

Władysław Konopko*, Mirosława Bukowska*

PARAMETR $\text{tg } \beta$ JAKO MIARA SKŁONNOŚCI GÓROTWORU DO TĄPAŃ**

1. Wprowadzenie

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. (Dz.U. Nr 94 poz. 841) w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych wprowadziło pojęcie *górotworu i skał skłonnych do tąpań*. Liczne klasyfikacje skał bądź górotworu [6, 15] opracowano dla potrzeb kierowania stropem, utrzymania wyrobisk, budownictwa ogólnego, tunelowego bądź hydrotechnicznego. Służą zatem do opisu cech inżynierskich skał (górotworu) bezpośrednio otaczających przedmiotowy obiekt i/lub w niedużej odległości od np. tunelu, zapory wodnej bądź fundamentów obiektów budowlanych. Pojęcie „niedużej odległości” w odniesieniu do problematyki tąpań należy rozumieć w kontekście odległości czynników warunkujących to zagrożenie, zlokalizowanych nierzadko w odległości kilkuset metrów od wyrobiska górniczego. Opracowane wskaźniki W_{TG} , W_{Ek} , W_{NT} [1] czy też L_g [10] pozwalają ocenić skłonność górotworu do tąpań w oparciu o profil i właściwości 100 m pakietu warstw stropowych i 30 m warstw spągowych pokładu. W pewnych warunkach obserwuje się istotny stan zagrożenia tąpaniami przy podbieraniu warstw wstrząsogennych, zalegających nawet kilkaset metrów nad eksploatowanym pokładem. Zachodzi więc potrzeba uwzględniania właściwości całego (do powierzchni terenu) profilu górotworu.

Nie oznacza to równocześnie niedoceniań zagrożeń górniczych, w tym zagrożenia tąpaniami, uwarunkowanych stanem górotworu w bezpośrednim otoczeniu wyrobiska i jego związku z wykonywaniem, obudową i utrzymywaniem wyrobiska w określonym stanie i w określonym przedziale czasu.

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

** Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy 4T12A03729

Należy rozróżnić dwa zagadnienia:

- 1) Opanowanie zagrożenia zawałami i ograniczenia zaciskania wyrobiska w czasie.
- 2) Opanowanie zagrożenia tąpnięciami.

Wyrobiska typu chodnikowego drążone w skałach grubowarstwowych, w szczególności w grubych warstwach piaskowców, zlokalizowane poza wpływami ciśnień eksploatacyjnych, utrzymują się nawet bez obudowy w długim czasie. W kopalniach węgla kamiennego można wskazać takie wyrobiska wykonane na początku ubiegłego wieku. Ich stan nie budzi obaw co do zagrożenia opadem skał.

Bezwzględnie większe zagrożenie tąpnięciami występuje w wyrobiskach zlokalizowanych w pokładach węgla o wysokiej zwięzłości ($R_c \geq 16$ MPa), w których stropie występuje mułowiec lub mocny piaskowiec, niż zlokalizowanych pod gruzowiskiem zawałowym bądź w pokładach o węglu słabo zwięzłym ($R_c < 16$ MPa), a zwłaszcza o węglu mało zwięzłym ($R_c \leq 8$ MPa). Wysoka ściśliwość gruzowiska zawałowego bądź węgla mało zwięzłego i/lub skał podebranych powoduje intensywne tłumienie energii sejsmicznej transmitowanej z hipocentrum wstrząsu zlokalizowanego w warstwach wstrząsogennych do wyrobiska górniczego. Tłumienie to w znacznie mniejszym stopniu występuje w skałach zwięzłych, monolitycznych, niespękanych, stąd też dla jednakowych skutków tąpnięć hipocentrum wstrząsu może być zlokalizowane w mniejszej odległości dla wyrobisk zlokalizowanych w skałach słabych niż w skałach monolitycznych, gdzie tłumienie wyzwolonej energii wstrząsu jest znacznie mniejsze.

Deformacje całego podbieranego górotworu powodują jego osłabienie w skali makro, co nie musi bezpośrednio powodować zmniejszenia parametrów wytrzymałościowych skał określanych na małych próbkach. Osłabienie masywu skalnego wynikające z jego zdeformowania w pierwszym przybliżeniu można zdefiniować zmniejszeniem jego wytrzymałości określanej na próbkach poszczególnych warstw skalnych jako zmniejszenie R_c średnio o 5% przy jednokrotnym podebraniu, o 10% przy dwukrotnym podebraniu i o 15% przy podebraniu wielokrotnym [14].

Powyższe powoduje, że znane metody klasyfikacji górotworu nie są w pełni adekwatne dla potrzeb problematyki tąpnięć. Klasyfikacja górotworu musi uwzględniać znaczne jego objętości, praktycznie całokształt stropu górotworu zwięzłego.

Klasyfikacja taka powinna także uwzględniać właściwości górotworu z jego wadami genetycznymi (uskoki, spękania pierwotne, zaburzenia geologiczne ciągłe) oraz zmianami spowodowanymi dokonaną eksploatacją — zrobami, resztkami pokładów, krawędziami, wykonanymi wyrobiskami w pokładzie itp. — działaniami ogólnie nazywanymi „zaszłością eksploatacyjnymi”. Dla potrzeb oceny stanu zagrożenia tąpnięciami należy uwzględnić rzeczywiste właściwości górotworu w danym miejscu i czasie.

Zatem pod pojęciem górotworu rzeczywistego rozumieć należy górotwór z jego naturalnymi cechami (litologią, uwarstwieniem, własnościami skał, tektoniką, zawodnieniem), z których niektóre podlegają zmianom wynikającym z prowadzonej bądź dokonanej eksploatacji górniczej.

2. $Tg \beta$ jako miara stanu górotworu

Właściwości skał badane są *in situ*, względnie (przeważnie) laboratoryjnie. W badaniach terenowych określa się wszelkiego rodzaju zaburzenia geologiczne — uskoki, fleksury, zaburzenia ciągłe. Profil górotworu ustalany jest na podstawie rdzeni uzyskanych z otworów wiertniczych powierzchniowych i uściślany w oparciu o wiercenia dołowe, otworami wiertniczymi o mniejszej długości. Badania mechanicznych właściwości skał mogą być prowadzone *in situ* penetrometrem otworowym lub w laboratorium na próbkach wycinanych z rdzeni. Rdzenie z otworów wiertniczych służą też do oceny jakości górotworu (RQD) [6].

Na jakość uzyskanego rdzenia istotny wpływ ma technologia robót wiertniczych i jakość sprzętu wiertniczego. Właściwości mechaniczne skał ustalone laboratoryjnie (a także penetrometrycznie) są właściwe dla danej próbki skalnej (miejsca w pobocznicy otworu wiertniczego). Z reguły próbki skał pobierane są z odcinków rdzeni o nie zniszczonej strukturze. Dotychczas jednoznacznie nie rozwiązano problemu skali. Ponadto próbki skalne pobierane są z rdzenia bądź z brył skalnych.

Właściwości mechaniczne określane na tych próbkach są właściwe dla danego odcinka rdzenia bądź bryły skalnej, a nie dla masywu wraz z jego różnorodnością zmian geologicznych i górniczych, stąd też zbadane parametry wytrzymałościowo-deformacyjne skał powinny być wymiarowane w oparciu o odpowiednie badania poligonowe, ażeby wyniki obliczeń przy ich wykorzystaniu były w zadowalającym przybliżeniu zgodne z wynikami obserwacji dołowych. Można też zastosować metodę odwrotną — sprawdzony parametr określający odpowiedni stan górotworu opisać przy wykorzystaniu określonych laboratoryjnie bądź *in situ* parametrów mechanicznych skał.

Możliwy do wykorzystania dla potrzeb problematyki tępą jest kąt zasięgu wpływów głównych β , w teorii Budryka–Knothe'go zbadany dla poszczególnych rejonów eksploatacji w powiązaniu ze średnią wytrzymałością skał w górotworze i określić zależność

$$\operatorname{tg} \beta = f(R_{csr}) \quad (1)$$

gdzie R_{csr} oznacza średnią wytrzymałość skał w rozpatrywanym rejonie.

Pozwoli to oceniać skłonność górotworu do tępą w oparciu o profil górotworu, parametry wytrzymałościowe skał i wyniki obserwacji sejsmiczności generowanej robotami górniczymi.

Szerokie i wnikliwe badania nad zmiennością zasięgu wpływów głównych w górotworze przeprowadził A. Kowalski [12, 13]. Parametr charakteryzujący te wpływy — $\operatorname{tg} \beta$ — wykazuje istotną zmienność w zależności od zwięzłości górotworu i stopnia jego naruszenia robotami eksploatacyjnymi w przypadku wybierania złóż wielopokładowych, do jakich należy złoża węgla kamiennego GZW. Syntetycznie wyniki jego badań zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Zależności wartości $\text{tg } \beta_{(z,H)}$ od stanu górotworu z przedziałami głębokości stosowania i średnich błędów wyznaczenia [12]

Grupa danych	Wartości stałych i średnie błędy ich określenia		$\text{tg } \beta_{(z,H)} = 1,61 \left(\frac{H}{H_0} \right)^m \left(\frac{z}{H} \right)^{1-n}$	m_o $\text{tg } \beta_{(z,H)}$
	$m \pm m_\mu$	$n \pm n_m$		
Górotwór mało i średnio zwięzły	$0,51 \pm 0,13$	$0,66 \pm 0,07$	$\text{tg } \beta_{(z,H)} = 1,61 \left(\frac{H}{274,3} \right)^{0,51} \left(\frac{z}{H} \right)^{0,34}$ dla $43 \leq z \leq 230$ m i $135 \text{ m} \leq H \leq 567$ m	$\pm 0,21$
Górotwór zwięzły	$0,17 \pm 0,07$	$0,48 \pm 0,04$	$\text{tg } \beta_{(z,H)} = 1,61 \left(\frac{H}{274,3} \right)^{0,17} \left(\frac{z}{H} \right)^{0,52}$ dla $27 \leq z \leq 245$ m i $225 \text{ m} \leq H \leq 805$ m	$\pm 0,20$
Górotwór zwięzły naruszony wcześniejszą eksploatacją z regionu niecki bytomskiej	$0,19 \pm 0,05$	$0,55 \pm 0,04$	$\text{tg } \beta_{(z,H)} = 1,61 \left(\frac{H}{274,3} \right)^{0,19} \left(\frac{z}{H} \right)^{0,45}$ dla $65 \leq z \leq 245$ m i $400 \text{ m} \leq H \leq 865$ m	$\pm 0,12$

Uwzględniając średnią głębokość eksploatacji, tj. około 700 m [5, 17] — w oparciu o wzory podane w tabeli 1 oraz zakładając jednorodność właściwości górotworu (zwięzłego — zwięzłego podebranego — mało i średnio zwięzłego), można wykazać, że parametr zasięgu wpływów głównych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym mieści się w granicach:

$$2,60 \geq \text{tg } \beta \geq 1,89 \quad (2)$$

Kąt zasięgu wpływów głównych zmienia się więc w przedziale wartości $69^\circ \geq \beta \geq 62^\circ$ wraz z konsekwencjami zmiany stanu naprężenia i odkształcenia w górotworze.

W obszarach górniczych kopalń LGOM, gdzie średnia głębokość robót górniczych jest porównywalna z taką w GZW, wartość parametru wpływów głównych zmienia się w przedziale wartości [16]:

$$1,7 \geq \text{tg } \beta \geq 1,4 \quad (3)$$

Złoże to jest jednopokładowe, a więc podana wartość $\text{tg } \beta$ jest właściwa dla górotworu zwięzłego, przy czym budujące je skały charakteryzują się znacznie większą wytrzymałością od skał w GZW, stąd też tą wartość $\text{tg } \beta$ można uważać za właściwą dla górnej granicy zwięzłości górotworu, a więc za górną wartość brzegową dla warunków GZW.

Pozostaje problem określenia dolnej wartości brzegowej zwięzłości skał w GZW. Zgodnie z obserwacjami i wynikami badań można przyjąć stan naruszenia stropu w GZW przy eksploatacji zawałowej [18]. Strefę zawału pełnego, zwanego też strefą zawału chaotycznego, tworzy gruzowisko zawałowe, w którym poszczególne bryły skalne nie tylko oderwały się od masywu, ale również uległy — w różnym stopniu — obrotowi. W strefie zawału wysokiego następuje silne spękanie poprzeczne poszczególnych warstw skalnych oraz ich podłużne rozwarstwienie, jednakże z zachowaniem geometrycznego układu warstw. Destrukcja skał maleje wraz ze zwiększeniem odległości w pionie (w stropie) od eksploatowanego pokładu. Stąd też dolną granicę zwięzłości górotworu (fragmentu górotworu) można uznać za właściwą dla gruzowiska zawałowego. Wartość $\text{tg } \beta$ dla górotworu utworzonego z gruzowiska zawałowego określić można w oparciu o wartość kąta tarcia wewnętrznego. Zgodnie z ustaleniami A. Kidybińskiego [6] dla typowych skał karbonu górnośląskiego wartości kąta tarcia wewnętrznego przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2
Kąt tarcia wewnętrznego skał karbońskich GZW [6]

Rodzaj skały	Kąt tarcia wewnętrznego stopnie
Piaskowce gruboziarniste	33+35
Piaskowce średnioziarniste	30+32
Łupki piaszczyste, mułowce	26+29
Łupki ilaste, iłowce	23+27
Węgla kamienne	21+24

Średnią wartość kąta tarcia wewnętrznego skał górotworu karbońskiego można przyjąć $\Psi = 28^\circ$. Stąd kąt β , który można utożsamić z kątem zasięgu wpływów głównych, wyniesie:

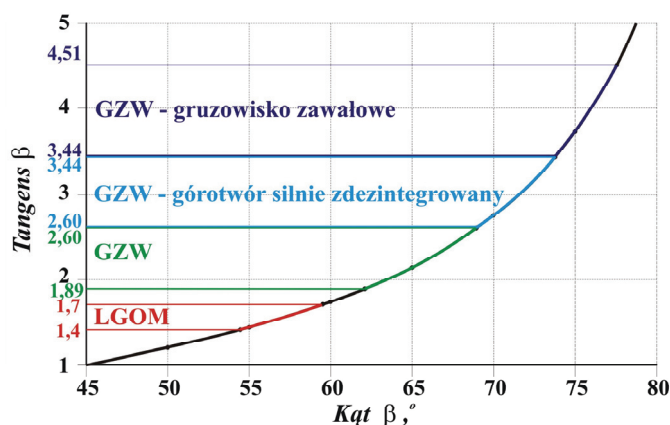
$$\beta = 90^\circ - \frac{\Psi}{2} = 90^\circ - 14^\circ = 76^\circ \quad (4)$$

Zatem dla takiego górotworu $\text{tg } \beta = 4,01$, z tym że dla gruzowiska zawałowego utworzonego z piaskowców $\text{tg } \beta = 3,44$, a dla utworzonego z mułowców i iłowców $\text{tg } \beta = 4,51$.

Oczywiście $\text{tg } \beta$ będzie stopniowo zmieniał się, w miarę oddalania się od spągu zrobów pokładu, do wartości właściwych dla górotworu silnie naruszonego, mało zwięzłego, a ostatecznie do kąta β właściwego dla rozpatrywanej partii złoża. Tej wartości parametru

zasiegu wpływów głównych nie wyklucza S. Knothe pisząc, że w warunkach GZW wartość zasięgu wpływów głównych waha się na ogół w granicach $\text{tg } \beta = 1,5 \div 2,5$; a w rzadkich przypadkach $\text{tg } \beta \geq 3,0$ [8]. Zatem — uwzględniając wartości skrajne (graniczne) — wartość parametru wpływów głównych zmienia się w przedziale (rys. 1):

$$4,51 \geq \text{tg } \beta \geq 1,40 \quad (5)$$



Rys. 1. Zależność wartości $\text{tg } \beta$ od stanu górotworu

3. Zwięzłość górotworu a zagrożenia tapaniami

Praktyka górnicza nie pozostawia wątpliwości, że zagrożenie tapaniami występuje wyłącznie w wyrobiskach zlokalizowanych w górotworze zwięzłym, o wysokich parametrach wytrzymałościowych. Zwięzłe węgle kamienne ($R_c \geq 16$ MPa) charakteryzują się zdolnością do tapani w pewnych warunkach stanu naprężenia. Nie oznacza to, że węgle o niższych parametrach wytrzymałościowych ($R_c < 16$ MPa) pozbawione są tych cech; jednakże „zjawisko tapania” [21, 22] może w nich wystąpić przy znacznie wyższym stanie naprężenia.

Skłonność do tapani skał płonnych pozostaje nadal dyskusyjna. „Zjawiska tapania” próbek skalnych dotychczas nie udało się potwierdzić w warunkach laboratoryjnych. Tapanie w kopianiach rud miedzi z dużym prawdopodobieństwem można tłumaczyć jako rezultat pęknięcia grubych wysokowytrzymałych warstw wstrząsogennych (dolomitów i/lub anhydrytów), zalegających powyżej złoże i ich udaru na wysokowytrzymałe skały na poziomie wyrobisk górniczych. Wskazuje na to niewystępowanie tapani w przypadku pozbawienia skał cech sprężystych poprzez doprowadzenie ich (w ociosach wyrobisk bądź też w całych filarach technologicznych) do stanu o zniszczonej strukturze (stanu pokrytycznego). Nawet po bardzo silnym wstrząsie najczęściej obserwuje się „obsypanie” skał z ociosów bez charakterystycznego dla tapani dynamicznego przemieszczenia („wyrzutu”) skał ze ścianek wyrobisk.

Doświadczenia i obserwacje stanu zagrożenia łąpaniami wyrobisk górniczych wskazują jednakże, że warstwy wstrząsogenne, zalegające w odległości nawet kilkaset metrów nad eksploatowanym pokładem, w rezultacie ich podbierania ulegają pęknięciu i emitują wysokoenergetyczne wstrząsy o energii rzędu $10^7 \div 10^9$ J. W rezultacie występują uszkodzenia obiektów powierzchniowych, a czasami również powodują łąpania w wyrobiskach górniczych. Zatem dla pełnego rozeznania przyczyn występowania dynamicznych zagrożeń dla wyrobisk górniczych, a także dla obiektów powierzchniowych, konieczne staje się określenie pewnych cech górotworu, jego predyspozycji do dynamicznych przejawów w oparciu o właściwości całego profilu górotworu — od horyzontu wyrobisk do powierzchni.

W profilu karbonu górnośląskiego występują zasadniczo piaskowce, łowce i mułowce (oczywiście i pokłady węgla) — skały zwięzłe, których parametry wytrzymałościowo-deformacyjne różnią się w istotnym zakresie dla poszczególnych rodzajów skał i warstw: libiąskich, łąziskich, orzeskich, rudzkich, siodłowych, porębskich, jakłowieckich i gruszowskich. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie tych skał w oparciu o bazę danych prowadzoną w Głównym Instytucie Górnictwa podano w tabeli 3.

Podane wartości wytrzymałości skał pozwalają oszacować średnią ważoną R_c poszczególnych rodzajów skał i warstw z zależności:

$$\bar{R}_c = \frac{\sum R_{ci} \cdot h_i \cdot \eta_i}{\sum h_i} \quad (6)$$

gdzie:

- h_i — grubość i -tych rodzajów skał zalegających w i -tej warstwie,
- R_{ci} — średnia wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie skał i -tego rodzaju w i -tej warstwie,
- η — współczynnik zmniejszenia wytrzymałości skał na skutek zaburzeń geologicznych lub zaszłości eksploatacyjnych.

Duża złożoność budowy górotworu i duża zmienność zwięzłości skał budujących Górnośląskie Zagłębie Węglowe wymaga niezależnej ich analizy w oparciu o możliwie dokładne profile litologiczne górotworu i szerokie badania parametrów wytrzymałościowych skał. Stąd też profile górotworu warstw karbonu produktywnego ustalono w oparciu o profile szybów, które w możliwie szerokim zakresie przecinały dane warstwy.

Poszczególne warstwy budujące górotwór karboński udokumentowano w oparciu o profile szybów:

- libiąskie — o profil szybu Janina VI kopalni „Janina”,
- łąziskie — o profil szybu 3 KWK „Ziemowit”,
- orzeskie — o profil szybu Piotr KWK „Wesoła”,
- rudzkie i siodłowe — o profil szybu Budryk KWK „Bobrek” — Centrum Ruch,
- porębskie — o profil szybu Leon IV KWK „Rydułtowy” — Anna Ruch Rydułtowy,
- jakłowieckie i gruszowskie — o profil szybu Chrobry II KWK „Rydułtowy-Anna” Ruch Anna.

TABELA 3
Wytężalność na jednoosłowe ścisłkanie skał płonnych i węgla w GZW [2]

Rodzaje skał	Parametr	Warstwy budujące karbon produktywny GZW i R_c skał płonnych									
		libiąskie	łaziskie	orzelskie	rudzkie	siodłowe	porębskie	jakłowieckie	gruszowskie		
piaskowce	Przedział zmienności R_c , MPa	2,3÷15,7	4,2÷72,1	30,2÷102,0	46,6÷114,9	41,7÷94,9	25,2÷105,7	61,9÷117,5	46,8÷105,5		
	Wartość średnia R_c , MPa	7,7	21,2	62,9	75,2	66,8	67,0	83,3	80,4		
mułowce	Przedział zmienności R_c , MPa	brak badań	21,2÷35,6	21,2÷101,1	18,4÷136,6	52,2÷100,0	69,9÷94,7	31,9÷109,0	41,5÷106,9		
	Wartość średnia R_c , MPa	brak badań	27,8	56,6	60,8	64,8	80,1	65,5	66,3		
iłowce	Przedział zmienności R_c , MPa	12,3÷19,8	11,3÷33,8	12,1÷77,4	14,5÷75,4	24,2÷77,8	21,1÷68,5	20,2÷93,2	23,1÷60,0		
	Wartość średnia R_c , MPa	16,0	25,9	39,5	40,5	45,6	36,7	50,3	51,9		
węgle	Przedział zmienności R_c , MPa	23,3÷37,9	14,0÷46,3	4,5÷44,2	2,0÷44,3	6,5÷49,9	7,5÷43,5	5,5÷35,2	19,6÷47,2		
	Wartość średnia R_c , MPa	29,9	29,9	15,4	18,4	24,8	19,2	16,1	33,7		

Uwzględniając litologię warstw skalnych i średnie parametry wytrzymałościowe poszczególnych rodzajów petrograficznych skał je tworzących — średnie wartości R_c ważone ich łączną grubością podano w tabeli 4.

TABELA 4

Średnie parametry wytrzymałościowe $\overline{R_c}$ skał warstw budujących GZW

$\overline{R_c}$ [MPa]							
libiąskie	łaziskie	orzeskie	rudzkie	siodłowe	porębskie	jakłowieckie	gruszowskie
8,75	21,86	51,13	49,16	50,37	55,41	69,19	64,69
Liczba tąpnięć w latach 1970–2006							
0	1	0	9	458	12	6	0

Przy eksploatacji pokładów warstw libiąskich (kopalnie Siersza, Janina) nie notowano zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami. Mała lub średnia głębokość eksploatacji oraz słabe skały nie powodowały kumulowania dużych wartości energii sprężystej. Podbierany górotwór nie generował wstrząsów, bądź też wyłącznie wstrząsy śladowe lub niskoenergetyczne, nie prowokujące zjawisk dynamicznych w wyrobiskach górniczych. Natomiast relatywnie niskie parametry wytrzymałościowe skał płonnych warstw łaziskich generują nie tylko wstrząsy wysokoenergetyczne (kopalnia „Piast” — $E_{\max} = 6 \cdot 10^7$ J), ale nawet jedno zdarzenie w wyrobiskach pokładu 209 uznano za tąpnięcie. Uwarunkowane to było sąsiedztwem uskoku o dużym zrzucie i nadmiernym rozcięciem pokładu, do których to wyrobisk zbliżył się front ścianowy; zatem zdarzenie to, uznane za tąpnięcie, było poniekąd „wymuszone” uwarunkowaniami geologiczno-górnictwymi.

Z dużym prawdopodobieństwem można założyć, że przyczynę wysokoenergetycznych wstrząsów generowanych eksploatacją pokładów w warstwach łaziskich stanowią bardzo grube warstwy piaskowca (pomimo jego niskiej wartości R_c), kilkudziesięciometrowa, a nawet sporadycznie przekraczająca 100 m, odległość między poszczególnymi pokładami oraz duża grubość pokładu 209, osiągająca, a nawet przekraczająca 4,0 m. Podbieranie ścianą tej wysokości warstwy piaskowca grubość kilkudziesięciu metrów, zwłaszcza w zasięgu oddziaływania resztki w wyższym pokładzie, prowadzi do generowania wstrząsów wysokoenergetycznych, niekoniecznie prowadzących do przejawów dynamicznych w wyrobiskach.

Dotychczasowa eksploatacja pokładów w warstwach orzeskich, pomimo ich relatywnie wysokiej średniej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, nie generowała wysokoenergetycznych wstrząsów, nie notowano też tąpnięć. Wynika to z przewagi gęsto uławicyconych skał ilastych budujących te warstwy, dużej liczby pokładów węgla i przerostów wę-

głowych, cienkich i średniej grubości pokładów eksploatowanych w porządku z góry ku dołowi. W tych warunkach górotwór podbierany wielokrotnie eksploatacją pokładów wzajemnie odległych do kilkunastu metrów ulegał stopniowo degradacji, był też stopniowo pozabawiany cech sprężystych. Niespełnianie tych warunków może jednak powodować możliwość generowania wysokoenergetycznych wstrząsów: wskazuje na to wstrząs o energii $E = 9 \cdot 10^7$ J w kopalni Knurów, spowodowany eksploatacją pokładu 361 na głębokości 760 m.

Podobne uwagi dotyczą warstw górnorudzkich, wykształconych z przewagą skał ilastych, pośród których występują cienkie i średniej grubości pokłady węgla i przerosty węglowe. Natomiast warstwy dolnorudzkie, wykształcone w serii piaskowcowej z kilkoma pokładami średniej grubości i pokładami grubymi, stwarzają zagrożenie zarówno sejsmiczne, jak i tąpnięciami. Zagrożenie to przenosi się też na warstwy siodłowe, zawierające pokłady średniej grubości i grube, w tym pokład 510 osiągający grubość 20 m we wschodniej, stabilnej części Zagłębia Górnośląskiego. Eksploatacja pokładów w warstwach siodłowych generuje najwięcej wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu; wystąpiło tu również najwięcej tąpnięć.

Tąpnięcia w warstwach porębskich i jakłowieckich są rzadsze, również relatywnie niskie jest wydobywanie z pokładów tych warstw. Pokłady węgla w nich występujące są cienkie lub co najwyżej średniej grubości. Jednakże biorąc pod uwagę wysoką wytrzymałość skał je budujących, a także dużą głębokość tych najstarszych warstw karbonu górnośląskiego — zagrożenie tąpnięciami robót w nich prowadzonych jest stosunkowo wysokie.

W latach 1970–2006 w poszczególnych warstwach budujących karbon produktywny w GZW wystąpiło kilkaset tąpnięć [11] (tab. 4).

W wyrobiskach zlokalizowanych w pokładzie 510 wystąpiło ponad 38,8% wszystkich tąpnięć w latach 1970–2006.

W kopalniach LGOM, których górotwór przyjęto za górny przedział wytrzymałościowy w porównaniu do górotworu GZW, wyróżnia się — licząc od najmłodszych:

- utwory czwartorzędu — reprezentowane przez piaski, żwiry i gliny,
- utwory trzeciorzędowe — iły, piaski, żwiry, gliny i węgle brunatne,
- utwory piaskowca — piaskowce drobnoziarniste,
- utwory cechsztynu, wykształcone w serii łożysk, łożysk i gipsów, oraz serii anhydrytów i dolomitów, czasami z wkładkami łupków,
- utworów czerwonego spągowca.

Jednopakładowe złoża rud miedzi występują na pograniczu serii węglanowej i czerwonego spągowca.

Średnią wytrzymałość na jednoosiowe ścislenie skał zalegających w stropie złoża rud miedzi (tab. 5) przyjęto jako średnią wartość podanego w [3] przedziału zmienności tego parametru. Powyższe uzasadniają również parametry wytrzymałościowe skał dokumentowane w „Kompleksowych projektach eksploatacji...” [9] opracowanych przez kopalnie eksploatujące to złożo.

TABELA 5
Wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie skał LGOM [3]

Rodzaj skały	Przedział zmienności R_c , MPa	Średnia R_c , MPa
pstry piaskowiec	30÷123	76
ilołupki	20÷58	39
anhydryt	50÷144	99
sól kamienna	18÷41	29
dolomit	45÷244	144
część stropowa piaskowców czerwonego spągowca	13÷141	77
część spągowa piaskowców czerwonego spągowca	10÷22	16

Dla wyżej określonych średnich wartości R_c i budowy górotworu jak dla G-6 pola XI/9 O/ZG Lubin, gdzie miąższość:

- utworów czwartorzędu — 55,2 m
- utworów trzeciorzęd — 355,0 m
- pstrego piaskowca — 210,0 m
- anhydrytów — 166,3 m
- dolomitów i wapieni — 64,8 m.

Średnia wytrzymałość $\overline{R_c}$ ważona miąższością poszczególnych warstw zgodnie z równaniem (6) wynosi $\overline{R_{cg}} = 50,36$ MPa, a wyłącznie dla warstw zwięzłych $\overline{R_{cz}} = 94,66$ MPa. Analogicznie określone wartości dla innych profili górotworu LGOM zestawiono w tabeli 6.

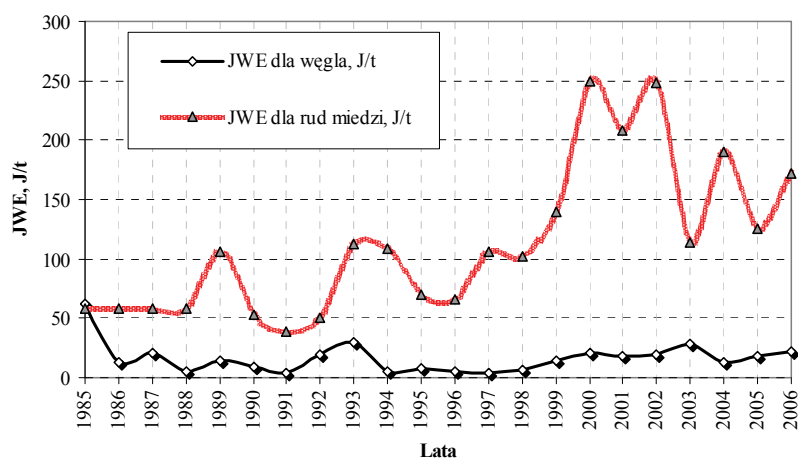
TABELA 6
Średnie ważone wartości $\overline{R_c}$ górotworu w LGOM

Profile	$\overline{R_{cg}}$, MPa	$\overline{R_{cz}}$, MPa
G-6 pole XI/9	50,36	94,66
Szyb SW-1	45,62	82,29
Szyb P-IV	51,73	94,63
Szyb R-I	48,62	85,07
Szyb R-XI	44,74	73,20

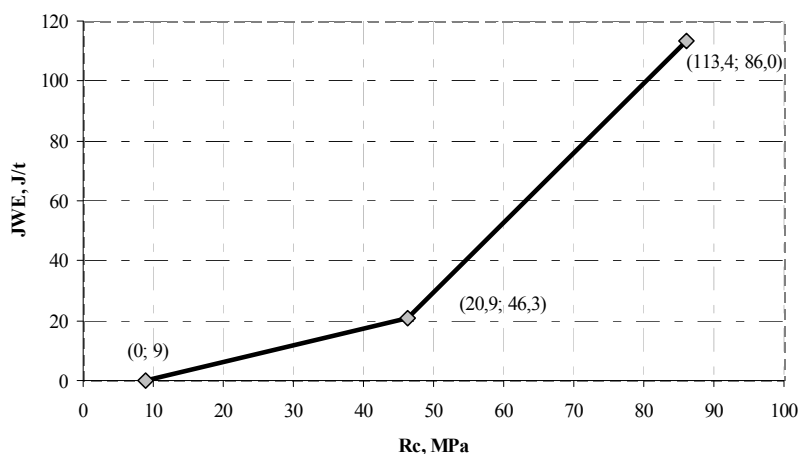
Konfrontując średnią ważoną wytrzymałość zwięzłych skał nadległych nad złożem rudy miedzi w LGOM z wytrzymałością warstw budujących karbon produktywny w GZW,

stwierdzić należy ich proporcje wytrzymałościowe jak 1,86:1,00. Jednokrotnie podbierany, znacznie bardziej wytrzymały górotwór w LGOM generuje średnio ponad 7-krotnie wyższą energię sejsmiczną wstrząsów górotworu (rys. 2), pomimo, że w obu zagłębiach maksymalne energie wstrząsów są porównywalne i kształtują się na poziomie $E < 10^{10}$ J [4, 7, 9, 19].

Jakkolwiek ze względu na zasadniczo różne geologiczno-górnice uwarunkowania złóż LGOM i GZW nie można wyciągnąć zbyt daleko idących ustaleń ilościowych pomiędzy wytrzymałością górotworu a energią sejsmiczną generowaną robotami górniczymi prowadzonymi w tych warunkach — to trend zwiększania się aktywności sejsmicznej wraz z wytrzymałością podbieranego górotworu nie może podlegać wątpliwości (rys. 3).



Rys. 2. Sejsmiczność indukowana eksploatacją w GZW i LGOM



Rys. 3. Zależność sejsmiczności górotworu od jego zwięzłości

Nie budzi wątpliwości również zależność odwrotna, czyli zmniejszenie się parametru $\text{tg } \beta$ wraz ze zwiększaniem zwięzłości górotworu. Daje to podstawę do zaproponowania sposobu oceny skłonności do tupań górotworu w oparciu o stwierdzoną w danych warunkowych wartość $\text{tg } \beta$ (tab. 7).

TABELA 7

Ocena skłonności górotworu do tupań

Wartość parametru $\text{tg } \beta$	Stan górotworu	Ocena skłonności górotworu do tupań
$\text{tg } \beta \geq 2,75$	skały luźne, gruzowisko zawałowe, górotwór gęsto uwarstwiony z licznymi przerostami węgla, silnie zdeintegrowany	niesklonny do tupań
$2,75 > \text{tg } \beta \geq 2,0$	górotwór zwięzły naruszony ciąglą eksploatacja górnictw	słabo sklonny do tupań
$\text{tg } \beta < 2,0$	górotwór zwięzły nienaruszony, górotwór o wysokiej zwięzłości	sklonny do tupań

4. Stwierdzenia i wnioski

Konfrontacja budowy i właściwości skał i górotworu oraz zjawisk dynamicznych generowanych robotami górnictwymi prowadzonymi w różnych kopalniach i rejonach eksploatacji pozwala stwierdzić, że wstrząsy górotworu występują przy eksploatacji złóż, w których stropie zalegają grube monolityczne warstwy o wysokiej wytrzymałości. Ponadto aktywność sejsmiczna ujawniona w warunkach wysokiego stanu naprężenia spowodowanego głębokością prowadzonych robót górnictwymi, względnie w zasięgu oddziaływania zaburzeń geologicznych, resztek i/lub krawędzi.

Właściwości wytrzymałościowo-deformacyjne górotworu zmieniają się w rezultacie jego podebrania, zwłaszcza podebrania wielokrotnego. W skali makro właściwości te można ocenić w oparciu o wartość parametru $\text{tg } \beta$ (według teorii Budryka–Knothege), zmierzonego nad polami zrobów czysto wybranego pokładu w polu nie zaburzonym tektonicznie. W rejonach uskoków, względnie krawędzi, zwłaszcza pokrywających się krawędzi kilku pokładów — wartość parametru $\text{tg } \beta$ może być istotnie różna w odniesieniu do określonego w polu bez tych zaburzeń, a nawet występują liniowonieciągłe deformacje powierzchni [20].

Skłonność do tupań górotworu pokładu podebranego może być oceniana zgodnie z tabelą 7, natomiast w warunkach nadebrania, zwłaszcza w dużej odległości, bardziej miarodajne rezultaty mogą dać wskaźniki W_{TG} i W_{EK} , W_{NT} [1] czy też L_g [10].

LITERATURA

- [1] Bukowska M.: Prognozowanie skłonności do tupań metodą wskaźnikowej oceny geologiczno-geomechanicznej w warunkach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Prace Naukowe GIG Nr 866. Katowice, 2005

- [2] *Bukowska M. i zespół*: Bank o własnościach fizykomechanicznych węgla i skał GZW. Praca ciągła GIG, 2006 (praca niepublikowana)
- [3] *Butra J.*: Metoda doboru systemu eksploatacji złóż rud miedzi w polach o jednorodnej charakterystyce geologicznej. Kraków, IGSMiE PAN, Studia, Rozprawy i Monografie, nr 89, 2001
- [4] *Dziedzic D. i in.*: Informacja na temat stanu zagrożenia tąpniętami i zawałami oraz skuteczności metod ograniczania tych zagrożeń w kopalniach LGOM. Praca ciągła CBPM CUPRUM, roczniki 1996–2005 (praca niepublikowana)
- [5] *Kicki J., Sobczyk E.J.*: Restrukturyzacja górnictwa w Polsce a struktura i wystarczalność zasobów węgla kamiennego. Kraków, IGSMiE PAN, Studia, Rozprawy i Monografie, nr 134, 2006
- [6] *Kidybiński A.*: Podstawy geotechniki kopalnianej. Katowice, Wydawnictwo Śląsk, 1982
- [7] *Kłeczek Z.*: Sterowanie wstrząsami górotworu w LGOM. Zagrożenia Naturalne w Górnictwie — Warsztaty 2007. Wydawnictwo IGSMiE PAN. Kraków, 2007
- [8] *Knothe S.*: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Katowice, Wydawnictwo Śląsk, 1984
- [9] Kompleksowe projekty eksploatacji złóż w warunkach zagrożenia tąpniętami O/ZG Lubin, O/ZG Polkowice-Sieroszowice i O/ZG Rudna (praca niepublikowana)
- [10] *Konopko W.*: Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tąpniętami. Katowice, Prace Naukowe GIG, 1994
- [11] *Konopko W., Patyńska R.*: Warunki występowania tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy, nr 1, 2008
- [12] *Kowalski A.*: Zmienność parametru zasięgu wpływów głównych w górotworze. Ochrona Terenów Górniczych, nr 72/2, 1985
- [13] *Kowalski A.*: Nieustalone górnicze deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz. Katowice, Prace Naukowe GIG, nr 871, 2007
- [14] *Łojas J., Konopko W.*: Kryteria nieniszczącego podbierania pokładów. Przegląd Górniczy, nr 7–8, 1981
- [15] *Pilecki Z.*: Wyznaczenie parametrów górotworu na podstawie klasyfikacji geotechnicznych. Kraków, Wydawnictwo Drukrol, 2002
- [16] *Popiołek E., Marczak H., Krawczyk A.*: Możliwość wykorzystania satelitarnej interferometrii radarowej InSAR w monitorowaniu zagrożeń górniczych.
- [17] Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Konopko Wydawnictwo GIG, roczniki 1996–2007
- [18] *Ropski S., Zdański J.*: Zachowanie się stropu nad pokładem wybieranym ścianą z zawałem. Przegląd Górniczy, nr 7–8, 1981
- [19] *Stec K.*: Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego — 30 lat ciągłej obserwacji przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną. Przegląd Górniczy, nr 7–8, 2007
- [20] *Strzałkowski P., Piwowarczyk J., Łapajski K.*: Występowanie deformacji nieciągłych liniowych w świetle analiz warunków geologiczno-górnictwowych. Przegląd Górniczy, nr 5, 2006
- [21] *Szuścik W., Zastawny E.*: Zjawisko tąpnięcia materiału węglowego. Przegląd Górniczy, nr 11, 1980
- [22] *Zastawny E.*: Tąpnięcia eksplozyjne do przodka ścianowego w modelach pokładu w świetle badań laboratoryjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo, z. 217, 1993