

Jan Butra, Witold Pytel**

EKSPLOATACJA ZŁOŻA W SĄSIEDZTWIE ZROBÓW I STREF UPODATNIONYCH W ŚWIELE DOŚWIADCZEŃ PRAKTYCZNYCH ORAZ MODELOWANIA NUMERYCZNEGO

1. Wstęp

Zagrożenie sejsmiczne i tąpnięciami, mimo szerokiego zakresu działań polegających na stanu górotworu oraz stosowaniu metod profilaktyki tąpaniowej, nadal pozostaje najpoważniejszym zagrożeniem ze strony górotworu w kopalniach rud miedzi. Główną przyczyną nasilenia się w ostatnich latach dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu jest eksploatacja w coraz trudniejszych warunkach geologiczno-górnictwowych. Jest to naturalny skutek prowadzenia robót wybierkowych w warunkach coraz większego skrepowania eksploatacji (filary oporowe, uwolnione zasoby w wyniku zmiany granic filarów ochronnych szybów, rejony w pobliżu stref dużych dyslokacji tektonicznych, resztki (parcele) złoża, wytworzone w wyniku prowadzonych robót, pola zamykające otoczone dużymi powierzchniami zrobów itp.) i prowadzenia jej na coraz większej głębokości.

Złożone warunki, w jakich coraz częściej prowadzi się eksploatację, spowodowały wzrost częstotliwości występowania wstrząsów wysokoenergetycznych, trudnych do prowokowania i stwarzających duże zagrożenie tąpnięciami. Lata doświadczeń pozwoliły wypracować zasady prowadzenia eksploatacji minimalizujące wpływ tych wstrząsów na prowadzoną eksploatację.

Należą do nich między innymi:

- dostosowanie geometrii systemu eksploatacji (wielkości filarów podporowych, szerokości otwarcia frontu),
- unikanie pozostawiania w strefach przyległych do zrobów filarów wielkogabarytowych i calizn nieupodatnionych,
- eliminowanie we wszystkich możliwych przypadkach wyrobisk chodnikowych, które w trakcie eksploatacji byłyby usytuowane przed frontem lub na jego skrzydłach.

* KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR, Wrocław

Postęp rozcinki w kierunku calizny jest ze względów geomechanicznych optymalny. Taki też sposób prowadzenia robót wybierkowych jest podstawowy w kopalniach Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Występują jednak takie sytuacje geologiczno-górnice, które wymuszają prowadzenie rozcinki w kierunku zrobów i stref upodatnionych lub odtwarzanie frontu eksploatacyjnego z pozostawieniem sztywnej resztki złoża w zrobach. Konieczność prowadzenia eksploatacji kierunku zrobów lub stref upodatnionych w warunkach kopalń rud miedzi wynika z przyjętej struktury udostępnienia złoża oraz stosowanej technologii eksploatacji. Wymuszona jest najczęściej trudnościami w utrzymaniu stateczności stropu lub wynika z zaistniałej sytuacji górniczej. Pozostawianie resztki izolującej odtwarzany front eksploatacyjny od zaburzonej części górotworu pozwala lokalnie ustabilizować sytuację. Sztywna resztkę zaburza jednak geomechaniczny układ w całym otoczeniu i powoduje straty złoża.

Wszystkie dotychczasowe przypadki prowadzenia robót eksploatacyjnych w kierunku zrobów i stref upodatnionych były zgodne ze szczegółowymi projektami eksploatacji zainicjowanymi przez Komisję ds. Tapań, Obudowy i Kierowania Stropem w Zakładach Górniczych Wydobywających Rudy Miedzi. W dniu 6 października 2004 roku Komisja podjęła uchwałę Nr 6/2004 o treści:

- 1) Podobieństwo przyczyn powodujących wzrost wielkości zagrożenia tapaniami przy prowadzeniu robót rozcinkowych w kierunku strefy upodatnionej sprawia, że taki kierunek prowadzenia robót rozcinkowych jest geomechanicznie podobny do prowadzenia rozcinki w kierunku zrobów.
- 2) W uzasadnionych sytuacjach możliwe jest świadome prowadzenie robót rozcinkowych w kierunku strefy upodatnionej, pod warunkiem, że odpowiedni projekt prowadzenia robót uzyska pozytywną opinię Komisji ds. Tapań, Obudowy i Kierowania Stropem w Zakładach Górniczych Wydobywających Rudy Miedzi.
- 3) Projekty techniczne zakładające prowadzenie robót rozcinkowych w kierunku stref upodatnionych winny zawierać ilościową ocenę wielkości zagrożenia wstrząsami i tapaniami oraz adekwatne do prognozowanego wzrostu zagrożenia działania z obszaru profilaktyki tapaniowej.

Poniżej na podstawie analizy dotychczasowych doświadczeń w prowadzeniu rozcinki w kierunku stref upodatnionych i zrobów oraz numerycznej analizy geomechanicznej oceniono potencjalne zagrożenie tapaniami i zawałami oraz sprecyzowano zasady prowadzenia robót i rygory profilaktyki tapaniowej przy prowadzeniu rozcinki w kierunku zrobów i stref upodatnionych.

2. Wybrane przypadki prowadzenia rozcinki w kierunku zrobów i stref upodatnionych

Kopalnie rud miedzi prowadziły wielokrotnie eksploatację wydzielonych ograniczonych parceli złożowych w kierunku zrobów lub stref upodatnionych.

Analiza charakterystycznych przypadków takiej eksploatacji, obejmująca:

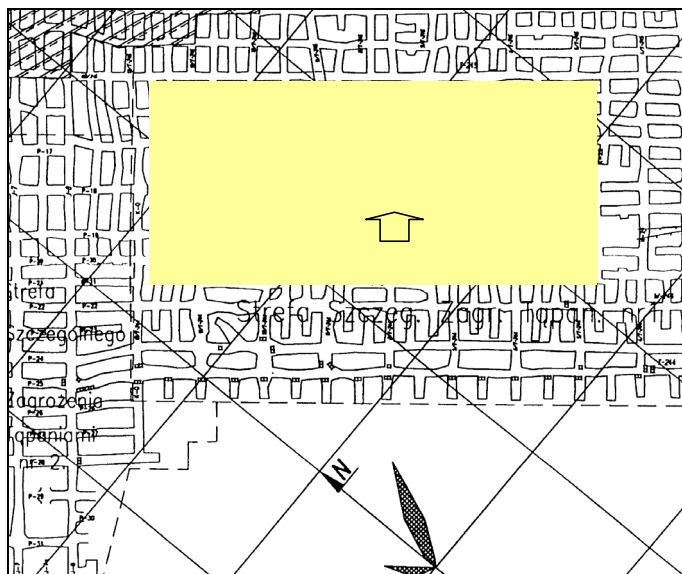
- przyczyny zaistniałej sytuacji geologiczno-górnictwej,
- parametry geometryczne prowadzonej rozcinki,
- aktywność sejsmiczną i zaistniałe zjawiska ze skutkami w wyrobiskach,

wskazuje na istotne elementy tak prowadzonych robót, które powinny być uwzględnione podczas projektowania świadomego prowadzenia robót rozcinkowych w kierunku strefy upodatnionej.

2.1. Oddział G-22/3 ZG Rudna

Złoże w rejonie oddziału wykształcone było w postaci pseudopokładu, który tworzyły jasnoszare piaskowce czerwonego spągowca oraz dolnocechsztyńskie łupki i dolomity. Miąższość złoża wahała się od 2,8 do 7,0 m (średnia miąższość wynosiła 4,5 m). Średnia wytrzymałość na ściskanie skał złożowych i otaczających w polu wynosiła: 129,6 MPa (w stropie), 75,7 MPa (w furcie), 22,2 MPa (w spągu).

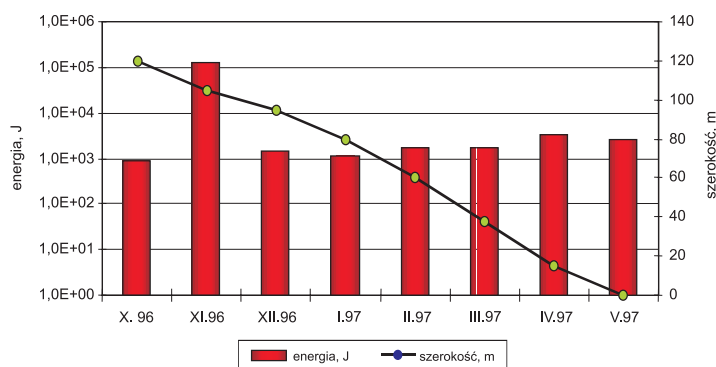
Oddział G-22/3 prowadził roboty rozcinkowe w kierunku zrobów w okresie od października 1996 r. do maja 1997 r. (rys. 1).



Rys. 1. Szkic sytuacji górniczej. Oddział G-22/3

Przyczyną takiego usytuowania frontu było zatrzymanie robót górniczych (prowadzonych frontem o długości około 460 m po wzniosie od uskoku o biegu SEE-NWW i zrzucie od 6,5 do 7,0 m w kierunku chodników T,W-244) spowodowane tąpnięciem o energii 1,0E8 J

w kwietniu 1994 r., którego epicentrum zlokalizowane było w sąsiedztwie skrzyżowania chodnika W-244 z upadową J-8. W wyniku tąpnięcia zawaleniu uległy wyrobiska na krawędzi calizny na rozległym obszarze, co uniemożliwiło dalsze prowadzenie frontu oddziału w pierwotnym kierunku. Wznowienie robót nastąpiło we wrześniu 1995 roku i prowadzone było etapami. W pierwszej kolejności upodatkowano filary w węźle chodników J-6, J-8 i T,W-244 oraz przywrócono funkcjonalność niezbędnych wyrobisk technologicznych. Na bazie doświadczeń uzyskanych podczas prowadzenia wyżej wymienionych robót przystąpiono w drugim etapie do rozcinania resztki calizny po upadzie, początkowo frontem o szerokości około 300 m, później około 100 m w kierunku północno-wschodnim od chodnika W-224. Wyemitowaną energię w oddziale, w poszczególnych miesiącach, uwzględniając szerokość resztki calizny, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Oddział G-22/3. Emisja energii sejsmicznej w zależności od szerokości resztki calizny

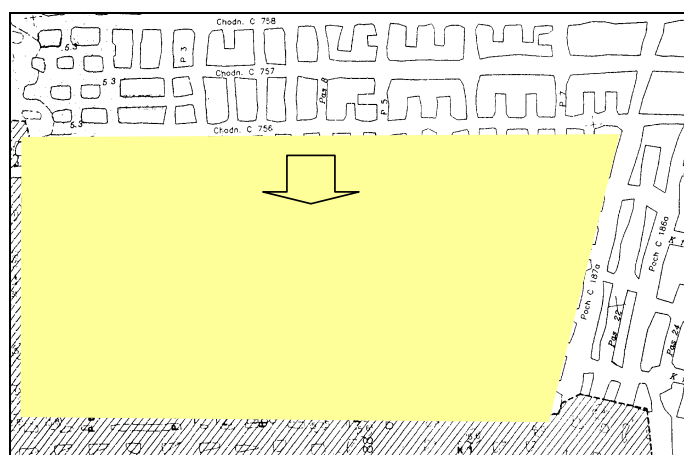
W czasie prowadzenia robót rozcinających aktywność sejsmiczna utrzymywała się na średnim poziomie, nie zarejestrowano wstrząsu sejsmicznego o energii większej niż 10^5 J.

2.2. Pole X/7B oddziału G-6 ZG Lubin

Oddział G-6 zlokalizowany jest w zachodniej części obszaru górniczego kopalni Lubin przy granicy z obszarami górniczymi kopalń Polkowice-Sierszowice i Rudna. Rejon prowadzenia robót charakteryzował się wysoką aktywnością sejsmiczną górotworu, a tym samym wysokim zagrożeniem tąpnięciami. Złoże bilansowe posiadało średnią miąższość 4,5 m. Parametry geomechaniczne skał złożowych i otaczających wynosiły od 28,8 MPa w spągu do 111,7 MPa w stropie (R_c).

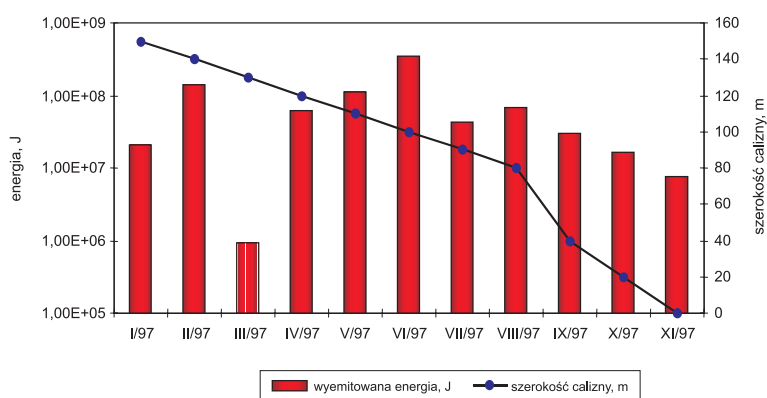
W roku 1997 przystąpiono do wybierania resztki złoża ograniczonej dwustronnie zrobami własnymi oraz chodnikiem C-756 i pochylnią C-187a (rys. 3). Eksploatację prowadzono generalnie po rozciągłości w kierunku pochylni C-187a, 186a. Dla uzyskania właściwego upodatkowania wybieranej resztki oraz odpowiedniego rozwinięcia frontu (zwiększenia ilości przodków rozcinających caliznę) w pierwszym etapie roboty prowadzono w kierunku zro-

bów — od upodatknioneo wnękami chodnika C-756 pasami P-0–P-2 do chodnika C-762. Kolejne etapy robót obejmowały rozcinkę pasami i komorami na tym kierunku oraz wzdłuż zrobów, w granicach parceli do pochylni C-187a.



Rys. 3. Szkic sytuacji górniczej. Pole X/7B oddziału G-6

W okresie od stycznia do listopada 1997 rejestrowano wysoką aktywność sejsmiczną. Ogółem wystąpiło: 29 wstrząsów o energii rzędu 10^5 J, 19 wstrząsów o energii rzędu 10^6 J, 14 wstrząsów o energii rzędu 10^7 J oraz 3 wstrząsy o energii rzędu 10^8 J. Łączna wyemitowana energia sejsmiczna wynosiła $8,56 \times 10^8$ J. W poszczególnych miesiącach wydatek energetyczny był zróżnicowany i kształtował się w granicach $9,5 \times 10^5$ J– $3,53 \times 10^8$ J. Wielkość wyemitowanej energii sejsmicznej w zależności od zmiany szerokości rozcinanej calizny przedstawiono na rysunku 4.



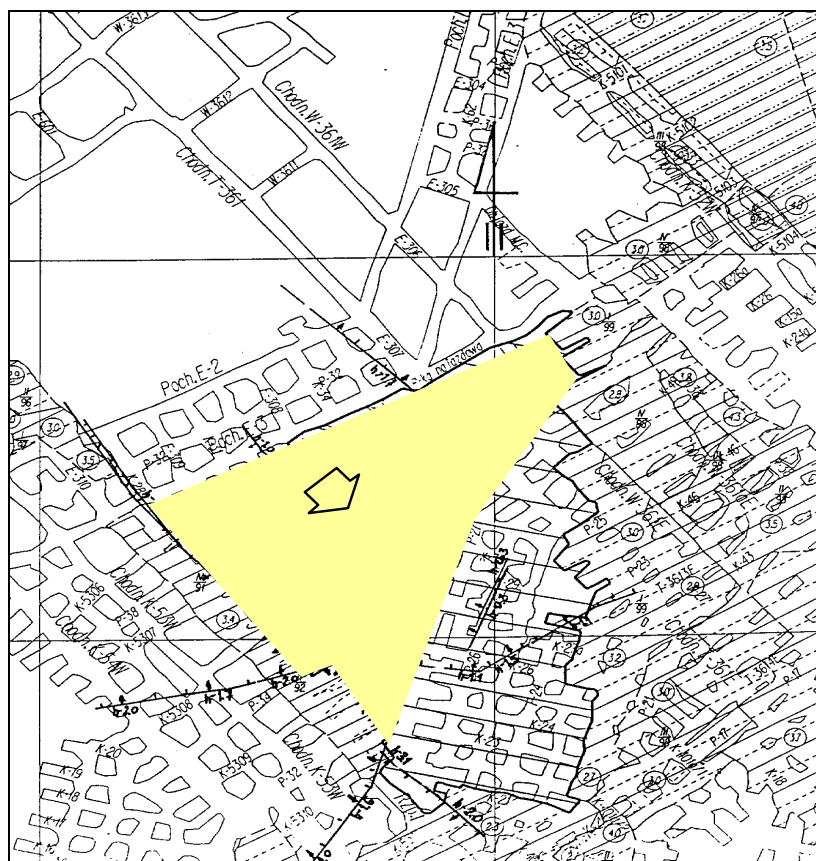
Rys. 4. Oddział G-6 p.X/7B. Emisja energii sejsmicznej w zależności od szerokości resztki calizny

Wysokiej aktywności sejsmicznej towarzyszyło siedem odprężeń górotworu. Wszystkie zostały spowodowane robotami strzałowymi.

2.3. Oddział G-14 piętro K-5W ZG Polkowice-Sierszowice

Złoże występuje w spągu skał węglanowych cechsztynu i obejmuje: łupkę miedzionośny (około 0,4 m), skały węglanowe (od 0,4 do 2,8 m). Skały węglanowe w furcie wybierania mają średnią wytrzymałość na ściskanie 118 MPa. W stropie bezpośrednim występują dolomity wapieniste o budowie ławicowej. Średnia wytrzymałość na ściskanie tego pakietu skał wynosi 105 MPa. W spągu występują piaskowce szare czerwonego spągowca o spoiwie węglanowym i węglanowo-ilastym, których średnia wytrzymałość na ściskanie wynosi $R_c = 73$ MPa.

Eksploracja na strefę upodatnioną i zroby (rys. 5) wymuszona została złymi warunkami stropowymi w przestrzeni roboczej prowadzonego w sposób klasyczny frontu.



Rys. 5. Szkic sytuacji górniczej. Piętro K-5W oddziału G-14

Aby ograniczyć straty złożowe, kopalnia sporządziła projekt eksploatacji tego fragmentu złoża ze znajdujących się w dobrym stanie pochylni E-2 i E-3. Po pięciu miesiącach (VI–X. 1999) eksploatację zatrzymano po osiągnięciu strefy silnych zaburzeń tektonicznych i pogorszenia się warunków stropowych w stopniu uniemożliwiającym dalsze bezpieczne prowadzenie robót. Z tych też względów zaniechano dalszej eksploatacji pozostałego fragmentu nierozciętej calizny złoża. W toku prowadzonej rozcinki aktywność sejsmiczna była bardzo niska, wystąpiło jedynie jedno zjawisko o energii rzędu 10^3 J na etapie upodatniania filarów wielkogabarytowych pomiędzy pochylniami. W czasie faktycznie prowadzonej eksploatacji na zroby nie występowały żadne zjawiska sejsmiczne.

2.4. Pole G-15/9 ZG Rudna

Sąsiadujące pola G-15/8 oraz G-15/9 zlokalizowane były przy granicy filara ochronnego szybów zachodnich R-III, R-IV, R-X. Serię złożową tworzyły dolnocechsztyńskie dolomity, łupki oraz piaskowce czerwonego spągowca. Miąższość złoża wahała się od 3,0 do 4,5 m. Średnia wytrzymałość na ściskanie skał złożowych i otaczających wynosiła od 25,4 MPa w spągu do 108,1 MPa w stropie złoża.

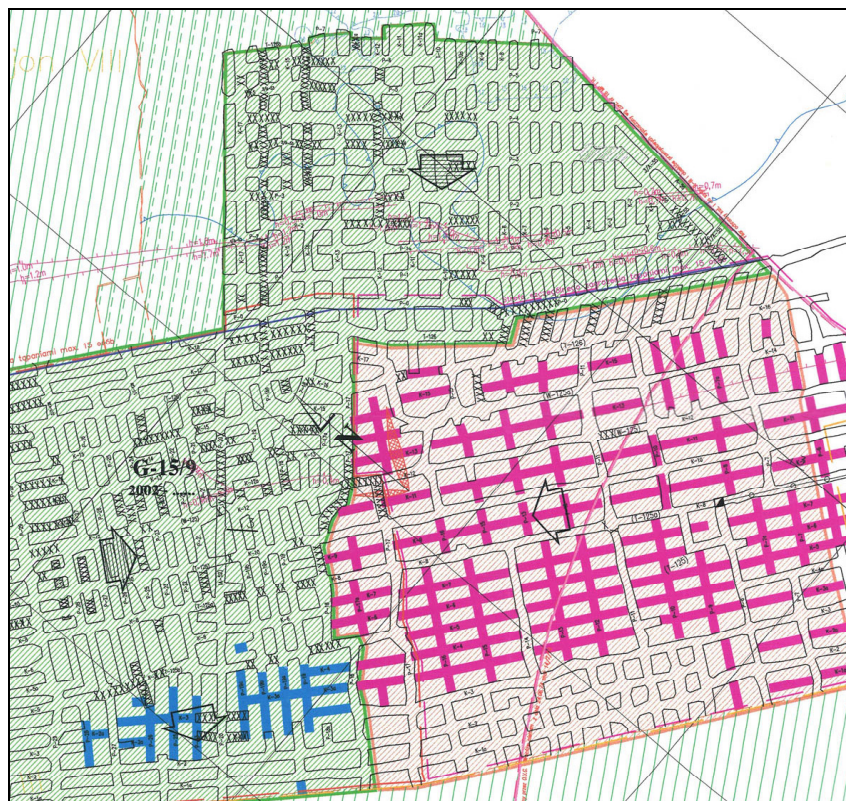
W polu G-15/8 prowadzono rozcinkę upodatniającą calizny zlokalizowanej pomiędzy zrobami zawałowymi sąsiedniego pola G-15/1 a granicą filara ochronnego szybów, natomiast w polu G-15/9 prowadzono rozcinkę calizny wąskiego filara oporowego ustanowionego dla wiązki wyrobisk T,W-125.

W okresie od października 2000 roku do stycznia 2002 w polu G-15/8 wystąpiło 21 wstrząsów sejsmicznych o energiach rzędu 10^5 oraz 10^6 J, z czego 15 zostało spowodowanych robotami strzałowymi.

W roku 2002 na podstawie wyników badań przeprowadzonych metodą geotomografii sejsmicznej, uznano, że niekorzystne byłoby zbliżanie się frontem robót rozcinkowych do pochylni A-52 w kierunku południowo-wschodnim. Stwierdzono, iż celowe jest wcześniejsze upodatnienie części filara oporowego chodników T,W-125, która zawarta jest pomiędzy komorami K-13 i K-27 (do wysokości pochylni A-54), prowadząc roboty rozcinkowe od strony chodnika T-126 w kierunku zrobów zawałowych pola G-13/1. Rozcinka calizny w drugiej części filara oporowego (etap drugi) postępowałaby od strony granicy filara ochronnego szybu w kierunku części złoża upodatnionej w etapie pierwszym (rys. 6).

W trakcie rozcinki pola G-15/9 oraz robót likwidacyjnych w polu G-15/8 aktywność sejsmiczna górotworu utrzymywała się na dość wysokim poziomie. W rejonie tym w okresie od kwietnia do sierpnia 2002 r. wystąpiło osiem bardzo silnych, wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu o energii powyżej 10^6 J (w tym dwa zjawiska samoistne). Ich lokalizacja układała się wzdłuż linii przebiegającej przekątnie w płaszczyźnie rozległych zrobów otaczających rejon. Stwierdzono, iż może to świadczyć o wytwarzaniu się nowego stanu równowagi w miarę sukcesywnego zdejmowania podparcia związanego z prowadzoną rozcinką upodatniającą w polu G-15/9. Roboty rozcinkowe w polu G-15/9 zakończono w październiku 2002. Po uzyskaniu zezwolenia na prowadzenie wybierania złoża w polu G-15/9 fron-

tem zamykającym w kierunku strefy upodatkowanej i zrobów pola G-15/9 rozpoczęto prowadzenie robót likwidacyjnych w zakresie do pochylni A-52 i robót rozcinkowych.



Rys. 6. Szkic wyrobisk górniczych w polach G-15/8,9

W sierpniu 2004 roku rozcinkę zakończono. Na podstawie wyników obserwacji wizualnych wskazujących na całkowite rozgniecenie calizny rozcinanych filarów stwierdzono, że wykonane upodatkowanie jest wystarczające oraz zalecono zakończyć roboty rozcinkowe i przystąpić do likwidacji.

W okresie od 12.10.2002 r. do 30.11.2003 r. w polu G-15/9 zarejestrowano 7 wstrząsów o energiach rzędu 10^3 J, 3 zjawiska o energii rzędu 10^4 J oraz jeden wstrząs o energii rzędu 10^5 J. Wstrząsy nie spowodowały żadnych skutków w wyrobiskach górniczych. W 2004 roku zarejestrowano 2 wstrząsy o energiach rzędu 10^5 J oraz jeden bardzo silny wstrząs wysokoenergetyczny rzędu 10^7 J. Końcowemu etapowi robót likwidacyjnych w polu G-15/9 towarzyszyła niska aktywność sejsmiczna. W okresie od 01.01.2005 r. do 30.06.2005 r. zarejestrowano 2 wstrząsy o energiach rzędu 10^4 J oraz 1 zjawisko o energii rzędu 10^6 J. Wstrząsy te nie spowodowały żadnych skutków w wyrobiskach górniczych w polu G-15/9.

2.5. Pola G-12/7,8 ZG Rudna

Pola G-12/7 oraz G-12/8 zlokalizowane w rejonach nr X (pole G-12/7) oraz XV (pole G-12/8) w zachodniej części OG „Rudna I” znajdowały się w otoczeniu zrobów z ugięciem stropu pola G-12/6 oraz calizny strefy bezzłożowej. Złoże w tym rejonie zaliczono do III stopnia zagrożenia tąpnięciami.

Serię złożową tworzyły dolnocechsztyńskie dolomity, łupki oraz piaskowce kwarcowe o spoiwie ilastym czerwonego spągowca. Miąższość złoży była zmienna od 2,5 do 7,0 m.

W polu G-12/8 (w rejonie chodników T,W-144) przebiega Północna Elewacja Rudnej, w której lokalnie stwierdzono brak złoży, występowanie piaskowców o spoiwie anhydrytowym w formie nieregularnych płatów o zmiennej miąższości oraz zanik łupków.

Średnia wytrzymałość na ściskanie skał złożowych i otaczających wynosiła w rejonie X: 131,4 MPa (strop), 82,6 MPa (furta), 24,4 MPa (spąg), natomiast w rejonie XV: 122,4 MPa (strop), 60,9 MPa (furta), 27,1 MPa (spąg).

Eksplorację w polach G-12/7 oraz G-12/8 rozpoczęto w 2000 r. po rozciągłości złoży w kierunku południowo-wschodnim, między wiązkami chodników T,W-142/T,W-143 (pole G-12/6,7) oraz T,W-143/T,W-144 (pole G-12/8). W październiku 2003 r. w związku z koniecznością przejścia frontem eksploatacyjnym wiązki wyrobisk równoległych — pochył H-19–23, opracowano szczegółowy projekt robót rozcinkowych. W okresie od rozpoczęcia robót upodatniających (listopad 2003 r.) do września 2004 r. (rys. 7) zarejestrowano 71 wstrząsów o energii $E \geq 10^3$ J, wśród których wystąpił jeden, bardzo silny, wysokoenergetyczny wstrząs górotworu o energii rzędu 10^7 J spowodowany robotami strzałowymi. Najaktywniejszym polem (51 wstrząsów z 71) było pole G-12/8. Epicentra wstrząsów lokalizowano głównie wzdłuż linii rozcinki pola G-12/8, wzdłuż wiązki pochył H-20–22 oraz w zrobach pól G-12/7 i G-12/8, natomiast epicentrum wspomnianego spowodowanego, bardzo silnego wstrząsu, zlokalizowano przy narożu calizny w polu G-12/7 przy chodniku T-143a. Aktualizacja Projektu Eksploatacji z września 2004 r. zakładała kolejność prowadzenia dalszych robót rozcinkowych w trzech etapach (rys. 7).

W okresie od listopada 2004 roku do kwietnia 2005 zrealizowano roboty 1. i 2. etapu:

1. w polu G-12/7 przodkami pasów P-56a–P-61a prowadzonymi w wiązce pochył H-19–23 wykonano cały zakres rozcinki upodatniającej (do granicy pola G-12/6);
2. w polu G-12/8 roboty rozcinkowe w zasadniczej części pola nie były prowadzone, natomiast rozcinka wiązki chodników od T-144 do W-144f z drażeniem wnek z chodnika W-144f (upodatniających krawędź calizny) osiągnęła wysokość pasa P-18.

Z uwagi na pogorszone warunki stropowe zatrzymano dalszy postęp pasów P-63a–P-64a i podjęto próbę odtworzenia linii rozcinki między pasem P-61a i P-65 w ramach trzeciego etapu.

Od kwietnia 2005 r. w polu G-12/7 podejmowano szereg prób odtworzenia linii frontu za wiązką pochył H-19–23 w związku ze stałymi trudnościami z utrzymaniem stropu wyrobisk i koniecznością wykonywania wielokrotnych przebudów.



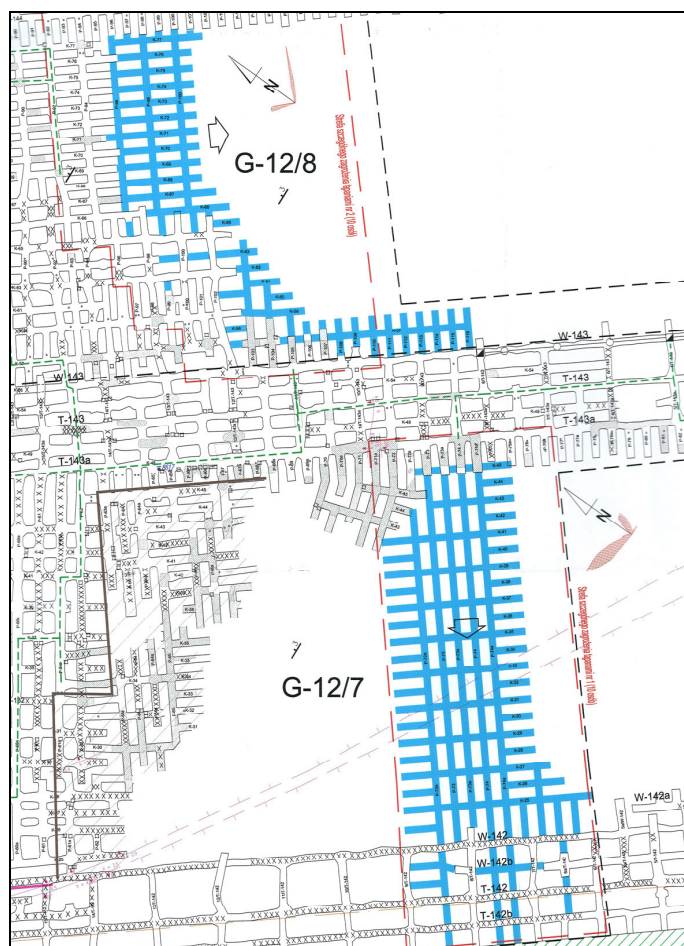
Rys. 7. Zakres prowadzenia dalszych robót rozczinkowych w polach G-12/6,7,8, na podstawie aktualizacji Technicznego Projektu Eksploatacji z września 2004 r.

W kwietniu 2006 r. przeanalizowano możliwość prowadzenia dalszej rozczinki złoża w aspekcie uniknięcia prowadzenia eksploatacji w polu G-12/7 frontem przesuwanym się w kierunku strefy upodatnionej i zrobów. Założono przystąpienie do wyprzedzającego, w stosunku do zasadniczej części frontu, kolejnego odtworzenia linii rozczinki calizny pasami P-69–P-71c i w oparciu o nią uruchomienie postępu wybierania złoża w dotychczasowym kierunku pochylni U-20. Na posiedzeniu Komisji ds. Tapań w maju 2006 r. pozytywnie zapiniowano projekt szczegółowy eksploatacji w polach G-12/7,8, zalecając w polu G-12/7 utworzenie filara stabilizacyjnego pomiędzy strefą upodatnioną a projektowanymi wyrobiskami odtwarzającymi linię przodków. W tym celu postanowiono zaniechać wykonywania pasa P-69a i zastąpić go pasem P-72, z którego wykonane zostaną wnętrza w osiach komór startowych.

Od uruchomienia robót rozcinkowych w polu G-12/7 stwierdzono występowanie znacznych problemów z utrzymaniem stateczności stropu w wyrobiskach.

W związku z tym zweryfikowano sposób prowadzenia robót (rys. 8):

- w polu G-12/7 postanowiono zatrzymać prowadzoną rozcinkę pasami P-70–72 i prostopadle do chodnika T-143a wykonać na wybiegu pola pasy P-72a–74a wraz z wnękami upodatniającymi krawędzie calizn;
- w polu G-12/8 zdecydowano się wykonać rozcinkę w zakresie umożliwiającym wyrównanie linii frontu na wysokości do pasa P-100, upodatnienie filarów wielkogabarytowych zawartych pomiędzy komorami K-61 i K-66 oraz upodatnienie naroża calizny zawartego między chodnikiem W-143 a pasem P-102.



Rys. 8. Zakres prowadzenia dalszych robót rozcinkowych w polach G-12/7,8, na podstawie aktualizacji Technicznego Projektu Eksploatacji z sierpnia 2006 r.

Zaznaczyć należy, iż w okresie od maja do końca sierpnia 2006 r. niemal cała energia wstrząsów sejsmicznych wyładowana została w polu G-12/8. Z 28 zjawisk sejsmicznych o energii $E \geq 10^3$ J wystąpiło 5 silnych wstrząsów o energiach rzędu 10^5 i 10^6 J. W polu G-12/7 wystąpiły w tym okresie jedynie dwa wstrząsy o energiach rzędu 10^3 J. W polu G-12/8 wstrząsy lokalizowane były wzdłuż linii rozcinki pola oraz przy wyrobiskach upodatniających caliznę pola przy chodniku W-143.

3. Analiza geomechaniczna prowadzenia eksploatacji w kierunku stref upodatnionych i zrobów

3.1. Wprowadzenie

Dla celów prowadzenia analiz geomechanicznych opracowano przestrzenny model obliczeniowy oparty na zasadzie płytowej budowy górotworu, w którym nadkład stanowi układ kilku, kilkunastu jednorodnych płyt skalnych będących odbiciem rzeczywistych wydzielen geologicznych [1, 2].

Wszystkie zadania geomechaniczne rozwiązano i obliczenia oraz wizualizację wyników przeprowadzono za pomocą pakietu NE/NASTRAN, wykorzystującego przestrzennie sformułowaną metodę elementów skończonych. Założono, że wszystkie elementy modelu zbudowane są z materiałów posiadających charakterystykę liniowo-sprężystą o podanych niżej parametrach. Materiał filarów technologicznych i resztkowych scharakteryzowano modelem odkształcenia dla złoża oraz wartościami nośności krytycznej i resztkowej uzyskanymi na podstawie odpowiednich, tu nie przytaczanych, zależności, zastosowanych do filarów o zróżnicowanych wymiarach.

Przyjęto pseudo-nieliniową procedurę obliczeń, obejmującą następujące fazy:

1. Fazę dostosowawczą — obejmującą rozwiązania sprężyste z sukcesywną modyfikacją przeciążonych filarów — procedura iteracyjna selekcji filarów, dla których obciążenie pionowe przekracza wartość krytyczną, oraz następnie zastąpienie takich filarów stałym obciążeniem pokrytycznym (resztkowym) σ_r ;
2. Fazę końcową — sprawdzenie zapasów bezpieczeństwa w ociosach filara ochronnego dla końcowego układu uzyskanego w fazie dostosowawczej.

3.2. Pole G-12/7, ZG Rudna

3.2.1. Wariant 1 eksploatacji

Zamodelowano podstawową sytuację górniczą (Wariant 1) w polu G-12/7 na głębokości 1050 m, a jej aproksymację za pomocą elementów skończonych pokazano na rysunkach 9 i 10.

Do analizy stanu wyężenia górotworu w otoczeniu pola G-12/7 wykorzystano informacje z otworów rozpoznania geologicznego usytuowanych w rozpatrywanym rejonie, uzyskane przez służby mechaniki górotworu Kopalni Rudna.

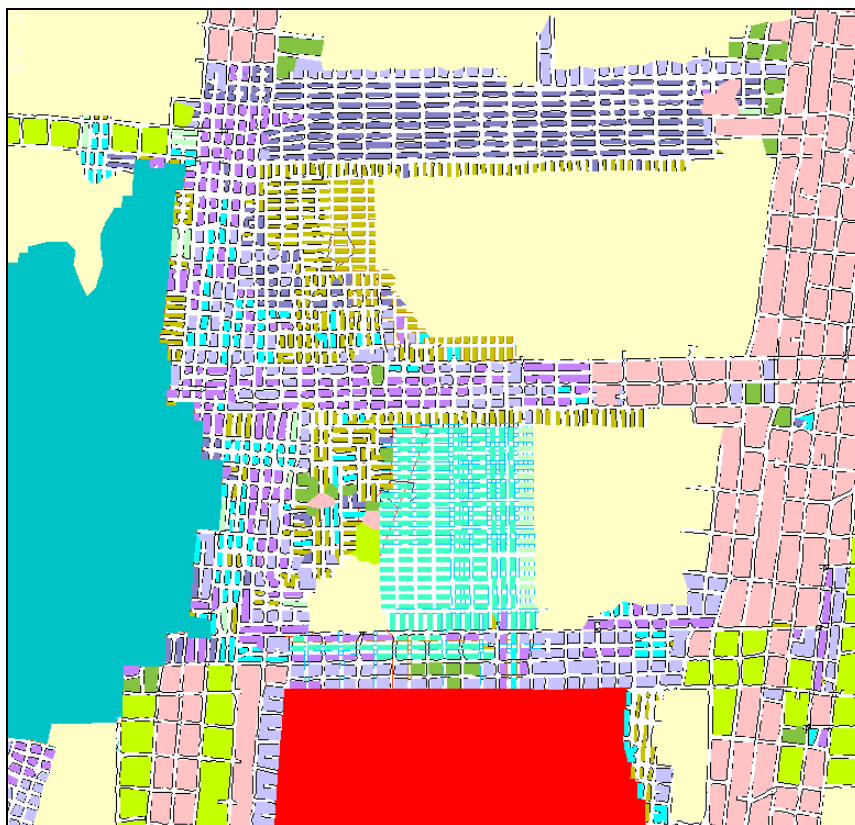
Uśrednione parametry górotworu przedstawiono w tabeli 1.

Przemieszczeniowe warunki brzegowe zadania zostały sformułowane następująco:

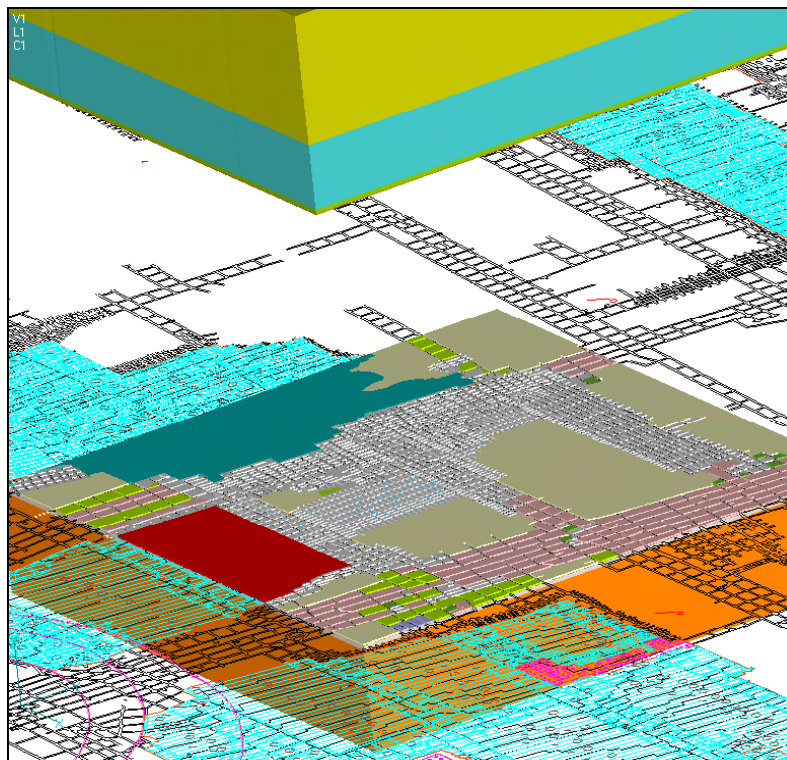
- spód — brak przemieszczeń pionowych,
- ściany boczne — brak ruchu w kierunku prostopadłym do powierzchni ścian.

Obciążenie zewnętrzne stanowi ciężar własny masywu skalnego reprezentowany poprzez charakterystykę materiałową zawierającą parametr gęstości (grawitacja).

Mając z kolei określone parametry wytrzymałościowe masywu skalnego (tab. 1) oraz dysponując obliczonymi wartościami naprężeń w górotworze, wyznaczono zapasy bezpieczeństwa dla skał stropowych wg kryterium największych naprężeń głównych Rankine'a $F_r = \sigma_1 - \sigma_m$, uwzględniającego wytrzymałość masywu na rozciąganie σ_m obliczone zgodnie z teorią Hoeka–Browna. Należy podkreślić, że warunek bezpieczeństwa wymaga, aby zapasy bezpieczeństwa w górotworze miały wartość ujemną.



Rys. 9. Aproksymacja metodą elementów skończonych sytuacji wyjściowej wariantu 1 eksploatacji (kolory oznaczają zróżnicowane pod względem wytrzymałościowym filary, obszary likwidacji oraz caliznę)



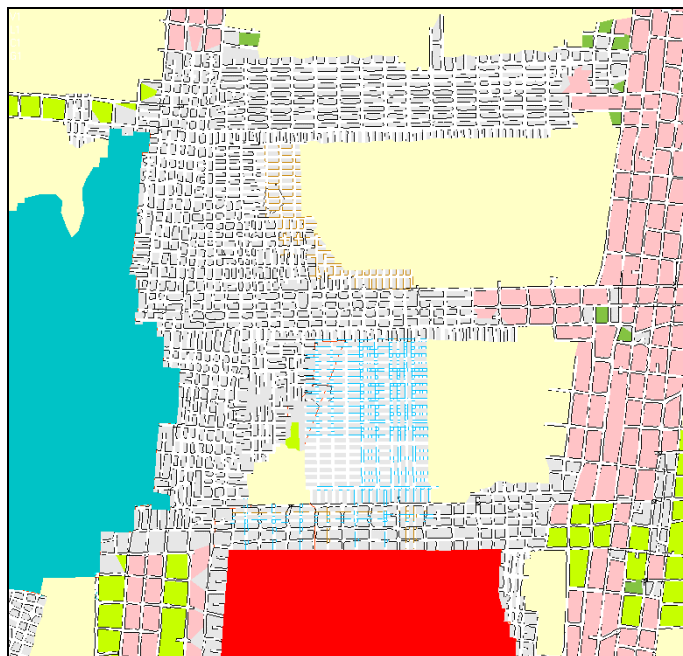
Rys. 10. Ogólny widok modelu obliczeniowego reprezentującego pole G-12/7 w trójwymiarowym stanie odkształcenia (100 958 węzłów oraz 101 748 elementów)

Wyniki obliczeń wskazują, że w warunkach geologiczno górnictwowych pola G-12/7 wszystkie filary rozcinki, a także filary mało- i średniogabarytowe ulegają celowemu upodatnieniu (rys. 11). Uzyskane dane w zakresie stanu naprężenia w górotworze pozwoliły również uzyskać oszacowanie wyężenia masywu skalnego w stropie, wyrażone liczbowo za pomocą rozkładu przestrzennego wartości zapasów bezpieczeństwa. Na rysunku 12 przedstawiono rozkłady zapasów bezpieczeństwa stropu F_r na niższych poziomach powyżej stropu wyrobisk. Warstwy stropowe zlokalizowane wyżej pracują w strefie bezpiecznych wartości zapasu bezpieczeństwa.

Analiza wyników obliczeń wykazała, że sposób eksploatacji „na zroby” (Wariant 1) w warunkach pola G-12/7 Kopalni Rudna nie stwarza w zasadzie zagrożenia w zakresie niebezpieczności stropu bezpośredniego i zasadniczego. Wprawdzie w pobliżu urabianej resztki na linii frontu obserwuje się niewielkie pasmo podwyższonego zagrożenia zawałami, można jednak sądzić, że po upodatnieniu calizny ulegnie ono znaczącemu ograniczeniu. Wyraźnie większe zagrożenie zawałami zauważa się na zapleczu urabianej calizny, w sąsiedztwie wiązki chodników W,T-142, i to niezależnie od przyjętego sposobu eksploatacji w rozpatrywanym polu.

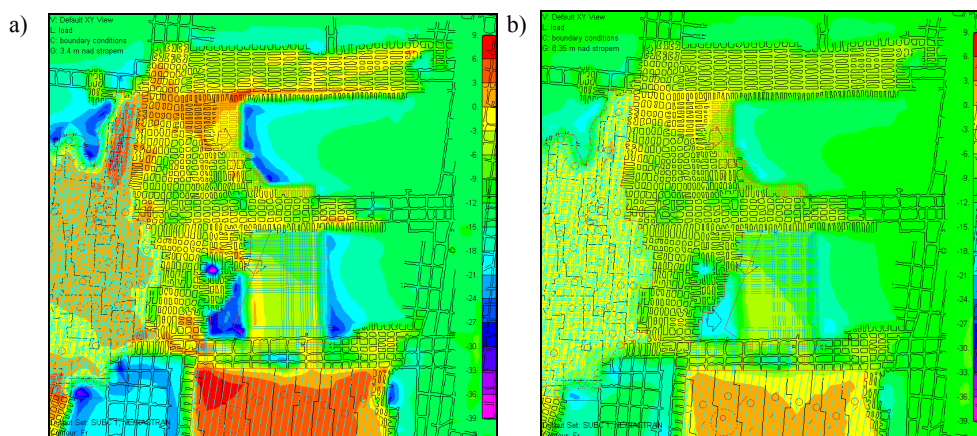
TABELA 1
Parametry odkształceniowo-wytrzymałościowe ośrodka skalnego przyjęte do analizy numerycznej

Rodzaj materiału	Miaższość warstwy m	R_c MPa	R_r MPa	E_s MPa	$E^{(r)}$	Współczynnik Poissona ν
Utwory III i IV-rzędowe	575				70	0,3
Pstry piaskowiec	302	76,5	3,55	20000	5000	0,15
Anhydryt	150	88,7	7,7	55200	13800	0,25
Dolomit wapnisty III	8,7	129,6	7,7	62400	15600	0,25
Dolomit wapnisty II	3,1	81,0	5,2	40200	10050	0,24
Dolomit wapnisty I	6,8	160,5	10,5	66900	16725	0,24
Dolomit smugowany	6	111,8	6,4	43000		0,24
Dolomit ilasty	2,0	87,1	5,5	35400		0,23
Łupek dolomityczny	0,4	75,4	5,6	29100		0,23
Piaskowiec kwarcowy	0,4	109,2	6,1	35400		0,21
Suma lub średnia ważona	4,2	82,6	6,13	38460	9615	0,23
Piaskowiec szary	10	36,0	2,2	12700	6350	0,15
Piaskowiec kwarcowy czerwonoceglasty o spoiwie ilasto-żelazistym	200	14,8	1,1	7100	3550	0,14



Rys. 11. Przestrzenna lokalizacja upodatnionych filarów (kolor szary) w polu G-12/7

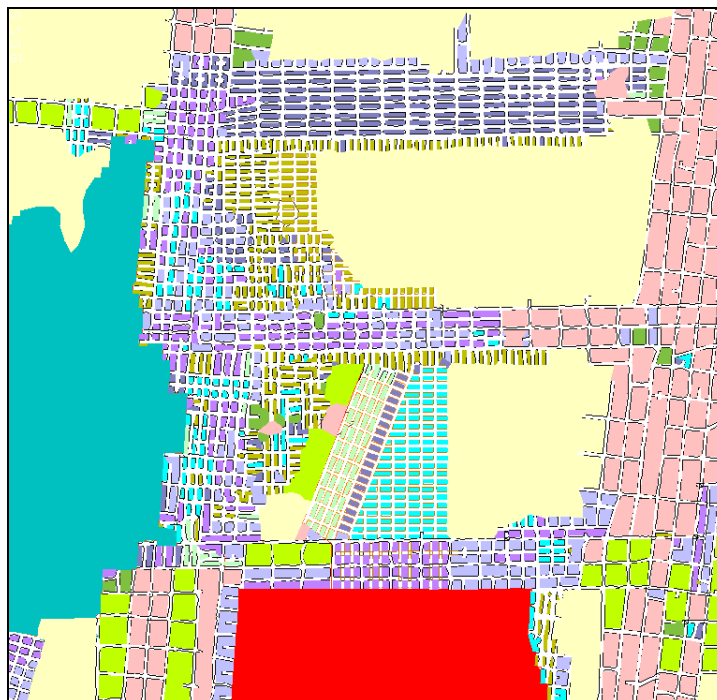
Sposób eksploatacji zmniejszający stopniowo objętość resztki na lewym skrzydle frontu umożliwia wygodną kontrolę redukcji jej nośności w czasie, co z kolei pozwala na dość ściśle określenie momentu jej samoistnego upodatnienia. Zjawisko to może być przyspieszone metodami górniczymi.



Rys. 12. Rozkład zapasu bezpieczeństwa F_r na poziomie 3,4 m (a) i 8,35 m (b) powyżej stropu wyrobisk (Wariant 1)

3.2.2. Wariant 2 eksploatacji

Wykorzystując dane obliczeniowe zebrane dla wariantu 1 eksploatacji w polu G-12/7, zmodyfikowano wyżej przedstawiony model obliczeniowy w kierunku reprezentacji wariantu 2 eksploatacji pokazanego na rysunku 13.



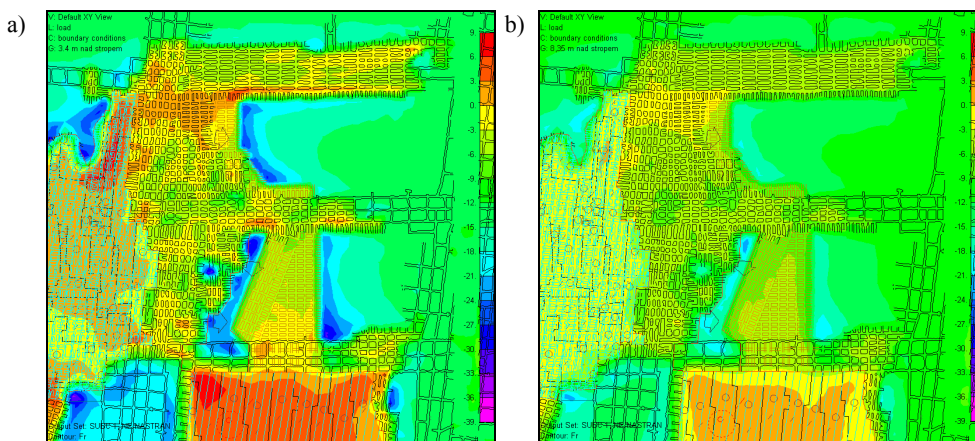
Rys. 13. Aproksymacja metodą elementów skończonych sytuacji wyjściowej wariantu 2 eksploatacji (kolory oznaczają zróżnicowane pod względem wytrzymałościowym filary, obszary likwidacji oraz caliznę)

Wyniki obliczeń dostarczyły również w tym przypadku oszacowań stanu bezpieczeństwa w stropie, wyrażonego za pomocą tzw. zapasów bezpieczeństwa F_r . Na rysunku 14 przedstawiono ich rozkłady na różnych poziomach powyżej stropu wyrobisk, natomiast na rysunku 15 podano współczynniki bezpieczeństwa dla filara oporowego stanowiącego w założeniu element gwarantujący bezpieczeństwo eksploatacji wg wariantu 2.

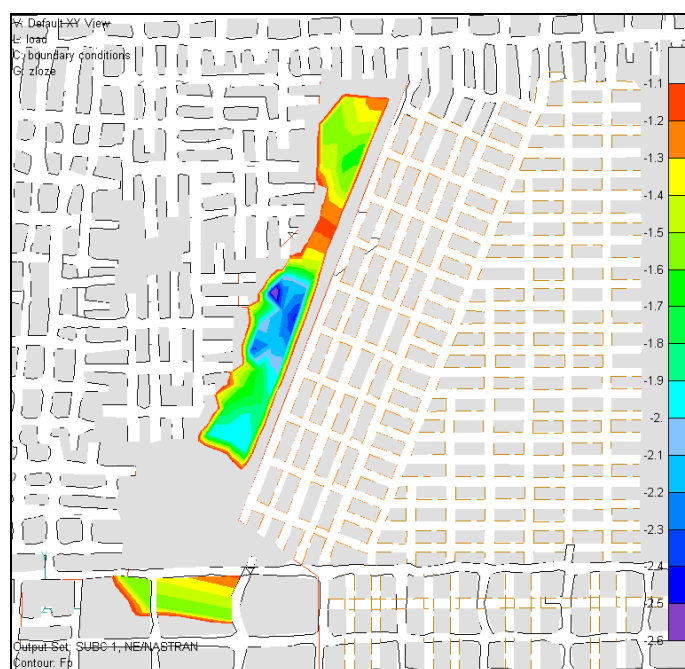
Analiza wyników obliczeń wykazała, że: sposób eksploatacji od strefy upodatnionej proponowany w wariantcie 2 w warunkach pola G-12/7 kopalni Rudna może stworzyć dodatkowe, istotne zagrożenie zawałami, zwłaszcza w pobliżu skrzydeł pozostawionej calizny i na jej przedpolu (rys. 14) — rejon wiązek chodników T,W-142 i T,W-132.

Dla obydwu wariantów eksploatacji nie stwierdzono wyraźnych różnic w wartościach zapasów bezpieczeństwa w warstwach stropu zasadniczego, stąd brak podstaw do wskaza-

nia wariantu korzystniejszego z punktu widzenia zagrożenia tapaniami. Stwierdzenie to jest jednak ważne wyłącznie dla sytuacji, gdy nie istnieje zagrożenie związane z możliwością upadnięcia się pozostawionego filara oporowego.



Rys. 14. Rozkład zapasu bezpieczeństwa F_r , na poziomie 3,4 m (a) i 8,35 m (b) powyżej stropu wyrobisk — Wariant 2



Rys. 15. Współczynniki bezpieczeństwa dla filarów w polu G-12/7 dla wariantu 2 (kolor szary dla obszarów calizny, likwidacji lub dla filarów upodatnionych)

4. Podsumowanie

Czterdziestoletnia eksploatacja złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej i wybranie dużych obszarów złoża sprawia, że roboty górnicze prowadzone są coraz częściej w warunkach skrzepowanych. Dodatkowo, przyjęta złożowa struktura wyrobisk udostępniających i stosowana technologiczna profilaktyka tapaniowa, polegająca na upodatnieniu wyrobisk komunikacyjno-transportowych prowadzi do coraz częstszych przypadków wydzielania resztek złoża znajdujących się w otoczeniu zrobów i stref upodatnionych. Również w polach eksploatacyjnych występują niekorzystne sytuacje geologiczno-górnice, zakłócające rytmiczny postęp i równą linię frontu. Niejednokrotnie sposobem ograniczającym wpływ niekorzystnych warunków geologiczno-górnicych jest odtwarzanie na wybiegu linii frontu i wybieranie resztki w kierunku zrobów lub pozostawienie resztki w formie filara stabilizującego.

Specyfika górnictwa rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej, a szczególnie:

- wykształcenie złoża w formie stratoidalnej o małym nachyleniu,
- stosowanie komorowo-filarowych systemów eksploatacji z filarami pracującymi w fazie wytrzymałości pozniszczeniowej,
- szerokie otwarcie przestrzeni roboczej ułatwiające kierowanie sztywnymi i zwięzłymi skałami stropowymi,

umożliwia prowadzenie rozcinki wielokierunkowo oraz wprowadzanie lokalnych zmian w pierwotnie przyjętych kierunkach. W przypadkach występowania istotnych ograniczeń postępu frontu wynikających z zaistniałej sytuacji geologiczno-górnicych możliwe jest:

- 1) odtworzenie linii frontu w odległości znajdującej się poza strefą wzmożonych ciśnień i rozcięcie złoża w kierunku zrobów i strefy upodatnionej,
- 2) pozostawienie resztki w formie filara stabilizującego i kontynuowanie eksploatacji na zasadniczym kierunku.

Analiza dotychczasowych doświadczeń prowadzenia robót rozcinkowych w kierunku zrobów i stref upodatnionych wykazuje, że:

- Przypadki eksploatacji w kierunku zrobów lub upodatnionych stref złoża ograniczone były generalnie do fazy robót upodatniająco-rozcinkowych. Likwidacja przebiegała zazwyczaj w kierunku przeciwnym (rozwiązanie przyjęte z pozytywnych doświadczeń eksploatacji filarów oporowych), sporadycznie w kierunku prostopadłym do kierunku rozcinki.
- Trudne do określenia jest ogólne powiązanie charakteru zjawisk sejsmicznych towarzyszących prowadzonym robotom w poszczególnych przypadkach. Zjawiska te przebiegały indywidualnie. Ich wielkość oraz intensywność wystąpienia wiązać można z szeregiem różnych czynników geologiczno-górnicych, takich jak np.: własności mechaniczne skał, geometria resztki calizny, szerokość strefy rozciętej, szerokość strefy

upodatnionej przy zrobach, powierzchnia zrobów, wielkość naprężeń występujących na krawędzi calizna-zroby itp.

- Wskazać można, w określonych przypadkach, charakterystyczne wielkości (szerokości) resztek calizn, przy których rejestrowane było nasilenie aktywności sejsmicznej górotworu. Pierwsze takie zjawiska występują zwykle przy szerokości resztki w granicach 75÷85 m, kolejny wzrost liczby wstrząsów (emisji energii sejsmicznej) zauważalny jest przy szerokościach 50÷55 m. Przy szerokościach mniejszych (poniżej 50 m) resztki otoczone zrobami lub strefami upodatnionymi łatwiej przechodzą w fazę pozniszczeniową i najczęściej nie wykazują skłonności do generowania zjawisk dynamicznych.
- Przyjęty sposób prowadzenia robót korzystnie wpłynął na poprawę warunków stateczności stropu.

Analizy geomechaniczne przeprowadzone dla oddziałów G-12/7 i G-15/9 Kopalni Rudna wykazały, że eksploatacja w kierunku zrobów i stref upodatnionych w warunkach złoża rud miedzi stwarza porównywalne zagrożenie w zakresie niestateczności stropu bezpośredniego i zasadniczego, jak eksploatacja klasyczna w kierunku calizny. Jednocześnie sposób eksploatacji w kierunku strefy upodatnionej i zrobów, zmniejszający stopniowo objętość resztki (stwarzający warunki występowania tąpnięcia typu pokładowego), umożliwia wygodną kontrolę redukcji jej nośności w czasie, co z kolei pozwala na dość ściśle określenie momentu jej samoistnego upodatnienia. Zjawisko to może być przyspieszone metodami górniczymi, jednak sposób eksploatacji polegający na prostopadłym nachodzeniu frontem na linię zrobów nie jest zalecany. Znacznie korzystniejszy układ tworzy front ukośnie zorientowany względem linii zrobów.

Pozostawienie resztki w formie filara stabilizującego analizowane porównawczo z sytuacją wybierania w kierunku strefy upodatnionej nie wykazało wyraźnych różnic w wartościach zapasów bezpieczeństwa w wyższych warstwach stropu zasadniczego (więcej niż 15 m w głąb stropu), w związku z czym nie ma podstaw do wskazania wariantu korzystniejszego z punktu widzenia zagrożenia tąpnięciami. Istotne różnice natomiast wystąpiły w warstwach stropu bezpośredniego. Eksploatacja z pozostawieniem dużej nie wybranej resztki złoża prowadzi do istotnego zwiększenia zagrożenia zawałami w obszarze bezpośrednio do niej przyległym, w tym na znacznej powierzchni sąsiadujących pól wybierkowych.

LITERATURA

- [1] *Butra J., Pytel W.*: Plate based numerical model for mine workings design in Polish copper mine conditions. Proc. of the 12th Int. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection, WA, Kalgoorlie, 2003, 553–559
- [2] *Pytel W.*: Rock mass — mine workings interaction model for Polish copper mine conditions. Int. J. of Rock Mech. & Min. Sci., 40, 2003, 497–526