

Dekoncentracja obszarów eksploatacji dla zminimalizowania liczby i energii wysokoenergetycznych zjawisk sejsmicznych

Deconcentration of mining areas for reduction of the magnitude and energy of high-power seismic phenomena



Dr hab. inż. Jan Drzewiecki prof. GIG^{)}*



Mgr inż. Adam Piernikarczyk^{)}*

Treść: Koncentrację eksploatacji węgla, w rozumieniu potocznym, z reguły wyrażają geometryczne parametry charakteryzujące proces produkcji w czasie. Pierwszym jest obszar górotworu, w którym prowadzona jest eksploatacja jednego lub więcej pokładów, a drugim intensywność eksploatacji wyrażonej bądź to dobowym postępowaniem frontu eksploatacji, bądź objętością uzyskanego urobku. Należy podkreślić, że oprócz wymienionych parametrów koncentrację produkcji/wydobycia mogą charakteryzować parametry definiujące inne obszary oceny produkcji, takie jak: łączna moc maszyn, liczba energii w jednostce czasu, liczba zatrudnionych na tonę urobku w odniesieniu do wydajności przodkowej czy oddziałowej itp. Odnosząc się do zagadnień dynamicznych towarzyszących robotom górniczym w odniesieniu do koncentracji, to analizując podstawowe ich przyczyny każdorazowo należy odnieść się do charakterystyki fizyko-mechanicznej środowiska, w jakim generowane są te zjawiska oraz zakresu naruszenia górotworu inicjującego procesy dynamiczne wynikające z koncentracji produkcji/wydobycia. Dotychczasowe doświadczenia w tym zakresie, analizy wielu przypadków tąpnięć oraz znacznie w stosunku do lat ubiegłych pogłębiona wiedza dotycząca lokalizacji i mechanizmu ognisk wstrząsów, a zatem ich fizycznej postaci, pozwalają zweryfikować zasadność dążenia do maksymalnej koncentracji eksploatacji z punktu widzenia zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami. Wyniki prognoz deformacji warstw wstrząsogennych spowodowanych eksploatacją pokładów powodującą wytworzenie w ich podłożu pustek, a konsekwencji zmieniających stan ich naruszenia w górotworze, pozwalają oszacować rozległość i zasięg obszarów będących źródłem ognisk wysokoenergetycznych wstrząsów sejsmicznych. Szybkość ich powstawania, co wiązać należy z intensywnością eksploatacji, rozległość przestrzeni zrobowych oraz ich kształty i wzajemna lokalizacja decydują o dynamice zjawisk sejsmicznych indukowanych eksploatacją pokładu w naruszonym nią wielkogabarytowym fragmencie górotworu. Należy pamiętać, że wzrost zagrożenia tąpnięciami z reguły powoduje wzrost kolejnych, z których zagrożenie pożarowe i metanowe łącznie z tąpniowym decydują o ostatecznym wyniku finansowym produkcji.

Abstract: Popularly, the concentration of coal exploitation is generally expressed by geometric parameters which characterize the process of production in time. The first parameter is the area of rock mass where exploitation of one or more coal beds takes place. The second one is the intensity of exploitation expressed by either the daily wall front advance or the volume of the output. It is advisable to emphasize that apart from the abovementioned parameters, the concentration of output may be characterized by parameters which define other areas of production assessment, such as: the total power of machinery, the amount of energy in a time unit, the number of employed workers per a ton of output as to face or departmental performance, etc. Referring to the dynamic problems accompanying the mining works, such as concentration, the analyses of their essential causes need to be confronted with the physical and mechanical characteristics of the environment in which the phenomena occur, and the scope of disarrangement of rock mass which initiates the dynamic processes resulting from the mining concentration. Previous experience in this field, series analysis of tremor occurrence and significantly higher level of knowledge, especially concerning the location and mechanisms of epicenters, so their physical form, allow to verify the direction for maximum concentration of exploitation from the point of view of seismic and tremor-related hazards. The results of forecasts of tremor-induced layer deformations which occurred as the result of exploitation of coal beds which leads to the occurrence of a series of voids in the bed's substrate which in turn alters their disarrangement in rock mass, allow to estimate the expanse and scope of areas with the epicenters of high-energy seismic tremors. Their rate of formation, deriving from mining intensity, expanse of excavation spaces and their interlocation and shapes determine the dynamics of the seismic phenomena induced by coal bed exploitation in the large-size fragment of rock mass, impaired by the exploitation itself. It is important to remember that the increase of tremor hazard, generally, leads to the increase of others where fire, methane and tremor hazards combined determine the final financial result of production.

^{*)} Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

Słowa kluczowe:

deformacje podpieranych warstw wstrząsogennych, dekoncentracja eksploatacji, obniżenie poziomu zagrożenia sejsmicznego tąpniętami

Key words:

deformation of tremor-induced layers, deconcentration of exploitation, reduction of seismic and tremor hazards level

1. Wprowadzenie

Koncentrację eksploatacji węgla z reguły wyrażają parametry charakteryzujące proces produkcji w czasie, np. zależność wiążąca liczbę ton wydobycia w jednostce czasu, przypadającego na element kopalni [10]. Pierwszym jest obszar górotworu, w którym prowadzona jest eksploatacja jednego lub więcej pokładów, a drugim intensywność eksploatacji wyrażonej bądź to dobowym postępem frontu eksploatacji, bądź objętością uzyskanego urobku. Należy podkreślić, że oprócz wymienionych parametrów koncentrację produkcji/wydobycia mogą charakteryzować parametry definiujące inne obszary oceny produkcji, takie jak: łączna moc maszyn, ilość energii w jednostce czasu, liczba zatrudnionych na tonę urobku w odniesieniu do wydajności przodkowej lub oddziałowej, itp. Odnosząc się do zagadnień dynamicznych towarzyszących robotom górniczym w odniesieniu do koncentracji, to analizując podstawowe ich przyczyny każdorazowo odnieść należy się do charakterystyki fizyko-mechanicznej środowiska, w jakim generowane są te zjawiska oraz skali jego naruszania [9, 3]. Dotychczasowe doświadczenia w tym zakresie, analizy wielu przypadków tąpnięć [8] oraz znacznie w stosunku do lat ubiegłych pogłębiona wiedza dotycząca lokalizacji i mechanizmu ognisk wstrząsów [13], a zatem ich fizycznej postaci, pozwalają zweryfikować zasadność dążenia do maksymalnej koncentracji eksploatacji z punktu widzenia zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami. Należy pamiętać, że wymienione zagrożenia górnicze w przypadku ich ujawnienia, z reguły uaktywniają kolejne zagrożenia [7, 4], z których zagrożenie pożarowe i metanowe łącznie z tąpniowym decydują o ostatecznym wyniku finansowym produkcji [14].

W artykule zaprezentowano wyniki prognoz deformacji warstw wstrząsogennych spowodowanych eksploatacją pokładów, powodującą wytworzenie w ich podłożu pustek/zrobów zmieniających poziom ich utwierdzenia/stabilizacji w górotworze. Szybkość ich powstawania, rozległość przestrzeni zrobowych oraz ich kształty i wzajemna lokalizacja, związane z intensywnością eksploatacji decydują o dynamice zjawisk sejsmicznych indukowanych eksploatacją pokładu w naruszonym nią wielkogabarytowym fragmencie górotworu.

2. Budowa górotworu, intensywność eksploatacji, sejsmiczność towarzysząca eksploatacji

Dotychczas rejestrowane wysokoenergetyczne zjawiska sejsmiczne o ogniskach zlokalizowanych w warstwach sprężystych zalegających w znacznej odległości nad eksploatowanymi pokładami z reguły były odczuwane w większym stopniu na powierzchni niż w wyrobiskach eksploatowanych pokładów. Sporadycznie takie wstrząsy sejsmiczne powodowały skutki w wyrobiskach eksploatowanych pokładów jedynie w przypadku, kiedy czynnikiem inicjującym wysokoenergetyczny wstrząs była eksploatacja naruszająca równowagę grubowarstwowego stropu w obszarze jego utwierdzenia/usztywnienia, np. superpozycją oddziaływań krawędzi czy zaburzeń naturalnych [6, 12]. Takie obszary lokalizowane są z reguły w znacznej odległości od prowadzonych robót eksploatacyjnych i w nich nagromadzona jest największa energia potencjalna grawitacyjna i sprężystości. Obszary te znajdują się w chwilowej równowadze energetycznej i impulsem dla jej uwolnienia może być destabilizacja rozle-

głego obszaru grubych warstw o zorientowanym kierunku ich przemieszczenia [5]. W takim przypadku obszar stwierdzonych skutków wysokoenergetycznego wstrząsu obejmuje odcinki wyrobisk znajdujących się w odległościach setek metrów od prowadzonej eksploatacji, licząc w kierunku, w którym naruszony górotwór posiada możliwość największych przemieszczeń w całym masywie skalnym. Jak z powyższego wynika, tak duża odległość miejsca inicjującego wstrząs, jego ogniska i skutków znacznie przekracza zasięg bezpośrednich wpływów eksploatacji. Powyższe jest przesłanką dla weryfikacji zasady projektowania wielopokładowej eksploatacji o znacznej koncentracji frontów. Innymi słowy w górotworze, jakim charakteryzuje się kopalnia „Rydułtowy-Anna”, tj. zbudowanym z szeregu grubych sprężystych warstw, w których nie występują osłabiające je przerosty, zbyt bliska odległość frontów bądź w pokładzie, bądź pokładach sąsiednich skutkuje bardzo wysokimi energiami wstrząsów górniczych, co potwierdza praktyka. Eksploatacja w tak skoncentrowanych obszarach powoduje niszczenie strupu rozpoczynającego proces przemieszczeń grubych warstw nadległych, przenoszący się stopniowo na coraz wyższe partie górotworu. Zasięg i intensywność tego procesu zależne są od krotności naruszenia pierwotnej budowy górotworu, a zatem są funkcją łącznej grubości wybranego w analizowanym obszarze pokładu bądź pokładów.

2.1. Eksploatacja jednopokładowa/na jedną warstwę

Zakres prowadzonych robót eksploatacyjnych w pokładzie, tj. liczba, długość ścian i ich dobowy postęp decydują o naruszeniu równowagi górotworu, a zatem o dynamice w nim tworzonych nieciągłości. Wielkość energii, jaka emitowana jest z obszarów górotworu, w którym budujące go warstwy niszczone są prowadzoną eksploatacją, zależy od ich parametrów geometrycznych i fizyko-mechanicznych oraz odległości od tworzonych pustek [1, 2].

Lokalizacja ognisk wstrząsów górniczych i częstość ich występowania wskazują obszary bądź niebezpieczne, bądź potencjalnie niebezpieczne dla załóg górniczych oraz infrastruktury na powierzchni. Dla każdego nowego frontu eksploatacji istnieje jego zaawansowanie decydujące o narastaniu dynamiki zniszczenia skał stropowych. Budowa stropu, parametry fizyko-mechaniczne i geometryczne warstw znajdujących się w zasięgu wpływów eksploatacji, decydować będą o intensywności i energii zjawisk sejsmicznych. Wstrząsy o ogniskach zlokalizowanych w kolejno naruszanych warstwach stropowych, prowadzą górotwór do kolejnej chwilowej jego równowagi. Decyduje o niej także rozległość i czas dokonań eksploatacyjnych w pokładzie oraz liczba i wielkość występujących w nim zaburzeń naturalnych.

Z punktu widzenia koncentracji eksploatacji, w rozumieniu małego pola prowadzonych robót eksploatacyjnych, obszary, z których następuje emisja energii dla nierozwiniętej eksploatacji, znajdują się w małej odległości od wyrobisk. Zatem w takich obszarach nad eksploatowanym pokładem w bezpośrednim otoczeniu prowadzonych robót górniczych, zlokalizowane są fragmenty górotworu o zakumulowanej energii. Można zatem stwierdzić, że względu na bliskość ognisk wstrząsów, że dla tak zaawansowanej eksploatacji, generowane nią wysokoenergetyczne wstrząsy sejsmiczne każdorazowo stwarzają będą realne zagrożenie tąpniętami.

Rozwinięcie eksploatacji pokładu kolejnymi ścianami zwiększa zasięg jej dynamicznych wpływów na wyższe obszary górotworu, co może skutkować kolejnymi zjawiskami sejsmicznymi. W takim przypadku istotnym dla energii i lokalizacji wstrząsów jest grubość, sprężystość i odległość od eksploatacji warstw wstrząsogennych zdolnych do akumulowania energii. Należy podkreślić, że w przypadku, kiedy górotwór nad prowadzoną eksploatacją budują grube warstwy sprężyste zdolne do odkształceń z zachowaniem ciągłości liniowej, stanowiąc one będą rodzaj naturalnego sklepienia nad rejonem eksploatacji. W tym przypadku utrata ciągłości kolejnych warstw następować będzie dla znacznie większego otwarcia stropu, znacznie większych obszarów zrobowych, niż w przypadku stropu zbudowanego z warstw cienkich.

Praktyka górnicza wskazuje, że tego typu zjawiska dynamiczne rejestrowane są w wielu kopalniach, w których górotwór budują mocne grube warstwy piaskowcowe czy mułowcowe. Z reguły, w takich zdarzeniach wstrząsy odczuwane są głównie na powierzchni. Sporadycznie powodują one skutki w wyrobiskach w przypadku, kiedy wielkość dokonanych eksploatacyjnych powoduje dynamiczny podział warstw nadległych i udar „uwolnionego” nadkładu lokalnie powodujący przekroczenie wytrzymałości pokładu.

Jak wynika z powyższego, rozpatrując koncentrację robót eksploatacyjnych w ramach jednego pokładu każdorazowo należy rozważać jej zasadność z punktu widzenia generowania nią zagrożeni tąpnięciami i kolejno uaktywnianych nim innych zagrożeń górniczych. Trudno jednoznacznie zdefiniować, dla jakich parametrów geologiczno-górniczych eksploatacji i parametrów charakteryzujących górotwór istnieje granica opłacalności wprowadzania koncentracji eksploatacji.

Można zatem stwierdzić, że dotychczasowa praktyka górnicza wskazuje, iż ten aspekt ekonomiczny projektowania eksploatacji należy rozwiązać każdorazowo dla konkretnych warunków geologicznych i uwarunkowań technicznych eksploatacji. Praktyka wskazuje także, jak ważnym staje problem negatywnych konsekwencji koncentracji eksploatacji polegającej na wybieraniu więcej niż jednego pokładu w obszarze wzajemnych wpływów.

2.2. Eksploatacja wielopokładowa/ na warstwy

Analizując problem sejsmiczności w wyniku koncentracji eksploatacji, np. bliskiej odległości jednoczesnej eksploatacji więcej niż jednego pokładu, w pierwszej kolejności należy odnieść się do budowy górotworu w otoczeniu prowadzonej eksploatacji. Jak już wspomniano, eksploatacyjne naruszenie warstw podbieranych skutkuje ich pękaniem o intensywności i wydzielanej energii zależnej od ich wymiarów geometrycznych i parametrów fizyko-mechanicznych warstwy akumulującej energię oraz rozległości i odległości tworzonych zrobów. W sytuacji eksploatacji intensywność i zasięg obszaru destabilizacji górotworu jest wypadkową zasięgu pojedynczych eksploatacji. W przypadku, kiedy strop naruszany eksploatacją wielopokładową budują warstwy niesprężyste, kruche i cienkie, w wyniku ich podbierania wraz z przemieszczającym się frontem ulegać one będą pękaniu poprzecznemu z gęstą siecią szczelin. W takim przypadku zasięg wpływów wielopokładowej eksploatacji będzie ograniczony praktycznie do obszaru stworzonych zrobów. Jest to bardzo korzystne dla rytmicznego procesu eksploatacji. Praktycznie wraz z postępującymi frontami następuje rozładowanie energii akumulowanej w podbieranych warstwach stropowych, poziom energii sejsmicznej wstrząsów indukowanych eksploatacją każdego pokładu jest niski, a przewidywalność tych wstrząsów z możliwością opracowania niezbędnej profilaktyki, głównie zawałowej jest duża.

Inny jest obraz skutków równoczesnej eksploatacji wielopokładowej skoncentrowanej na małym obszarze górotworu zbudowanego z grubych sprężystych warstw o wysokich parametrach mechanicznych. W przeciwieństwie do poprzednich rozważań, w takim przypadku kolejne podbierane eksploatacją pokładów warstwy będą odkształcane z zachowaniem ciągłości poprzecznej. Rozpiętość tak odkształconych warstw będzie funkcją ich granicznej odkształcalności dla rzeczywistych grubości i ich odległości od istniejących zrobów w każdym z eksploatowanych pokładów.

Grube sprężyste warstwy zdolne są do rozległych odkształceń z zachowaniem ciągłości na znacznie większych w porównaniu z tworzonymi zrobami obszarach. Dodatkowo, w przypadku krotnego ich podbierania, którego wynikiem są ząbwiącające się bądź bisko zlokalizowane obszary zrobów, lokalnie ulegać one będą wielokierunkowemu gięciu, akumulując w takich obszarach znaczną energię.

Obszary odkształconych wielopokładową skoncentrowaną na małym obszarze eksploatacją podbierającą tworzą rodzaj rozległego, w stosunku do obszaru eksploatacji, wzajemnie z sobą związanego układu grubowarstwowych sklepień. Lokalnie, odległe od prowadzonej eksploatacji, zawierają one obszary o bardzo dużym potencjale zakumulowanej energii, która okresowo jest uwalniana na poziomie rzędu bądź dwóch wyższym od energii jaka towarzyszy bieżącej eksploatacji każdego z pokładów. Dla tego typu zjawisk dynamicznych, ze względu na odległość od wyrobisk i rozległość obszarów będących źródłem takich wysokoenergetycznych wstrząsów, nie ma skutecznych metod aktywnej profilaktyki.

W świetle powyższych rozważań należy stwierdzić, że **koncentracja robót górniczych w górotworze zbudowanym z grubych sprężystych warstw wstrząsogennych, polegająca na jednoczesnej eksploatacji na małym obszarze więcej niż jednego pokładu, zawsze obarczona będzie ryzykiem występowania bardzo silnych wstrząsów sejsmicznych o energiach porównywalnych do energii wstrząsów o charakterze regionalnym. Jednocześnie taka koncentracja eksploatacji w warunkach grubowarstwowej budowy górotworu uniemożliwia opracowanie i stosowanie skutecznych aktywnych metod profilaktyki tąpniowej oraz znacznie zwiększa geometryczne parametry koordynacji sąsiednich robót eksploatacyjnych.**

Powyższy wniosek potwierdzają zjawiska sejsmiczne i tąpnięcia jakie zanotowano w kopalniach JSW S.A., w których budowa górotworu charakteryzuje się występowaniem grubych i bardzo grubych piaskowców i łupków piaszczystych.

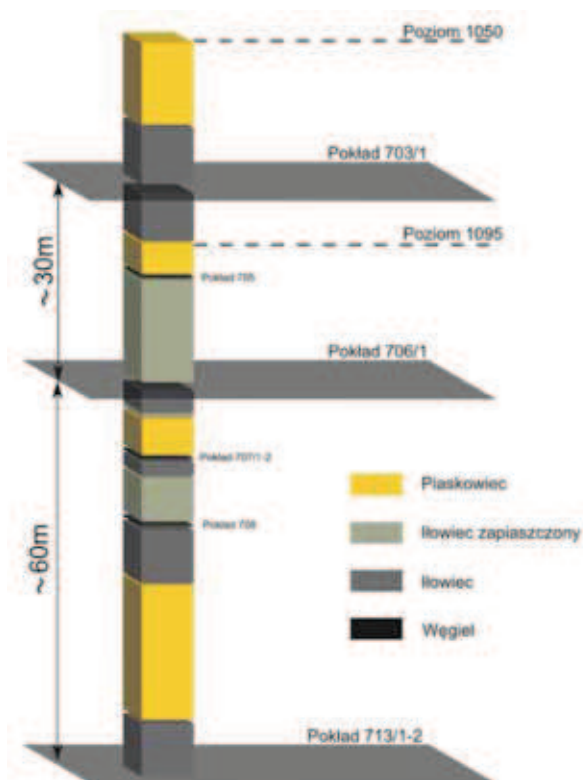
3. Negatywne skutki koncentracji eksploatacji wielopokładowej w warunkach kopalni „Rydułtowy-Anna”

Roboty górnicze w pokładach 706 i 706+707/_{1,2} w rejonie ściany III-E1 (rejon E1) oraz w pokładach 703/₁, 706 i 706+707/_{1,2}, 713/_{1,2} i 713/_{1,2}+712/_{1,2} w rejonach E1 i E-E1 prowadzone są na obszarach, których odległości decydują o ich wzajemnym wpływie.

W warunkach kopalni „Rydułtowy-Anna”, stropy eksploatowanych pokładów budują warstwy piaskowca oraz ilowców, których grubość dochodzi do 50 m (rys 1). Parametry fizyko mechaniczne węgla w pokładach 703, 706 i 706 + 707/_{1,2} oraz 713 i skał otaczających są następujące zmieniają się odpowiednio:

- Pokład 703/₁, wartość wytrzymałości na ściskanie węgla wynosi 19,2 MPa, natomiast skał stropowych 53,6 MPa.
- Pokład 706 i 706+707/_{1,2}, wartość wytrzymałości na ściskanie węgla wynosi 21,1 MPa, natomiast skał stropowych od 47,7 do 58,9 MPa.

- Pokład 713/₁₋₂ i 7013/₁₋₂+712/₁₋₂ wartość wytrzymałości na ściskanie węgla wynosi 24,7 MPa, natomiast skał stropowych 74,3 MPa.



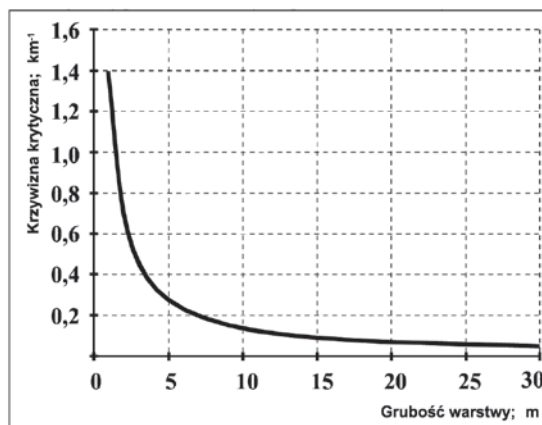
Rys. 1. Fragment profilu litologicznego skał zalegających nad pokładem 713/1-2 w rejonie E1 KWK „Rydułtowy-Anna”

Fig. 1. Fragment of lithological profile of rocks deposited above the seam no. 713/1-2 in the area E1 of “Rydułtowy-Anna” coal mine

Jak to przedstawia rysunek 1 oraz wartości parametrów wytrzymałościowych skał otaczających pokłady 703, 706 i 706 + 707/₁₋₂ i 713, skały stropowe ww. pokładów wykazują znaczące akumulowanie energii sprężystej grubości i mogą odkształcać się z zachowaniem ciągłości, stwarzając tym samym realne niebezpieczeństwo generowania wstrząsów górotworu o energiach zbliżonych do energii zjawisk o charakterze regionalnym. Należy podkreślić, że w partii E1 i E-E1 w budowie górotworu w otoczeniu pokładów jakłowickich, w których prowadzona jest eksploatacja oraz pokładów porębskich stwierdza się występowanie warstw, których grubość przekracza 50 m.

W warunkach jednoczesnej eksploatacji pokładów 703/₁, 706 i 706+707/₁₋₂ oraz 713/₁₋₂ i 713/₁₋₂+712/₁₋₂ w rejonach E1 i E-E1 aktualnie i w dalszej perspektywie czasowej można wyróżnić sytuacje niekorzystnego wzajemnego oddziaływania prowadzonych robót górniczych. Analiza wzajemnych położzeń zaszciości eksploatacyjnych w ww. pokładach w rejonie E1 w chwili wystąpienia w dniu 16.06.2014 r. wysokoenergetycznego wstrząsu sejsmicznego o energii $3,2 \times 10^7$ J na tle grubowarstwowej budowy górotworu była przedmiotem szerokich analiz celem wyjaśnienia genezy wstrząsu oraz odległości ogniska wstrząsu od miejsca jego skutków. Dla tej sytuacji przeprowadzono obliczenia analityczne zarówno ciśnień na horyzoncie eksploatacyjnych pokładów, jak i na dwóch horyzontach nadległych zalegania grubych warstw zdolnych do akumulowania energii. Jednocześnie dla oszacowania zasięgu obszarów, w ramach analizowanych warstw stropowych, które mogą być

źródłem ognisk wstrząsów wykonano obliczenia wielkości ich obniżeń oraz krzywizn. Te ostatnie, dla istniejących nad rejonem E1 grubości warstw podbieranych, są miernikiem ich dopuszczalnych odkształceń, tj. odkształceń z zachowaniem ich ciągłości poprzecznej. Kryterialne wartości krzywizny w zależności od grubości podbieranej warstwy wstrząsogennej przedstawia krzywa prezentowana na rysunku 2 [11].



Rys. 2. Zależność krzywizny krytycznej od grubości uginającej się warstwy

Fig. 2. Relation between critical curvature and thickness of the bending layer

Kolejne rysunki to:

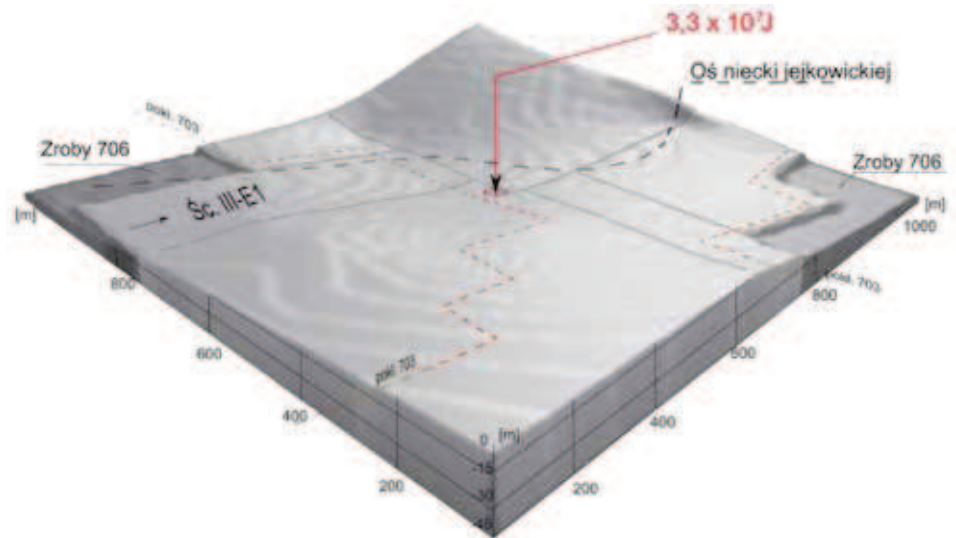
- prognozy rozkładu naprężeń w pokładzie (rys.3), zgodnie z zamieszczoną na nich skalą, przedstawiają na horyzoncie pokładu 706 i 706+707/₁₋₂ położenia obszarów o podwyższonej wartości naprężeń;



Rys. 3. Rozkład naprężeń na horyzoncie pokładu 706 i 706 + 707/₁₋₂, pole ściany III-E1

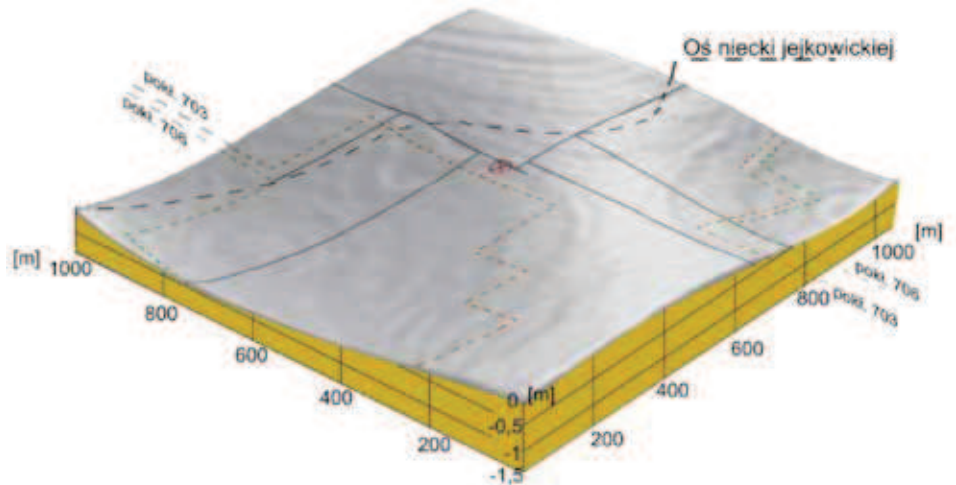
Fig. 3. Distribution of stress in the horizon of seams no. 706 and 706 + 707/1-2, wall field III-E1

- morfologii stropu pokładu 706 i 706+707/1,2 (rys.4);



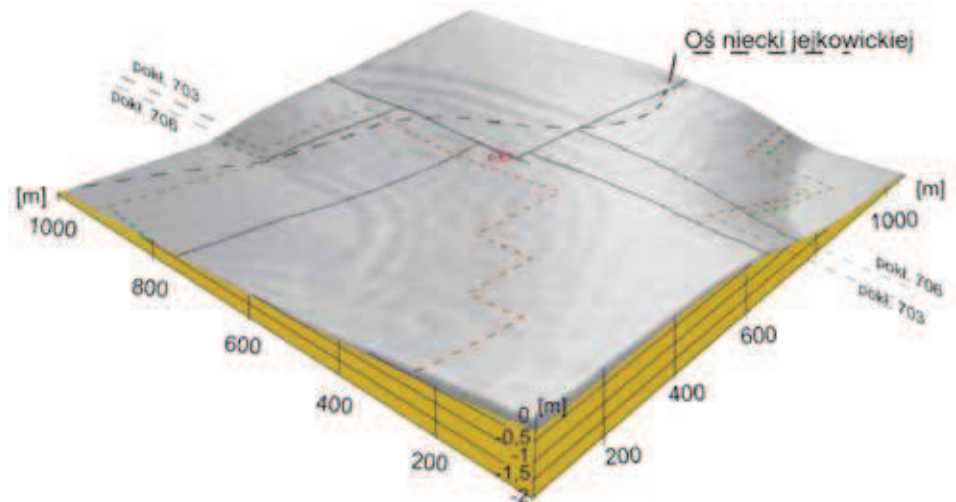
Rys. 4. Morfologia stropu pokładu
Fig. 4. Morphology of bed roof

- eksploatacyjnej deformacji powierzchni warstwy piaskowca zalegającej na poziomie 1050 (rys. 5), tj. stropu piaskowca o grubości około 14 m zalegającego około 10 m nad stropem pokładu 703/1 (około 45 m nad eksploatowanym pokładem 706 i 706+707/1,2);



Rys. 5. Deformacja powierzchni warstwy piaskowca zalegającej około 45 m nad eksploatowanym pokładem 706 i 706+707/1,2.
Fig. 5. Deformation of sandstone layer deposited c. 45 m above the mined coal seam no. 706 and 706 + 707/1,2,

- eksploatacyjnej deformacji powierzchni warstwy piaskowca zalegającej na poziomie 1095 (rys. 6), tj. stropu piaskowca o grubości około 10 m zalegającego około 14 m nad eksploatowanym pokładem 706 i 706+707/1,2;



Rys. 6. Deformacja powierzchni warstwy piaskowca zalegającej około 14 m nad eksploatowanym pokładem 706 i 706+707/1,2.
Fig. 6. Deformation of sandstone layer deposited c. 14 m above the mined coal seam no. 706 and 706 + 7 07/1-2

- izolinie krzywizn deformacji warstwy piaskowca grubości około 14 m zalegającej około 45 m nad eksploatowanym pokładem 706 i 706+707/1,2, na tle obszarów ciśnień wypadkowych oddziaływania krawędzi nadległych pokładów 615 i 625 (rys. 7); wskazują, gdzie należy oczekiwać największych koncentracji naprężeń i energii, a zatem miejsc potencjalnych ognisk wstrząsów wysokoenergetycznych.



Rys. 7 Izolinie krzywizn deformacji piaskowca zalegającego w odległości około 14 m nad pokładem 706 i 706+707/1-2 na tle obszarów ciśnień wypadkowych oddziaływania krawędzi nadległych pokładów 615 i 625

Fig. 7. Isolines of curvatures of deformation of the sandstone deposited c. 14 m above the coal seam no. 706 and 706 + 707/1-2 against the background of areas of resultant pressures of the influence of overlying edges of the coal seams no. 615 and 625

Szczególnie wartości prognozowanych krzywizn wskazują na takie miejsca, kiedy porównuje się je z wartościami szacowanymi zgodnie z wykresem na rysunku 2. Krzywizna deformacji, rozumiana jako odwrotność promienia ugięcia deformowanej warstwy, jest bardzo wygodnym parametrem pozwalającym wyznaczyć wprost miejsca, w których istnieje największe prawdopodobieństwo generowania wstrząsów górotworu z uginającego się stropu. Duża wartość krzywizny wskazuje na mały promień ugięcia analizowanej warstwy. W przypadku granicznych deformacji dla istniejącej grubości warstwy następuje gwałtowne i niekontrolowane jej pęknięcie połączone z emisją zakumulowanej w niej, w tym energii sejsmicznej.

Analizując pod tym kątem kolejno zamieszczone, dla ułatwienia w postaci graficznej, wyniki obliczeń możemy prognozować, gdzie gromadzi się najwięcej energii, jakie są krytyczne wymiary obszarów deformacji warstw wstrząsogennych, tj. dla rzeczywistych grubości warstw, wymiary obszarów ograniczonych izoliniami krytycznych krzywizn, a także, w jakich obszarach podbieranych warstw wstrzą-

sogennych wykształcone zostaną deformacje w postaci sferycznej. W tych ostatnich gromadzone są największe ilości energii, a co jest szczególnie sprzyjające ich dynamicznemu niszczeniu, charakteryzują się zmianą miejsca zaczepienia promienia uginania warstw oraz jego kierunku i długości.

Rysunki analizowano także pod kątem zasięgu oddziaływań eksploatacji na wyższych horyzontach górotworu, tj. inicjujących niebezpieczne dla wyrobisk zjawiska dynamiczne zasięgu odkształconych i odkształcanych wraz z postępującą eksploatacją warstw sprężystych. W tym przypadku, jak to dokumentują przykłady z rejonu E1, może on osiągnąć nawet 600 m. Mając powyższe na uwadze, prognoza i ocena zagrożenia sejsmicznego i tąpnięmi winna odnieść się także do przestrzennej lokalizacji frontów eksploatacji we wszystkich pokładach i ewentualnych ich interakcji. Opracowane wyniki analiz istniejącej w dniu 16.06.2014 r. sytuacji rozwinięcia eksploatacji, pozwalają na ocenę koncentracji eksploatacji pod kątem jej przestrzennej lokalizacji i wzajemnego oddziaływania za pośrednictwem grubych sprężystych warstw stropowych zachowujących ciągłość liniową w zakresie dopuszczalnych do ich grubości krzywizn.

4. Wnioski

1. Wielokrotne podbieranie pokładów na małym obszarze, którego wynikiem są zazębiające się bądź blisko zlokalizowane obszary zrobów, powoduje lokalne wielokierunkowe ugięcie wstrząsogennych warstw stropowych, akumulując w takich obszarach największą energię. Jest to niekorzystne z punktu widzenia ewentualnych skutków wstrząsów o ogniskach zlokalizowanych w takich obszarach, a także w sytuacji oddziaływania na te obszary innych robót górniczych, „pozornie” prowadzonych w bezpiecznej od nich odległości.
2. Nad obszarem dokonanej i prowadzonej eksploatacji w pokładzie 706 i 706+707/1,2 w rejonie E1 kopalni „Rydułtowy-Anna”, w warstwach wstrząsogennych występują obszary o dużym gradiencie krzywizn, wykształcone w postaci sferycznej. Dla rzeczywistych grubości tych warstw w przedmiotowych obszarach gromadzone są największe ilości energii, co jest szczególnie sprzyjające ich dynamicznemu niszczeniu. Prowadzenie na takich obszarach eksploatacji będzie związane z dużym ryzykiem pęknięcia grubych warstw stropowych z jednoczesnym wyzwoleniem zakumulowanej w nich energii sprężystej.
3. Istniejące w obszarze prowadzonej eksploatacji krawędzie oddziaływać będą zarówno na eksploatowany pokład, jak i warstwy sprężyste w jego otoczeniu. W takim przypadku decydować one będą o skrępowaniu warstw sprężystych w górotworze. W rejonie E1 kopalni „Rydułtowy-Anna” istniejące w pokładach warstw porębskich oraz jakłowieckich krawędzie lokalnie powodują dodatkowe przyrosty składowej pionowej naprężeń na poziomie zalegania grubych warstw w stropach rozpatrywanych pokładów nad całym obszarem prowadzonej i projektowanej eksploatacji pokładzie 706 i 706+707/1,2. Potęguje to „skrępowanie” górotworu na dużym obszarze i ma wpływ na dynamikę i zasięg przemieszczeń grubych warstw stropowych na obrzeżach podbierającej je eksploatacji.
4. Zasięg inicjujących niebezpieczne dla wyrobisk oddziaływania eksploatacji na wyższych horyzontach, tj. zasięg odkształconych i odkształcanych wraz z postępującą eksploatacją warstw sprężystych, może osiągnąć nawet 600 m. Mając to na uwadze, prognoza i ocena zagrożenia sejsmicznego i tąpnięmi powinna być realizowana dla przestrzennej lokalizacji frontów eksploatacji we wszyst-

- kich pokładach i dla ewentualnych ich interakcji. Pozwoli to na krytyczną ocenę koncentracji eksploatacji na małym obszarze i jej wzajemnego negatywnego oddziaływania
5. Obszary odkształconych wielopokładową, skoncentrowaną na małym obszarze, eksploatacją podbierającą, tworzą rodzaj rozległego, w stosunku do obszaru eksploatacji, wzajemnie ze sobą związanego układu grubowarstwowych sklepień. Lokalnie, w dużej odległości od prowadzonej eksploatacji, zawierają one obszary o bardzo dużym potencjale zakumulowanej energii, która okresowo jest uwalniana na poziomie rzędu bądź dwóch wyższym od energii, jaka towarzyszy bieżącej eksploatacji każdego z pokładów. Dla tego typu zjawisk dynamicznych, ze względu na odległość od wyrobisk i rozległość obszarów będących źródłem takich wysokoenergetycznych wstrząsów, nie ma skutecznych metod aktywnej profilaktyki
 6. W świetle wykonanych obliczeń i analiz prognostycznych należy stwierdzić, że koncentracja robót górniczych w górotworze zbudowanym z grubych sprężystych warstw wstrząsogennych, polegająca na jednoczesnej eksploatacji na małym obszarze więcej niż jednego pokładu, zawsze obciążona będzie ryzykiem występowania bardzo silnych wstrząsów sejsmicznych o energiach porównywalnych do energii wstrząsów o charakterze regionalnym. Jednocześnie taka koncentracja eksploatacji w warunkach grubowarstwowej budowy górotworu uniemożliwia opracowanie i stosowanie skutecznych aktywnych metod profilaktyki tąpniowej oraz znacznie zwiększa geometryczne parametry koordynacji sąsiednich robót eksploatacyjnych.

Literatura

1. *Biliński A.*: Zagrożenie tąpniętami stropowymi w świetle rozeznania warunków naturalnych i górniczych. Zeszyty naukowe AGH, Seria Górnictwo 1981 Z.1.
2. *Drzewiecki J.*: Wpływ postępu frontu ściany na dynamikę niszczenia górotworu karbońskiego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 860, Katowice, 2004.
3. *Drzewiecki J.*: Mechanizm powstawania rozwarstwień mocnych skał stropowych w świetle pomiarów in situ. Prace naukowe GIG Nr 804. Katowice, GIG 1995
4. *Drzewiecki J.*: Optymalizacja koncentracji wydobycia w warunkach zagrożenia tąpniętami i metanem. Mat. XI Międzynarodowej Konf. Nauk.-Techn. „Tapania 2004”. Wyd. GIG, Katowice 2004. str.47÷61
5. *Dubiński J., Drzewiecki J.*: „Przyczyny zjawiska sejsmicznego w KWK Zabrze Bielszowice w dniu 12.12.1997 w świetle badań geomechanicznych i geofizycznych.” XXI Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. „Geomechaniczne Problemy Eksploatacji Złóż I Budownictwa Specjalnego”, Zakopane 16-20 marca 1998 r.. Kraków, Wydawnictwo Katedry Geomechaniki Górniczej i Geotechniki AGH 1998, str.71÷87
6. *Dubiński J., Mutke G., Stec K.*: Source characteristic of the mine tremors from the USCB, Poland, in Ninth Intern. Congr. On Rock Mech. Proc., vol.2, Balkema, Rotterdam, 1999, str.1030÷1047.
7. *Kabiesz J.*: Principles of modeling associated hazards. Archives of Mining Sciences. 2002, Vol.47.issue 2. str. 255÷274.
8. *Konopko W. i inni*: Raporty roczne o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego.. Katowice, GIG, 1991÷2013.
9. *Konopko W., i inni*: Postęp, długość i wysokość ścian a zagrożenie tąpniętami. Prace naukowe GIG Nr 809. Katowice, GIG 1995.
10. *Lisowski A.*: Pojęcie koncentracji i jej związek z pracochłonnością. Referat na konferencję naukowo-techniczną na temat: Koncentracja produkcji w górnictwie węglowym. Katowice, SITG 1962.
11. *Makówka J.*: Zagrożenie tąpniętami jako kryterium zaniechania części pokładu węgla kamiennego. Praca doktorska. GIG, Katowice, 1999
12. *Piernikarczyk A.*: Wpływ uskoków o małych zrzutach (do kilku metrów) na rozkład naprężeń w ich otoczeniu. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko Nr 4/3, 2010.
13. *Stec K., Drzewiecki J.*: Mine tremor focal mechanism an essential element of a recognising the process of mine working destruction, Acta Geophysica, vol. 60, no. 2, Apr. 2012, str. 449÷471
14. *Trojnar A., Więckol-Ryk A., Niemiec B.*: Koszty profilaktyki zagrożenia tąpniętami w kopalniach węgla kamiennego. Wiadomości Górnicze 4/2014. Katowice, str. 209÷220