

Zbigniew Burtan*

ZAGROŻENIE SEJSMICZNE W REJONACH EKSPLOATACJI RUD MIEDZI SĄSIADUJĄCYCH ZE STREFĄ USKOKOWĄ RUDNEJ GŁÓWNEJ**

1. Wprowadzenie

Wiodącym zagrożeniem w polskim górnictwie rud miedzi jest zagrożenie sejsmiczne. Do istotnych czynników sprzyjających generowaniu wysokoenergetycznych wstrząsów między innymi należy znaczne zaangażowanie tektoniczne wybieranego złoża, przejawiające się zwłaszcza występowaniem dyslokacji o dużych zrzutach.

Analiza warunków geologiczno-tektonicznych w obrębie obszarów kopalń LGOM kieruje uwagę na cechujące się dużymi zrzutami i znacznym zasięgiem strefy uskoków, w rejonach w których prowadzono roboty górnicze. Pośród kilku systemów uskoków, wpływających na występowanie zagrożenia sejsmicznego, za reprezentatywny można uznać system uskoku Rudnej Główniej, w rejonie którego w większości już szcerpiano złoża, a prowadzonej eksploatacji towarzyszył wysoki poziom zagrożenia wstrząsami i tapaniami. Przebieg i sposób wybierania w rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej oraz przeprowadzona analiza zarejestrowanej podczas eksploatacji aktywności sejsmicznej wskazuje, że kształtowanie się zagrożenia sejsmicznego w rejonach sąsiadujących z zaburzeniami o dużych zrzutach, cechuje się wysokim zagrożeniem wysokoenergetycznymi wstrząsami, stanowiącym samym o potencjalnie wysokim zagrożeniu odprężeniami i tapaniami górotworu.

2. Budowa tektoniczna złoża rud miedzi w obszarze prowadzenia robót górniczych

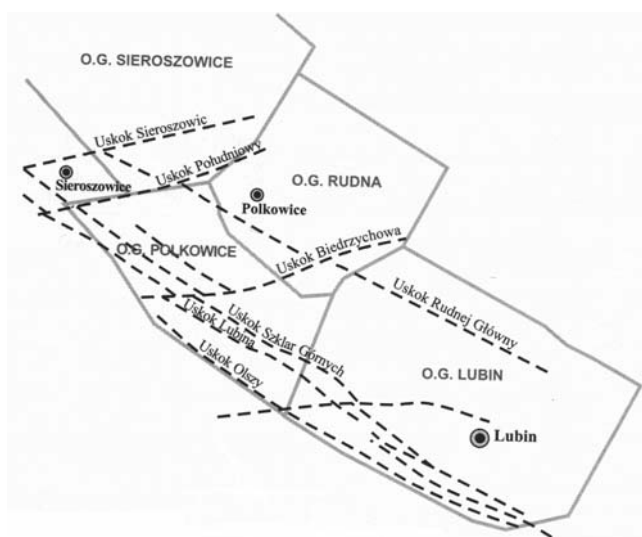
Obszar Legnicko-Głogowskiego Zagłębia Miedziowego (LGOM) położony jest w południowo-zachodniej części Monokliny Przedsudeckiej, której budowa strukturalno-tektoniczna

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

** Praca wykonana w ramach projektu badawczego N52004531/0562, nr AGH — 18.18.100.160

zdeteminowana jest poszczególnymi fazami sedymentacji i ruchami górotwóru. Taki stan sprawia, że złoża rud miedzi jest silnie zaburzone licznymi dyslokacjami tektonicznymi. Większe uskoki o zrzutach sięgających do 100 m tworzą zwykle wiązki mniejszych uskoków o zrzutach od kilkudziesięciu centymetrów do kilkunastu metrów. Nachylenie powierzchni zrzutów jest zróżnicowane od około 30° do 90°, zmieniając się często w obrębie samego uskoku. Uskoki w większości o przebiegu do siebie równoległym lub zbliżonym do równoległego stanowią strefy o szerokości dochodzącej do 300–400 m. Strefy uskokowe utworzone są z uskoków zarówno o zrzutach sumujących się, jak również znoszących się i przeciwnie skierowanych, stąd w obrębie stref tektonicznych często występują wąskie zręby bądź rowy [3].

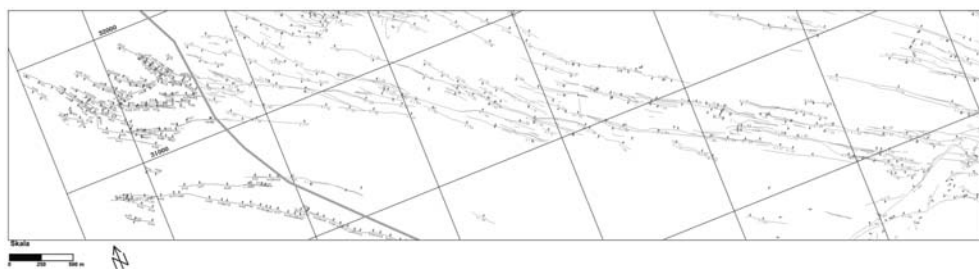
Z dotychczasowego stanu rozpoznania tektonicznego dotyczącego uskoków o dużych zrzutach w obszarze kopalń LGOM (rys. 1) [1] wynika, że zdecydowana większość uskoków ma przebieg NW–SE z odchyleniami na NWW–SEE i NNW–SSE. W mniejszym stopniu zaś występują uskoki W–E, NE–SW i NEE–SWW. Z pierwszego dominującego systemu uskoków do najważniejszych dyslokacji tektonicznych w obszarze prowadzonych robót górniczych należy zaliczyć strefę uskoku Rudnej Głównej, Głównego Lubina i Szklar Górnych. Z kolei głównym uskokiem drugiego systemu jest strefa uskoku Biedrzychowa.



Rys. 1. Przebieg uskoków o dużych zrzutach w kopalniach LGOM

Wytypowana do analizy strefa uskoku Rudnej Głównej (rys. 2) bierze swój początek w północno-wschodniej części obszaru górniczego „Polkowice” oraz w południowo zachodniej części obszaru górniczego „Rudna”, biegnąc w kierunku NWW–SEE do uskoku Biedrzychowa. Część południowa rejonu uskoku stanowi skrzydło wyniesione, z kolei część północna jest skrzydłem zrzuconym. Na początku w rejonie granicy kopalń „Polkowice” i „Rudna” strefa uskokowa Rudnej Głównej obejmuje szereg uskoków w przybliżeniu równoległych, typu schodowego tworzące zręby i rowy tektoniczne. Maksymalna ampli-

tuda zrzutów w tym rejonie wynosi około 11,5 m. Na wysokości szybów Rudna Zachodnia do szybów Rudna Główna uskoki nabierają charakteru kulisowego i ustawione są skośnie (NNW–SSE) w stosunku do kierunku głównej strefy uskokowej (NW–SE). Przeważnie są to uskoki typu schodowego, choć tworzą również rowy i zręby tektoniczne. Długość uskoków kulisowych dochodzi do 1000 metrów, a maksymalna amplituda ich zrzutów wynosi 20,8 m. Od szybów Rudna Główna na północny wschód system uskoków Rudnej Główniej przechodzi prawie w jednolity uskok o zrzucie maksymalnym 32,0 m i ukośnej płaszczyźnie ślizgowej dochodzącej do około 50° nachylenia. W skrzydle zrzuconym północnym obserwuje się szereg drobnych uskoków o zrzutach wahających się w granicach od 0,5 do 3,5 m. Dalej w kierunku południowo-wschodnim uskok ten rozczłonkuje na kilka mniejszych dyslokacji schodowych w przybliżeniu równoległych [2].



Rys. 2. Sytuacja tektoniczna w rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej

3. Przebieg eksploatacji w rejonach strefy uskokowej Rudnej Główniej

W rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej eksploatację prowadzono w przeważającej części w kopalni „Rudna” i w niewielkim zakresie w kopalni „Polkowice” (rys. 3). Wybieranie prowadzono systemem komorowo-filarowym w zmieniającym się zakresie wysokości furty eksploatacyjnej, wynikającym z kryterium bilansowości złoża oraz z zastosowaniem sposobu likwidacji zrobów zależnym od wysokości wybrania i wymogów ochrony powierzchni.



Rys. 3. Sytuacja górnicza w rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej

W kopalni „Polkowice” w latach 1980–1982 w obszarze usytuowanym w rowie tektonicznym tworzonym przez uskoki stanowiące przedłużenie strefy uskokowej Rudnej Główniej

prowadzono eksploatację w polach oddziałów G-32 i G-33 na wysokość 3,5–5,8 m z zawałem stropu. W latach 2001–02 kopalnia „Polkowice-Sierszowice” kontynuując wybieranie pola w oddziale G-23 (G32F) prowadziła eksploatację z ugięciem stropu w obszarze kopalni „Rudna” w części wiszącej uskoku w filarze oporowym upadowych U-9–U-12.

W kopalni „Rudna” roboty górnicze realizowano zarówno w skrzydle południowym wiszącym jak i północnym zrzuconym uskoku Rudna Główna, przy czym eksploatację prowadzono naprzemian w jednej i drugiej części strefy uskokowej. Generalnie wybieranie poszczególnych pól w obu skrzydłach uskoku podążało z kierunku zachodniego (NWW) od granicy z obszarem górniczym „Polkowice” w kierunku wschodnim (SEE) do uskoku Biedzychowa. Eksploatacja prowadzona była w latach 1975–2006 z zawałem stropu, z podszadką hydrauliczną oraz z ugięciem stropu, przy czym podszadkę hydrauliczną zasadniczo stosowano w ustanowionym w rejonie uskoku Rudna Główna filarze ochronnym miasta Polkowice. W skrzydle wiszącym uskoku Rudna Główna eksploatację rozpoczęto w latach 1975–78 w polu G-11/1 usytuowanym na południowy wschód od strefy uskokowej, gdzie wybrano złożę z zawałem stropu na wysokość 3,4–6,1 m, W następnej kolejności w latach 1978–81 także z zawałem stropu eksploatowano pola: G-1/2, G-2/2 i G-4/2 na wysokość 4,7–6,1 m. Od 1980 roku oddział G-4/2 (4/3) rozpoczął stosowanie podszadki hydraulicznej wybierając do 1984 roku złożę na wysokość 5,0–9,8 m. W tym samym czasie w latach 1977–84 prowadzono eksploatację z zawałem stropu w skrzydle zrzuconym uskoku Rudna Główna wybierając na północny zachód od strefy uskokowej od granicy z kopalnią „Polkowice” w kierunku filara oporowego pochyłń c-9–c-12 pole G-12/1 na wysokość 4,5–5,8 m i pole G-14/1 na wysokość 4,6–7,0 m. Równocześnie prowadzono wybieranie po drugiej stronie filara oporowego dla pochyłń c-9–c-12 eksploatując w latach 1978–83 pola G-3/1, G-11/2 i G-11/3 na wysokość 4,5–5,2 m. Pomędzy zrobami tych oddziałów, a wcześniej wykonanymi osadnikami w samej strefie uskokowej (pole G-4/1) w latach 1984–85 wybrano z podszadką hydrauliczną pole G-14/3. Rozdzielający eksploatację w skrzydle zrzuconym filar oporowy pochyłń c-9–c-12 jest aktualnie przedmiotem robót rozcinkowych w polu 15/10. Dalszą eksploatację prowadzono w skrzydle wiszącym, wybierając z podszadką hydrauliczną w latach 1980–99 pole G-4/3 na wysokość 3,8–1,4 m, a w latach 1983–90 pole G-6/2 na wysokość 5,0–8,9 m. Z kolei w skrzydle zrzuconym także z podszadką hydrauliczną wybrano w latach 1991–1996 pole G-13/2 na wysokość 4,0–5,8 m, a w latach 1997–2003 pole G-1/8 na wysokość 5,0–8,3 m. W ostatnim okresie eksploatacji rejonu strefy uskokowej Rudnej Głównej wybierano pole G-3/3 w części wiszącej i G-4/6 w części zrzuconej. Eksploatację pola G-3/3 prowadzono w latach 1988–2002 kolejno z zawałem stropu na wysokość 5,4–8,0 m, z ugięciem stropu na wysokość 5,5–9,0 m, z podszadką hydrauliczną na wysokość 5,0–12,0 m oraz z podszadką i ugięciem na wysokość 6,2–11,3 m. Z kolei wybieranie pola G-4/6 realizowano w latach 2000–06 kolejno z ugięciem stropu na wysokość 4,7–7,0 m i z podszadką suchą na wysokość 5,8–8,9 m.

Aktualnie w dalszej odległości w kierunku uskoku Rudna Główna kontynuowana jest z podszadką hydrauliczną eksploatacja w polu G-4/3, a po 2010 w filarze oporowym pochyłń c-1–c-5 planowane jest wybieranie od uskoku pola G-3/5 [2].

4. Kształtowanie się aktywności sejsmicznej w rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej

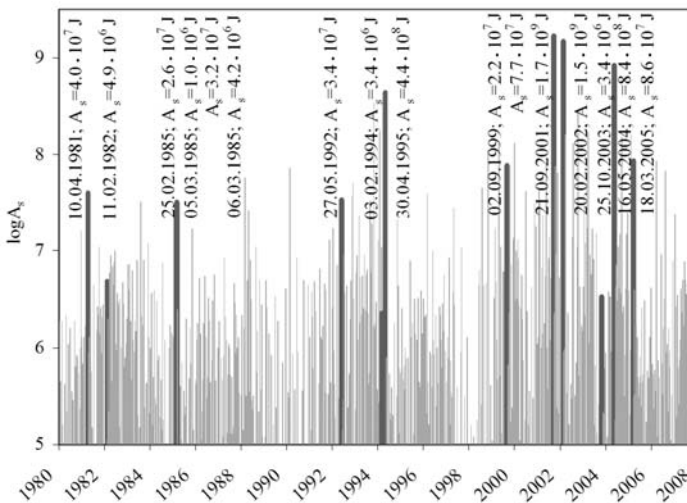
Aktywność sejsmiczną górotworu w rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej analizowano na podstawie ilości, usytuowania i energii sejsmicznej zarejestrowanych wstrząsów w obszarze przedstawionym na rysunkach 2 i 3. Wielkość tej aktywności z okresu 1975–2008 (brak danych z lat 1975–79 z kopalni Rudna) wyrażonej ilością wstrząsów w odpowiednich klasach energetycznych, sumaryczną ilością wstrząsów oraz maksymalną i sumaryczną energią sejsmiczną w odniesieniu do całego analizowanego obszaru oraz poszczególnych pól eksploatacyjnych przedstawia tabela 1.

TABELA 1

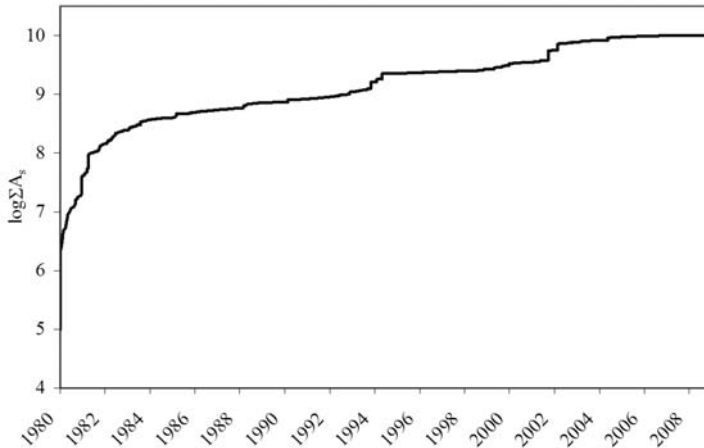
Aktywność sejsmiczna w rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej

Ilość wstrząsów N							ΣN	A_s^{\max}	ΣA_s
10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	[—]	[J]	[J]
2663	1531	791	417	73	12	2	5489	$1,7 \cdot 10^9$	$9,38 \cdot 10^9$

Zarejestrowane w rejonie strefy uskoku Rudnej Główniej w okresie 1980–2008 dzienne zmiany aktywności sejsmicznej w odniesieniu do decydujących o zagrożeniu tąpnięciami wysokoenergetycznych wstrząsów (o energiach $A_s \geq 10^5$ J) ilustruje rysunek 4, na którym przedstawiono wykres wartości wyemitowanej energii sejsmicznej $\text{Log} A_s(t)$. Na wykresie tym zaznaczono wstrząsy, w wyniku których miały miejsce tąpnięcia. Obraz odnotowanych zmian aktywności sejsmicznej ilustruje również przedstawiony na rys. 5 rozkład skumulowanej energii sejsmicznej (wykres Benioffa) $\text{Log} \Sigma A_s(t)$.



Rys. 4. Wykres dziennej zmiany wyemitowanej energii sejsmicznej w rejonie strefy uskokowej Rudnej Główniej



Rys. 5. Wykres skumulowanej energii sejsmicznej w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej

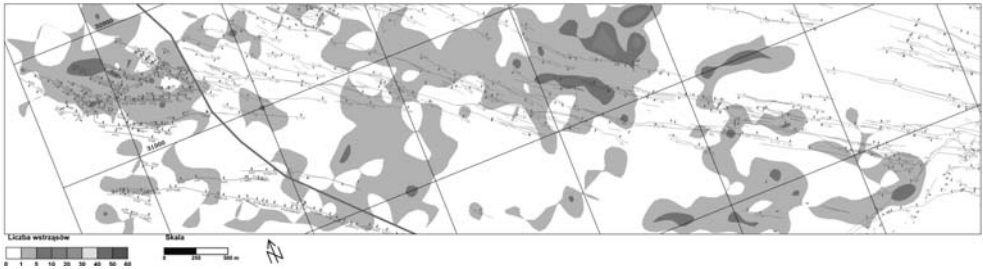
Z czasowych rozkładów aktywności sejsmicznej wynika, iż przez cały okres wybierania w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej utrzymywał się wysoki poziom zagrożenia wysokoenergetycznymi wstrząsami i tapaniami z tendencją wzrostową dla coraz większego zaawansowania eksploatacji.

W oparciu o znajomość zarejestrowanych w analizowanym rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej lokalizacji wstrząsów i ich energii sejsmicznej, dla wstrząsów o energii $A_s \geq 10^5$ J przedstawiono rozkłady gęstości ilości wstrząsów (rys. 6) i gęstości energii sejsmicznej (rys. 7) rozumianych jako ilość wstrząsów i sumę wyemitowanej energii sejsmicznej przypadająca na powierzchnię bloku o wymiarach 100×100 m (1 ha). Należy zaznaczyć, że obszary na mapach, gdzie brak jest aktywności sejsmicznej dotyczą zarówno tych części złoża, gdzie nie prowadzono jeszcze eksploatacji, jak i rejonów pól eksploatacyjnych w O/ZG „Rudna” wybieranych przed 1980 r., kiedy nie dokumentowano występujących wstrząsów.

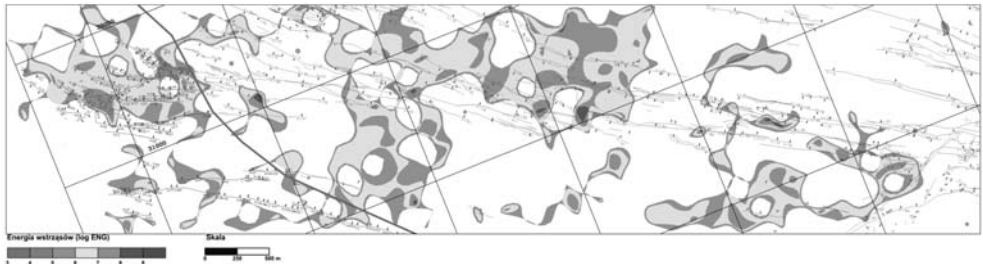
Z przedstawionych map wynika, że ogniska wysokoenergetycznych wstrząsów sytuowały się w obszarach gdzie prowadzona była eksploatacja, a silne wstrząsy o energiach $A_s \geq 10^6$ J w większości przypadków zlokalizowano ma uskokach lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie. Wysoki poziom aktywności sejsmicznej w zakresie dużej ilości rejestrowanych wysokoenergetycznych wstrząsów oraz wysokich wartości wyemitowanej energii sejsmicznej miał miejsce w miejscach prowadzonych robót górniczych, zaznaczając się zwłaszcza w obszarach rozwiniętej eksploatacji w rejonach znacznego zaangażowania tektonicznego.

Istotną informację o wielkości zagrożenia sejsmicznego w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej stanowi wykorzystywany w sejsmologii rozkład Gutenberga-Richtera (energetyczny rozkład wstrząsów) opisujący zależność pomiędzy ilością odnotowanych wstrząsów w poszczególnych klasach energetycznych a wielkością wyemitowanej energii sejsmicznej:

$$\log N = a - b \cdot \log A_s \quad (1)$$



Rys. 6. Rozkład gęstości ilości wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^5$ J w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej



Rys. 7. Rozkład gęstości energii sejsmicznej dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^5$ J w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej

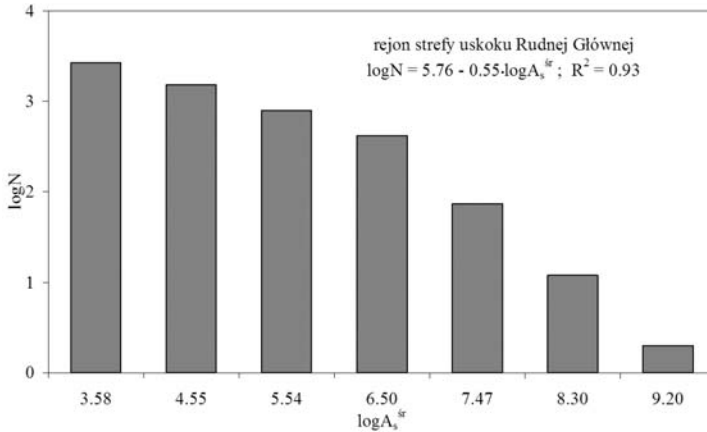
gdzie:

N — jest ilością wstrząsów o energii A_s ,
 a, b — parametry rozkładu.

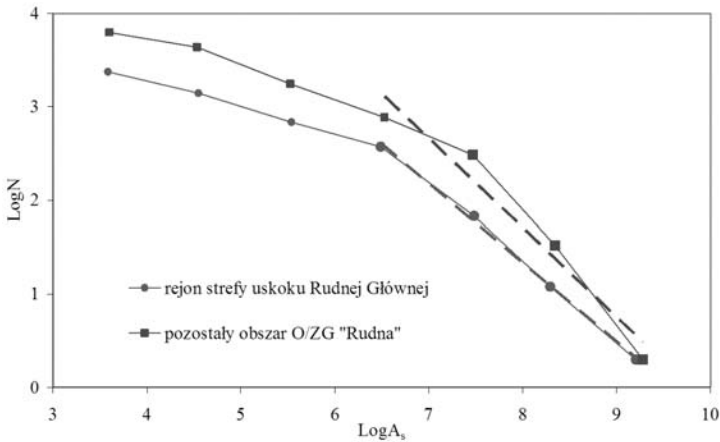
Parametr a jest miarą poziomu aktywności sejsmicznej, zaś parametr b opisuje względny stosunek ilości wstrząsów o wysokich energiach (wstrząsów słabych) do wstrząsów o energiach niskich (wstrząsów silnych). Mniejsza wartość tego parametru, a tym samym mniejsze nachylenie prostej opisywanej przez rozkład Gutenberga-Richtera, wskazując na większy udział silnych wstrząsów, świadczy o większym zagrożeniu sejsmicznym. Porównanie przy pomocy rozkładu Gutenberga-Richtera aktywności sejsmicznej z różnych obszarów czy okresów eksploatacji umożliwia ocenę różnic wielkości zagrożenia sejsmicznego, w tym zmian aktywności w zakresie występowania wstrząsów o wysokich energiach.

Rozkład Gutenberga Richtera (w postaci wykresu kolumnowego) przedstawiający aktywność sejsmiczną w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej przedstawia rysunek 8.

Porównanie rozkładu dla wstrząsów z rejonu strefy uskokowej Rudnej Głównej tylko z obszaru O/ZG „Rudna” z rozkładem dla pozostałych wstrząsów z O/ZG Rudna w odniesieniu do wszystkich wstrząsów (o energiach $A_s \geq 10^3$ J) oraz silnych i bardzo silnych wstrząsów (o energiach $A_s \geq 10^6$ J), które w praktyce decydują o wystąpieniu tąpnięć, ilustruje rysunek 9.



Rys. 8. Rozkład Gutenberga-Richtera w rejonie strefy uskokuwej Rudnej Głównej

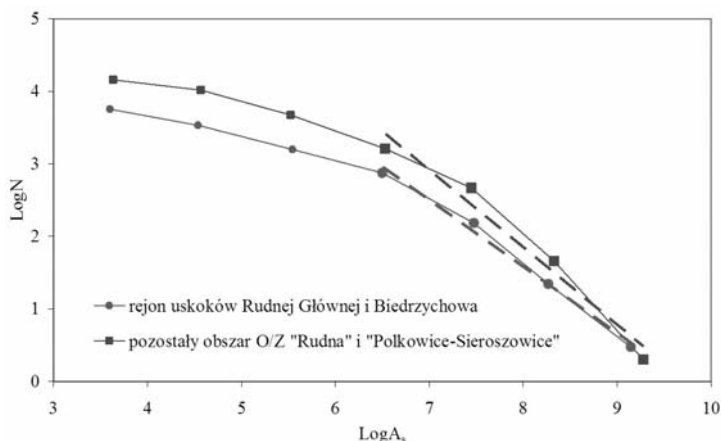


Rys. 9. Rozkłady Gutenberga-Richtera w rejonie strefy uskokuwej Rudnej Głównej oraz w pozostałym obszarze O/ZG Rudna

Pomiędzy tymi rozkładami zachodzą następujące relacje:

- dla rejonu strefy Rudnej Głównej:
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^3$ J / $\log N = 5,66 - 0,54 \cdot \log A_s \rightarrow \alpha = 28^\circ$,
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^6$ J / $\log N = 8,08 - 0,84 \cdot \log A_s \rightarrow \alpha = 40^\circ$,
- dla pozostałego obszaru O/ZG „Rudna”:
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^3$ J / $\log N = 6,29 - 0,58 \cdot \log A_s \rightarrow \alpha = 30^\circ$,
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^6$ J / $\log N = 9,35 - 0,96 \cdot \log A_s \rightarrow \alpha = 44^\circ$.

Ponieważ wstrząsy spoza rejonu strefy uskokuwej Rudnej Głównej obejmują także rejon strefy uskoku Biedzychowa, gdzie w trakcie dotychczasowej eksploatacji rejestrowano wysoką aktywność sejsmiczną górotworu, dodatkowo na rysunku 10 przedstawiono porównanie rozkładu Gutenberga-Richtera dla wstrząsów z rejonów uskokuw Rudnej Głów-



Rys. 10. Rozkłady Gutenberga-Richtera w rejonie stref uskokowych Rudnej Głównej i Biedrzychowa oraz w pozostałym obszarze O/ZG Rudna i O/ZG „Polkowice-Sierszowice”

nej i Biedrzychowa z obszarów kopalń „Rudna” i „Polkowice-Sierszowice” z pozostałymi wstrząsami z tych obszarów. Pomiedzy tymi rozkładami zachodzą relacje:

- dla rejonu strefy uskokowej Rudnej Głównej i Biedrzychowa:
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^3$ J/Log $N = 6,21 - 0,57 \cdot \text{Log } A_s \rightarrow \alpha = 30^\circ$,
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^6$ J/Log $N = 8,92 - 0,91 \cdot \text{Log } A_s \rightarrow \alpha = 42^\circ$,
- dla pozostałego obszaru O/ZG „Rudna” i O/ZG „Polkowice-Sierszowice”:
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^3$ J/Log $N = 7,04 - 0,67 \cdot \text{Log } A_s \rightarrow \alpha = 34^\circ$,
 - dla wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^6$ J/Log $N = 10,38 - 1,07 \cdot \text{Log } A_s \rightarrow \alpha = 47^\circ$.

Rozkład Gutenberga Richtera dla wstrząsów z rejonu strefy uskokowej Rudnej Głównej wskazuje na wysoki poziom aktywności sejsmicznej górotworu, zwłaszcza w odniesieniu do wysokoenergetycznych wstrząsów o energiach $A_s \geq 10^6$ J. Potwierdza to porównanie z rozkładami z pozostałych części złoża w kopalniach „Rudna” i „Polkowice-Sierszowice”, gdzie relatywnie występowało mniej bardzo silnych wstrząsów, które w praktyce decydują o wielkości zagrożenia tapaniami.

5. Posumowanie

Stanowiące o wielkości zagrożenia tapaniami wysokoenergetyczne wstrząsy są genetyczną właściwością złoża rud miedzi kopalń LGOM, wynikającą z występowania nad eksploatowanym złożem wstrząsogennych utworów skalnych oraz z okresowego uaktywniania się zaburzeń uskokowych, zaś prowadzona eksploatacja sprzyja ujawnianiu się tych cech ośrodka skalnego.

Na podstawie przeprowadzonej analizy przebiegu eksploatacji i oceny aktywności sejsmicznej w rejonach sąsiadujących ze strefą uskoku Rudnej Głównej można sformułować następujące wnioski:

- w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej miał miejsce wysoki poziom zagrożenia sejsmicznego, w tym zagrożenia wysokoenergetycznymi wstrząsami; pośród rejestrowanych licznych bardzo silnych wstrząsów odnotowano dwa wstrząsy rzędu 10^9 J;

- z lokalizacji ognisk zarejestrowanych wstrząsów wynika, że znaczna ilość wstrząsów, w tym większość silnych i bardzo silnych wstrząsów wykazuje wyraźny związek z dyslokacjami strefy uskokowej Rudnej Głównej; ogniska wysokoenergetycznych wstrząsów sytuowały się w obszarach gdzie prowadzona była eksploatacja;
- odnotowana w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej aktywność sejsmiczna była relatywnie wyższa od aktywności w pozostałej części obszaru kopalń „Rudna” i „Polkowice-Sieroszowice”, gdzie silnych, a zwłaszcza bardzo silnych wstrząsów było stosunkowo mniej niż w analizowanej części złoża;
- w następstwie występujących w rejonie strefy uskokowej Rudnej Głównej wysokoenergetycznych wstrząsów dochodziło do odprężeń i tąpnięć górotworu, większość których była wynikiem wstrząsów zlokalizowanych na uskokach lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie; przyczyny tych zjawisk dynamicznych należy wiązać z oddziaływaniem zaburzeń tektonicznych, w rejonie których prowadzone były roboty eksploatacyjne.

Reasumując można stwierdzić, że prowadzeniu eksploatacji w warunkach wpływu dużych dyslokacji tektonicznych towarzyszy wzmożona aktywność sejsmiczna górotworu, szczególnie w warunkach znacznego zaawansowania prowadzonej eksploatacji. Decydujący o zagrożeniu tąpnięciami, w rejonach sąsiadujących ze strefami uskokowymi, wysoki poziom zagrożenia sejsmicznego, jest wynikiem uaktywniania się zaburzeń tektonicznych.

LITERATURA

- [1] *Goszcz A.*: Elementy mechaniki skał oraz tąpnięcia w polskich kopalniach węgla i miedzi. Bibl. Szk. Podz. Ekspł. Złóż. Wyd. IGSMiE PAN. Kraków 1999
- [2] Praca zbiorowa KGHM, Cuprum: Projekt techniczny — kompleksowy O/ZG „Rudna”, Wrocław, 2007 (niepublikowane)
- [3] *Salski W.*: Tektonika złoża. [w] Monografii KGHM Polska Miedź S.A. (red. A. Piestrzyński), Wyd. Profil, Kraków 1996