ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: GÓRNICTWO z. 278 Nr kol. 1752

Jerzy KWIATEK
Główny Instytut Górnictwa, Katowice

BEZPIECZEŃSTWO OBIEKTÓW BUDOWLANYCH NA TERENACH GÓRNICZYCH

Streszczenie. Wystarczająco duży odstęp między górniczymi oddziaływaniami na obiekty budowlane a ich odpornością stanowi o bezpieczeństwie obiektów. Przedstawiono sposób oceny prawdopodobieństwa zawodności obiektów w zależności od tego odstępu i warunki dopuszczenia eksploatacji w przypadku zbyt dużej zawodności.

SAFETY OF BUILDING STRUCTURES ON MINING TERRAINS

Summary. Sufficiently large gap between mining influences onto building structures and their resistance determines safety of these structures. A way of failure probability evaluation for such structures was presented in relation to this gap, as well as approval conditions of mining in the case of too large failure risk.

1. Wprowadzenie

Podziemna eksploatacja górnicza może powodować deformacje i drgania przypowierzchniowej warstwy gruntu, a więc także i podłoża obiektów budowlanych. Ich elementy konstrukcyjne doznają wówczas dodatkowych w stosunku do terenów niegórniczych przemieszczeń, odkształceń i obciążeń. Może być to przyczyną zagrożenia bezpiecznego użytkowania obiektów w zakresie zgodnym z przeznaczeniem. Podstawowym warunkiem prowadzenia eksploatacji jest zachowanie możliwości bezpiecznego użytkowania obiektów budowlanych. O spełnieniu takiej możliwości decyduje wystarczająco duży odstęp między górniczymi oddziaływaniami na obiekty budowlane a ich odpornością. W referacie przedstawiono sposób oceny tego odstępu w aspekcie wymaganej niezawodności obiektów budowlanych.

Zgodnie z normowymi wymaganiami [3], konstrukcje i elementy konstrukcji należy sprawdzać z uwagi na możliwość wystąpienia stanów granicznych nośności i użytkowalności. Stany graniczne nośności zostaję przekroczone, gdy konstrukcja zaczyna stwarzać zagrożenie dla ludzi lub mienia, natomiast stany graniczne użytkowalności zostają przekroczone, gdy pomimo niewystępowania takich zagrożeń, konstrukcja przestaje być przydatna do użytkowania zgodnie z przeznaczeniem. Przedstawiany referat dotyczy sprawdzania stanów granicznych nośności w przypadku oddziaływań na obiekty budowlane eksploatacji górniczej w postaci ciągłych deformacji powierzchni i wstrząsów górotworu.

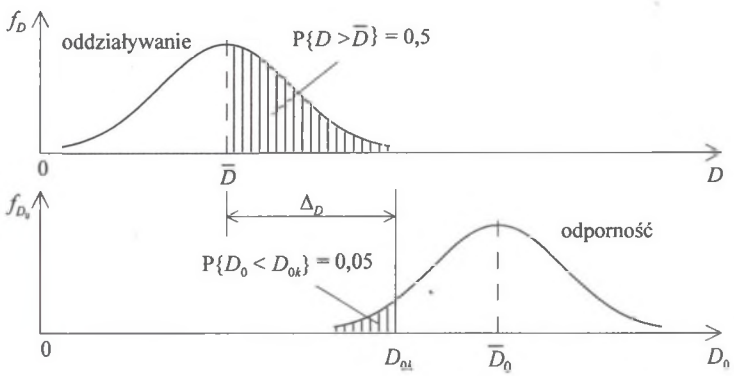
2. Ciągłe deformacje powierzchni

2.1. Wymagania podstawowe

Oceniając możliwość przeprowadzenia zaplanowanej eksploatacji górniczej, z punktu widzenia zagrożenia dla obiektów budowlanych, należy porównać ze sobą oddziaływanie eksploatacji na obiekt, reprezentowane przez wskaźnik deformacji powierzchni D i odporność D_0 obiektu na część składową deformacji powierzchni, określoną tym wskaźnikiem. Wybór uwzględnianych wskaźników deformacji powierzchni zależy od rodzaju obiektu, a wskaźnikami uwzględnianymi najczęściej są: nachylenie T, poziome odkształcenie ε i krzywizna K powierzchni. Zarówno oddziaływania na obiekt, jak i jego odporność nie są pojęciami jednoznacznymi i wymagają zdefiniowania.

Intensywność oddziaływań na obiekt ze strony podłoża określana jest wartością wskaźników deformacji powierzchni D. Wartości tych wskaźników obarczone są losowym rozproszeniem. Zazwyczaj w budownictwie, w przypadku niegórniczych oddziaływań na obiekty budowlane, operuje się tak zwanymi oddziaływaniami charakterystycznymi, których prawdopodobieństwo przekroczenia w kierunku niekorzystnym jest niewielkie, na ogół jest to prawdopodobieństwo 0,05. W tradycji budownictwa na terenach górniczych jest stosowanie tak zwanych wartości prognozowanych oddziaływań, które są ich wartościami średnimi $\overline{D}$ (rys. 1). Stosując średnie wartości oddziaływań, a więc średnie wartości wskaźników deformacji powierzchni, trzeba mieć na uwadze, że prawdopodobieństwo ich przekroczenia w kierunku niekorzystnym jest duże i wynosi 0,5.

Odporność D_0 obiektu na część składową deformacji podłoża, określoną wartością D wskaźnika deformacji powierzchni oznacza, że dopóki będzie $D < D_0$*, dopóty nie zostanie przekroczony stan graniczny obiektu, uwzględniony przy definiowaniu jego odporności. Podkreślić należy, że odporność obiektu, będąca jego cechą wytrzymałościowo-odkształceniową, sprzężona jest z określonym stanem granicznym obiektu jako całości lub części obiektu, którego przekroczenie uznaje się za niepożądane. Ten stan graniczny może dotyczyć zagrożenia bezpiecznego użytkowania obiektu i wówczas jest to stan graniczny nośności lub może dotyczyć zagrożenia przydatności obiektu do użytkowanie (bez zagrożenia bezpieczeństwa) i wówczas jest to stan graniczny użytkowalności. Tak jak w przypadku oddziaływań odporność obiektu obarczona jest losowym rozproszeniem. W budownictwie stosuje się wartości charakterystyczne nośności (wytrzymałości), związane z charakterystycznymi wartościami cech materiałów. Analogicznie w przypadku budownictwa na terenach górniczych właściwe jest stosowanie wartości charakterystycznych odporności obiektów D_{0k}, o prawdopodobieństwie równym 0,05 wystąpienia odporności mniejszej niż odporność charakterystyczna (rys. 1).



Rys. 1. Zależność pomiędzy oddziaływaniem a odpornością w przypadku ciągłych deformacji powierzchni
Fig. 1. Relationship between influence and resistance in the case of continuous surface deformations

Zauważyć należy, że w pracach projektowych operuje się raczej wartościami obliczeniowymi nośności, związanymi z wartościami obliczeniowymi cech materiałów. Na terenach górniczych odporność obiektów jest często efektem bezpośrednich obserwacji wpływu na nie przeprowadzonych eksploatacji i wówczas wynikiem analiz są wartości

* pomimo niestosowania odpowiednich oznaczeń rozpatruje się bezwzględne wartości oddziaływań i odporności

charakterystyczne odporności, rozumiane jako wartości „prawie nieprzekraczalne" w kierunku niekorzystnym.

Znajomość średniej wartości oddziaływań $\overline{D}$ i charakterystycznej wartości odporności D_{0k} obiektu, odpowiadającej przyjętemu dla obiektu stanowi granicznemu, nie jest jeszcze wystarczająca do podjęcia decyzji o możliwości przeprowadzenia eksploatacji. Stopień ochrony obiektu zależy bowiem jeszcze od zastosowanej odległości Δ_D między średnim oddziaływaniem $\overline{D}$ i charakterystyczną odpornością D_{0k}, zależnej od przyjętego prawdopodobieństwa nieprzekroczenia odporności obiektu D_0 przez oddziaływanie D. Zagadnienie zostało szczegółowo przedstawione w monografii [2], poniżej przytoczone będą wybrane informacje, przydatne przy ocenie możliwości i warunków przeprowadzenia eksploatacji na podstawie znajomości wartości średnich oddziaływań $\overline{D}$ i wartości charakterystycznych odporności D_{0k}.

Podstawowym warunkiem, którego spełnienie umożliwia dopuszczenie eksploatacji, jest zapewnienie bezpiecznego użytkowania obiektów. Miarą bezpieczeństwa jest prawdopodobieństwo nieprzekroczenia przez oddziaływanie D odporności D_0, a wartość tego prawdopodobieństwa zależy od arbitralnego przyjęcia i może być, w przypadku braku ustaleń normatywnych, uzależniana od pożądanego wyniku. Nawet więc obiektywne miary bezpieczeństwa, oparte na rachunku prawdopodobieństwa, nie są wolne od subiektywnych przyjęć. W monografii [2] uzasadniono, że w przypadku oddziaływań górniczych, o przewidywanym ciągliwym (z ostrzeżeniem) sposobie zniszczenia konstrukcji można przyjmować wskaźniki bezpieczeństwa mniejsze niż w przypadku oddziaływań niegórniczych, co oznacza możliwość przyjmowania większego niż w przypadku oddziaływań niegórniczych prawdopodobieństwa zawodności p_f. Dla małych konsekwencji zniszczenia przyjęto $p_f = 0{,}01$, a dla średnich konsekwencji zniszczenia przyjęto $p_f = 0{,}001$. Nie omawia się tu przypadku dużych konsekwencji zniszczenia jako przypadku o szczególnej ochronie obiektu, przedstawionego w monografii [2]. Przy stosowaniu do oceny bezpieczeństwa konstrukcji metody częściowych współczynników bezpieczeństwa, warunkiem niezawodności jest spełnienie zależności:

$$D_{0k} \geq \gamma^* \overline{D} \tag{1}$$

przy czym dla małych i średnich konsekwencji zniszczenia i dla przeciętnego rozproszenia losowego odporności obiektu (współczynnik zmienności $\nu_{D_0} = 0{,}2$) wartości współczynnika γ^* zestawiono w tablicy 1. Pełne zestawienie wartości współczynników γ^* zamieszczono

w monografii [2]. Oddziaływania spełniające zależność (1) uznano za oddziaływania dopuszczalne z uwagi na bezpieczeństwo obiektu, co oznacza, że z prawdopodobieństwem 0,99 w przypadku małych konsekwencji zniszczenia i z prawdopodobieństwem 0,999 w przypadku średnich konsekwencji zniszczenia zostanie nieprzekroczony, przyjęty jako kryterium dopuszczenia eksploatacji, stan graniczny obiektu.

Tablica 1

Wybrane wartości współczynnika γ^*

Wskaźnik deformacji powierzchni		T	ε	K
konsekwencje zniszczenia obiektu	małe	1,3	1,5	1,9
	średnie	1,7	2,2	3,2

2.2. Prawdopodobieństwo niezawodności

Zapewnienie bezpieczeństwa ze strony konstrukcji obiektów budowlanych jest zasadniczym wobec nich wymaganiem. Jedyną miarą bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, jawną lub ukrytą w różnych współczynnikach bezpieczeństwa, jest prawdopodobieństwo niezawodności, co oznacza prawdopodobieństwo niewystąpienia stanu zagrożenia. Stany zagrożenia ze strony konstrukcji obiektów budowlanych powinny być uwzględnione w określaniu rozpatrywanych stanów granicznych, w tym przypadku stanów granicznych nośności. W teorii bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych operuje się wskaźnikiem niezawodności β oraz prawdopodobieństwem zawodności p_f. Szczegóły na ten temat przedstawiono w monografii [2]. W przypadku obiektów o małych konsekwencjach zniszczenia przyjęto prawdopodobieństwo zawodności $p_f \leq 10^{-2}$, a w przypadku obiektów o średnich konsekwencjach zniszczenia przyjęto prawdopodobieństwo zawodności $p_f \leq 10^{-3}$. Mając na uwadze stały nadzór nad stanem technicznym obiektów na terenach górniczych, takie prawdopodobieństwo zawodności, w przypadku bezpieczeństwa obiektów, a więc rozpatrywania stanów granicznych nośności, można uznać za właściwe. Zdarza się jednak, że w porównaniu z wpływem projektowanej eksploatacji, odporność istniejących obiektów jest zbyt mała. Poniżej przedstawiono pogląd na możliwość i konsekwencje przeprowadzenia wówczas projektowanej eksploatacji, bez wprowadzania wzmocnień konstrukcji zwiększających jej odporność.

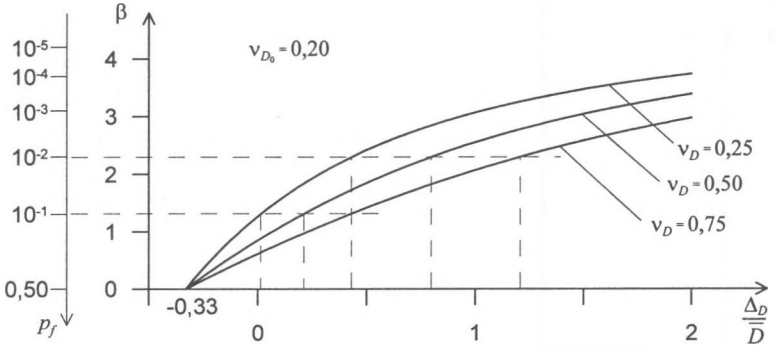
Dostatecznie mała zawodność konstrukcji obiektu, a więc jej dostatecznie duże bezpieczeństwo, związana jest z wystarczająco dużym odstępem $\Delta_D = D_{0k} - \overline{D}$ między wartością charakterystyczną odporności obiektu D_{0k} a wartością średnią oddziaływania $\overline{D}$ (rys. 1). Uwzględniając zależność [2]:

$$\beta = \frac{1-\left(1-1{,}64\nu_{D_0}\right)\Psi_c}{\sqrt{\nu_{D_0}^2+\left(1-1{,}64\nu_{D_0}\right)^2\Psi_c^2\nu_D^2}} \tag{2}$$

gdzie:

$$\Psi_c = \frac{D}{D_{0k}} = \frac{1}{1+\frac{\Delta_D}{\overline{D}}}$$

otrzymuje się wyrażenie określające wskaźnik niezawodności β, uzależniony od stosunku $\frac{\Delta_D}{\overline{D}}$ oraz od współczynników zmienności oddziaływań ν_D i odporności ν_{D_0}, co przy wykorzystaniu funkcji dystrybuanty zestandaryzowanego rozkładu normalnego umożliwia określenie prawdopodobieństwa zawodności p_f. Na rysunku 2 przedstawiono, przykładowo, zależność wskaźnika niezawodności β i prawdopodobieństwa zawodności p_f od stosunku $\frac{\Delta_D}{\overline{D}}$ dla współczynnika zmienności odporności $\nu_{D_0} = 0{,}2$ i współczynników zmienności oddziaływań $\nu_D = 0{,}25;\ 0{,}50$ i $0{,}75$.



Rys. 2. Zawodność konstrukcji w zależności od odstępu między odpornością a oddziaływaniem
Fig. 2. Failure of construction in relation to the gap between resistance and influence

Dla uściślenia pojęcia „bezpieczeństwo konstrukcji obiektu" należałoby przyjąć odpowiadającą mu, w rozpatrywanych warunkach, właściwą wartość zawodności p_f. Bez przyjęcia takiego kryterium, każdy obiekt mógłby być uznany za bezpieczny.

W przypadku oddziaływań niegórniczych przyjmuje się $p_f = 10^{-5} \div 10^{-7}$. W monografii [2] uzasadniono, że wobec sprawowania na terenach górniczych regularnej kontroli stanu technicznego obiektów budowlanych, można dla oddziaływań górniczych przyjąć $p_f = 10^{-2} \div 10^{-4}$.

Dalsze podwyższenie zawodności związane jest oczywiście ze zwiększonym zagrożeniem i zwiększonym zakresem szkód górniczych, przy niewykluczonych bieżących interwencjach w zakresie możliwości i warunków bezpiecznego użytkowania obiektów. Dopuszczenie wówczas eksploatacji górniczej powinno być uwarunkowane dodatkowymi działaniami na rzecz bezpieczeństwa. Można wyrazić pogląd, że jeżeli przewiduje się:

- małe konsekwencje zniszczenia obiektu,
- ciągliwe uszkodzenia elementów konstrukcyjnych obiektu, a więc pojawienie się ostrzeżeń przed uszkodzeniami,
- że uszkodzenia elementów konstrukcyjnych wskutek oddziaływań górniczych nie będą miały lub będą miały znikomy wpływ na możliwość bezpiecznego przenoszenia oddziaływań zasadniczych na obiekt (ciężaru własnego, obciążeń technologicznych i środowiskowych),

to w przypadku zawodności $10^{-2} < p_f < 10^{-1}$ możliwa jest projektowana eksploatacja pod warunkiem przeprowadzania przez kompetentne osoby wzmożonej kontroli stanu technicznego obiektów, na podstawie ogólnych zaleceń, dostosowanych do rodzaju obiektów i stopnia zagrożenia.

Możliwa jest także eksploatacja w przypadku zawodności $p_f \geq 10^{-1}$, jednak wówczas kontrola stanu technicznego obiektów powinien odbywać się na podstawie indywidualnych ekspertyz, w których określone byłyby możliwe zagrożenia oraz szczegółowe wytyczne kontroli i ewentualnie potrzebne doraźne zabezpieczenia. W tym przypadku, wobec dużego prawdopodobieństwa zawodności, należy liczyć się z dużą uciążliwością prowadzonej eksploatacji dla użytkowników obiektów i każdy przypadek takiej eksploatacji powinien być przeanalizowany w aspekcie problemów nie tylko technicznych, ale także społeczno-ekonomicznych. Ponadto, nie wydaje się, aby właściwe było, bez nadmiernego ryzyka, prowadzenie eksploatacji w przypadku zawodności przekraczającej 0,50.

W tablicy 2 zaprezentowano zaproponowane rodzaje kontroli stanu technicznego obiektów na terenach górniczych w zależności od ich zawodności, przedstawiając także

przykładowo wartości stosunku $\frac{\Delta_D}{\overline{D}}$ dla współczynnika zmienności odporności $\nu_{D_0} = 0{,}20$ i współczynników zmienności oddziaływań $\nu_D = 0{,}25; 0{,}50$ i $0{,}75$.

Tablica 2

Rodzaje kontroli stanu technicznego obiektów w zależności od prawdopodobieństwa zawodności

Prawdopodobieństwo zawodności p_f	Kontrola stanu technicznego obiektów	$\frac{\Delta_D}{\overline{D}}$ dla $\nu_{D_0} = 0{,}2$ i ν_D:		
		0,25	0,50	0,75
$p_f \le 10^{-2}$	jak na terenach górniczych	$\ge 0{,}4$	$\ge 0{,}8$	$\ge 1{,}2$
$10^{-2} < p_f < 10^{-1}$	wzmożona na podstawie ogólnych zaleceń	$0 \div 0{,}4$	$0{,}2 \div 0{,}8$	$0{,}4 \div 1{,}2$
$10^{-1} \le p_f$	szczegółowa na podstawie indywidualnych ekspertyz	≤ 0	$\le 0{,}2$	$\le 0{,}4$

3. Oddziaływania sejsmiczne

Prognozowanie oddziaływań sejsmicznych projektowanej eksploatacji górniczej polega na wyznaczeniu dla przypowierzchniowej warstwy gruntu maksymalnego przyspieszenia i dominującej częstotliwości, związanych z projektowaną eksploatacją górniczą w obszarze powierzchni, w którym przyspieszenia są nie mniejsze od 50 mm/s^2. Dla każdego obiektu na powierzchni powinna być określona jego odporność na wpływ wstrząsów górniczych, rozumiana jako zdolność do przeniesienia tych wstrząsów, przy zachowaniu bezpieczeństwa użytkowania obiektu, z możliwością powstania co najwyżej uszkodzeń elementów wykończeniowych i architektonicznych, niestwarzających zagrożenia dla bezpieczeństwa jego użytkowania. Miarą odporności obiektu na wpływ wstrząsów górniczych jest maksymalna wartość przyspieszenia drgań poziomych przypowierzchniowej warstwy gruntu, która może wystąpić bez spowodowania zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji obiektu i jego bezpiecznego użytkowania. Porównanie ze sobą parametrów drgań prognozowanych z parametrami drgań charakteryzujących odporność obiektu pozwala ocenić możliwość przeprowadzenia projektowanej eksploatacji górniczej, z uwagi na zachowanie bezpieczeństwa. W przypadku budynków mieszkalnych, gospodarczych i użyteczności publicznej w dobrym stanie technicznym przyjmuje się, że ich odporność jest wystarczająca do bezpiecznego przeniesienia drgań warstwy gruntu o przyspieszeniach nieprzekraczających

200 mm/s^2. Dla drgań o większych przyspieszeniach możliwość taką trzeba potwierdzić odpowiednią analizą.

Zgodnie z aktualnym stanem formalnym, oddziaływanie wstrząsów pochodzenia górniczego na obiekty budowlane zalicza się do oddziaływań wyjątkowych [1], a więc oddziaływań mogących według normy [4] „wystąpić w wyniku mało prawdopodobnych zdarzeń w przewidywanym okresie użytkowania budowli". Konsekwencją zaliczenia oddziaływań od wstrząsów górniczych do obciążeń wyjątkowych jest nieuwzględnianie dla nich częściowych współczynników bezpieczeństwa i nieuwzględnianie wpływu wstrząsów przy sprawdzaniu stanów granicznych użytkowalności. Dla sprawdzania natomiast stanu granicznego nośności uwzględnia się największe oddziaływania, stwierdzone w przeszłości lub zaprognozowane na podstawie analizy posiadanych materiałów obserwacyjnych i przyczyn wywołujących wstrząsy górnicze.

Sprawdzanie stanu granicznego nośności może być przeprowadzone poprzez porównanie ze sobą wartości parametrów drgań przypowierzchniowej warstwy gruntu prognozowanych i wartości odporności obiektu, wyrażonych w tych samych parametrach. Najczęściej dotychczas stosowanym parametrem są amplitudy poziomych składowych przyspieszeń drgań gruntu a_p, w przedziale częstotliwości 2 ÷ 10 Hz. Wartością prognozowaną jest wartość maksymalna tych przyspieszeń $a_{p\max}$ (uważana za wartość charakterystyczną), a odporność obiektu a_{p0} wyrażana jest wartością charakterystyczną odporności a_{p0k}. Na rysunku 3 przedstawiono wzajemne usytuowanie oddziaływania $a_{p\max}$ i funkcji gęstości prawdopodobieństwa $f_{a_{p0}}$ zmiennej losowej a_{p0}, o przyjętym rozkładzie normalnym. Istotnym elementem bezpieczeństwa jest odpowiednia odległość Δ_{a_p} między wartościami $a_{p\max}$ i a_{p0k}. Według rozważań przedstawionych w monografii [2], dla uzyskania dostatecznej odległości Δ_{a_p} powinna być zachowana zależność:

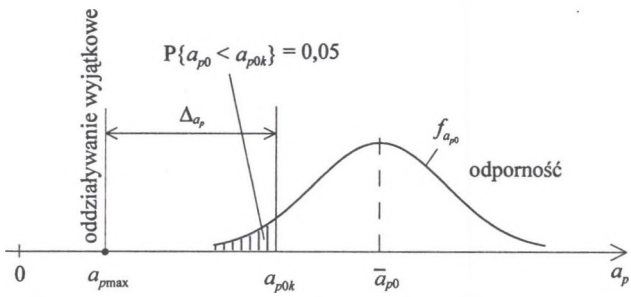
$$a_{p\max} \leq \frac{a_{p0k}}{1{,}2} \tag{3}$$

co prowadzi do warunku:

$$\frac{\Delta_{a_p}}{a_{p\max}} \geq 0{,}2 \tag{4}$$

Powyżej uwzględniono wartość częściowego współczynnika bezpieczeństwa oddziaływań 1,2. Oddziaływania sejsmiczne pochodzenia górniczego na obiekty budowlane powinny być analizowane nie tylko z uwagi na bezpieczeństwo konstrukcji obiektu, ale także z uwagi na

zagrożenia wynikające ze strony jego elementów wykończeniowych i wyposażeniowych. Należy mieć na uwadze, że spowodowane wstrząsem górniczym siły bezwładności mogą być przyczyną ich uszkodzeń i przemieszczeń, zwłaszcza na wyższych kondygnacjach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej.



Rys. 3. Zależność pomiędzy oddziaływaniem a odpornością w przypadku wstrząsów pochodzenia górniczego
Fig. 3. Relationship between influence and resistance in the case of tremors of mining origin

Zaliczenie wstrząsów pochodzenia górniczego do oddziaływań wyjątkowych budzi wątpliwości wobec normowej definicji takich wstrząsów. Mając na uwadze rozpoznanie zjawisk sejsmicznych w górotworze wywołanych eksploatacją górniczą i praktyczne możliwości prognozowania ich skutków w podłożu obiektów należałoby, rozważyć zmianę klasyfikacji oddziaływań pochodzących od wstrząsów górniczych na obiekty budowlane na obciążenia zmienne w całości krótkotrwałe w przypadku wstrząsów związanych bezpośrednio z eksploatacją górniczą i obciążenia wyjątkowe w przypadku rzadziej występujących, ale charakteryzujących się dużą intensywnością i trudno prognozowanych tak zwanych wstrząsów regionalnych.

LITERATURA

1. Instrukcja nr 364/2007: Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2007.
2. Kwiatek J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, wydanie drugie zmienione i rozszerzone, Katowice 2007 (w druku).
3. PN-76/B-03001 Konstrukcje i podłoża budowli. Ogólne zasady obliczeń.
4. PN-82/B-02000 Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.

Recenzent: Dr hab. inż. Marian Kawulok, prof. w Pol. Śl.