

Renata Patyńska

TĄPIĘCIA A KIERUNKI OSŁABIENIA GÓROTWORU

Streszczenie

Na zagrożenie tąpnięciami, poza warunkami geologicznymi, istotny wpływ mają roboty górnicze zarówno w pokładzie, jak i pokładach wyżej i niżej zalegających. Zakłócenia w sejsmiczności indukowanej powodowane są między innymi przez resztki, krawędzie, czy nadmierne rozcięcie pokładu wyrobiskami korytarzowymi. Skutki zaszłości eksploatacyjnych w większości pól wybierkowych spełniają istotną rolę odprężającą bądź koncentrują naprężenia, często na znacznych powierzchniach pól ścianowych.

Dodatkowy problem – w tym duże prawdopodobieństwo generowania licznych wstrząsów, także wysokoenergetycznych – stanowi występowanie uskoków w polu ścianowym, o zrzutach możliwych do przejścia frontem ściany. W związku z powyższym, w celu prawidłowego dobrania rodzaju i zakresu metod profilaktyki tąpniowej, ważne jest ustalenie odległości frontu eksploatacyjnego od płaszczyzny uskokowej, przy której zmienia się aktywność sejsmiczna górotworu, a tym samym i stan zagrożenia tąpnięciami.

Jednoznaczne informacje z tego zakresu uzyskano z analizy warunków zaistniałych tąpnięć w strefach uskokowych i poza nimi. Tąpnięcia jakie wystąpiły w rejonach skutków związanych z tektoniką lokalną wykazały, że aktywność sejsmiczna indukowana w odległości ± 50 m od uskoku jest porównywalna, co wskazuje na zasięg oddziaływania uskoku.

W celu zobrazowania oddziaływań górotworu na wyrobiska górnicze ważna jest dobra znajomość warunków zalegania nadkładu w rejonach eksploatacji, w tym przestrzenna orientacja stanu zagrożenia tąpnięciami oraz właściwego projektowania i usytuowania frontów eksploatacyjnych. Zazwyczaj zmniejszanie zagrożenia tąpnięciami uzyskuje się przez stosowanie profilaktyki, polegającej na dezintegracji ośrodka skalnego w otoczeniu wyrobiska. Dlatego właściwe zorientowanie frontów eksploatacyjnych względem kierunków rzeczywistego osłabienia górotworu może także w całym cyklu prowadzonych prac powodować zmniejszenie stanu zagrożenia.

Istotne do określenia wpływu kierunku eksploatacji pokładów węgla na stan zagrożenia tąpnięciami były dane statystyczne o tąpnięciach zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego w latach 1989–2001. Konfrontacja udziału łupności czy uskoków z geologiczno-górnictwem uwarunkowaniami eksploatacji wskazuje na możliwość ograniczania zagrożenia tąpnięciami, poprzez właściwe ustalenie kierunku biegu ścian względem zalegania pokładu, szczególnie zaś przy uwzględnianiu płaszczyzn strukturalnych osłabień naturalnych i eksploatacyjnych.

Wnioski zawarte w pracy odnoszą się do sposobu określania stref zaangażowania tektoniki lokalnej, warunków dopuszczalnych i zalecanych kierunków zorientowania frontów eksploatacyjnych względem kierunków zalegania płaszczyzn osłabienia spoistości górotworu.

Uwzględnienie powyższych ustaleń przy opracowywaniu projektów eksploatacji pozwoli na poprawę bezpieczeństwa pracy i umożliwi selektywny dobór aktywnej profilaktyki tąpniowej.

Rockbursts with regard to the directions of weakening the rock mass

Summary

The rockburst hazard is significantly influenced, apart from geological conditions, by underground working, both in the seam and in those located below and above. The disturbance in the induced seismicity result from, among the other things, the remainders, edges or excessive splitting of the seam

with headings. The consequences of former mining events play, in the majority of panels, an important stress – relieving role or concentrate the stress, often over large surfaces of longwall panels.

An additional problem, including the probability of generation of numerous tremors, also high-energy ones, is the presence of faults in the longwall panel with the thrusts likely to be passed by the longwall front. In this connection, with the aim to select properly the sort and scope of the rockburst prevention methods, it is important to determine the distance of the mining front from the fault plane, at which the seismic activity of the rock mass changes, and thereby the rockburst hazard condition. The unambiguous information in this field was obtained from analyses of the conditions of rockbursts that occurred in the fault zones and outside them. The rockbursts which occurred in the regions of the effects connected with local tectonics have revealed that the induced seismic activity at a distance of ± 50 m from the fault is comparable, which points at the range of influence of the fault.

With the aim to illustrate the effects of the rock mass on mine workings, of importance is the knowledge of conditions of the overburden deposition in the regions of mining, in that spatial orientation of the rockburst hazard condition, and of proper designing and location of mining fronts. As a rule, the reduction of the rockburst hazard is obtained through the use of prevention relying on disintegration of the rock environment in the surroundings of the working. Therefore, an adequate orientation of mining fronts in relation to real weakening of the rock mass can also result in reduction of the level of hazard, in the entire cycle of the work performed.

Important for determining the effects of the direction of extraction of coal seams were the statistical data on the rockbursts that occurred in the hard coal mines over the years 1989–2001. The share of cleavage or faults confronted with the geological – mining condition of mining operations conducted points at the possibility of limiting the rockburst hazard through proper determining the directions of the longwall advance in relation to the seam deposition, and, in particular when taking into account the planes of structural weakening, both natural and resulting from mining.

The conclusions included in the study relate to the method of defining the zones of engagement of local tectonics, admissible conditions and recommended directions of orientation of mining fronts in relation to directions of deposition of the planes of weakened cohesion of the rock mass.

The consideration of these findings in designing the plans of mining will enable to improve the safety at work and will make the selective selection of rockburst prevention possible.

1. WPROWADZENIE

W opracowaniach poświęconych tematyce tąpnięć prawie zawsze jako przyczyna zagrożenia tąpnięciami są podawane niekorzystne warunki zalegania pokładu. Dlatego też dobra znajomość warunków zalegania nadkładu w rejonach eksploatacji, w tym przestrzennej orientacji sieci osłabionej spójności skał, powinna być czynnikiem niezbędnym do właściwej oceny stanu zagrożenia tąpnięciami oraz właściwego zaprojektowania i usytuowania frontów eksploatacyjnych. W praktyce górniczej zmniejszenie zagrożenia tąpnięciami uzyskuje się przez stosowanie profilaktyki, polegającej na dezintegracji ośrodka skalnego w otoczeniu wyrobiska. A zatem właściwe zorientowanie frontów eksploatacji względem kierunków osłabienia górotworu może w całym cyklu prowadzonych prac eksploatacyjnych spowodować zmniejszenie stanu zagrożenia tąpnięciami.

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

Celem analizy płaszczyzn osłabionej spoistości górotworu, przedstawionej w niniejszym artykule jest zwrócenie uwagi na problem zagrożenia wstrząsami, których wielkość i częstość zależą od struktury górotworu, wzajemnego usytuowania płaszczyzn osłabionej spoistości górotworu i kierunku przemieszczania się frontów ścian.

Podstawę do określania wpływu kierunku eksploatacji pokładów węgla na stan zagrożenia tąpnięciami stanowią dane o tąpnięciach, zbierane w ramach statystyki tąpnięć. Konfrontacja uzyskiwanych wyników z geologiczno-górnictwymi uwarunkowaniami eksploatacji wskazuje na możliwość ograniczenia zagrożenia tąpnięciami przez właściwe usytuowanie kierunku biegu ścian względem zalegania pokładu, szczególnie zaś przy uwzględnieniu płaszczyzn strukturalnych osłabień górotworu, naturalnych i eksploatacyjnych. Najistotniejszym problemem, powodującym zakłócenia właściwego biegu ścian we wszystkich niemalże warunkach dołowych i polach eksploatacyjnych, są znaczące i najbardziej widoczne zmiany struktury górotworu, w tym głównie łupność i uskoki. Przechodzenie frontem ścian przez strefy uskokowe, w istotny sposób zaburza ich planowy bieg.

Występowanie dużej liczby spękań naturalnych (pierwotnych) w czole ściany i jej 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. Znajomość zależności przestrzennej sieci powierzchni osłabionej spoistości, nieudostępionych pól jest sprawą ważną 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, rezultatem proponowanych rozwiązań, jest sposób określania stref zaangażowania tektoniki lokalnej i warunków dopuszczalnych oraz zalecanych kierunków zorientowania frontów eksploatacyjnych względem kierunków naturalnego osłabienia górotworu.

Wnioski odnoszą się do zaistniałych tąpnięć z ostatnich 11 lat. Podstawą do uogólnienia kryteriów doboru kierunku biegu ścian w zależności od cech strukturalnych górotworu był obszerny materiał archiwalny w postaci *Katalogu tąpnięć w GZW...* [39].

2. KONCEPCJA ROZWIĄZANIA PROBLEMU

Przeważa pogląd, że zjawiska sejsmiczne indukowane w kopalniach działalnością człowieka mają związek z kierunkiem biegu ścian w stosunku do kierunku nieciągłości tektonicznej oraz struktury górotworu. Pomimo istniejącego przekonania o decydującej roli czynników geologiczno-górnictwowych w generowaniu wstrząsów, zaproponowane i często spotykane modele, metody lub sposoby klasyfikacji dotyczą wycinkowych aspektów tego zjawiska. Analizując wpływ czynników naturalnych na

stan zagrożenia tapaniami w większości opracowań autorzy nie poświęcają należytej uwagi spękanom górotworu. Najczęściej pojawia się tylko stwierdzenie, że przyczyną niekorzystnego zachowania górotworu w otoczeniu wyrobisk eksploacyjnych, są jego spękania. Są one jednak pomijane w projektach, pomimo, że należą do najważniejszych pod względem praktycznym, elementów środowiska geologicznego zarówno w górnictwie węglowym, jak i rud miedzi. Nie zagłębiając się w obszerną tematykę zależności kierunków osłabionej struktury i kierunków prowadzenia prac górniczych, można stwierdzić, że znajomość kierunków spękań, rodzaju i gęstości szczelin, morfologii, a także genezy, jest i będzie niezbędna do ekonomicznego i bezpiecznego prowadzenia prac górniczych w każdych warunkach dołowych.

Brak kompleksowych rozwiązań praktycznych, dotyczących wpływu kierunku eksploatacji na zagrożenie tapaniami, był przyczyną podjęcia takiego tematu pracy. Podstawę jej stanowiła obszerna dokumentacja tapanieć zaistniałych w latach 1989–2001.

Dokładne określenie zasięgu stref naprężeniowo-deformacyjnych wokół wyrobisk wybierkowych jest jak dotąd skomplikowane. Wynika to przede wszystkim z oddziaływań wyrobisk wybierkowych na górotwór, różnorodności skał i ich własności geomechanicznych. Warunki górnictwo-geologiczne czynią problematycznymi założenia co do jednorodności, izotropowości i (często też) ciągłości analizowanego masywu górotworu. Sam system eksploatacji, a ściślej mówiąc, systemy kierowania stropem (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 i wyniki pomiarów z obserwacji prowadzonych w kopalniach.

Upowszechnienie uzyskanych wyników z pracy może przyczynić się do ograniczenia występowania wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu i wynikających stąd zagrożeń załóg górniczych.

3. TEKTONIKA GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Badania [12, 13, 45], a następnie wyjaśnienie związków między sejsmicznością obszarów górniczych a własnościami i parametrami systemów spękań oraz uskoków, pozwalają na określenie wielkości zagrożenia wstrząsami indukowanymi eksploatacją złoża.

Znajomość struktury górotworu, także optymalne i bezpieczne rozcięcie i eksploatacja złoża są ważne szczególnie w pobliżu stref uskokowych. Można przypuszczać, że dokładne poznanie tektoniki, w połączeniu z odpowiednio zaprojektowaną profilaktyką, pozwolą na ograniczenie oraz zmniejszenie energii generowanych wstrząsów. Przy prowadzeniu eksploatacji na dużych głębokościach, w warunkach wysokich naprężeń tektonicznych, pomocne jest formowanie odpowiedniej strefy spękań wokół wyrobisk górniczych, zwłaszcza z uwzględnieniem pierwotnej struktury górotworu, przy dochodzeniu frontów eksploatacji do uskoków.

W większości publikacji [15, 25, 29, 31, 44], gdzie analizowano wpływ czynników naturalnych na stan zagrożenia tąpnięciami, nie poświęcono należytej uwagi płaszczyznom osłabionej spójności górotworu. Mimo to A. Goszcz i M. Kuś [30] twierdzą, że na pewno wpływają one na jego wytrzymałość – ich analiza umożliwiła jakościową ocenę pól naprężeń i warunkuje optymalną orientację frontów eksploatacyjnych.

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 [8, 24], o czym wspominał także A. Sałustowicz [59], że niejednokrotnie po zaistnieniu zjawiska dynamicznego widocznie są w stropie głębokie szczeliny, których przed tąpnięciem nie było. Wcześniejsze badania W. Budryka [6] także wykazały, że spękania takie tworzą się regularnie co 80 m wzdłuż linii łupności górotworu, a miejsca tąpnięć pokrywają się dokładnie z tymi liniami.

W wyniku procesów tektonicznych pierwotne formy zalegania złóż skalnych uległy zakłóceniom [56, 57], wytworzyły się bowiem w nich sfałdowania, spękania, uskoki, intruzje. Spękania powstały w wyniku działania dużych naprężeń rozciągających lub ścinających, które nie zawsze muszą ujawniać się w postaci szczelin. Mogą to być jedynie układy powierzchni osłabionej spójności, bez dostrzegalnego rozdzielania materiału pierwotnego. Powierzchnie spękań grupują się przeważnie w różne układy w przybliżeniu równoległych płaszczyzn z określoną orientacją przestrzenną. Ilościowo stopień spękania masywu skalnego można określić wskaźnikiem gęstości spękań, który stanowi średnią odległość między płaszczyznami spękań w wyróżnionym układzie jego płaszczyzn. Jeżeli spękanie jest rozwarte – tworzą one szczelinę. W zasadzie każdy masyw skalny jest w mniejszym lub większym stopniu spękany.

3.1. Deformacje nieciągłe – uskoki

Uskok to struktura utworzona w wyniku przerwania ciągłości skał i przesunięcia rozspojonych części wzdłuż tak zwanej powierzchni uskokowej lub strefy uskokowej, powstających w procesie ścinania. Proces ten dokonuje się dwoma sposobami: przez rozspojenie ośrodka pierwotnie ciągłego – wówczas mówi się o uskoku pierwotnym – lub przez ślizg wzdłuż istniejącej powierzchni nieciągłości, którego rezultatem jest uskok wtórny. Warstwy skalne przesunięte wzdłuż płaszczyzny uskoku w dół noszą nazwę skrzydła zrzuconego, warstwy nienaruszone lub podniesione – skrzydła wiszącego. Ilościowo uskok charakteryzują: kąt kierunkowy rozciągłości, kąt upadu powierzchni uskokowej oraz wysokość zrzutu uskoku, tzn. pionowa odległość skrzydeł. Uskoki występują przeważnie w zespołach, tworząc rozległe strefy uskokowe.

Analiza mapy tektonicznej północnej części GZW, na której zaznaczono uskoki o zrzucie większym od 1 m, pozwoliła na wydzielenie czterech ich systemów [34, 35]:

- system 1 o orientacji azymutalnej kierunku upadu $2\div 182^\circ$,
- system 2 o orientacji azymutalnej kierunku upadu $135\div 315^\circ$,
- system 3 o orientacji azymutalnej kierunku upadu $50\div 230^\circ$,
- system 4 o orientacji azymutalnej kierunku upadu $95\div 275^\circ$.

Wyznaczone kierunki odpowiadają czterem różnym fazom górotwórczym. W praktyce oznacza to, że jeżeli wyrobiskiem górniczym napotka się na nieudokumentowany dotychczas uskok, można z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć jego przebieg, przypisując go do jednego z wyżej wymienionych systemów. Dowiedziano także, że istnieje wyraźna zgodność pomiędzy orientacją uskoków a orientacją spękań kliważowych (łupności). Dlatego też istnieje możliwość optymalnego zaprojektowania eksploatacji w stosunku do występującego kliważu.

Dotychczasowe obserwacje uskoków, polegające na określaniu ich przestrzennego rozmieszczenia i położenia względem głównych struktur fałdowych, pozwalają na znalezienie zależności genetycznych między strukturami tektonicznymi w badanym górotworze. Sporządzenie charakterystyki powierzchni stref uskokowych umożliwi prześledzenie przebiegu dyslokacji w przekroju pionowym i w płaszczyźnie poziomej. Obserwowano i opisano [66] cechy geometryczne uskoków we wszystkich badanych obszarach górniczych oraz pomierzono ich orientację przestrzenną. Pobieżna analiza wykazała, że zdecydowana większość z nich zapada pod bardzo stromymi kątami (powyżej 95% ogólnej liczby pomierzonych powierzchni uskoków ma kąt upadu nie mniejszy od 75°). Są to systemy uskoków o kierunkach:

- *NW-SE* – które mają orientację zbliżoną do dyslokacji podłużnych względem osi struktur fałdowych, są to przede wszystkim strome uskoki normalne.
- *SW-NE* – które zajmują pozycję uskoków poprzecznych do osi struktur fałdowych.
- *N-S* – które stanowią najliczniejszą grupę dyslokacji w badanym terenie. Charakterystyczną cechą tych struktur jest szeroka, dochodząca nawet do 300 m strefa uskokowa, złożona z wielu szczelin, z przestrzenią międzyszczelinową wypełnioną brekcją tektoniczną lub iłem tektonicznym i silnie zaangażowanym tektonicznie węglem ze skupieniami pirytu. Warstwy skał karbońskich w sąsiedztwie uskoków są wyraźnie zaburzone. Węgiel kamienny jest pocięty na płyty o formach wykluczających pochodzenie sedymentacyjno-erozyjne deformacji. Silnie zaangażowane tektonicznie są także skały płonne, zwłaszcza iłowce i mułowce. Widoczne są ugięcia przyuskokowe. Spotykana jest zmienność upadu powierzchni uskokowych w pionie. Omówione cechy strefy ślizgowej pozwoliły na zaszeregowanie uskoków do grupy struktur pierwotnych [38]. Większość nieciągłości południkowych składa się niemal w 100% z uskoków normalnych. Tworzą one system skomplikowanych rowów i zrębów tektonicznych, którego oś jest zbliżona do przebiegu uskoku wojkowicko-będzińskiego. Tego typu szereg tworzył się w przesuwczym okresie deformacyjnym.
- *W-E* – które mają niewielki procentowy udział w tektonice dysjunktywnej zbadanego obszaru. Ich bezpośrednie obserwacje wykazały różnice charakteru pod względem nieciągłości. W konsekwencji ich obecność uzupełnia obraz nieciągłej deformacji górotworu karbońskiego.

Mając na uwadze duże zróżnicowanie form stref uskokowych, liczni badacze zaproponowali różne klasyfikacje uskoków. I tak, A. Kidybiński [41], na podstawie wyników badań prowadzonych między innymi przez M. Skinderowicza [60],

opracował podział nieciągłych deformacji tektonicznych z uwzględnieniem kryterium geometrycznego. Wydzielił on siedem głównych form deformacji, a w nich uskoki: normalne, odwrócone, pionowe, poziome, leżące, spękania oraz zgniecenia warstw.

Badania W. Wojnara [69] pozwoliły na opracowanie geotechnicznej klasyfikacji uskoków, obejmującej cztery główne klasy, tj.: uskoki regionalne, lokalne, miejscowe oraz pokładowe.

Próbie podziału uskoków podjął także J. Górecki [36], dzieląc je na dwie klasy:

Klasa I – to uskoki regionalne, o zasięgu przekraczającym rozmiary obszarów górniczych i rzutcie $h \gg 10$ m (najczęściej od kilkudziesięciu do kilkuset metrów),

Klasa II – to lokalne uskoki właściwe danemu obszarowi górnictwu, które podzielone są na grupy:

- grupa 1 - uskoki o zrzutach $h > 10$ m,
- grupa 2 - uskoki o zrzutach od 10 do kilku metrów,
- grupa 3 - uskoki pokładowe, o zrzutach od kilku m (na ogół nie więcej niż 2÷3 m) do 0,2 m,
- grupa 4 i 5 - uskoki o zrzutach $h < 0,2$ m i paraklasy, nierejestrowane na mapach górniczych, praktycznie bez znaczenia jako elementy tektoniczne naruszające ciągłość złoża.

Na podstawie najnowszej klasyfikacji uskoków R. Dadleza i W. Jaroszewskiego [9] sporządzono geometryczny ich podział według:

- kąta upadu powierzchni uskokowej: uskoki pionowe, strome, połogie (lisferyczne) i poziome,
- kierunku ruchu uskokowego względem orientacji powierzchni uskokowej: uskok zrzutowy w tym uskok normalny, odwrócony i progowy; uskok przesuwczy, lewoskrętny lub prawoskrętny, uskok zrzutowo-przesuwczy jako: normalno-przesuwczy, inwersyjno-przesuwczy, progowo-przesuwczy,
- toru ruchu uskokowego: uskok translacyjny, rotacyjny,
- zwrotu ruchu uskokowego względem struktury ogólnej: uskok antytetyczny, homotetyczny,
- przebiegu uskoków względem ogólnego trendu strukturalnego: uskok podłużny, poprzeczny, skośny.

Uskoki regionalne i duże lokalne rozgraniczają obszary górnicze i dzielą je na bloki eksploatacyjne. Każdy z bloków zazwyczaj wymaga osobnego udostępnienia, wobec czego ilościowa charakterystyka intensywności występowania uskoków regionalnych i dużych lokalnych nabiera istotnego znaczenia w pracach projektowych.

3.2. Strukturalne osłabienie skał – spękania i lupność

Budowę wewnętrzną skał charakteryzuje struktura i tekstura. Według T. Ryncarza [57] pod pojęciem struktury skały rozumie się te właściwości jej budowy, które uwarunkowane są rozmiarami oraz kształtem i charakterem powierzchni ziaren mineralnych (dla skał spoiстых i zwięzłych) lub okruchów skalnych (dla skał okruchowych). Z kolei pod pojęciem tekstury skał rozumie się te ich właściwości,

które uwarunkowane są sposobem przestrzennego ułożenia ziaren oraz stopniem wypełnienia przez nie przestrzeni zajmowanej przez skałę. 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 jest wynikiem różnych procesów fizycznych, którym podlegały skały w czasie tworzenia się i w okresie późniejszym, na przykład: kurczenia się magmy podczas stygnięcia lub poślizgu wywołanego ruchami tektonicznymi. Drugą cechą tekstury jest uwarstwienie skał uwarunkowane kolejnością powstawania nakładających się utworów skalnych o różnym składzie chemicznym i mineralnym, różnej ziarnistości lub różnej orientacji ziaren. Płaszczyzny rozdzielające poszczególne warstwy, czyli płaszczyzny uwarstwienia, są przeważnie również płaszczyznami o osłabionej spójności. Zwykle układ płaszczyzn łupności nie pokrywa się z układem płaszczyzn uwarstwienia.

Łupność skał stropowych określona *in situ* [27], która dla procesu ruchu skał w otoczeniu wyrobiska wybierkowego ma znaczenie podstawowe, jest od dawna przedmiotem zainteresowania górników. Według K. Pawłowicza [55] łupność górotworu zależy od:

- własności fizykomechanicznych skał, a przede wszystkim ich wytrzymałości na ściskanie, ścinanie oraz zginanie,
- występujących w górotworze płaszczyzn o 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 różnej grubości, wytrzymałości, sztywności i tym podobnych.

Zdolność skał do dzielenia się na bloki wzdłuż pewnych płaszczyzn scharakteryzował M. Nieć [52] i nazwał ją podzielnością. Podzielność pierwotną związaną z budową skały określa się jako teksturalną. W skałach magmowych podzielność taką nazywa się łupnością, a w skałach osadowych warstwowaniem lub łupkowatością. Skoro podzielność pierwotna ma charakter utajony, tzn. nie jest widoczna gołym okiem i ujawnia się dopiero w czasie dezintegracji (odspojenia) skały, w postaci gładkich i regularnych powierzchni odspojenia, a podzielność wtórna ma charakter jawny i występuje w postaci spękań i szczelin, to często terminu łupność używa się na oznaczenie wszelkich form podzielności utajonej, a terminu spękania na oznaczenie jawnych, lecz zwartych typów powierzchni podzielności.

Łupność opisana została także przez W. Jaroszewskiego [37] jako skłonność masywu skalnego do podziału na mniej lub bardziej regularne bloki. Podzielność nie będąca cechą teksturalną skały nazywa się spękaniami lub podzielnością spękania, jest ona jawna. Podzielność spękania wyrażona w postaci wzajemnie prawie równoległych płaszczyzn rozwiniętych na większych przestrzeniach i powtarzających się w pewnych odstępach, nazywa się ciosem. Spękania ciosowe, ułożone względem

siebie prawie równolegle, tworzą zespół ciosowy, natomiast spękania należące do kilku zespołów występujących obok siebie – system (układ) ciosowy. Spękania występujące bardzo blisko siebie (w odległościach mniejszych niż 2 cm) nazywa się kliważem. Płaszczyzny spękań kliważowych odznaczają się na ogół dużą regularnością. Dla spękań ciosowych rozmieszczonych w odległościach co 2÷20 cm proponuje się nazwę cios-kliważ. Zjawiska ciosowej podzielności skał nazywa się tektoniką spękaniaową. Obok regularnych spękań ciosowych obserwuje się w skałach wiele spękań nieregularnych, nietworzących wyraźnych zespołów. Są to zwykle spękania wtórne.

Oprócz podzielności geologicznie pierwotnej i wtórnej w najbliższym otoczeniu wyrobisk podziemnych występują z reguły spękania wywołane odprężeniem górotworu wokół wyrobiska i przebiegające w przybliżeniu równolegle 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.

Należy również wspomnieć o jeszcze jednej z cech skał osadowych – warstwowaniu, polegającym na występowaniu płaszczyzn, na których gromadzą się minerały lub szczątki organiczne niewystępujące w reszcie skały bądź płaszczyzn, które oddzielają warstwy o różnym charakterze petrograficznym. Gdy płaszczyzny uwarstwienia są do siebie równoległe na znacznej przestrzeni, mówi się wtedy o podzielności płytowej, a przy bardzo gęstym warstwowaniu – o łupkowatości.

Najnowszą teorią opisującą strukturę górotworu jest teoria przyjęta przez R. Dadleza i W. Jaroszewskiego [9], zgodnie z którą spękanie to powierzchnia nieciągłości mechanicznej utworzona przez 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 autorów [9] spękania są nie tylko tektoniczne. Należą do nich na przykład rozspojenia powodowane wysychaniem osadu, termicznym skurczem skał magmowych i inne.

Szczegółowe badania terenowe prowadzone przez L. Tepera [66] dotyczyły określania powierzchni spękań i drobnych ślizgów oraz ich orientacji przestrzennej. Mierzona była wyłącznie orientacja spękań pokładów węgla jako ośrodka względnie jednorodnego ze względu na własności fizykomechaniczne. Wiadomo bowiem, że różniące się między sobą litologiczne odmiany skał karbońskich cechują się innymi rozkładami pęknięcia, wywołanymi odmiennymi wartościami kąta ścinania i tarcia wewnętrznego [40] oraz wytrzymałości na ściskanie [5]. W pomiarach uwzględniono uwagę W. Jaroszewskiego [38], to znaczy spękania były mierzone na różnie zorientowanych ścianach i ociosach w celu uniknięcia błędu wyeksponowania jednych kierunków względem innych.

Wiadome jest, że górotwór karboński w otoczeniu wyrobisk górniczych przecinają różnego rodzaju powierzchnie osłabionej spoiwości. Masowością występowania, a tym samym podkreślanym już znaczeniem górniczym, charakteryzują się głównie powierzchnie o osłabionej spoiwości typu warstwowanie i spękanie. Ukształtowanie powierzchni, przede wszystkim zaś wzajemne ich odległości są na ogół różne dla

różnych skał. W wyniku badań struktury górotworu K. Pawłowicz [55] podał następującą charakterystykę powierzchni osłabionej spistości następujących skał:

- węg i e l
najczęściej powierzchniami osłabionej spistości są granice zmian petrograficznych, chociaż zdarza się, że dwie odmienne petrograficznie warstewki węgla są ze sobą scalone, a przenikając w siebie poszczególnymi składnikami – zatracają powierzchnie rozdziału;
- ł u p e k w ę g ł o w y
występujący w stropach pokładów węgla oraz w ich spągach tuż nad lub pod pokładem – powierzchnie o osłabionej spistości to miejsca zetknięcia się węgla i skały płonnej;
- i ł o w c e
szczególnie wyraźnymi powierzchniami o osłabionej spistości są powierzchnie stropowe i spągowe warstw, pocięte i pofałdowane, niejednokrotnie ze śladami poślizgu;
- m u ł o w c e
regularność budowy i zalegania mułowców jest stosunkowo duża; poza normalnymi powierzchniami o osłabionej spistości – powierzchniami stropowymi i spągowymi warstw – obserwuje się w masie skalnej nieregularne wkładki węgla, wzdłuż których lokalnie dochodzi łatwo do rozpadu;
- p i a s k o w c e
powierzchnie o osłabionej spistości są regularne i ciągłe na większym obszarze; powierzchnie stropowe i spągowe nie zawsze stanowią powierzchnie o osłabionej spistości.

Obecność w masywie powierzchni o zmniejszonej spistości typu uławiczenia i kliważu, a tym bardziej spękań i szczelin, powoduje często znaczny spadek wytrzymałości i wzrost odkształcalności skał. Istotny wpływ na zachowanie się skał mają: kąt nachylenia powierzchni spękań w stosunku do kierunków działających obciążeń, liczba i układ systemów spękań, relief powierzchni spękań, stopień wypełnienia szczelin, materiał wypełniający szczeliny, wytrzymałość i współczynnik tarcia skał otaczających szczelinę oraz inne czynniki.

Według A. Sałustowicza [59] płaszczyzny łupności przebiegają zwykle w kierunku zbliżonym do kierunków prostopadłych ($70\div 85^\circ$) do uwarstwienia i są płaszczyznami o osłabionej spistości. **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 ku wyrobisku (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 stropu. Przy stropie słabym, trudnym do utrzymania, ściana powinna przebiegać pod pewnym kątem do łupności, co zapobiega przedwczesnemu zawałowi. 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 caliznę. Przeciwnie przy łupności wiszącej strop zawala się łatwo i przy słabych skałach jest trudniejszy do utrzymania.

4. SEJSMICZNOŚĆ INDUKOWANA A ZAGROŻENIE TAPANIAMI

W związku z tym, że polskie górnictwo charakteryzuje się wysokim poziomem aktywności sejsmicznej indukowanej działalnością górnictwem, dla osiągnięcia postępu, niezbędne jest bardziej wszechstronne rozpoznanie zarówno strukturalnych cech górotworu, jak i mechanizmu procesów zachodzących bezpośrednio w ognisku wstrząsu [14]). Zależności między rodzajem mechanizmu a położeniem ogniska wstrząsu w stosunku do frontu ściany potwierdzają tworzenie się blokowej struktury górotworu odprężonego, szczególnie przed frontem eksploatacji, przejawiającej się jako rozspajanie mocnych i grubych kompleksów skalnych i jako poprzeczne pęknięcia.

Wielu badaczy problem ognisk wstrząsów górniczych rozumie jako określenie przestrzennego położenia płaszczyzny pęknięcia w ognisku lub wywołujących go sił. Dotychczasowe badania dowodzą, że źródła sejsmiczne mogą być podzielone na objętościowe i na te, które wywołane są procesami poślizgu. Analogią pierwszego typu źródeł są eksplozje materiałów wybuchowych. Drugi typ źródeł sejsmicznych związanych z procesami poślizgu charakterystyczny jest dla samowyzwalających się procesów dynamicznych, na przykład zjawisk sejsmicznych pochodzenia górniczego, które są przedmiotem badań mikrograwimetrycznych [18, 19, 23], sejsmologii i sejsmoakustyki górniczej.

Według A. Goszcza [34] sama tektonika nie ma bezpośredniego wpływu na występowanie wstrząsów. Wyraźny wpływ mają natomiast naprężenia tektoniczne, które w przeszłości spowodowały zmianę własności geomechanicznych górotworu. Pod wpływem naprężeń tektonicznych w masywie skalnym, powstały spękania o różnych wymiarach, i uporządkowanej orientacji przestrzennej, wymuszonej przez rozkład naprężeń głównych. Konsekwencją tych spękań jest anizotropia wytrzymałościowa górotworu. Dlatego skały o większej wytrzymałości załamują się wzdłuż kierunków osłabienia, a ponieważ pęknięcie wyższego stropu jest jedną z przyczyn wstrząsów, należy oczekiwać, że ogniska wstrząsów powinny się układać wzdłuż tych kierunków.

A. Goszcz [34] wykazał, że w rejonach, w których występowały wstrząsy górnicze i tapania, podczas ruchów górotwórczych wszystkie trzy główne naprężenia w skałach były ściskające, następowała kompakcja skał, która powodowała wzrost ich wytrzymałości i sprężystości. Tym samym naturalna predyspozycja skał do akumulacji energii i nagłego jej wyzwolenia została zwiększona. W takich rejonach koncentrują się ogniska wstrząsów górniczych.

W wyniku badań nad mechanizmami powstawania wstrząsów w przypadkach podwyższonego stanu zagrożenia sejsmicznego K. Stec [62] stwierdziła, że:

1. W przypadku eksploatacji prowadzonej w warunkach nienaruszonego górotworu – dominującym typem ognisk są ogniska charakteryzujące się mechanizmem poślizgowym z poziomym kierunkiem ruchu w ognisku. Procesy pękania zachodzące w górotworze można korelować z I i II początkową fazą pękania górotworu w rozumieniu J. Drzewieckiego [10].
2. Jeżeli eksploatacja prowadzona jest w rejonach odprężonych przez wybranie pokładów leżących powyżej rejonów eksploatacji – to zaistniałe wstrząsy określa mechanizm ognisk typu poślizgowego normalnego. Procesy pękania zachodzące w górotworze odzwierciedlają procesy wyższej fazy niszczenia skał stropowych jako III faza pękania górotworu [10].
3. Przy eksploatacji prowadzonej pod krawędziami pokładów nadległych – występujące wstrząsy są wynikiem ognisk poślizgowych normalnych lub odwróconych, o azymutach płaszczyzn pękania równoległych do rozciągłości uskoków oraz o upadach odpowiadających upadom płaszczyzn uskokowych.
4. W przypadku prowadzenia eksploatacji w strefach uskokowych, szczególnie niebezpieczną sytuację dla wyrobisk ścianowych obserwowano wówczas, gdy zaczynały dominować wstrząsy o charakterze poślizgowym odwróconym, których oś skierowana była w stronę wyrobisk.

Z. Kłeczek i A. Zorychta [43], na podstawie mechanizmu i warunków powstawania wstrząsów, dokonali ich podziału na:

- wstrząsy powstające nad calizną – będące skutkiem zginania warstw stropowych i ich pękania,
- wstrząsy powstające w zrobach – będące efektem utraty stateczności blokowej struktury górotworu, wynikającej ze spękania warstwy o dużej wytrzymałości i sztywności,
- wstrząsy będące skutkiem uaktywniania się zaburzeń uskokowych; wstrząsy te należą do najrzadziej analizowanych; próba wyjaśnienia tego typu zjawiska polegała dotychczas na potraktowaniu uskoku jako propagacji szczeliny.

Dotychczasowe badania nad mechanizmem tworzenia się ognisk wstrząsów wskazują, że jest on matematycznie opisywany podwójną parą sił, działających w ognisku punktowym, co najlepiej odpowiada modelowi ogniska wstrząsu górniczego i warunkom geomechanicznym, tworzącym się w strefie formowania ogniska [26, 50, 61]. Zatem mechanizm tworzenia się ogniska odpowiadający modelowi ścinania stanowił, w tym przypadku, podstawę rozwoju metod określania parametrów płaszczyzny ścinania.

Szczegółową analizą wstrząsów górniczych w strefie bliskiej uskoku zajął się G. Mutke [51], który dowiódł, że zapisy takich wstrząsów stanowią doskonały materiał do weryfikacji badań nad mechanizmami tworzenia się ognisk wstrząsów górniczych i wyznaczonymi dla nich parametrami.

Analiza związku sejsmiczności z budową tektoniczną i przebiegiem eksploatacji w obszarze górniczym wykonana przez G. Sagana i W. Zuberka [58] wykazała, że głównymi czynnikami odpowiedzialnymi za występowanie wstrząsów są: wielkość

wyekspluowanej 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.

Badania geofizyczne wykonywane przez A. Goszcza [33] i L. Tepera [66] nie wykazały korelacji między dyspersją ognisk wstrząsów a strukturą masywu skalnego. Rozmieszczenie ognisk wstrząsów pokrywało się z kierunkiem osłabienia górotworu, i tym samym wskazywało na deformację nieciągłą danego rejonu. Według A. Goszcza [35], ogniska wszystkich wstrząsów o energiach większych od 10^5 J, zlokalizowane są wewnątrz obszarów kompaktacji.

Badania korelacji między tektoniką a aktywnością sejsmiczną górotworu prowadził J. Dubiński [17]. 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 sejsmologicznej.

Próbie korelacji parametrów zuskokowania obszarów niecki bytomskiej i siodła głównego z parametrami aktywności sejsmicznej odpowiednich obszarów przeprowadzili G. Sagan i W. Zuberek [58]. Na podstawie analizy związków statystycznych między wskaźnikami budowy tektonicznej a wskaźnikami aktywności sejsmicznej wykazali ścisłe zależności między obydwoma zjawiskami (bez i z uwzględnieniem wielkości zrztu), wynikające przede wszystkim z liczby wstrząsów oraz z wielkości 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.

H. Marczak [48, 49] uważał, że każdy wstrząs jest skutkiem przebiegającego w górotworze określonego procesu pęknięcia. Zjawiska poprzedzające wystąpienie wstrząsu, charakteryzują się odpowiednimi własnościami i mogą być uznane za jego prekursorzy.

Obserwowany w ostatnich latach rozwój metod pomiarowych [8] umożliwia lepsze rozpoznanie procesów (geodynamicznych) pęknięcia, zachodzących w górotworze otaczającym 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 [7].

M. Kwaśniewski [46], korzystając z programu komputerowego metody elementów odrębnych UDEC, zbudował płaski, strukturalny i fizyczny, numeryczny model wycinka górotworu z kopalni „Staszic”. Była to prostokątna tarcza grubości 1 m, 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 M. Kwaśniewski badał pola 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 posłużyły M. Kwaśniewskiemu do wykonania modelu graficznego. Przedstawia on stan naprężeniowo-deformacyjny 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 [1, 2, 3].

Obliczenia numeryczne wykonane przez zespół, w skład którego wchodził: T. Majcherczyk, A. Tajduś i M. Cała [47], potwierdziły wpływ płaszczyzn osłabionej spoiwości, ze szczególnym uwzględnieniem uskoków, na wzrost zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami. Dowiodły istnienia 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 w modelu wynika, że strefy maksymalnych koncentracji naprężeń, a tym samym największego zagrożenia tąpnięciami, występują w odległości do około 40 m od uskoku.

Podobne analizy prowadził A. Tyrała z zespołem w 1975 roku [67], a wyniki ich doświadczeń z zakresu oddziaływania uskoku tektonicznego na przebieg deformacji wskazały na zależność tego procesu od cech geologicznych i geometrycznych, charakteryzujących uskok oraz od usytuowania pola eksploatacyjnego względem płaszczyzny uskoku.

Powyższe doświadczenia wykazały, że w przypadku eksploatacji pokładów węgla w rowie tektonicznym złożonym z dwóch uskoków, z uwagi na zagrożenie tąpnięciami, bezpieczniej jest najpierw prowadzić eksploatację po obu stronach uskoku, a następnie między nimi.

Badania nad sejsmicznością indukowaną działalnością górniczą kopalń wykazały istnienie wstrząsów wynikających z różnych przyczyn i procesów ich powstawania [11, 20, 21, 22]. Najwięcej wstrząsów indukowanych jest eksploatacją górniczą. Ogniska ich leżą w pobliżu wyrobisk górniczych. Ten rodzaj sejsmiczności

w warunkach GZW był przedmiotem szczegółowych badań Z. Wierzchowskiej [68], A. Kijki [42], B. Syrka i A. Kijki [63] oraz innych badaczy i praktyków (A. Bilińskiego [4], H. Marcaka [48], A. Goszcza [33], J. Dubińskiego [17], E. Głowackiej i A. Kijki [28]). Specyfika prowadzonej eksploatacji oraz lokalne stany naprężeniowo-deformacyjne ukształtowane przez sytuację geologiczno-górnictwiczną mają istotny wpływ na poziom i rozkład przestrzenny oraz energetyczno-ilościowy tego rodzaju sejsmiczności. Stąd wynika wniosek o istnieniu zależności pomiędzy aktywnością sejsmiczną górotworu a działalnością górnictwiczną. Rzadziej wstrząsy są związane z występowaniem aktywności sejsmicznej pozostającej tylko w częściowej zależności z eksploatacją górnictwiczną. Przyczyn jej wystąpienia należy dopatrywać się zarówno w regionalnych zmianach naprężeń wynikających z działalności górnictwicznej w dużych polach eksploatacyjnych: kilka ścian, oddziałów wydobywczych, kopalń, jak i w istniejących naprężeniach tektonicznych powiązanych ze strefami zaburzeń geologicznych tektoniki pierwotnej (uskoki) [32, 41, 64, 65, 70].

5. TĄPIANIA A KIERUNKI OSŁABIENIA GÓROTWORU

Rezultaty badań empirycznych uzyskane w konkretnych warunkach geologiczno-górnictwicznych, nawet potwierdzone wynikami badań analitycznych, mogą mieć wartość ogólną tylko w przypadku ich zgodności z szeroko rozumianą działalnością górnictwiczną. Dlatego też w celu zweryfikowania poglądów literaturowych oraz uzyskania ilościowych ocen wpływu nieciągłości na występowanie tąpnięć przeprowadzono analizę uwarunkowań geologiczno-górnictwicznych tąpnięć zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego w latach 1989–2001. Warunki ich występowania, udokumentowane w *Katalogu tąpnięć w GZW* [39, 53], zestawiono syntetycznie w pracy doktor-skiej autorki [54].

5.1. Analiza warunków występowania tąpnięć

W latach 1989–2001, zgodnie ze statystyką tąpnięć [39], w kopalniach węgla kamiennego wydarzyły się 102 tąpnięcia. W większości przypadków skutki tego zjawiska wystąpiły w wyrobiskach wykonywanych w pokładach grupy 500, tylko dwa w pokładzie 414/1 w kopalni „Śląsk” oraz trzy w pokładach grupy 600. Głębokość zalegania pokładów wynosiła 400÷1120 m, a grubość 1,2÷14,4 m. Tąpnięciom towarzyszyły wstrząsy górotworu o energii rzędu 10^4 ÷ 10^8 J. Kąt upadu pokładów wynosił 3÷20°, tylko w przypadku pokładu 620 ZWSM Jadwiga był większy i wynosił 20÷31°. Kierunki upadu warstw w rejonach, w których obserwowano skutki tąpnięć były następujące:

- południowy – 36 tąpnięć,
- południowo-wschodni – 11 tąpnięć,
- południowo-zachodni – 55 tąpnięć.

Charakterystyczna dla tąpnięć wysokość wyrobisk wynosiła 1,5÷3,6 m, przy czym w większości, bo w 64 przypadkach, skutki stwierdzono w otoczeniu ścian (tj. w chodnikach przyścianowych oraz przecinkach ścianowych). Pozostałe 38

tapnięć wystąpiło w wyrobiskach chodnikowych drążonych lub istniejących, niezwiązanych bezpośrednio z robotami eksploatacyjnymi. Z zestawienia tapnięć wynika, że skutki w postaci uszkodzonych wyrobisk lub ich zniszczenia wystąpiły w 43 ścianach zawałowych i 21 ścianach podsadzkowych.

Analiza wpływu uskoków lokalnych znajdujących się najbliżej miejsc skutków tapnięć pozwala na następujące stwierdzenia:

- 81 tapnięć zlokalizowano w strefach uskoków lokalnych o zrzutach dochodzących do kilkunastu metrów,
- 14 tapnięć zaistniało w otoczeniu dużych uskoków (charakterystycznych dla struktury tektoniki pierwotnej) o zrzutach dochodzących do 140 m,
- 7 tapnięć nie dotyczyło otoczenia uskoków.

Charakterystyka miejsc tapnięć na podstawie zebranych materiałów opisowych i map górniczych pozwala na usystematyzowanie usytuowania frontu robót (ścian lub chodników) względem najbliższego uskoku. Stąd jednoznaczna ocena dotycząca zaliczania frontów do skrzydeł wiszących lub zrzuconych, a określona na podstawie zalegania płaszczyzn uskokowych w ich bezpośrednim otoczeniu. Odnotowano 53 przypadki, w których front robót górniczych znajdował się w skrzydle zrzuconym, natomiast w skrzydle wiszącym zaistniały 42 tapnięcia. W pozostałych pięciu przypadkach tapnięcia nie były związane z uskokami. Dwa tapnięcia spowodowały skutki w ścianach, w których front pół ścianowych znajdował się w otoczeniu, ale wzdłuż płaszczyzn uskokowych.

Analizowane tapnięcia wystąpiły w następujących odległościach od płaszczyzny uskokowej:

- do 25 m – 38 tapnięć,
- 26÷50 m – 10 tapnięć,
- 51÷100 m – 5 tapnięć,
- 101÷150 m – 9 tapnięć,
- 151÷200 m – 8 tapnięć,
- >201 m – 23 tapnięcia.

W 9 przypadkach brak jest dokładnych danych odnoszących się do odległości miejsca położenia skutków tapnięcia od uskoku.

Z powyższego zestawienia wynika, że 48 tapnięć (co stanowi 47% rozpatrywanych) spowodowało skutki w wyrobiskach w odległości do 50 m od płaszczyzny najbliższego uskoku. W odległości od uskoku wynoszącej od 51 do 150 m, było 12 tapnięć, w odległości powyżej 201 m – 23.

Ponieważ przeciętny wybieg ścian w kopalniach węgla kamiennego wynosi 600÷700 m, z powyższego zestawienia wynika, że częstość występowania tapnięć, przy odległości frontu ściany od uskoku do 50 m, jest około 10-krotnie większa niż w pozostałym polu wybiegu ściany. W większości przypadków kąt upadu powierzchni tychże uskoków wynosi 30÷60°, w nielicznych przypadkach 90°.

Z map pokładów, w których wystąpiły tapnięcia wynika, że uskoki w 79 przypadkach miały azymut rozciągłości południkowy, w pozostałych 16 – azymut równoleżnikowy.

Ocena ł u p n o ś c i wiszącej lub leżącej w miejscu skutków tąpnięć w stosunku do linii przemieszczającego się frontu robót pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- 53 tąpnięcia zaistniały w przypadku wiszącej łupności stropu w stosunku do kierunku eksploatacji,
- 18 tąpnięć zaistniało w przypadku łupności leżącej,
- stwierdzono 28 tąpnięć:
 - w przypadku kierunków łupności w przybliżeniu równoległych rozciągłością do frontu ścianowego,
 - w przypadku kierunków łupności stropu w przybliżeniu prostopadłych rozciągłością do frontu ścianowego; ten układ spełniał rolę łupności wzdłużnej.

Zestawienie wartości kątów między linią frontu ściany (przodkiem wyrobisk) a rozciągłością łupności (rozumianej jako pionowa podzielność pierwotna górotworu) pozwala na wysunięcie następujących stwierdzeń (tabl. 1):

- 17 tąpnięć zaistniało w warunkach, kiedy kąt pomiędzy azymutem frontu robót a azymutem rozciągłości łupności górotworu był niewielki i wynosił do 10° ,
- przy kącie wynoszącym $21 \div 40^\circ$ zanotowano 29 tąpnięć,
- przy kącie $71 \div 90^\circ$ zanotowano 30 tąpnięć.

Tablica 1. Zależność liczby tąpnięć od kąta zawartego między frontem robót górniczych a łupnością górotworu w rejonie tąpnięcia

Kąt front-łupność, stopnie	Liczba tąpnięć	Udział liczby tąpnięć, %
0÷10	17	17,3
11÷20	2	2,05
21÷30	13	13,3
31÷40	16	16,3
41÷50	10	10,2
51÷60	8	8,2
61÷70	2	2,05
71÷80	14	14,3
81÷90	16	16,3

Na podstawie analizy górotworu w otoczeniu zaistniałych skutków tąpnięć, stwierdzono, że najbezpieczniejsza dla eksploatacji jest rozciągłość łupności, której kąt w płaszczyźnie poziomej w stosunku do linii frontu wynosi $51 \div 70^\circ$ i/lub $11 \div 20^\circ$.

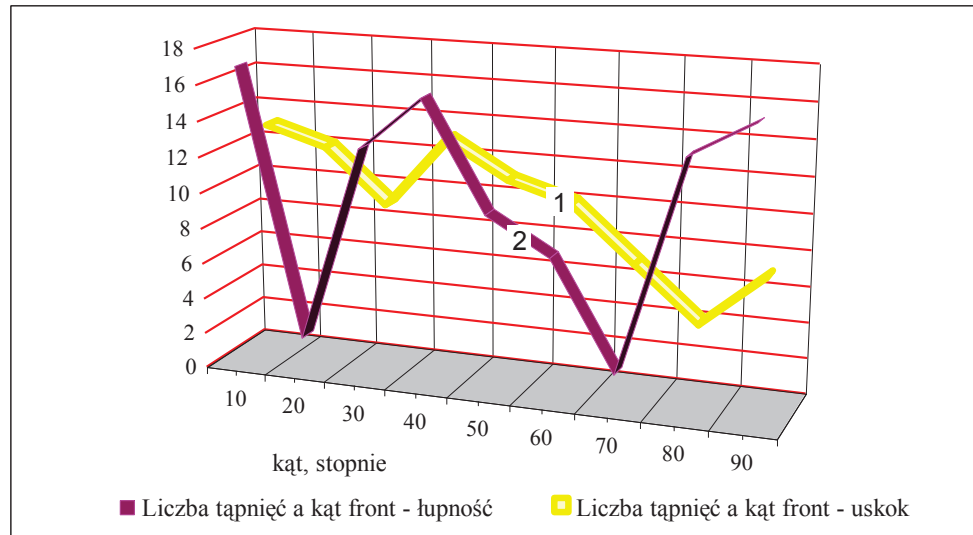
Określenie struktury pierwotnej górotworu w otoczeniu tąpnięć pozwala na ogólną jego charakterystykę, także ocenę azymutów uskoków pierwotnych.

Warunki w jakich zaistniały tąpnięcia w ostatnich trzynastu latach w GZW to przypadki, w których strop cechowała łupność o azymucie rozciągłości zbliżonej lub pokrywającej się z kierunkiem równoleżnikowym – 47 tąpnięć, natomiast z kierunkiem południkowym – 55 tąpnięć.

Liczba tąpnięć jest zależna także od wielkości kąta zawartego między linią frontu a najbliższym uskokiem (tabl. 2, rys. 1). Kąt zawarty między linią frontu ściany lub przodka a płaszczyzną uskoku lokalnego jest najbardziej niebezpieczny, gdy ma wartość $0 \div 20^\circ$ oraz $31 \div 40^\circ$. Generalnie kąt powyżej 60° to udział tąpnięć $4 \div 7\%$. Najmniejsza liczba tąpnięć występuje, gdy wartość kąta wynosi $71 \div 80^\circ$, z czego można wnosić, że wraz ze wzrostem kąta front-uskok maleje liczba tąpnięć. Im kąt front-uskok mniejszy tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia.

Tablica 2. Zależność liczby tąpnięć od wartości kąta układu front-uskok

Wartość kąta front-uskok, stopień	Liczba tąpnięć	Udział liczby tąpnięć, %
<10	13	12,7
11÷20	12	11,8
21÷30	9	8,8
31÷40	13	12,7
41÷50	11	10,8
51÷60	10	9,8
61÷70	7	6,9
71÷80	4	3,9
81÷90	7	6,9
Brak układu front-uskok	16	15,7



Rys. 1. Zależność liczby tąpnięć od kąta zawartego między linią frontu a najbliższym uskokiem oraz linią frontu (1) a łupnością skał stropowych (2)

Fig. 1. Relationship of the number of rockbursts vs. the angle between the front line and the nearest fault and the front line (1) and cleavage of the roof rock (2)

Ocena wpływu odległości skutków tąpnięć oraz ognisk wstrząsów, prowadzi do wniosku, że im odległość mniejsza tym więcej jest tąpnięć (tabl. 3).

Tablica 3. Zależność liczby tąpnięć od odległości ogniska wstrząsów i jego skutków

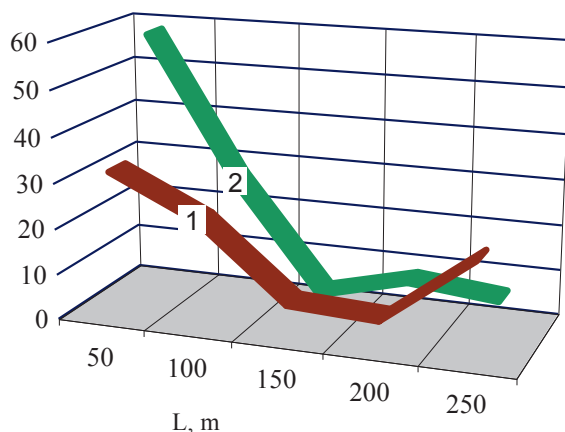
Odległość ognisko-skutek, m	Liczba tąpnięć	Udział liczby tąpnięć, %
<25	28	27,5
26÷50	30	29,4
51÷100	27	26,5
101÷150	3	2,9
151÷200	8	7,8
>200	6	5,9

Z zestawienia (tabl. 3) wynika, że spośród 102 tąpnięć aż 85 zaistniało w odległości do 100 m między epicentrum ogniska wstrząsu i jego skutkiem.

Tablica 4. Zależność liczby tąpnięć od odległości ogniska wstrząsów i uskoku

Odległość ognisko-uskok, m	Liczba tąpnięć	Udział liczby tąpnięć, %
<50	32	31,4
51÷100	23	22,5
101÷150	7	6,9
151÷200	6	5,9
>200	21	20,6
* brak danych, bez uskoku	13	12,7

W strefie uskoku (do 100 m) zaistniało 54% tąpnięć ze skutkami w postaci uszkodzeń i/lub zawałów przestrzeni roboczej wyrobisk górniczych. Statystyki wykazały, że w 60 przypadkach skutki tąpnięć zaistniały w ścianach i/lub chodnikach ścianowych, pozostałe 42 tąpnięcia spowodowały skutki w wyrobiskach chodnikowych. Duża liczba bo 21 wstrząsów, spowodowała skutki w odległości większej niż 200 m od najbliższego uskoku (tabl. 4).



Rys. 2. Wpływ odległości epicentrum ogniska wstrząsu od uskoku na występowanie tąpnięć:
1 – liczba tąpnięć a ognisko – uskok, 2 – liczba tąpnięć a ognisko – skutek

Fig. 2. Effect of the distance of the epicentre of the tremor centre from the fault on the occurrence of rockbursts: 1 – number of rockbursts and tremor centre, 2 – number of rockbursts and tremor centre – effect

Na podstawie powyższej analizy tąpnięć, zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego w latach 1989–2001, można stwierdzić pewną zależność między usytuowaniem linii frontu eksploatacji względem kierunków płaszczyzn osłabionej spistości i powierzchni uskokowych a zagrożeniem tapaniami.

6. WNIOSKI

Omówione w artykule badania nad uskokami oraz płaszczyznami o pomniejszonej spistości i ich związkiem z zagrożeniem tapaniami umożliwiły sformułowanie następujących prawidłowości:

- Kierunek naturalnej łupności górotworu w otoczeniu pokładu zwykle ma nachylenie $70\div 85^\circ$ i jest tożsamy z kierunkiem spękań naturalnych górotworu.
- Najmniejszą aktywność sejsmiczną oraz najkorzystniejszy rozkład naprężeń w stropie w otoczeniu wyrobiska notuje się przy kącie zawartym między linią frontu ściany a poziomym rzutem płaszczyzn łupności wynoszącym $51\div 70^\circ$.
- Zbliżanie się frontem eksploatacyjnym do strefy lokalnego zaburzenia tektonicznego od strony skrzydła zrzuconego uskoku spowodowało o około 10% większą liczbę tąpnięć niż dochodzenie tym frontem do uskoku od strony skrzydła wiszącego.
- Aktywność sejsmiczna, a także liczba tąpnięć wskazuje na około 50-metrową strefę podwyższonego ryzyka w obu skrzydłach uskoku. W strefach tych zanotowano około 44% wszystkich tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego w analizowanym okresie. Biorąc pod uwagę przeciętne wybiegi ścian w przemyśle węglowym rzędu $600\div 700$ m, oznacza to około 10-krotny wzrost stanu zagrożenia tapaniami w odniesieniu do tego zagrożenia w polu eksploatacyjnym bez zaburzeń.
- W odniesieniu do pokładu najmniejsze zagrożenie tapaniami występuje przy nachyleniu płaszczyzn uskokowych względnie płaszczyzn łupności leżącej rzędu $60\div 70^\circ$ (10 tąpnięć). W przypadku łupności wiszącej zagrożenie tapaniami jest wyższe (53 tąpnięcia), przy czym dla tych warunków stosunkowo najmniejsze występuje przy nachyleniu tychże płaszczyzn wynoszącym $60\div 80^\circ$.

Wykorzystanie powyższych ustaleń podczas opracowywania projektów eksploatacji pozwoli na poprawę bezpieczeństwa pracy i umożliwi selektywny dobór aktywnej profilaktyki tapaniowej do lokalnych warunków geologiczno-górnictwa.

Literatura

1. Bahat D.: *Criteria for the differentiation of en echelons and hackles in fractured rocks*. Tectonophysics 1986 121, s. 197-206.
2. Bayly B.: *Mechanics in structural geology*. New York, Springer-Varlag 1992.
3. Bieniawski Z.T.: *Eine Studie des Bruch Mechanismus von Kohle in situ*. Bericht über das 9. Langertreffen des Internationalen Biuro für Gebirgmechaniks. Leipzig 1967.
4. Biliński A.: *Tapania w świetle mechaniki górotworu odprężonego*. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo 1985 z. 2.
5. Borecki M., Chudek M.: *Mechanika górotworu*. Katowice, Wydaw. „Śląsk” 1972.

6. Budryk W.: *Zjawiska tąpnięć i zapobieganie ich skutkom*. Przegląd Górniczo-Hutniczy 1938 nr 12.
7. Cianciara A., Cianciara B.: *Model funkcji ryzyka wystąpienia wstrząsu*. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Kraków, CPPGSMiE PAN 1994.
8. Cianciara B.: *Sejsmiczne prekursorzy wstrząsów górniczych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady nr 8. Kraków, CPPGSMiE PAN 1995.
9. Dadlez R., Jaroszewski W.: *Tektonika*. Warszawa, PWN 1994.
10. Drzewiecki J.: *Metoda określania miejsc i warunków pęknięcia podbieranych warstw skał mocnych – wyniki badań dołowych*. Praca badawcza Zakładu Tąpnięć i Mechaniki Górotworu. Katowice, GIG 1991 (niepublikowana).
11. Drzęźła B., Białek J., Jaworski A., Bańka P., Słapa W.: *Analiza przestrzennych rozkładów wstrząsów górniczych w rejonie wyrobisk ścianowych prowadzonych z podszadką hydrauliczną*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo 1990 z. 188.
12. Drzęźła B., Dubiński J.: *Lokalizacja ognisk wstrząsów górniczych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady nr 8. Kraków, CPPGSMiE PAN 1995.
13. Drzęźła B., Kołodziejczyk P.: *Problem niejednorodności lokalizacji ognisk górotworu*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo 1990 z. 188.
14. Dubiński J., Nowak J., Stec K.: *Zwiększenie informatywności sejsmologii górniczej przez określenie parametrów mechanizmu ogniska wstrząsów*. Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalń stałych, Jaworze 1991. Kraków, AGH 1991.
15. Dubiński J., Mutke G.: *Charakterystyka zagrożenia wstrząsami górniczymi w GZW*. Seminarium Sekcji Tąpnięć Komisji Górniczej PAN nt.: Ocena przydatności stalowej, odrzwiowej obudowy chodnikowej do zabezpieczania wyrobisk górniczych zagrożonych tąpnięciami, Promnice 1993. Katowice, PAN 1993.
16. Dubiński J., Konopko W.: *Tapania – ocena – prognoza – zwalczanie*. Katowice, Wydaw. GIG 2000.
17. 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 1992.
18. Fajkiewicz Z., Jakiel K.: *Prognozowanie metodą mikrogravimetryczną zagrożeń wstrząsami górniczymi w KWK Pstrowski*. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. 1986 M-8 (191).
19. Fajkiewicz Z., Jakiel K., Ostrowski C.: *Wyniki prognozowania wstrząsów górniczych i deformacji górotworu metodą mikrogravimetryczną w kopalni Szombierki*. Przegląd Górniczy 1981 nr 10.
20. Fajkiewicz Z.: *Geneza czasowych zmian siły ciężkości poprzedzających wstrząsy górnicze*. Ochrona Terenów Górniczych 1983a nr 64.
21. Fajkiewicz Z.: *Mechanizm powstawania wstrząsów górniczych w świetle badań mikrogravimetrycznych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej. Seria Wykłady nr 8. Kraków, CPPGSMiE PAN 1995.
22. Fajkiewicz Z.: *Pierwsze próby prognozowania wstrząsów górniczych metodą mikrogravimetryczną*. Przegląd Górniczy 1981 nr 10.
23. Fajkiewicz Z.: *Rock burst forecasting and genetic research in coal mines by microgravity method*. Geophys. Prosp. 1983b nr 31.
24. Ferenc W.: *Zagadnienia ciągłości struktury w pokładach zagrożonych wyrzutami gazów i skał*. Przegląd Górniczy 1981 nr 6.
25. Gibowicz S., Cichowicz A.: *Parametry fizyczne i mechanizm ogniska wstrząsów górniczych w kopalni Nowa Ruda*. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. M-8 1986.
26. Gibowicz S.J.: *Mechanizm ognisk wstrząsów górniczych*. Warszawa-Lódź, PWN 1989.
27. Gieżyński A.: *Szybkościowa metoda ustalania orientacji łupności skał w kopalniach węgla kamiennego*. Prace GIG, Komunikat nr 465. Katowice, GIG 1969.
28. 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.
29. Godula T.: *Charakterystyka geologiczno-inżynierska górotworu karbońskiego obszaru górniczego kopalni Krupiński*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo 1993.
30. Goszcz A., Kuś R.: *Obserwacje spękań i innych struktur tektonicznych w pokładach węgla zagrożonych wstrząsami górotworu*. X Szkoła Mechaniki Górotworu nt.: Zjawiska dynamiczne w górotworze. Kraków, PAN 1987.

31. Goszcz A., Dworak J.: *Określenie skłonności węgla do tępań na podstawie analizy tektonofizycznej oraz pomiarów parametrów sprężystych pokładu metodą sejsmiczną w wyrobiskach górniczych*. Archiwum Górnictwa 1982 z. 1-2.
32. Goszcz A.: *Kompakcja tektoniczna jako przyczyna naturalnej skłonności skał do wstrząsów górniczych i tępań*. Przegląd Górniczy 1985 nr 7-8, s. 239-244.
33. Goszcz A.: *Wpływ niektórych czynników technologicznych na stan zagrożenia wstrząsami górniczymi i tąpnięciami*. Publ. Inst. Geoph. Pol. Ac. Sc. 1988 M-10 (213), s. 141-153.
34. Goszcz A.: *Niektóre zagadnienia geodynamiki górotworu karbońskiego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle nowych interpretacji prac badawczych z zakresu geofizyki i tektonofizyki*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo 1986 z. 149.
35. Goszcz A.: *Tektonofizyczne przyczyny występowania wstrząsów górniczych*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. 1986 M-8 (191).
36. Górecki J.: *Ocena stopnia zaangażowania tektonicznego złóż węgla kamiennego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo 1986, z. 149.
37. Jaroszewski W.: *Tektonika uskoków i fałdów*. Warszawa, Wydaw. Geologiczne 1990.
38. Jaroszewski W. i inni.: *Przewodnik do ćwiczeń i geologii dynamicznej*. Wyd. 4. Warszawa 1978.
39. Katalog tępań GZW za lata 1986–2001. Katowice, GIG (niepublikowana).
40. Kidybiński A., Biliński A.: *Zależność wystąpienia łupliwości skał karbońskich od warunków naturalnych środowiska*. Prace GIG, A, 266. Katowice 1960, s. 3-11.
41. Kidybiński A.: *Podstawy geotechniki kopalnianej*. Katowice, Wydaw. „Śląsk” 1982.
42. Kijko A.: *Theoretical model for relationship between mining seismicity and excavation area*. Acta Geoph. Pol., 1985, 33, s. 231-142.
43. Kłeczek Z., Zorychta A.: *Geomechaniczne warunki powstawania wstrząsów górniczych*. Materiały III Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalni stałych. T. I. Kraków, Wydaw. AGH 1991.
44. Konopko W.: *Klasyfikacja tępań*. Przegląd Górniczy 1991 nr 7.
45. Kornowski J., Trombik H., Zuberek W.: *Lokalizacja stref koncentracji ognisk impulsów sejsmoakustycznych*. Przegląd Górniczy 1978 nr 2.
46. 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.
47. Majcherczyk T., Tajduś., Cała M.: *Wpływ uskoków na stan zagrożenia tąpnięciami pokładów węgla*. Materiały Sympozjum Naukowo-Technicznego Tąpnięcia'94 nt. Rozwiązania inżynierskie w problematyce tępań. Katowice, GIG 1994.
48. Marczak H.: *Geofizyczne modele rozwoju procesu niszczenia górotworu poprzedzające tąpnięcie i wstrząsy w kopalniach*. Publ. Inst. Geophys. Ac. Sc. 1985 M-6, (176), 149-173, s. 115-128.
49. Marczak H.: *Wpływ struktury górotworu naruszonego robotami górniczymi na tworzenie sekwencji wstrząsów górniczych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady nr 8 Kraków, CPPGSMiE PAN 1995.
50. McGarr A., Bicknell J., Sembera E., Green R.: *Analysis of exceptionally large tremors in two gold mining districts of South Africa*, in: Seismicity in Mines, S.J. Gibowicz (ed.), Pure Appl. Geophys. 1989 129, 3/4.
51. Mutke G.: *Results of ground motion measurements close to the sources of mining tremors*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. 1999 M-22 (310).
52. Nieć M.: *Geologia kopalniana*. Warszawa, Wydaw. Geologiczne 1990.
53. Patyńska R.: *Zagrożenie tąpnięciami*, w: Raport roczny o stanie zagrożeń naturalnych i technicznych w przemyśle węglowym, ich ocena oraz kierunki ulepszania i profilaktyki. Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Konopko. Katowice, GIG 1997–2001.
54. Patyńska R.: *Wpływ kierunku eksploatacji pokładów węgla na zagrożenie tąpnięciami*. Katowice, GIG 2001 (praca doktorska).
55. Pawłowicz K.: *Rozkład powierzchni osłabionej spoiwości w skałach, metoda oznaczania trwałości i próba klasyfikacji stropów pokładów węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Katowice 1966.
56. Reading H.G.: *Sedimentary basins and global tectonics*. Proc. Geol. Ass. 1982, 93, nr 4.
57. Ryncarz T.: *Zarys fizyki górotworu*. Katowice, Śląskie Wydaw. Techniczne 1993.

58. Sagan G., Zuberek W.: *Analiza związku sejsmiczności z tektoniką i przebiegiem eksploatacji w obszarze górniczym kopalni Polkowice*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. 1986 M-8 (191).
59. Sałustowicz A.: *Mechanika górotworu*. Górnictwo T. III. Stalinogród 1955.
60. Skinderowicz B.: *Wpływ czasu na kształtowanie się dynamicznych niecek osiadania*. Katowice, GIG 1976.
61. Spottiswoode S.M., McGarr A.: *Source parameters of tremors in a deep-level gold mine*. Bull. Seism. Soc. Am. 1975, 65.
62. Stec K.: *Wpływ parametrów mechanicznych ognisk wstrząsów górniczych na ocenę zagrożenia sejsmicznego w kopalni węgla kamiennego*. Katowice, GIG 1994 (praca doktorska).
63. Syrek B., Kijko A.: *Energetyczno-częstotliwościowe rozkłady aktywności sejsmicznej i ich związki z zagrożeniem tąpnięciami*. Publ. Inst. Geophys. Ac. Sc. 1988 M-10 (213), 281-298.
64. Teisseyre R.: *Indukowana sejsmiczność i wstrząsy pochodzenia eksploatacyjnego*, w: Fizyka i ewolucja wnętrza Ziemi. Warszawa, PWN 1983.
65. 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. Katowice, GIG 1992.
66. Teper L.: *Określenie charakteru deformacji górotworu karbońskiego na podstawie badań niektórych geomechanicznych cech skał w północno-wschodniej części GZW*. Sosnowiec 1988 (praca doktorska).
67. Tyrała A., Szwedzicka M., Szukalski S.: *Klasyfikacja uskoków tektonicznych w badaniach nad ich oddziaływaniem na proces deformacji powierzchni*. Prace GIG, Komunikat nr 652. Katowice 1975.
68. Wierzchowska Z.: *Mikrosejsmologiczne kryteria oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w kopalniach*. Przegląd Górniczy 1978 nr 9.
69. Wojnar W.: *Związek naprężeń poziomych z budową geologiczną oraz ilością wstrząsów w górotworze północno-wschodniej części GZW*. Katowice, GIG 1985 (praca doktorska).
70. Zuberek W.: *Wpływ tektoniki na występowanie sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą*. Sympozja i Konferencje VI. Kraków, PAN 1993.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński