

Renata PATYŃSKA

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Wpływ lupności na stan naprężenia i deformacji w górotworze

Streszczenie

Choć uznaje się istotną rolę czynnika naturalnego (struktury górotworu i wzajemnego usytuowania płaszczyzn osłabionej spoiwości górotworu) w generowaniu wstrząsów o wysokiej energii, dotychczas nie opracowano wiarygodnego modelu deformacji i stanu naprężeń w górotworze, który pozwoliłby w pełni korelować wyniki badań nad sejsmicznością obszaru i tektoniką regionalną. A zatem określenie charakteru takich związków w oparciu o przedstawiony model geomechaniczny stanu naprężeniowo-deformacyjnego górotworu, pozwoli na szacowanie zasięgu zjawisk sejsmicznych, a tym samym zastosowanie odpowiednich metod profilaktycznych.

1. Wprowadzenie

Stan zagrożenia tąpnięciami ma złożony charakter i nie ma uniwersalnej teorii, zgodnie z którą we wszystkich przypadkach geologiczno-górnictwowych można by uzyskać zgodność wyników badań modelowych z uzyskiwanymi w praktyce. Od lat obserwuje się więc ciągle poszukiwania, zmierzające do wyjaśnienia związków sejsmiczności z tektoniką w sąsiedztwie wyrobisk górniczych.

W rozważaniach na temat pochodzenia wstrząsów górniczych stwierdza się zgodnie, że zjawiska sejsmiczne najczęściej indukowane są działalnością człowieka – głównie wywołuje je eksploatacja i udostępnianie złóż, zwłaszcza resztkowych partii pokładów. Wśród wstrząsów wyróżnia się grupę wstrząsów wysokoenergetycznych o charakterze regionalnym. Ich powstawanie ma związek z nieciągłościami tektonicznymi i jest efektem istnienia naprężeń tektonicznych aktualnych lub rezydualnych, a co za tym idzie efektem współdziałania naprężeń eksploatacyjnych z naturalną strukturą górotworu.

Celem przeprowadzonej analizy modelu geomechanicznego stanu naprężeniowo-deformacyjnego górotworu, jest zwrócenie uwagi na problem zagrożenia wstrząsami, których wielkość i częstość zależy od struktury górotworu i wzajemnego usytuowania płaszczyzn osłabionej spoiwości górotworu.

Występowanie dużej liczby spękań naturalnych (pierwotnych) w czole wyrobiska górniczego i jego otoczeniu należy traktować jako czynnik korzystny. Przekonanie, że strefy odprężone to strefy spękane, w których zagrożenie tąpnięciami nie występuje lub występuje w stopniu ograniczonym jest słuszne. Należy jednak zaznaczyć, że liczba spękań eksploatacyjnych jako wtórnych, wynikających z naruszenia równowagi górotworu przy wybieraniu pokładu, zależy przede wszystkim od usytuowania linii frontu eksploatacji w stosunku do kąta

nachylenia systemów nieciągłych górotworu. Szczegółowa znajomość zależności przestrzennej sieci powierzchni osłabionej spoistości, niedostępnych pól jest sprawą dużej wagi i daje możliwość właściwego zaprojektowania kierunku eksploatacji. Wiąże się to zarówno z bezpieczeństwem pracy, jak i obniżeniem kosztów profilaktyki, stosowanej w czasie biegu ścian zagrożonych wstrząsami.

W związku z powyższym, rezultat proponowanych rozwiązań to sposób określania stref zaangażowania tektoniki lokalnej, kryteria dopuszczalnych i zalecanych kierunków zorientowania kierunków eksploatacyjnych względem kierunków naturalnego osłabienia górotworu.

Dokładne określenie zasięgu stref naprężeniowo-deformacyjnych wokół wyrobisk wybierkowych jest jak dotąd skomplikowane. Wynika to przede wszystkim z oddziaływań wyrobisk wybierkowych w górotworze, różnorodności skał i ich własności geomechanicznych. Warunki górniczo-geologiczne czynią problematyczne założenie co do jednorodności, izotropowości i (często też) ciągłości analizowanego masywu górotworu. Sam system eksploatacji, a ściślej mówiąc zagospodarowanie zrobów (podsadzka, zawał), zmuszają do przyjmowania uproszczonych założeń i modeli. Analizując zjawiska występujące w górotworze w sąsiedztwie wyrobisk wybierkowych coraz częściej odchodzi się od klasycznych rozwiązań analitycznych, wykorzystując analizę stanu naprężeń oraz wyniki pomiarów i obserwacji prowadzonych w kopalniach, w konfrontacji z wynikami obliczeń na złożonych modelach matematycznych. Jednym z modeli jest model numeryczno-analityczny. W wyniku obliczeń programem komputerowym UDEC v. 3.0 (UDEC 1996) uzyskuje się obraz stanu naprężeniowo-deformacyjnego. Konfrontacja wyników badań z wynikami analiz, uzyskanych na modelu programu obliczeniowego pozwoli na określenie kryteriów dopuszczalnych i zalecanych do stosowania kierunków prowadzenia wyrobisk górniczych względem elementów zalegania pokładu i kierunków osłabienia górotworu.

2. Struktura pierwotna górotworu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Profilaktyka tąpniowa stosowana w polskich kopalniach węgla polega zawsze na destrukcji struktury pokładu i/lub skał otaczających, w szczególności stropowych, co sprowadza się do tworzenia w nich spękań i szczelin w wyniku eksploatacji odprężającej, strzelania wyprzedzającego, nawadniania lub ukierunkowanego hydroszczelinowania. Przyjmując takie postępowanie za słuszne, występowanie dużej liczby spękań pochodzenia naturalnego należy traktować jako czynnik korzystny, zaś strefy pokładu i górotworu silnie spękane jako strefy odprężone, niezagrożone tąpnięciami. Należy jednak zaznaczyć, że liczba spękań w pokładach jest zmienna i waha się od kilku do kilkudziesięciu spękań na metr kwadratowy. O ile w jednym przypadku pokład dzieli się na „cegły” o krawędzi 20–25 cm, to w innym wymiary cegiełek są znacznie mniejsze 2–3 cm. Tym samym podatność pokładu na odkształcenie i zdolność do akumulacji energii sprężystej jest różna i zależy od stopnia spękania. W strefach silnie spękanych należy oczekiwać dyssypacji energii sprężystości, podczas gdy strefy mało spękane stanowią mogą w pewnym sensie resztki, w których koncentrują się wysokie naprężenia. Może to być przyczyną lokalnych koncentracji naprężeń w strefach mało spękanych. Niemniej jednak części pokładu, w których występuje duża liczba spękań (powyżej 10 na m²) należy traktować jako nieskłonne do tępnięć.

Podane założenia i obserwacje kopalniane, wskazują na niewątpliwy związek wstrząsów, których konsekwencją są tąpnięcia, z załamywaniem się grubych i mocnych warstw skalnych, a także wpływ pierwotnej i wtórnej strefy spękań na intensywność tego zjawiska.

Zaobserwowano (Cianciara 1995; Ferenc 1981), o czym wspominał także A. Sałustowicz (1955), że niejednokrotnie po zaistnieniu zjawiska dynamicznego, widocznie są w stropie głębokie szczeliny, których przed tąpnięciem nie było. Wcześniejsze badania W. Budryka (1852) także wykazały, że spękania takie tworzą się regularnie co 80 m wzdłuż linii łupności górotworu, a miejsca tąpnięć pokrywają się dokładnie z tymi liniami.

2.1. Strukturalne osłabienie skał – spękania i łupność

Według T. Ryncarza (1993) budowę wewnętrzną skał charakteryzuje struktura i tekstura. Do cech tekstury zalicza się między innymi łupność (cios) i uwarstwienie. Zgodnie z tą definicją, łupność jest zdolnością skał do łatwiejszego pęknięcia (pod działaniem sił) wzdłuż określonego układu płaszczyzn, w którym występuje osłabiona spójność między ziarnami.

Łupność skał stropowych mierzona in situ (Gieżyński 1969), która dla procesu ruchu skał w otoczeniu wyrobiska wybierkowego ma znaczenie podstawowe, jest od dawna przedmiotem zainteresowania górników. Dla K. Pawłowicza (1962; 1966) łupność górotworu skał zależy od:

- własności fizyko-mechanicznych skał, a przede wszystkim ich wytrzymałości na ściskanie, ścinanie, zginanie;
- występujących w górotworze płaszczyzn osłabionej spójności –
 - w postaci powierzchni równoległych do powierzchni ograniczających warstwy skalne,
 - w postaci powierzchni nieregularnych spękań (cios–łupność, szczelinowatość);
- układu i nachylenia warstw w rozumieniu różnego usytuowania względem pokładu warstw o rozmaitej grubości, wytrzymałości, sztywności i tym podobnych.

Zdolność skał do dzielenia się na bloki (podzielność) wzdłuż pewnych płaszczyzn scharakteryzował M. Nieć (1990). Zazwyczaj płaszczyzny takie są dostrzegalne makroskopowo lub ujawniają się podczas urabiania. Wzdłuż tych płaszczyzn odspojenie brył skalnych od calizny przebiega najłatwiej. Gdy nie ma widocznego odstępu między powierzchniami podzielności, mówi się o spękaniach, a gdy są wyraźne – o szczelinach. W skałach magmowych podzielność taką nazywa się łupnością, a w skałach osadowych warstwowaniem lub łupkowatością.

Łupność opisana jest także przez W. Jaroszewskiego (1990) jako skłonność masywu skalnego do podziału na mniej lub bardziej regularne bloki. Podzielność nie będąca cechą teksturalną skały nazywa się spękaniem lub podzielnością spękaniową, jest ona jawna.

Oprócz podzielności geologicznie pierwotnej i wtórnej (R. Krajewski 1955) w najbliższym otoczeniu wyrobisk podziemnych występują z reguły spękania wywołane odprężeniem górotworu wokół wyrobiska, przebiegające w przybliżeniu równoległe do jego ociosów. Noszą one nazwę spękań eksploatacyjnych lub wyprzedzających (w przypadku frontu wyrobisk eksploatacyjnych), bądź spękań ociosowych (w przypadku ociosów chodników) i przebiegają najczęściej wzdłuż linii kliważu.

Najnowszą teorią opisującą strukturę górotworu jest teoria przyjęta przez R. Dadleza i W. Jaroszewskiego (1994), zgodnie z którą spękanie to powierzchnia nieciągłości mechanicznej utworzona przez pęknięcie, czyli przerwanie ciągłości (skały), bez makroskopowo dostrzegalnego przemieszczania wzdłuż tej powierzchni. Jeżeli takie przemieszczenie występuje ma się do czynienia z uskokiem, choćby było to wcześniejsze spękanie wykorzystane przez

ruch uskokowy. Według tych autorów spękania są nie tylko tektoniczne. Należą do nich na przykład rozspojenia powodowane wysychaniem osadu, termicznym skurczem skał magmowych i inne.

Ponieważ właściwa interpretacja zwiastunów zniszczenia bazuje właśnie na znajomości budowy (Stopyra i in. 1998) skały i rozkładu panujących w niej naprężeń, należy przyjrzeć się dokładanie samemu mechanizmowi zachowań skał w odniesieniu do ich własności fizyko-mechanicznych.

Według A. Kidybińskiego (1982) istnieje zależność wytrzymałości na ściskanie skały osłabionej rysą do skały litej od kąta nachylenia płaszczyzny rysy od kierunku siły.

Dotychczasowa wiedza na temat struktury skał GZW bazuje na bardzo wczesnych badaniach wykonywanych i opisanych przez K. Pawłowicza (1966). Według tego autora *zdolność przechodzenia* skał stropowych w stan krytyczny zawału zależy od ich cech strukturalnych, a głównie od gęstości spękań, ułożenia wzajemnego warstw, od nachylenia powierzchni osłabionej spoistości przecinających warstwy. Także D. W. Philips (1948) stwierdził, że przy załamywaniu się skał wielką rolę odgrywają warstwowość, łupność i szczelinowatość. Gęstość tworzących się w stropie, pokładzie i spągu rys, spękań i szczelin, zwanych jako szczelinowatość eksploatacyjna i szczelinowatość wyprzedzająca, jest zmienna, a zależy od wytrzymałości i grubości warstw.

W celu uniknięcia nieporozumienia trzeba zaznaczyć, że wymieniane przez badaczy własności skał stropu nie są bynajmniej jedynymi czynnikami, od których uzależniony jest ich ruch w otoczeniu wyrobiska. Ale czynnikiem takim na pewno jest wytrzymałość skał, o której wartościach można wnioskować na podstawie wyników laboratoryjnych badań wytrzymałości próbek skalnych. Zdaniem W. Budryka (1952) tym mniejszą wytrzymałość ma skała jako całość i tym większy jest jej stopień kruchości im gęściej występuje kliważ (cios). Skały o dużej wytrzymałości, według W. Budrysa, w grubych warstwach pękają zawsze wzdłuż ciosu.

Według A. Sałustowicza (1955) płaszczyzny łupności przebiegają zwykle w kierunku zbliżonym do kierunków prostopadłych (70–85°) do uwarstwienia i są płaszczyznami osłabionej spoistości. Mogą przebiegać w masywie od spągu ku caliznie w kierunku eksploatacji albo odwrotnie od calizny ku spągowi. W pierwszym przypadku jest to łupność leżąca, która powoduje obsuwanie się (poślizg) grubych brył skalnych (nasila się zjawisko opadu stropu). W drugim przypadku ma się do czynienia z łupnością wiszącą, która jest groźniejsza od łupności leżącej, ponieważ proces niszczenia warstw skalnych zachodzi gwałtowniej (nasila się liczba wstrząsów i zjawisk dynamicznych calizny węglowej między innymi w postaci wyrzutu calizny). Stąd teza A. Sałustowicza: *Urabianie węgla w ścianie jest dużo łatwiejsze, wtedy gdy jest ona równoległa do jednego kierunku łupności, aniżeli wtedy gdy jest skośna lub prostopadła*. A. Sałustowicz zalecał usytuowanie frontu ściany równoległe do łupności, co ułatwiałoby prowadzenie systematycznych zawałów. Przy stropie słabym, trudnym do utrzymania, ściana powinna przebiegać pod pewnym kątem do łupności, co zapobiega przedwczesnemu zawałowi. A. Sałustowicz uważał, że utrzymanie stropu chodnika jest łatwiejsze, gdy oś chodnika jest prostopadła do łupności. Chodniki takie utrzymują się nawet bez obudowy.

Duże znaczenie dla urabiania i utrzymania stropu, według A. Sałustowicza, ma również kierunek nachylenia płaszczyzn łupności w przekroju pionowym. Przy łupności leżącej urabianie jest daleko łatwiejsze, a wydajność większa niż przy łupności wiszącej. Jeżeli chodzi o utrzymanie stropu w ścianie, to łupność leżąca zwiększa jego wytrzymałość dzięki dobremu oparciu o calizną. Przeciwnie przy łupności wiszącej strop zawala się łatwo i przy słabych skałach jest trudniejszy do utrzymania.

3. Zagrożenie wstrząsami a struktura górotworu

Prawie wszystkie prace dotyczące problematyki wstrząsów i tąpnięć wiążą powstawanie wstrząsów z występowaniem w profilu geologicznym grubych warstw piaskowców o dużej wytrzymałości i sztywności (Budryk 1938; Parysiewicz 1951; Huber 1956; Harding 1974; Biliński 1981; Konopko 1994; Kłeczek i in. 1985, 1987, 1991), ale nie uściślają wpływu ich płaszczysto osłabionej spoistości.

Analiza związku sejsmiczności z budową tektoniczną i przebiegiem eksploatacji w obszarze górniczym wykonana przez G. Saganę i W. Zuberka (1986) wykazała, że głównymi czynnikami odpowiedzialnymi za występowanie wstrząsów są: wielkość wyeksploatowanej powierzchni, stopień zaangażowania tektonicznego i głębokość eksploatacji. Według tych badaczy wstrząsy występują zarówno w strefach zaangażowanych tektonicznie, jak i w strefach niezaburzonych tektonicznie. Ogniska zarejestrowanych wstrząsów koncentrowały się przede wszystkim:

- w strefie aktualnie prowadzonej eksploatacji, bez względu na stopień zaangażowania tektonicznego,
- przed frontem eksploatacji, w przypadku gdy eksploatacja prowadzona była w strefie zaangażowanej tektonicznie, przy czym wśród nich wystąpiły wstrząsy o wysokich energiach sejsmicznych,
- w starych zrobach i rejonach niedawno prowadzonej eksploatacji w przypadku sąsiedztwa znacznych obszarów starych zrobów,
- w starych zrobach w strefach zaangażowanych tektonicznie,
- na uskokach, o zrzutach co najmniej kilku metrów, gdy w jednym ze skrzydeł prowadzona jest eksploatacja.

Ponadto stwierdzono, że liczne wstrząsy wystąpiły poza obszarami prowadzonej eksploatacji i zwykle lokalizowały się na liniach deformacji tektonicznych.

Pomimo sformułowanych i potwierdzonych badaniami teorii o braku korelacji między tektoniką a aktywnością sejsmiczną górotworu, wyjaśnienia tego zjawiska poszukiwał J. Dubiński (1992). Wykazał istnienie związku między geomechaniczną strukturą górotworu a poziomem sejsmiczności indukowanej robotami górniczymi. W celu określenia stanu struktury geomechanicznej oraz jej zmian zastosował sejsmiczną technikę pomiarową połączoną z tomograficznym odwzorowaniem pola prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych. Wyniki dołowych pomiarów sejsmicznych prowadzonych w celu wyprzedzającego rozpoznania geotechnicznej struktury górotworu przed frontem ścianowym wykazały wyraźny związek tej struktury z charakterem aktywności sejsmicznej.

Próbie korelacji parametrów zuskokowania obszarów niecki Bytomskiej i siodła głównego z parametrami aktywności sejsmicznej odpowiednich obszarów przeprowadzili G. Sagan i W. Zuberek (1986). Na podstawie analizy związków statystycznych między wskaźnikami budowy tektonicznej a wskaźnikami aktywności sejsmicznej wykazali ścisłe zależności między obydwoma zjawiskami (bez i z uwzględnieniem wielkości zrzutu), wynikające przede wszystkim z liczby wstrząsów, oraz z wielkością wyzwolonej energii sejsmicznej. Zjawiska sejsmiczne silne (ale rzadkie) koncentrują się w pobliżu uskoków, zaś niskoenergetyczne (ale częste) związane są głównie z eksploatacją. Dominujące pod względem liczby wstrząsy pojawiają się głównie w obszarach niezaburzonych tektonicznie.

Obserwowany w ostatnich latach rozwój metod pomiarowych (Cianciara 1995) umożliwia lepsze rozpoznanie procesów (geodynamicznych) pęknięcia, zachodzących w górotworze ota-

czającym wyrobiska górnicze. Jednym z głównych nośników informacji o rozwoju pęknięcia jest sejsmiczna emisja górotworu. Emisja ta zawiera prekursorzy, które mogą być wykorzystane do określenia ryzyka wystąpienia wstrząsu.

W przypadku gdy w otoczeniu wyrobiska naprężenia przekraczają wartości krytyczne, wówczas w rozwijającej się strefie spękanej powstają warunki do tworzenia się wstrząsu (głównego pęknięcia). Wielkość strefy spękanej zależy od rozmiarów obszaru, w którym naprężenia przekraczają wartości krytyczne.

M. Kwaśniewski (1999) korzystając z programu metody elementów odrębnych UDEC zbudował płaski, strukturalny i fizyczny numeryczny model wycinka górotworu KWK Staszic. Była to prostokątna tarcza jednostkowej grubości, długości (szerokości) 500 m i wysokości 150 m. Warstwy zawarte w modelu podzielono czterema płaszczyznami osłabienia na 4497 bloków kontaktujących się na stykach. Symulując stopniowe wybieranie pokładu systemem ścianowym z zawałem stropu badał pole deformacji ciągłych i nieciągłych w górotworze w sąsiedztwie wyrobiska ścianowego, ze szczególnym uwzględnieniem formowania się strefy zawału i przemieszczania się bloków skalnych do wyrobiska oraz pęknięcia styków między blokami i rozwarstwiania się bloków skalnych przed frontem eksploatacji.

Wyniki obliczeń zobrazował na modelu graficznym. Przedstawiają one rozkład stanu naprężeniowo-deformacyjnego dla każdego przyjętego kroku symulowanej eksploatacji. Po wyeksploatowaniu pokładu nastąpiły rotacje bloków deformowalnych. Zwrócono uwagę na fakt, że strefy styków pomiędzy blokami skalnymi pokrywają się z rejonami, w których w górotworze występują naprężenia rozciągające.

Obliczenia numeryczne wykonane przez zespół T. Majcherczyk, A. Tajduś, J. Flisiak, M. Cała (1994, 2004), także potwierdziły wpływ uskoków na wzrost zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami. Dowiodły istnienie wyraźnego wpływu uskoku na stan naprężeń w stropowych warstwach piaskowca występującego w otoczeniu wyrobisk. Stwierdzono także, że koncentracja naprężeń może doprowadzić do nagłego zniszczenia warstwy piaskowca połączonego z dynamicznym wyładowaniem energii (tąpnięciem). Z graficznych obrazów rozkładów naprężeń na modelu wynika, że strefy maksymalnych koncentracji naprężeń, a tym samym największego zagrożenia tąpnięciami, występują w odległości do około 40 m od uskoku.

Badania nad sejsmicznością indukowaną działalnością górnictwem wykazały istnienie wstrząsów wynikających z różnych przyczyn i procesów ich powstawania (Drzęzła 1990; Fajkiewicz i in. 1981, 1983a, 1995; Stec 1994). Najwięcej wstrząsów indukowanych jest eksploatacją górnictwem. Ogniska ich leżą w pobliżu wyrobisk górniczych. Ten rodzaj sejsmiczności w warunkach GZW był przedmiotem szczegółowych badań Wierzchowskiej (1978), Kijki (1985), Syrka i Kijki (1988) oraz innych badaczy i praktyków (Biliński 1985; Marczak 1985; Goszcz 1988; Dubiński 1989; Głowacka, Kijko 1989). Specyfika prowadzonej eksploatacji oraz lokalne stany naprężeniowo-deformacyjne ukształtowane przez sytuację geologiczno-górnictwem mają istotny wpływ na poziom i rozkład przestrzenny oraz energetyczno-ilościowy tego rodzaju sejsmiczności. Stąd wynika istotny wniosek o istnieniu związków pomiędzy aktywnością sejsmiczną górotworu a działalnością górnictwem. Rzadziej wstrząsy są związane z występowaniem aktywności sejsmicznej pozostającej tylko w częściowej zależności z eksploatacją górnictwem. Przyczyn jej zaistnienia należy dopatrywać się zarówno w regionalnych zmianach naprężeń wynikających z działalności górnictwem w dużych polach eksploatacyjnych, kilka ścian, oddziałów wydobywczych, kopalń, jak i istniejących naprężeń tektonicznych powiązanych ze strefami zaburzeń geologicznych tektoniki pierwotnej (uskoki) (Kidybiński 1982; Teisseyre 1983; Goszcz 1985; Teper i in. 1992; Zuberek 1993).

4. Łupność skał stropowych i aktywność sejsmiczna przy przechodzeniu frontem ściany pod stropem leżącym lub wiszącym

Wprowadzenie obserwacji sejsmicznych do praktyki górniczej stworzyło nowe możliwości badań nad wstrząsami górniczymi i umożliwiło bardziej realną ocenę stanu zagrożenia tąpnięciami w każdych warunkach dołowych.

Wieloletnie obserwacje aktywności sejsmicznej prowadzono między innymi w ZWSM Jadwiga. Dzięki nim wykazano pewne prawidłowości i zależności koncentracji ognisk wstrząsów od lokalnych warunków górniczych i geologicznych, co pozwoliło na wyznaczenie i charakterystykę rzeczywistych stref koncentracji epicentrów wstrząsów. Koncentracja ognisk wstrząsów związana była w ściśle określony wyraźny sposób ze strefami tektoniki lokalnej a przede wszystkim z warunkami geologicznymi (stropu) pokładu.

Rozpatrzmy zatem problem dotyczący wpływu łupności na aktywność sejsmiczną w poszczególnych analizowanych polach czystego wybiegu i uskoków ścian 240, 243a i 243b (tabela 4.1) w pokładzie 620 ZWSM Jadwiga (Patyńska 2003).

Tabela 4.1.

Wstrząsy w czystych polach z uwzględnieniem stropów wiszących i leżących

Table 4.1.

The tremors occurring in intact panels with regard to hanging walls and foot walls

Rzędy energii wstrząsów	Energia wstrząsów odniesiona do metra bieżącego czystego pola zrzuconego, J/m		Energia wstrząsów odniesiona do metra bieżącego czystego pola wiszącego, J/m		
	ściana 240/2; kierunek frontu płn-wsch; strop wiszący	ściana 243a/1; kierunek frontu płd-zach; strop leżący	ściana 240/1; kierunek frontu płn-wsch; strop wiszący	ściana 243/2; kierunek frontu płd-zach; strop leżący	ściana 243b; kierunek frontu płn-wsch; strop wiszący
10 ³	1,0·10 ⁴	2,1·10 ³	8,0·10 ³	2,3·10 ³	8,4·10 ³
10 ⁴	1,0·10 ⁴	3,4·10 ⁴	1,0·10 ⁴	3,2·10 ⁴	7,4·10 ³
10 ⁵	1,0·10 ⁴	2,3·10 ⁵	1,0·10 ⁴	5,4·10 ⁵	1,0·10 ³
10 ⁶	9,0·10 ³	2,5·10 ⁶	3,0·10 ³	0	0

Z tabeli 4.1 wynika, że w warunkach przechodzenia frontem ściany w czystym polu w skrzydle wiszącym uskoku lokalnego, pod stropem wiszącym rejestrowano wstrząsy niskoenergetyczne o średnich energiach od 10³ do 10⁴ J. Energie wyższych rzędów 10⁵ i 10⁶ J rejestrowano w polach pod stropem leżącym.

Z kolei z zestawienia uśrednionej liczby wstrząsów wynika, że większość z nich, zwłaszcza o wartościach 10³ i 10⁴ J, dotyczyła strefy pól czystych pod stropem wiszącym (tabela 4.2).

Ze względu na duże wartości wstrząsów o energiach 10⁵ i 10⁶ J można przyjąć, że najbardziej niebezpieczną ze stref jest strefa frontu przemieszczającego się w skrzydle zrzuconym, pod stropem leżącym.

Ocenę zachowań stropu, można również wykonać w oparciu o metody analityczne, korzystając z programu UDEC v.3.0.

Tabela 4.2.

Liczby wstrząsów w czystych polach z uwzględnieniem stropów wiszących i leżących

Table 4.2.

Number of tremors in intact panels with regard to hanging walls and foot walls

Rzędy energii wstrząsów	Liczba wstrząsów odniesiona do metra bieżącego czystego pola zrzuconego		Liczba wstrząsów odniesiona do metra bieżącego czystego pola wiszącego		
	ściana 240/2; kierunek frontu pół-wsch; strop wiszący	ściana 243a/1; kierunek frontu pół-zach; strop leżący	ściana 240/1; kierunek frontu pół-wsch; strop wiszący	ściana 243/2; kierunek frontu pół-zach; strop leżący	ściana 243b; kierunek frontu pół-wsch; strop wiszący
10 ³	3,32	1,59	2,41	2,83	3,81
10 ⁴	0,49	0,27	0,51	0,46	0,36
10 ⁵	0,04	0,017	0,06	0,096	0,01
10 ⁶	0,01	0,019	0	0	0

Z kolei z zestawienia uśrednionej liczby wstrząsów wynika, że większość z nich, zwłaszcza o wartościach 10³ i 10⁴ J, dotyczyła strefy pól czystych pod stropem wiszącym (tabela 4.2).

Ze względu na duże wartości wstrząsów o energiach 10⁵ i 10⁶ J można przyjąć, że najbardziej niebezpieczną ze stref jest strefa frontu przemieszczającego się w skrzydle zrzuconym, pod stropem leżącym.

Ocenę zachowań stropu, można również wykonać w oparciu o metody analityczne, korzystając z programu UDEC v.3.0.

5. Program UDEC v. 3.0

W geotechnice najistotniejszymi zjawiskami są zjawiska dynamiczne (wybuchy, drgania, wstrząsy i tym podobne), które jak się okazuje, można przewidzieć choćby na podstawie modelowania propagacji fali odkształceń i naprężeń w obszarach nieograniczonych. Metoda elementów brzegowych, która służy do analizy powyższych zagadnień, wymaga określenia skończonego obszaru z poprawnie określonymi jego brzegami, na których zadane są brzegowe wartości naprężeń i przemieszczeń. Jeżeli krawędzie obszaru nie istnieją w sposób naturalny, ale są wprowadzone umownie podczas modelowania, niezbędne jest zatem narzucenie odpowiednich warunków (brzegowych), które będą symulować fizyczne ich zachowanie się (Bahat 1986; Bayly 1992).

Zachowanie skał bywa różne i częstokroć trudne do przewidzenia. Ogólnie znane są dwa ekstremalne stany zachowań materiałów w warunkach obciążeń. Jednym z nich jest ciągliwość, polegająca na uplastycznieniu materiału przed naruszeniem. Drugim jest kruchość, objawiająca się naruszeniem struktury materiału przed jego całkowitym zniszczeniem. Skały budujące górotwór GZW przeważnie zalicza się do kruchych. Charakteryzują się wielokrotnie większą wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie od wytrzymałości na rozciąganie. Wyznaczenie wytrzymałości skał w złożonym stanie naprężenia i odkształcenia (jaki panuje w masywie skalnym będącym obszarem działalności górniczej) jest niezwykle trudne.

Do modelowania górotworu o cechach zgodnych z płaskim modelem sprężysto-kruchym, którego podstawowe założenia są zgodne z założeniami metody elementów brzegowych zastosowano program UDEC w wersji 3.0.

Program UDEC (1996) jest programem, w którym zastosowana jest metoda elementów odrębnych (ang. distinct element method) (Bieniawski 1967; Cundall 1971). Jest to metoda numeryczna, która mieści się w klasie metod analizy ośrodków nieciągłych. Znaczący to, że spełnia warunek dopuszczalności skończonych przemieszczeń i rotacji dyskretnych ciał (w tym całkowite ich rozdzielanie) oraz wraz z postępem obliczeń rozpoznawane są nowe kontakty pomiędzy przemieszczającymi się ciałami.

W metodzie elementów odrębnych ośrodek skalny reprezentowany jest przez zespół odrębnych bloków. Szczeliny są rozumiane jako przejścia między blokami, co znaczy, że nieciągłość traktowana jest jako warunki brzegowe. Siły na kontaktach i przemieszczenia poddanych naprężeniom zbiorów bloków są znajdowane na drodze serii obliczeń. Ruchy bloków wynikają z propagowania, przez system bloków, zakłóceń pochodzących od zadanego obciążenia lub sił. Jest to proces dynamiczny, w którym szybkość propagacji zaburzeń zależy od fizycznych właściwości zdyskretyzowanego systemu.

Zachowanie dynamiczne jest reprezentowane numerycznie przez krokowo postępujący w czasie algorytm, w którym krok czasowy jest ograniczany przez założenie, że prędkość i przyspieszenie są stałe w obrębie kroku czasowego. Metoda elementów odrębnych bazuje również na założeniu, że krok czasowy jest dostatecznie mały – na tyle, że podczas pojedynczego kroku, zaburzenia nie mogą przenosić się przez jeden wyodrębniony element i jego bezpośrednich sąsiadów. Koresponduje to z faktem, że prędkość propagacji informacji przez ośrodek fizyczny jest ograniczona.

Schemat rozwiązywania problemu jest identyczny jak użyty w metodzie różnic skończonych dla ośrodka ciągłego. Ograniczenie wynikające z kroku czasowego jest identyczne zarówno dla kontaktów, jak i bloków. Dla bloków sztywnych masa bloku i sztywność na kontakcie definiuje krok czasowy; dla bloków deformowalnych użyty jest rozmiar siatki (zone) i sztywność systemu z uwzględnieniem modułu sztywności skały jednorodnej, jak i sztywności na kontakcie.

W obliczeniach wykonywanych przez program dla wszystkich bloków korzysta się na przemian z zależności siła–przemieszczenie na kontaktach oraz z drugiego prawa Newtona. Pierwsza zależność służy do obliczenia sił działających na stykach na podstawie znanych przemieszczeń. Z kolei drugie prawo Newtona określa ruch bloków wywołany działającymi na nie siłami, jeśli nie są pomijalnie małe. Jeżeli bloki są odkształcalne, ruch jest obliczany w trójkątnej siatce elementów odkształceń skończonych. Na podstawie równań materiału bloków obliczane są następnie nowe wartości naprężeń we wnętrzu elementów.

5.1. Numeryczno-analityczne modelowanie stanów naprężeniowo-deformacyjnych otoczenia pokładu 620 w ZWSM Jadwiga

Obszar analizowany dynamicznie wyznacza rejon, w którym znajdują się źródła zaburzeń i nieregularności geometrycznej i materiałowej. Propagacja energii będzie odbywać się jedynie z obszaru wewnętrznego i cała energia docierająca do sztucznego brzegu będzie przez niego przenikać.

Kształt rozpatrywanego obszaru opisuje się poprzez określenie położenia każdego z elementów zawartego w nim. Położenie elementów określają jego współrzędne w prostokątnym globalnym układzie współrzędnych x – y .

Symulacja sejsmiki indukowanej ingerencją poprzez wykonanie wyrobiska o wymiarach 5 m wysokości oraz 10 m szerokości, prezentowana jest w postaci graficznych obrazów naprężeń, przemieszczeń oraz obciążeń bloków deformowalnych.

Model dotyczy dwuwymiarowej płaszczyzny górotworu o wymiarach 100 m × 80 m poprzecinanej płaszczyznami łupności (jako płaszczyznami strukturalnego osłabienia skał) w otoczeniu pokładu 620. Orientacja przyjętych płaszczyzn w modelu odpowiada zarówno orientacji właściwej dla warunków dołowych w otoczeniu pokładu 620 ZWSM Jadwiga, jak i przyjętej w celu uzyskania porównań. Zamiarem symulacji oddziaływania płaszczyzn osłabienia struktury górotworu, będzie również, pokazanie zachowań skał stropowych wyrobiska wywierającego wpływ na jego (niestabilność).

Ważnym etapem jest rozeznanie pierwotnej struktury górotworu pod względem tektoniki aktywnej (łupności). Każdy układ górotwór–wyrobisko zależą od siebie, zwłaszcza ich wzajemne usytuowanie. Aby tego dowiedzieć wykonana została projekcja deformacji występujących w otoczeniu wykonanego wyrobiska górniczego w pokładzie 620 ZWSM Jadwiga.

Wyniki symulacji wpływu łupności na stan naprężeń, przemieszczeń i obciążeń bloków deformowalnych w otoczeniu wyrobiska górniczego zawierają rysunki, uzyskane w obliczeniach modelowanych dla programu UDEC v 3.0. W pracy przykładowo załączono rysunki (rys. 5.1 i 5.2), symulujące wpływ kąta nachylenia łupności względem płaszczyzny pokładu na wykonane w nim wyrobisko.

Analogiczne modele obliczeniowe zostały wykonane dla przyjętych kątów nachyleń łupności opisanych w poniższym rozdziale. Pozostałe rysunki, które nie zostały włączone do pracy, są do wglądu z Zakładzie Tępań i Mechaniki Górotworu GIG. Wynika z nich, że pojawienie się płaszczyzn osłabienia struktury skał bez względu na ich kąt nachylenia, powoduje zmianę równowagi stanu naprężeń, zwłaszcza w bezpośrednim otoczeniu konturu wyrobiska.

Na rysunkach wynikowych w szczególności zwracają uwagę rozległe strefy maksymalnych głównych naprężeń ściskających, których wartość maleje tylko w rejonach oddziaływań naprężeń rozciągających. Najczęściej strefą, w której naprężenia te pojawiają się równocześnie jest otoczenie bezpośredniego spągu i stropu, w odległości 0,5–1,0 m od wyrobiska. Wartość naprężeń w każdym z przyjętych modeli jest różna i zależy od wartości kąta nachylenia płaszczyzn osłabienia struktury górotworu.

5.2. Analiza modeli zalegania łupności i jej wpływ na stan naprężeniowo-odkształceniowy w otoczeniu wyrobiska górniczego

W warunkach naturalnych górotworu, gdzie powierzchnie anizotropii są silnie wyrażone, między innymi poprzez łupność, musi wystąpić taki stan naprężeniowo-odkształceniowy, który będzie oddziaływał na każde wyrobisko wykonane w jego warunkach. Wyniki obliczeń wpływu łupności skał na otoczenie wyrobiska przedstawiono na modelach opracowanych dla warunków dołowych pokładu 620 ZWSM Jadwiga. W modelach tych przyjęte parametry wytrzymałościowo-odkształceniowe odpowiadają parametrom skał występujących w ZWSM Jadwiga (przy czym odległość płaszczyzn łupności odpowiada szerokości kroku zawałowego, ponieważ stropy zawałowe zwykle zawałają się zgodnie z kierunkiem płaszczyzn tektoniki i struktury pierwotnej). Układ łupności wiszącej i leżącej może zatem sprzyjać bądź utrudniać prowadzenie każdej eksploatacji. Obrazy wynikowe rozkładu naprężeń (m.in. rys. 5.1 i 5.2), przemieszczeń i obciążeń obliczonych modeli w układzie o nachyleniu płaszczyzny łupności pod kątem 10–90° do poziomej płaszczyzny pokładu, pozwalają na właściwą ocenę wpływu

układu łupność – wyrobisko, a co za tym idzie na projekcję właściwej eksploatacji względem osłabionej struktury górotworu. Analiza obliczonych modeli prowadzi do następujących wniosków:

Łupność 10° – Rejon występowania strefy naprężeń głównych s_{max} jest regularny i skupiony wokół konturu wyrobiska (rys. 5.1). Dodatkowo w bezpośrednim stropie i spągu tworzą się skupiska głównych naprężeń minimalnych. Regularne sieci łupności w tarczy modelu generują prawostronny kierunek wektorów przemieszczeń. Różnice wartości przemieszczeń głównych $disp.$ związane są z charakterem układu łupności względem płaszczyzny pokładu. Obraz rozkładu wektorów przemieszczeń w modelu wskazuje, że maksymalne wektory przemieszczeń występują w tej części modelu, w której łupność w stosunku do kierunku wybierania warstwy pokładu jest wisząca. Stąd stwierdzenie: *wchodzenie pod strop wiszący utrudnia wybieranie pokładu*. Układ wektorów obciążeń głównych f_{strain} bloków deformowalnych wskazuje, że maksymalne ich wartości dotyczą praktycznie warstw spągowych i w niewielkim zakresie stropu wyrobiska. Pocięcie modelu płaszczyznami łupności na regularne „pasy”, spowodowało zawężenie i zamknięcie stref naprężeń głównych; ich zasięg ograniczył się do otoczenia konturu wyrobiska.

Łupność 20° – Powoduje tworzenie zamkniętej strefy naprężeń głównych wokół przestrzeni wyrobiska. Podobnie jak w poprzednim obrazie wynikowym (rys. 5.1), w modelu o nachyleniu łupności pod kątem 20° do poziomej płaszczyzny pokładu, uzyskano w całej tarczy modelu zgodny i prawostronny kierunek wektorów przemieszczeń głównych. Ponadto w strefie, w której strop ma własności leżące w stosunku do kierunku wybierania pokładu, rejon eksploatacji obrazuje własności układu zrównoważonego sił wektorów przemieszczeń. Rozkład wypadkowych wektorów przemieszczeń jest w nim zerowy. A zatem niebezpieczny stan krytycznego wyęźnienia górotworu, występuje w rejonie, w którym łupność względem kierunku podjętej eksploatacji pokładu jest wisząca. Wchodzenie frontem w tę strefę spotęguje oddziaływanie stropu łącznie z przemieszczeniem skał do wyrobiska. Taki kierunek eksploatacji powoduje także przyspieszanie procesu samoczynnej utraty ciągłości, zwłaszcza wzdłuż płaszczyzny łupności, która dla niego staje się płaszczyzną poślizgu. Główne maksymalne obciążenia w przyjętym modelu skupiają się przede wszystkim w warstwie spągowej pokładu. Ich rozkład w całej masie warstwy jest równomierny i dowodzi, że przyjęta regularna sieć łupności nie wpływa na wzrost wartości i położenie wektorów obciążeń.

Łupność 30° – Rozkład różnicowy stanu naprężeń głównych s_{max} dotyczy tylko bezpośredniego otoczenia wyrobiska, a maksymalne wartości naprężeń ściskających są skumulowane w stropie i w ociosie. Rozkład maksymalnych wartości wektorów przemieszczeń $disp.$ pojawia się tylko w tej części masywu skalnego, gdzie łupność w stosunku do kierunku wybierania pokładu ma charakter wiszący. Przyjęty kąt łupności 30° spowodował wzrost wartości obciążeń bloków deformowalnych w całym modelu. Skupisko maksymalnych obciążeń skumulowane jest w spągu i tylko z niewielkim udziałem w ociosach. Obciążenia stropowe ściskające dotyczą zarówno stropu bezpośredniego, jak i zasadniczego. Rozkład obciążeń w modelu w danej warstwie jest równomierny, a jego maksymalne wartości wykazują warstwy spągowe, przyjęta łupność wpływa zatem na zaburzenie kierunków wektorów.

Łupność 40° – Symetryczny i skupiony obszar występowania strefy głównych naprężeń s_{max} powstaje wokół konturu wyrobiska. Obraz naprężeń w tym modelu dowodzi, że im kąt łupności większy, tym strefa zasięgu naprężeń wokół wyrobiska zmniejsza się z tendencją

do zawężania. A zatem im kąt łupności większy, tym wartość naprężeń głównych w strefie wokół konturu wzrasta i zwiększa się jej zasięg. Płaszczyzny poślizgu łupności stanowią granice odcięcia otoczenia wyrobiska od masywu. Im dalej od wyrobiska, tym wpływ naprężeń głównych w jego otoczeniu jest mniejszy. Wyżej analizowane modele i kąty nachylenia łupności 10°, 20° i 30° wykazywały, że wraz ze wzrostem kąta nachylenia łupności maleją wartości wektorów przemieszczeń, nadając kierunek ruchu bloków deformowalnych – prawostronny. Należy nadmienić, że wektory maksymalnych przemieszczeń dotyczą części modelu, w której łupność jest wisząca w stosunku do płaszczyzny pokładu. Rozkład obciążeń w modelu nie ulega istotnym zmianom w stosunku do poprzednich modeli. Tak jak poprzednio, maksymalne wartości obciążeń występują w spągu oraz w bezpośrednim otoczeniu stropu wyrobiska. Minimalne i zarazem ściskające obciążenia dotyczą warstw stropu zasadniczego.

Łupność 50° – Analiza stanu naprężeń pozwala na stwierdzenie, że maksymalne naprężenia główne są skupione w zasięgu konturu wyrobiska. Zupełnie odmienny od pozostałych analizowanych modeli jest obraz przemieszczeń i obciążeń. Wektory przemieszczeń i odkształceń w całym modelu zanikają. Oznacza to, że kąt nachylenia płaszczyzn łupności, zbliżony do kąta naturalnego ścinania materiałów skalnych, wyzwala stan ustalonej równowagi, wynikającej przede wszystkim z sił wewnętrznych bloków deformowanych w których, przemieszczenia będące ich rezultatem znoszą się (są zerowe). Stan krytyczny wyężenia górotworu w fazie obliczeń tego modelu, jest ustalony. Jego równowaga ulega niewielkiemu zaburzeniu w obrębie konturu wyrobiska.

Łupność 60° – Uzyskany obraz naprężeń ściskających jest symetryczny i skupiony wokół konturu wyrobiska. Strefy objęte zasięgiem naprężeń ściskających są zwarte i skumulowane w spągu i w stropie zasadniczym. Rejon oddziaływań naprężeń ściskających powstaje w ociosie, w którym łupność spełnia warunek łupności leżącej w stosunku do płaszczyzny pokładu. Kierunek wektorów przemieszczeń w modelu jest prawostronny w całej tarczy modelu. Wartości przemieszczeń wprawdzie nie są równoważne, ale stosunkowo niewielkie w odniesieniu do wymienionych modeli. Przekroczenie stanu krytycznego wyężenia oraz znaczne przemieszczenia calizny wraz z utratą ciągłości, wykazuje przede wszystkim strop wyrobiska. Rozkład obciążeń w całym obrazie jest zrównoważony i zerowy, co wskazuje, że układ znajduje się w równowadze. Równomierny i niski rozkład stanu naprężeniowo-odkształceniowego wskazuje, że łupność o przyjętym nachyleniu wywiera najmniejszy wpływ na górotwór, a tym samym na wykonane w nim wyrobisko.

Łupność 70° – Naprężenia główne (rys. 5.2) występują w szczególności wokół wyrobiska tworząc układ warstwic zamkniętych, przeważnie w spągu. Strefa naprężeń ściskających w spągu ma zasięg zbliżony do szerokości wyrobiska. Zrównoważenie poziome wyężenia materiału skalnego w obrazie modelu skutkuje minimalnymi przemieszczeniami bloków deformowalnych. Podobny obraz uzyskano w wyniku obliczeń obciążeń głównych. Stan ten jest zaburzony na granicy konturu wyrobiska, gdzie nakładają się zarówno wektory przemieszczeń, jak i obciążeń, powodujących zaciskanie wyrobiska (od wyciskanego spągu i obniżającego się stropu). Ogólnie można stwierdzić, że przy nachyleniu łupności 70°, stan naprężeń i odkształceń nieznacznie zaburza stan równowagi wyrobiska.

Łupność 80° – Rozkład maksymalnych naprężeń głównych tworzą elipsy warstwic o zasięgu symetrycznym i skupionym wokół konturu wyrobiska. Skupiony i liniowy rozkład minimalnych naprężeń ściskających znajduje się w bezpośrednim stropie i w spągu wyrobiska w odległości do około 1 m. Ten rozkład naprężeń, przemieszczeń i obciążeń wskazuje na

występowanie stref w stanie pozniszczeniowym, co potwierdzają obrazy modelu dla łupności 70° , częściowo dla łupności 60° . Wektory przemieszczeń są bliskie zeru z wyjątkiem konturu ociosów i stropu wyrobiska, gdzie są wyraźne, i skierowane do jego przestrzeni roboczej. Przemieszczenia skał są spowodowane przez płaszczyzny osłabionej spoiwości i są związane z łupnością górotworu. Obraz wektorów obciążeń sygnalizuje istnienie w stropie wyrobiska strefy w stadium pokrytycznym lub granicznym. Zaburzenia związane z nierównomiernym rozkładem wektorów przemieszczeń i obciążeń mają zasięg o szerokości sieci płaszczyzn łupności. Generalnie ich udział w obrazie stanu przemieszczeń i odkształceń jest niewielki.

Łupność 90° – to zrównoważony rozkład przemieszczeń i obciążeń. Obraz stanu naprężeń jest symetryczny i elipsoidalny wokół przestrzeni roboczej. Zaistniałe i spodziewane źródło zagrożenia wynika z utraty ciągłości w skałach stropu bezpośredniego. Równowaga, w jakiej pozostaje model przy łupności o nachyleniu 90° , wynika z równowagi sił wewnętrznych i zewnętrznych bloków deformowalnych. Zerowy stan naprężeń w dalszej odległości od wyrobiska nie zmienia jego odkształcenia. Obraz obliczonych przemieszczeń i obciążeń w modelu wynika ze stopnia niejednorodności ośrodka i jest zależny od gęstości płaszczyzn łupności.

6. Podsumowanie

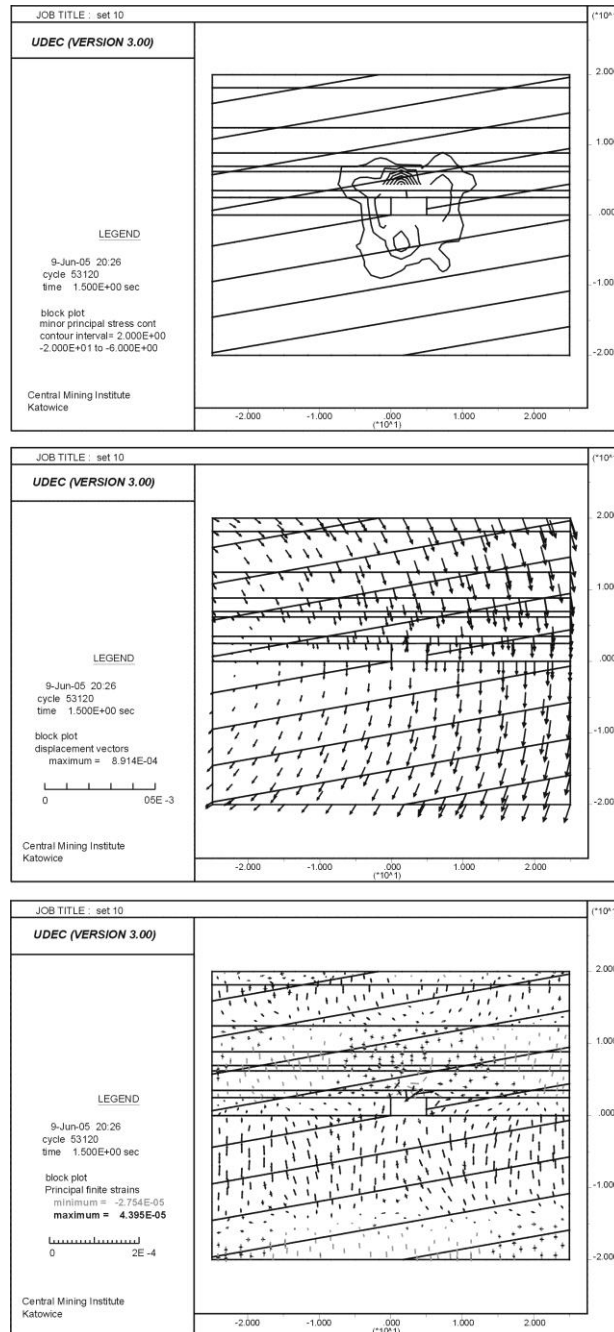
Celem pracy było określenie zależności między kierunkiem biegu ścian względem kierunku zalegania pokładu i strukturalnego osłabienia górotworu – łupności. Podstawę niniejszej pracy stanowiła analiza modeli obliczeniowych oraz statystyka tapani.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski:

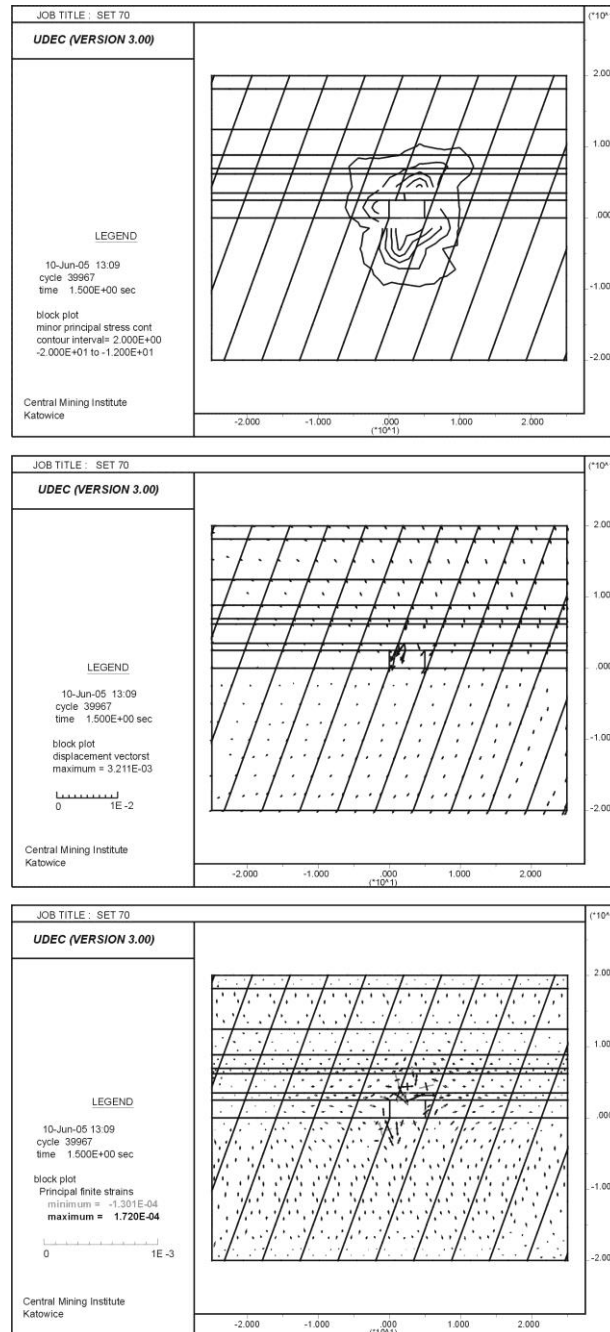
- Wchodzenie frontem ściany w strefę łupności wiszącej względem płaszczyzny pokładu spowoduje wzrost oddziaływań strefy naprężeń głównych, pochodzących od wyrobiska i strefy maksymalnych przemieszczeń bloków deformowanych.
- Najmniejsze skutki oddziaływań pochodzących od przemieszczeń i obciążeń bloków deformowalnych, występują w wybiegach pół ścianowych, których kierunki wybierania wchodzą pod strop leżący.
- Najbezpieczniejsze dla eksploatacji jest wchodzenie frontem ścian i drażnienie wyrobisk w strefie o łupności leżącej w stosunku do płaszczyzny pokładu.
- W przypadku łupności o kącie 90° lub zbliżonym do pionowego w stosunku do płaszczyzny poziomej pokładu, kierunek eksploatacji nie ma znaczenia dla obrazu powstającego stanu naprężeń wywołanych eksploatacją. Zakładając prosty i pionowy przebieg płaszczyzn osłabionej spoiwości zawisającego stropu tworzy się obraz naprężeń ograniczony płaszczyznami łupności, eliptycznie skupiony wokół konturu wyrobiska.

Analiza modeli uwzględniających **kąt nachylenia płaszczyzn łupności** względem płaszczyzny poziomego pokładu i wykonanego w nim wyrobiska wykazała, że:

1. Regularna sieć łupności generuje strefy głównych maksymalnych naprężeń zawsze wokół przestrzeni wyrobiska; płaszczyzny łupności będące płaszczyznami osłabionej spoiwości są źródłem utraty spójności masywu skalnego, a kierunki wektorów przemieszczeń są zawsze doń prostopadłe.
2. Im gęstsza sieć łupności tym zasięg strefy naprężeń bardziej ograniczony i skupiony wokół konturu wyrobiska.



Rys. 5.1. Wpływ łupności pod kątem 10 stopni
Fig. 5.1. The effect of cleavage at an angle of 10°



Rys. 5.2. Wpływ łupności pod kątem 70 stopni
Fig. 5.2. The effect of cleavage at an angle of 70°

3. Najmniejszy wpływ na stan naprężeniowo-odkształceniowy ma sieć łupności o nachyleniu 60–80° względem płaszczyzny poziomej pokładu; zaleganie łupności pod kątem 50° i 90° powoduje stan ustalonej równowagi masywu skalnego.
4. Obciążenia główne swoje maksymalne wartości lokują w skałach stropowych, ale wtedy gdy nachylenie płaszczyzn osłabionej spoiwości wynosi 0–40° względem poziomej płaszczyzny pokładu.
5. Łupność nachylona do pokładu pod kątem ostrym powoduje nałożenie oddziaływań pochodzących od płaszczyzn poślizgu i wynikających z wybrania pokładu.
6. Kierunek naturalnej łupności górotworu w otoczeniu pokładu zwykle ma nachylenie 70–85° i jest tożsamy z kierunkiem spękań naturalnych górotworu.

Kąt jaki udało się pomierzyć między linią frontu ściany lub przodka wyrobisk, a rozciągłością łupności przyjmowanej dla GZW (Patyńska 1986–2005, 1992–2005) do oceny wpływu tektoniki pierwotnej na stan zagrożenia tąpnięciami, pozwala na wyznaczenie następujących zależności: że najbezpieczniejszą dla eksploatacji jest łupność której kąt w stosunku do linii frontu wynosi 11–30° lub 51–70°.

Literatura

- [1] Bahat D., Criteria for the differentiation of en echelons and hackles in fractures rocks. Tectonophysics, 1986.
- [2] Bayly B., Mechanics in Structural Geology, New York, Springer Verlag, 1992.
- [3] Bieniawski Z.T., Eine Studie des Bruch mechanismus von Kohle in situ. Bericht über das 9. Langentreffen des Internationalen Büro für Gebirgmechanik. Leipzig 1967.
- [4] Biliński A., Tąpnięcia w świetle mechaniki górotworu odprężonego, Zeszyt Naukowy AGH, Górnictwo, 1985, z. 2.
- [5] Biliński A., Zagrożenie tąpnięciami stropowymi w świetle rozważania warunków naturalnych i górniczych, Zeszyt Naukowy AGH, Górnictwo, 1981, t. 5, z. 1.
- [6] Budryk W., Górnictwo, t. IV, Eksploatacja złóż cz. 2. Katowice, PWT, 1952.
- [7] Budryk W., Zjawiska tąpnięć i zapobieganie ich skutkom, Przegląd Górniczo-Hutniczy, nr 12, 1938.
- [8] Cianciara B., Sejsmiczne prekursorzy wstrząsów górniczych., Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady nr 8, 1995.
- [9] Cundall P.A., A Computer Model for Simulating Progressive Large Scale Movements in Blocky Rock Systems, Proceedings of the Symposium of the International Society of Rock Mechanics. Nancy, France, 1971.
- [10] Dadlez R., Jaroszewski W., Tektonika, Warszawa, PWN, 1994.
- [11] Drzęzła B., Białek J., Jaworski A., Bańka P., Słapa W., Analiza przestrzennych rozkładów wstrząsów górniczych w rejonie wyrobisk ścianowych prowadzonych z podsadzką hydrauliczną, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo, 1990, z. 188.
- [12] Dubiński J., Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego. Prace GIG, Seria dodatkowa, Katowice, 1989.
- [13] Dubiński J., Związek geomechanicznej struktury górotworu z indukowaną aktywnością sejsmiczną. IV Konferencja nt.: Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego, Szczyrk, 1992, Katowice, SITG.
- [14] Fajkiewicz Z., Geneza czasowych zmian siły ciężkości poprzedzających wstrząsy górnicze, Ochrona Terenów Górniczych, 1983a, nr 64.
- [15] Fajkiewicz Z., Jakiel K., Ostrowski C., Wyniki prognozowania wstrząsów górniczych i deformacji górotworu metodą mikrograwimetryczną w kopalni Szombierki, Przegląd Górniczy, 1981, nr 10.
- [16] Fajkiewicz Z., Mechanizm powstawania wstrząsów górniczych w świetle badań mikrograwimetrycznych. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady nr 8, 1995.
- [17] Ferenc W., Zagadnienia ciągłości struktury w pokładach zagrożonych wyrzutami gazów i skał, Przegląd Górniczy, 1981, nr 6.

- [18] Gieżyński A., Szybkościowa metoda ustalania orientacji łupności skał w kopalniach węgla kamiennego, Prace GIG, Komunikat nr 465, 1969.
- [19] Głowacka E., Kijko A., Continuous evaluation of seismic hazard induced by the deposit extraction in selected coal mines in Poland, Pure and Applied Geophysics, 1989, vol. 129.
- [20] Goszcz A., Kompakcja tektoniczna jako przyczyna naturalnej skłonności skał do wstrząsów górniczych i tąpnięć, Przegląd Górniczy, 1985, nr 7–8, 239–244.
- [21] Goszcz A., Wpływ niektórych czynników technologicznych na stan zagrożenia wstrząsami górniczymi i tąpnięciami, Publs. Inst. Geoph. Pol. Ac. Sc. M-10 (213), 141–153, 1988.
- [22] Harding'a T., Petroleum traps associated with wrench faults. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 58, 1290–1304, 1974.
- [23] Huber M T., Wyteżenie materiału, teorii sprężystości, teorii płyt i stateczności ustrojów sprężystych, Warszawa, PWN, 1956.
- [24] Jaroszewski W., Tektonika uskoków i fałdów, Warszawa, Wyd. Geologiczne, 1990.
- [25] Kidybiński A., Podstawy Geotechniki Kopalnianej, Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1982.
- [26] Kijko A., Theoretical model for relationship between mining seismicity and exavation area, Acta Geoph. Pol., 1985, 33, 231–142.
- [27] Kłeczek Z., Małoszewski J., Parysiewicz S., Zorychta A., Geomechaniczne kryteria zagrożeń tąpnięciami przy eksploatacji pokładów węgla kamiennego, Prace GIG seria dodatkowa, Katowice, 1987.
- [28] Kłeczek Z., Zorychta A., Geomechaniczne warunki powstawania wstrząsów górniczych, Materiały III Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalni stałych. Tom I, Kraków, Wyd. AGH, 1991.
- [29] Kłeczek Z., Zorychta A., Wpływ postępu eksploatacji na potencjalny stopień zagrożenia tąpnięciami. Kwartalnik Górnictwo AGH, 1985, z. 2.
- [30] Konopko W., Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tąpnięciami, Prace Naukowe GIG nr 795, Katowice, 1994.
- [31] Krajewski R., Inżyniersko-geologiczna obsługa kopalń, W: Geologiczna obsługa kopalń, rozdz. 8, Warszawa, 1955.
- [32] Kwaśniewski M., Modelowanie numeryczne górotworu o budowie warstwowo-blokowej i badanie deformacji nieciągłych towarzyszących eksploatacji ścianowej prowadzonej z zawalem stropu, XXII Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu, Karpacz, 1999.
- [33] Majcherczyk T., Tajduś, Cała M., Wpływ uskoków na stan zagrożenia tąpnięciami pokładów węgla, Materiały Sympozjum Naukowo-Techniczne, Tąpnięcia '94, nt. Rozwiązanie inżynierskie w problematyce tąpnięć, Katowice, 1994.
- [34] Marczak H., Geofizyczne modele rozwoju procesu niszczenia górotworu poprzedzające tąpnięcie i wstrząsy w kopalniach, Publs. Inst. Geophys. Ac. Sc. M-6, (176), 149–173, ss. 115–128, 1985.
- [35] Nieć M., Geologia Kopalniana. Wyd. Geologiczne, Warszawa, 1990.
- [36] Parysiewicz W., Okresowe i seryjne tąpnięcia, Przegląd Górniczy, 1951, nr 11.
- [37] Patyńska R., Bank danych o tąpnięciach w GZW za lata 1986–2005, Katowice GIG, (praca niepublikowana)
- [38] Patyńska R., Zagrożenie tąpnięciami, Raport o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego, Archiwum Zakładu Tąpnięć i Mechaniki Górotworu, Katowice GIG, 1992–2005.
- [39] Patyńska R., Tąpnięcia a kierunki osłabienia górotworu, Prace Naukowe GIG: Górnictwo i Środowisko, Kwartalnik 1/2003.
- [40] Patyńska R., Wpływ kierunku eksploatacji pokładów węgla na zagrożenie tąpnięciami, Prace Naukowe GIG, nr 854, Katowice 2003.
- [41] Pawłowicz K., Klasyfikacja stropów pokładów węgla w Górnośląskiej Niece Węglowej. Katowice GIG, 1962, (praca doktorska).
- [42] Pawłowicz K., Rozkład powierzchni osłabionej spoiwości w skałach, metoda oznaczania trwałości i próba klasyfikacji stropów pokładów węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, Katowice, 1966.
- [43] Philips D.W., Cotribution to the Syposium on rock pressure. Geologie on Mijnbown, 1948.
- [44] Rynczar T., Zarys fizyki górotworu. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, 1993.

- [45] Sagan G., Zuberek W., Analiza związku sejsmiczności z tektoniką i przebiegiem eksploatacji w obszarze górniczym kopalni Polkowice. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, M-8 (191), 1986.
- [46] Sałustowicz A., *Mechanika Górotworu*, Górnictwo T. III, Stalinogród, 1955.
- [47] Stec K., Wpływ parametrów mechanicznych ognisk wstrząsów górniczych na ocenę zagrożenia sejsmicznego w kopalni węgla kamiennego. Katowice, GIG, 1994, (praca doktorska)
- [48] Stopyra M., Stasica J., Rak Z., *Introskopowa metoda badania struktury górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych*, Bezpieczeństwo pracy w górnictwie, 1998, nr 10.
- [49] Syrek B., Kijko A., Energetyczno-częstotliwościowe rozkłady aktywności sejsmicznej i ich związki z zagrożeniem tąpnięciami, *Publs. Inst. Geophys. Ac. Sc. M-10 (213)*, 281–298, 1988.
- [50] Tajduś A., Flisiak J., Cała M.: Wpływ pierwotnego stanu naprężenia w górotworze na zagrożenia tąpnięciami, XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt.: Nowe rozwiązania w zakresie profilaktyki tąpniowej i metanowej, Katowice, GIG, 2004.
- [51] Teisseyre R., *Indukowana sejsmiczność i wstrząsy pochodzenia eksploatacyjnego*, Fizyka i ewolucja wnętrza Ziemi, Warszawa, PWN, 1983.
- [52] Teper L., Idziak A., Sagan., Zuberek W., Celowość badań nad wpływem tektoniki na występowanie wstrząsów górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, *Materiały IV Konferencji Naukowo Technicznej nt.: Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego*, Szczyrk, Katowice, GIG, 1992.
- [53] UDEC Universal Distinct Element Method v. 3.0 – User's Manual t. 1–3. Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, 1996.
- [54] Wierzchowska Z., *Mikrosejsmologiczne kryteria oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w kopalniach*, Przegląd Górniczy, 1978, nr 9.
- [55] Zuberek W., Wpływ tektoniki na występowanie sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą, *Sympozja i Konferencje VI*, Kraków, PAN, 1993.

Clearage influence on stress and deformation in rock mass

Although the role of natural factors – rock mass structure and interacting location of planes of weakened rock mass cohesion – played in generating high energy tremors has generally been accepted, a reliable model of rock mass state of stress and deformation which could allow the results of the studies on seismicity and regional tectonics of the area to be fully correlated has not been developed, as yet. Therefore, defining the nature of such relationships from the presented geomechanical model of stress-strain relations of rock masses will allow assessment of the extent of effects of seismic events and use of the appropriate preventive measures.

Przekazano: 13 marca 2006 r.