanie się mas skalnych pod wpływem prowadzonej eksploatacji górniczej może wywoływać następujące skutki:

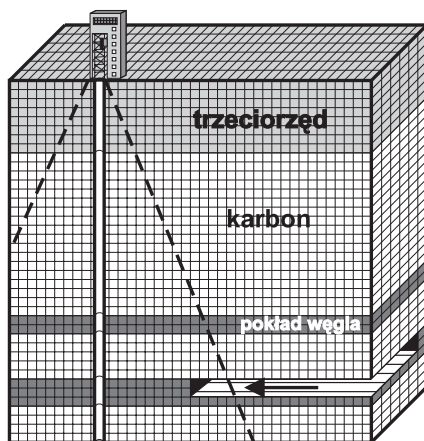
- deformacje rury szybowej (pęknięcia obudowy, przesunięcia poziome obudowy tzw. ścięcia);
- deformacje głowicy szybowej;
- zmiany poziomu wód gruntowych;
- deformacje urządzeń mechanicznych pracujących w szybie;
- deformacje dźwigarów szybowych;
- przesunięcia osi pionowej urządzeń szybowych oraz wież szybowych;
- deformacje powierzchni terenu.

Odształcenia w osi szybu powodowane są w głównej mierze intensywną eksploatacją w rejonie filara szybowego, często na skutek jego naruszenia jednocześnie w kilku pokładach, w tym samym polu eksploatacyjnym. Najbardziej niekorzystny jest tutaj wzrost obciążenia na obudowę, powodujący zginanie rury szybowej, a więc jednoczesne ściskanie i rozciąganie materiału obudowy. Naprężenia ściskające mogą wówczas powodować spękania, zgniatania i złuszczenia obudowy, które z kolei mogą powodować znaczne przesunięcia dźwigarów zbrojeniowych i zarazem przewodników dla najważniejszych urządzeń szybowych — maszyn wyciągowych (zniekształcenia tarczy szybowej), a na przykład w przypadku obudowy murowej mogą być przyczyną wypychania i wypadania dużych bloków muru obudowy w głąb szybu, które niszczą zbrojenie i wyposażenie szybu. Naprężenia rozciągające mogą natomiast powodować powstawanie szczelin, pęknięć poziomych w obudowie szybu i wypadanie obluzowanych fragmentów obudowy do szybu, co również może powodować niszczenie zbrojenia i wyposażenia szybu (zrywanie kabli, przewodników, rurociągów, kabli itp.).

3. Parametry modelu numerycznego

Do wykonania przestrzennych obliczeń numerycznych wykorzystano program COSMOS/M. Program ten, opracowany przez firmę Structural Research and Analysis Corporation, jest uniwersalnym pakietem programów metody elementów skończonych, umożliwiającą rozwiązywanie złożonych, płaskich i przestrzennych problemów związanych z mechaniką ciała stałego.

Celem obliczeń numerycznych było zweryfikowanie poprzez analizę stanu naprężenia wyników pomiarów geodezyjnych, które przedstawiają stan odkształcenia w otoczeniu wyrobiska szybowego, powstały na skutek dokonanej eksploatacji górniczej.



Rys. 1. Przestrzenny model numeryczny

W wykonanych modelach przyjęto następujące wspólne założenia (rys. 1):

- z górotworu wycięto prostopadłościan o wymiarach: długość 800 m, szerokość 800 m, wysokość 1000 m, zawierający w sobie wyrobisko ścianowe oraz szyb;
- prostopadłościan ten podzielono na 49 180 elementów ośmiowzłowych typu SOLID, które są połączone węzłami w liczbie 53 382;
- w węzłach zewnętrznych prostopadłościanu jest obciążony siłami pochodzącymi od pierwotnego stanu naprężenia, który zmienia się wraz z głębokością, a pierwotne naprężenia poziome mają jednakowe wartości (zależne od liczby Poissona) niezależnie od kierunku i zmieniają się również wraz z głębokością;
- ze względu na znaczne wymiary prostopadłościanu przyjęto, że jest on „wązki”, tzn. obliczano ciężar każdego elementu, zakładając stałą wartość ciężaru objętościowego skał równą $0,025 \text{ MN/m}^3$;
- eksploatowane wyrobisko ścianowe ma długość 200 m, wysokość 5 m i wybierane jest w pokładzie węgla na zawal;

- do obliczeń numerycznych przyjęto połowę prostopadłościanu, wykorzystując istniejącą symetrię pionową przechodzącą prostopadle przez środek eksploatowanej ściany;
- wyrobisko ścianowe zbliża się prostopadle do szybu w taki sposób, że oś symetrii wyrobiska ścianowego przechodzi przez oś główną szybu;
- górotwór jest izotropowy, jednorodny i sprężysty;
- wartość współczynnika Poissona dla wszystkich rozpatrywanych wariantów obliczeń jest stała i wynosi 0,25.

Aby zróżnicować własności sprężyste górotworu — obliczenia wykonano dla trzech wartości modułów Younga, odpowiadających górotworowi otaczającemu pokład węgla, tj.:

- model I — $E_1 = 5$ GPa,
- model II — $E_2 = 10$ GPa,
- model III — $E_3 = 20$ GPa.

Obliczenia przeprowadzono dla pięciu wariantów głębokości:

- a) $H = 400$ m,
- b) $H = 500$ m,
- c) $H = 600$ m,
- d) $H = 700$ m,
- e) $H = 800$ m

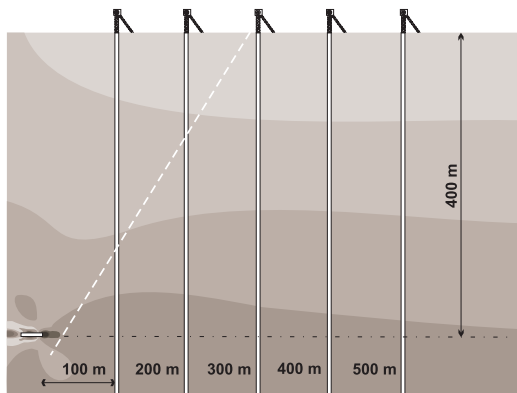
i dla dziesięciu różnych przekrojów, które opisują odległość czoła eksploatowanej ściany od szybu. Przekroje te wykonano w odległościach od 50 m do 500 m, co 50 m.

Uzyskanie zadowalających wyników w powyżej przedstawionych zagadnieniach, przy uwzględnieniu wszystkich piętnastu wariantów, wymagało wykonania obliczeń dla kilkudziesięciu zadań przestrzennych. Poszczególne modele różniły się pomiędzy sobą własnościami górotworu, natomiast dla danego modelu górotworu wykonywano obliczenia dla szeregu wariantów, które różniły się pomiędzy sobą odległością od czoła wyrobiska ścianowego do szybu (zmieniała się geometria modelu) oraz głębokością zalegania wyrobiska ścianowego.

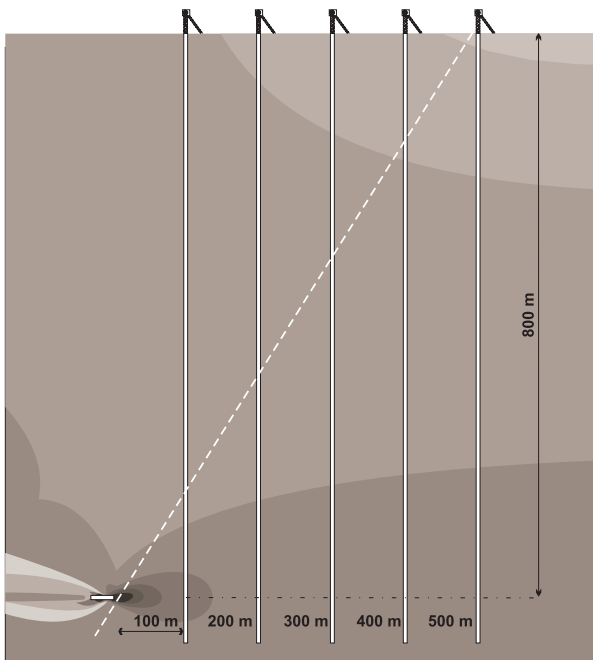
4. Wyniki obliczeń numerycznych i ich analiza

Po wykonaniu obliczeń otrzymano ogromną liczbę wyników dla każdego modelu i poszczególnych wariantów, których ze względu na charakter pracy i jej objętość nie można zamieścić w całości. Z tego względu zdecydowano się na zamieszczenie w pracy map rozkładu naprężeń tylko dla dwóch skrajnych modeli, a mianowicie: modelu I, w którym przyjęto moduł sprężystości liniowej $E_1 = 5$ GPa i głębokość 400 m (rys. 2) oraz modelu III, w którym przyjęto moduł sprężystości liniowej $E_3 = 20$ GPa i głębokość 800 m (rys. 3). Część pozostałych wyników przedstawiona zostanie w postaci wykresów ilustrujących rozpatrywane zagadnienie jako funkcję wybranych parametrów stanu naprężenia.

Porównując otrzymane wyniki obliczeń można stwierdzić, że dla wszystkich składowych stanu naprężenia największa koncentracja naprężeń występuje w najbliższym otoczeniu ściany.



Rys. 2. Przykładowa mapa rozkładu poziomej składowej tensora naprężenia σ_x
($E = 5 \text{ GPa}$, $H = 400 \text{ m}$)



Rys. 3. Przykładowa mapa rozkładu poziomej składowej tensora naprężenia σ_x
($E = 20 \text{ GPa}$, $H = 800 \text{ m}$)

W stropie i spagu naprężenia poziome są dodatnie (rozciągania), a ich wartość w stropie wyrobiska ścianowego maksymalnie dochodzi do: model Ia — $\sigma_x = 5,79$ MPa, model IIIe — $\sigma_x = 14,3$ MPa. W warstwie węgla bezpośrednio w czole przodka występują duże ściskania o wartościach dochodzących do: model Ia — $\sigma_x = -7,87$ MPa, a dla modelu IIIe — $\sigma_x = -28,5$ MPa. Dalej w prawo, w kierunku calizny, w odległości ok. 65 m od czoła ściany naprężenia te zdecydowanie się zmniejszają w zakresie 1,74÷2,75 MPa, a więc 5÷10-krotnie. W modelu Ia zmiany naprężenia σ_x w zasadzie obejmują swym zasięgiem szyb znajdujący się w odległości 300 m od eksploatowanej ściany, natomiast w modelu IIIe zmiany naprężenia σ_x obejmują swym zasięgiem szyb znajdujący się w odległości 500 m od eksploatowanej ściany.

Reasumując można stwierdzić, że największy wpływ na zachowanie się szybu mają naprężenia poziome, których kierunek zgodny jest z kierunkiem postępu przodka wyrobiska ścianowego (w analizowanym przypadku σ_x) oraz naprężenia pionowe. Zmiany tych naprężeń na skutek prowadzenia eksploatacji ścianowej sięgają najdalej od wyrobiska ścianowego, wynosząc 50÷65 m. Naprężenia poziome σ_x oraz naprężenia pionowe σ_y są również największe co do wartości. Pozostałe naprężenia mają mniejsze znaczenie zarówno pod względem zasięgu oddziaływania, jak i bezwzględnych wartości. Stosunkowo niewielki wpływ na zachowanie się szybu mają naprężenia ścinające pochodzące od eksploatacji ścianowej, co jest zaskakujące, ponieważ niektórzy geomechanicy uważają te naprężenia za najbardziej szkodliwe dla szybu.

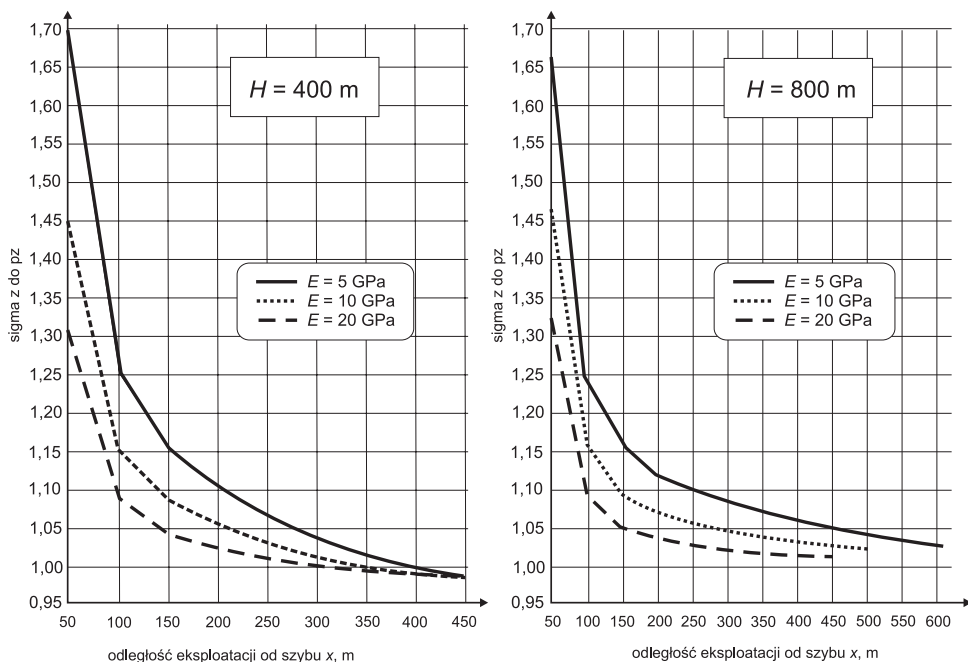
Zatem na podstawie analizy stanu naprężenia otoczenia wyrobiska ścianowego dla dwóch skrajnych modeli numerycznych, które różniły się dwukrotnie głębokością oraz czterokrotnie wartością modułu sprężystości liniowej, można stwierdzić, że parametry te w zdecydowany sposób rzutują na wielkość i zasięg naprężeń w otoczeniu szybu. Przyrost naprężeń w rejonie przodka wyrobiska ścianowego w przypadku górotworu najsłabszego ($E_1 = 5$ GPa) zalegającego na głębokości $H = 400$ m (model Ia) jest ok. 3-krotny, a w przypadku górotworu najmocniejszego ($E_3 = 20$ GPa) zalegającego na głębokości $H = 800$ m (model IIIe) jest ok. 4-krotny.

Tak duże zmiany w rozkładzie naprężeń sugerują, że istnieją zależności nie tylko pomiędzy stanem naprężenia a głębokością lub własnościami sprężystymi górotworu (co jest oczywiste), ale również może istnieć zależność funkcyjna pomiędzy naprężeniem a odległością od przesuwanego się frontu ścianowego.

5. Wpływ własności sprężystych górotworu na naprężenia powstałe w otoczeniu szybu dla różnej odległości wyrobiska ścianowego od szybu

W celu odpowiedzi na pytanie, jaki jest wpływ własności sprężystych górotworu na naprężenia powstałe w otoczeniu szybu wobec zbliżającego się do niego wyrobiska ścianowego, wykonano kilkadziesiąt obliczeń numerycznych, zmieniając własności sprężyste górotworu poprzez zmianę modułu Younga od 5 MPa do 20 MPa oraz zmieniając odległość eksploatowanego wyrobiska ścianowego od szybu. Jako najdalszą przyjęto odległość 500 m od szybu, którą w kolejnych obliczeniach zmniejszono do odległości 50 m.

Otrzymane wyniki przedstawiono w postaci wykresów współczynnika koncentracji naprężeń pionowych α , definiowanego jako iloraz naprężeń pionowych σ_z do pierwotnych naprężeń pionowych p_z .



Rys. 4. Przykładowe wykresy zmian współczynnika koncentracji naprężeń pionowych $\sigma = \sigma_z / p_z$ dla różnych modułów Younga

Na podstawie wykonanych wykresów (rys. 4) można stwierdzić, że współczynnik koncentracji naprężeń spada w sposób hiperboliczny wraz z oddalaniem się frontu ściany od szybu. Wartość współczynnika przy zwiększaniu głębokości nieznacznie maleje, średnio o ok. 0,5÷2% na każde 100 m głębokości w zależności od rodzaju górotworu (im wyższe E , tym większy spadek). Naprężenia maksymalne odczytane na poszczególnych zadanych głębokościach wahają się od 170% do 159% wartości naprężeń pierwotnych w przypadku modułu E_3 , od 147% do 141% wartości naprężeń pierwotnych w przypadku modułu E_2 i od 131% do 128% wartości naprężeń pierwotnych w przypadku modułu E_1 . Najbardziej gwałtowny spadek koncentracji naprężeń można odnotować pomiędzy 50 m a 100 m — ok. 25%, oraz 100 m a 200 m — ok. 9%.

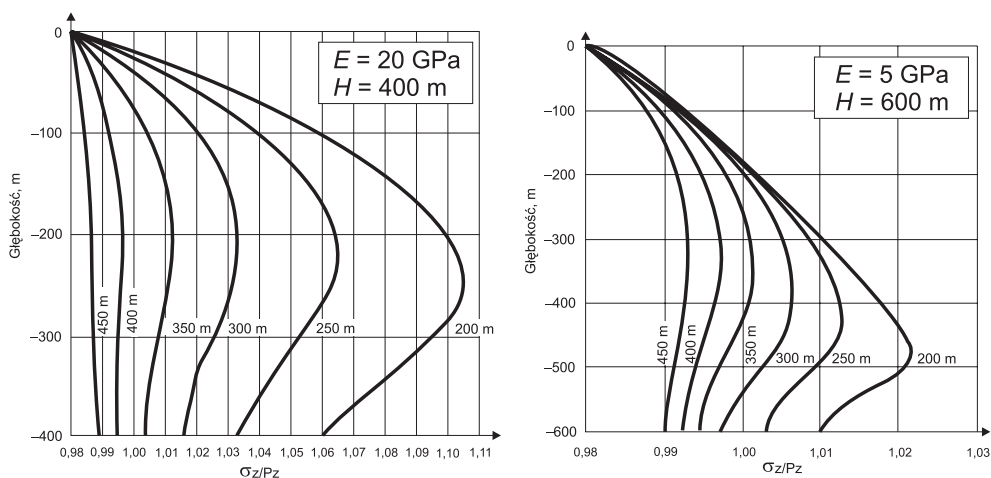
Biorąc pod uwagę odległość eksploatacji od szybu, należy stwierdzić, że wraz ze zwiększaniem głębokości rośnie również odległość, przy której zanikają wpływy wybierania pokładu. Przyjmując, że wpływ eksploatacji ścianowej jest nieodczuwalny do 105% naprężenia pierwotnego (czyli do wartości wskaźnika $\alpha \leq 1,05$), dla modułu sprężystości liniowej E_3 na głębokości zalegania $H = 400$ m odległość ta wynosi ok. 270 m, na głębo-

kości $H = 600$ m — ok. 320 m, a na głębokości $H = 800$ m — ok. 360 m. Dla modułu sprężystości liniowej E_2 odległości te wynoszą kolejno: ok. 210 m, ok. 205 m i ok. 200 m, a dla modułu sprężystości liniowej E_1 odległości te wynoszą odpowiednio: ok. 140 m, ok. 135 m i ok. 130 m.

Zatem największe zmiany współczynnika koncentracji naprężeń w stosunku do odległości od frontu eksploatacji zachodzą dla najszywniejszego z zadanych do obliczeń ośrodków skalnych. Przebieg zmian stanu naprężenia jest dla każdego rodzaju górotworu bardzo zbliżony, nie zależnie od głębokości.

6. Wpływ głębokości wybieranego pokładu na naprężenia powstałe w otoczeniu szybu dla różnej odległości wyrobiska ścianowego od szybu

W celu odpowiedzi na pytanie, jaki jest wpływ głębokości zalegania wybranego pokładu na naprężenia powstałe w otoczeniu szybu wobec zbliżającego się do niego wyrobiska ścianowego, wykonano kilkadziesiąt obliczeń numerycznych, zmieniając głębokość zalegania pokładu od 400 m co 100 m aż do 800 m oraz zmieniając odległość eksploatawanego wyrobiska ścianowego od szybu. Jako najdalszą przyjęto odległość 500 m od szybu, którą w kolejnych obliczeniach zmniejszono aż do odległości 50 m. Obliczenia wykonywano zmieniając odległość co 50 m. Przykładowe wyniki tych obliczeń zamieszczono na rysunku 5.

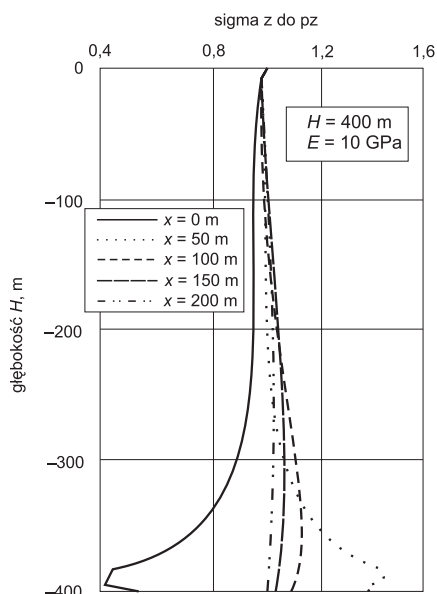


Rys. 5. Przykładowe wykresy zmian współczynnika koncentracji naprężeń pionowych dla różnych głębokości

Współczynnik koncentracji naprężeń rośnie wraz z ze zwiększaniem się sztywności górotworu, natomiast zmiana głębokości eksploatacji praktycznie nie zmienia jego wartości.

Maksymalna wartość współczynnika α w odległości 200 m od szybu dla górotworu o module E_1 wynosi 1,023, o module E_2 — 1,052, a dla górotworu o module E_3 wynosi 1,096. Wraz ze zwiększaniem się modułu sprężystości wzrasta odległość od szybu, przy której naprężenia wynikające z eksploatacji ściany nie przekraczają naprężeń pierwotnych. Zależy ona również od głębokości i dla poszczególnych modeli można przyjąć, że jest to kolejno: dla $H = 400$ m ok. 300÷400 m, dla $H = 600$ m ok. 380÷500 m, dla $H = 800$ m ok. 450÷650 m.

Ponieważ jak to przedstawiono na wykresach rysunku 5, skupiono się przede wszystkim na szukaniu odległości pomiędzy szybem a frontem ściany, przy której nie występuje koncentracja naprężeń (stąd zakres odległości 200÷450 m), na rysunku 6 przedstawiono dodatkowo wykresy zmiany współczynnika koncentracji naprężeń wraz ze zwiększaniem się głębokości eksploatacji dla odległości od konturu szybu równego 0÷200 m, przyjmując najbardziej charakterystyczny dla górotworu karbońskiego moduł sprężystości równy 10 GPa.



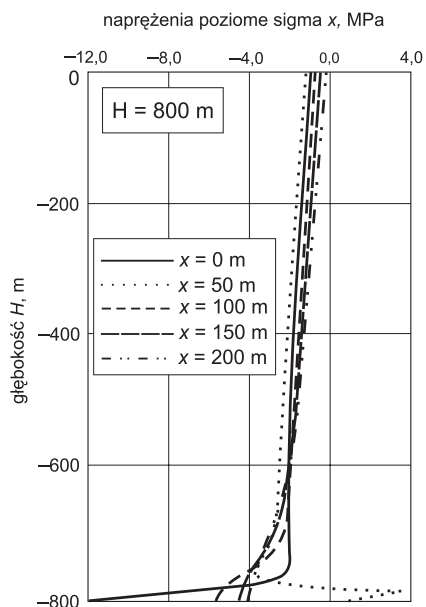
Rys. 6. Przykładowy wykres zmian współczynnika koncentracji naprężeń

Na podstawie szeregu wykresów można odczytać spadek naprężeń pionowych na konturnie wyrobiska szybowego do ok. $0,4 p_z$, a następnie ich maksymalny wzrost w odległości 50 m od szybu, który dochodzi do $1,5 p_z$. W odległości 100 m spadek koncentracji naprężeń jest już dość znaczny ($\alpha =$ ok. $1,12 \div 1,15$) i w odległości $x = 150$ m od szybu powstałe naprężenia są tylko ok. 5÷8% wyższe od naprężeń pierwotnych ($\alpha =$ ok. $1,05 \div 1,08$). Przebieg zmian naprężeń w stosunku do głębokości odczytany w przekroju wykonanym w czole ściany oddalonym o 200 m od szybu jest zbliżony do linii prostej, a więc, co wykazano na podstawie analizy szeregu wykresów, jest to odległość wyrobisko ścianowe — szyb, przy której wpływ eksploatacji jest w zasadzie niezauważalny.

Reasumując, w miarę przybliżania się z eksploatacją do szybu, w jego otoczeniu następuje koncentracja naprężeń pionowych o znacznej wartości. Dla przykładu, na głębokości 600 m przy $E = 20 \text{ MPa}$ naprężenia pionowe w odległości 500 m zbliżone były do pierwotnych ($\alpha = 1,0$), natomiast w odległości 50 m od szybu wzrosły do $\alpha = 1,64$. Odległość pomiędzy frontem ściany a konturem szybu, przy którym powstałe na skutek wybierania złoża naprężenia nie przekraczają naprężeń pierwotnych, wynosi od 300 m do 600 m i zależy od głębokości zalegania pokładu i własności sprężystych górotworu.

Jakkolwiek wartości współczynnika koncentracji naprężeń nie są wysokie, to jednak na skutek wzrostu własności sprężystych górotworu (modułu Younga) następuje znaczny przyrost współczynnika α , a tym samym istotny wzrost wartości naprężeń pionowych. Dla przykładu, przy dwukrotnym wzroście modułu Younga współczynnik koncentracji naprężeń pionowych zwiększa się mniej więcej 10%, natomiast przy czterokrotnym wzroście modułu Younga współczynnik koncentracji naprężeń pionowych wzrasta mniej więcej 24%.

Koncentracja naprężenia pionowego wraz z głębokością nieznacznie maleje, mniej więcej 4÷7%, co jest wynikiem zaskakującym. Maksymalna koncentracja naprężeń zachodzi zawsze w odległości ok. 120÷150 m powyżej eksploatowanego pokładu. A należy pamiętać, że wartość naprężenia pionowego wraz z głębokością rośnie, ponieważ wraz z głębokością rośnie wartość pierwotnego naprężenia pionowego.



Rys. 7. Przykładowy wykres zmian wartości naprężeń poziomych wzdłuż osi szybu

W celu jeszcze dokładniejszej analizy stanu naprężenia w otoczeniu szybu poddanego wpływowi wyrobiska eksploatacyjnego przeanalizowano wykresy bezwzględnych wartości naprężeń poziomych, naprężeń pionowych, naprężeń stycznych i wartości naprężeń zredu-

kowanych w zależności od głębokości, w kolejnych przekrojach poprzecznych wzdłuż szybu, w jego bezpośredniej odległości ($x = 0 \div 200$ m). Celem tejże analizy była próba znalezienia takiego parametru opisującego stan naprężenia wokół szybu, którego wpływ na koncentrację naprężeń w jego otoczeniu jest największy. Analizę przeprowadzono dla typowego dla skał karbońskich modułu sprężystości liniowej $E_2 = 10$ GPa.

Przy dochodzeniu wyrobiskiem ścianowym do szybu wzdłuż rury szybowej występują również coraz większe wartości naprężeń poziomych σ_x (rys. 7), które przyjmują niebezpieczne dla szybu wartości rozciągające na jego konturze. Bezwzględne wartości naprężeń poziomych na konturze szybu na głębokości $H = 400$ m wynoszą ok. 1,8 MPa, a na głębokości $H = 800$ m wynoszą ok. 3,6 MPa, zatem w sposób proporcjonalny rosną. Rozkład naprężeń poziomych wzdłuż szybu zmienia się do odległości front ściany – szyb równej 150 m nieliniowo, a powyżej tej odległości ($x \geq 150$ m) przebieg zmian naprężeń jest właściwie liniowy. Najbardziej intensywna zmiana naprężeń poziomych zachodzi w odległości 40÷50 m powyżej eksploatowanego pokładu. Najwyższe wartości naprężeń poziomych σ_x , jakie odczytano dla odległości czoła ściany od szybu $x = 50$ m wynoszą na głębokości 400 m $\sigma_x = -6,2$ MPa, natomiast na głębokości 800 m wynoszą one -12 MPa.

Przy zbliżaniu się wyrobiskiem ścianowym do szybu, wzdłuż rury szybowej występują również coraz większe wartości naprężeń stycznych τ_{xy} . Bezwzględne wartości naprężeń stycznych na głębokości $H = 400$ m wynoszą ok. 1,2 MPa, a na głębokości $H = 800$ m wynoszą ok. 2,4 MPa i wartości ich są praktycznie takie same na konturze wyrobiska i w odległości $x = 50$ m od szybu. Rozkład naprężeń stycznych wzdłuż szybu zmienia się nieliniowo i największa ich koncentracja występuje w odległości ok. 150÷200 m powyżej eksploatowanego pokładu, z wyjątkiem bliskich odległości od szybu — 0 m i 50 m, gdzie maksymalne wartości koncentrują się w odległości ok. 50÷60 m powyżej wybieranego pokładu. Należy również zwrócić uwagę na podobny przebieg rozkładu naprężeń stycznych na konturze szybu ($x = 0$ m) i w odległości $x = 50$ m. W przeciwieństwie do pozostałych analizowanych składowych tensora naprężenia, naprężenia styczne τ_{xy} nie maleją na konturze wyrobiska, przeciwnie, na konturze wyrobiska w odległości pionowej ok. 15÷20m powyżej eksploatowanego pokładu są największe, wynosząc na głębokości $H = 400$ m $\tau_{xy} = -1,3$ MPa, natomiast na głębokości 800 m $\tau_{xy} = -2,5$ MPa.

7. Podsumowanie

- Analiza wyników obliczeń numerycznych wykazała, że uszkodzenia szybów (deformacje rury szybowej, obudowy itd.) mogą wystąpić na skutek występowania nadmiernych pionowych naprężeń ściskających, poziomych naprężeń rozciągających, bądź naprężeń ścinających w szybie w odległości od 50 m do 150 m nad eksploatowanym pokładem, przy bliskiej odległości frontu eksploatacyjnego od szybu. Oddalając się eksploatacją od rury szybowej (na odległość ok. 200÷300 m) koncentracja naprężeń, a więc i poziom największych odkształceń górotworu, przesuwa się w pionie na odległość ok. 300÷350m powyżej eksploatowanego pokładu, a ich wielkość nie przekracza ok. 120% naprężeń pierwotnych.

- Największy wpływ na zachowanie się szybu mają naprężenia poziome, których kierunek zgodny jest z kierunkiem postępu przodka wyrobiska ścianowego (w analizowanym przypadku σ_x), oraz naprężenia pionowe. Zmiany tych naprężeń na skutek prowadzenia eksploatacji ścianowej sięgają najdalej od wyrobiska ścianowego, wynosząc 50÷65 m. Również wartości naprężeń poziomych σ_x oraz naprężeń pionowych są największe. Pozostałe naprężenia mają mniejsze znaczenie zarówno pod względem zasięgu oddziaływania, jak i bezwzględnych wartości. Najmniej na zachowanie się szybu wpływają naprężenia ścinające pochodzące od eksploatacji ścianowej, co jest zaskakujące, ponieważ niektórzy naukowcy uważają te naprężenia za najbardziej szkodliwe dla szybu.
- Na skutek wzrostu własności sprężystych górotworu (modułu Younga) względny przyrost wartości naprężeń pionowych jest znaczny i wynosi od 30% na głębokości $H = 800$ m do ok. 40% na głębokości $H = 400$ m. Sam wzrost sztywności górotworu może być zatem powodem nadmiernej koncentracji naprężeń.
- Koncentracja naprężenia pionowego wraz z głębokością nieznacznie maleje, mniej więcej 4÷7%, co również jest wynikiem zaskakującym, pamiętając, że wartość naprężenia pionowego wraz z głębokością rośnie, ponieważ wraz z głębokością rośnie wartość naprężenia pierwotnego.
- Liniowy przyrost objętości wyznaczanych filarów nie odpowiada przyrostowi naprężeń w górotworze, co sprawia, że duża część zasobów zostaje uwięziona wewnątrz filara pomimo braku przesłanek ze strony podwyższonych naprężeń. Sugeruje to, że przy znajomości parametrów odkształceniowych górotworu w rejonie filara można wybrać część pokładu ograniczoną filarem, do pewnej określonej odległości pomiędzy frontem ściany a szybem. Rozkład naprężeń w rejonie filara przy zbliżaniu się frontem ściany do rury szybowej przedstawiono właśnie w niniejszej pracy, co pozwala na określenie bezpiecznej odległości „wcięcia się” robotami górniczymi w obszar filara.
- Na zasięg wpływów eksploatacji w filarze faktycznie istotny wpływ wywiera odległość eksploatacji od osi szybu, jej głębokość oraz własności ośrodka skalnego. W warunkach kopalń węgla kamiennego istnieje możliwość naruszenia wyznaczonych granic filarów szybowych, ponieważ liniowy przyrost objętości wyznaczanych filarów nie odpowiada przyrostowi naprężeń w górotworze.

LITERATURA

- [1] *Borecki M., Chudek M.*: Mechanika górotworu. Katowice, Wyd. Śląsk 1972
- [2] *Borecki M., Zych J.*: Wpływ eksploatacji zewnętrznej na obiekty chronione filarami. Filary ochronne szybowe. Podstawowe problemy pomiaroznawstwa wentylacji górniczej. Katowice, Wydawnictwo SITPH 1978
- [3] *Drzęźła B.*: Niektóre poglądy w zakresie kinematyki niecki osiadania i nowy model geometryczny. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej '93, Kraków, CPPGSMiE PAN 1993
- [4] *Drzęźła B.*: Przybliżona ocena niektórych parametrów kinematyki niecki osiadania przy zmiennych prędkościach wybierania i postojach ścian. Przegląd Górniczy, nr 9, 1995
- [5] *Drzęźła B., Bańka P.*: Wyznaczanie filarów ochronnych dla obiektów powierzchniowych i szybów metodą prognozowania nieliniowego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 4, 1994
- [6] *Drzęźła B., Białek J., Bańka P.*: Filary ochronne – kołowe czy kwadratowe? Przegląd Górniczy, nr 5, 1995
- [7] *Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A.*: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Katowice, Śląskie Wydawnictwa Techniczne 1994

- [8] *Tajduś A., Flisiak J., Cala M.*: Estimation of Rockburst Hazard Basing on 3D Stress Field Analysis. Rockbursts and Seismicity in Mines, Rotterdam, Gibowicz & Lasocki, Balkema 1997
- [9] *Jędrzejec E., Kowalski A., Kwiatek J.*: Wyznaczanie filarów ochronnych dla obiektów na powierzchni szybów i szybików w granicach obszarów górniczych kopalń węgla kamiennego. Katowice, Seria Instrukcje nr 3, Wyd. GIG 1996
- [10] *Majcherczyk T., Lubryka M.*: Analiza stateczności szybu Sz/M-P3 Jas w KWK „Jas-Mos” oraz sposób naprawy zniszczonej obudowy szybowej. Materiały konferencyjne Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej, Zakopane — Kościelisko 1998
- [11] *Majcherczyk T., Lubryka M., Malkowski P., Witosiński J.*: Makroskopowa oraz laboratoryjna ocena stanu obudowy wyrobiska szybowego. Materiały konferencyjne Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej, Bukowina Tatrzańska 2000
- [12] *Rusiński E.*: Metoda elementów skończonych. System Cosmos/M. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 1994
- [13] *Lubryka M.*: Wpływ eksploatacji górniczej w rejonie filara ochronnego na deformacje powierzchni terenu i zachowanie się rury szybowej. Kraków, 2000 (praca doktorska, niepublikowana)
- [14] *Lubryka M., Ogiegło K., Śliwiński J., Malkowski P.*: Is possible to win back a part coal resources confined to the safety pillar of pit shaft. The 9th International Energy Conference & Exhibition, Cracow 2002