

Jerzy KWIATEK

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Probabilistyczna ocena niezawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych

Streszczenie

Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych uwarunkowana jest dostateczną odpornością obiektów w stosunku do oddziaływań pochodzenia górniczego. Zarówno odporności, jak i oddziaływania obarczone są rozproszeniem losowym. Ocena skutków eksploatacji powinna więc być probabilistyczna. Przedstawiono probabilistyczną metodę oceny niezawodności obiektów posadowionych na podłożu poddanym ciągłym deformacjom spowodowanym podziemną eksploatacją górniczą. Za miarę poziomu niezawodności przyjęto wartość wskaźnika niezawodności, zależnego od średnich wartości i odchyłeń standardowych odporności obiektów i oddziaływań ze strony podłoża. Umożliwia to oszacowanie prawdopodobieństwa zawodności obiektów na terenach górniczych.

1. Wprowadzenie

Ocena niezawodności obiektów budowlanych sprowadza się do stwierdzenia, że obiekt nie wykaze przekroczenia stanu uznanego za stan graniczny. Najczęściej rozpatrywanym stanem granicznym jest stan graniczny nośności, którego nieprzekroczenie stanowi o bezpieczeństwie obiektu, ale stan graniczny może również dotyczyć użyteczności obiektu. Na terenach górniczych stan graniczny mogący być następstwem oddziaływań na obiekt eksploatacji górniczej określa odporność obiektu. Ocena niezawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych oznaczać więc będzie wykazanie, że prognozowane oddziaływania górnicze na obiekt nie przekroczą jego odporności, to znaczy, że obiekt nie przekroczy stanu uznanego za niepożądanego przy definiowaniu odporności. Nie oznacza to jednak niewystąpienia w obiekcie żadnych szkód.

Prawidłowa analiza niezawodności obiektu budowlanego na terenach górniczych powinna uwzględniać losowe rozproszenie zarówno górniczych oddziaływań na obiekt, jak i odporności obiektu. Powinna to być więc analiza probabilistyczna, a za miarę niezawodności powinno się uważać prawdopodobieństwo wystąpienia lub niewystąpienia takiego stanu. W teoriach niezawodności operuje się tak zwanym wskaźnikiem niezawodności, który może być kojarzony z prawdopodobieństwem niezawodności, ale który może także funkcjonować niezależnie, szczególnie w przypadku uzupełnienia rozwiązań probabilistycznych współczynnikami arbitralnymi. W takim ujęciu przedstawiono w referacie propozycję probabilistycznej oceny niezawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych, ilustrując ją zastosowaniem dla

oddziaływań na obiekty budowlane, a szczególnie na budynki o konstrukcji tradycyjnej, ciągłych deformacji powierzchni.

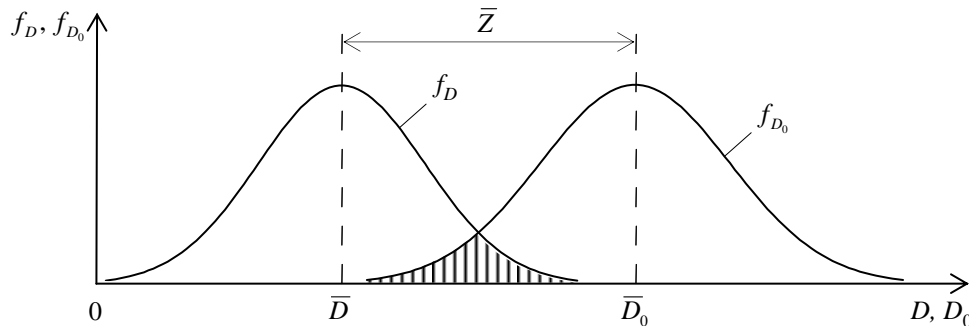
2. Probabilistyczna miara niezawodności konstrukcji

Oddziaływania eksploatacji górniczej objawiają się dodatkowym, w stosunku do terenów niegórnictwowych, odkształceniem i obciążeniem konstrukcji obiektów. Dla niezawodnego przejścia tych oddziaływań konstrukcje obiektów powinny charakteryzować się odpowiednią odpornością. Zarówno wartości wskaźników charakteryzujących oddziaływanie na obiekty, jak i wartości wskaźników charakteryzujących odporności obiektów na te oddziaływania należy traktować jako zmienne losowe. Niezawodność obiektów na terenach górniczych powinno się więc rozpatrywać w ujęciu probabilistycznym. Poniżej przedstawiono możliwość probabilistycznej oceny niezawodności obiektów budowlanych poddanych oddziaływaniom podziemnej eksploatacji górniczej, przy czym szczególną uwagę zwrócono na oddziaływania na obiekty budowlane ciągłych deformacji powierzchni (ściślej przypowierzchniowej warstwy górotworu).

Niech wskutek eksploatacji górniczej działa na obiekt oddziaływanie określone wskaźnikiem D , a obiekt charakteryzuje się możliwością przejścia takiego oddziaływania podłoża określoną wskaźnikiem D_0 (odporność obiektu na rozpatrywane oddziaływanie podłoża). W ujęciu deterministycznym niezawodność konstrukcji obiektu sprowadza się do spełnienia warunku

$$D_0 > D$$

W ujęciu natomiast probabilistycznym niezawodność konstrukcji zależy od losowego rozkładu wskaźników $D(\omega)$ i $D_0(\omega)$, określonych w przestrzeni zdarzeń elementarnych, gdzie ω oznacza takie zdarzenie (Biegus 1999). Przyjmuje się, że $D(\omega)$ i $D_0(\omega)$ mają rozkłady normalne o wartościach średnich \bar{D} i \bar{D}_0 oraz odchyleniach standardowych s_D i s_{D_0} (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Losowy charakter D i D_0
 Fig. 2.1. Random characteristics of D and D_0

Miarą niezawodności konstrukcji jest prawdopodobieństwo $P\langle D_0(\omega) > D(\omega) \rangle$. Przypadek $D(\omega) > D_0(\omega)$ oznacza zawodność konstrukcji, a prawdopodobieństwo zaistnienia takiego przypadku jest równe

$$p_f = P\{D_0(\omega) < D(\omega)\}$$

Na rysunku 2.1 zakreśkowaniem zaznaczono obszar wspólny gęstości prawdopodobieństwa oddziaływań f_D i gęstości prawdopodobieństwa odporności f_{D_0} , gdzie odporność obiektu na oddziaływanie podłoża może być mniejsza od tego oddziaływania. Miarą zapasu niezawodności konstrukcji jest losowa funkcja

$$Z(\omega) = D_0(\omega) - D(\omega) > 0$$

Wobec przyjęcia normalnych rozkładów $D(\omega)$ i $D_0(\omega)$, rozkład zmiennej losowej $Z(\omega)$ opisuje również rozkład normalny o wartości średniej \bar{Z} i odchyleniu standardowym s_Z (rys. 2.2), przy czym:

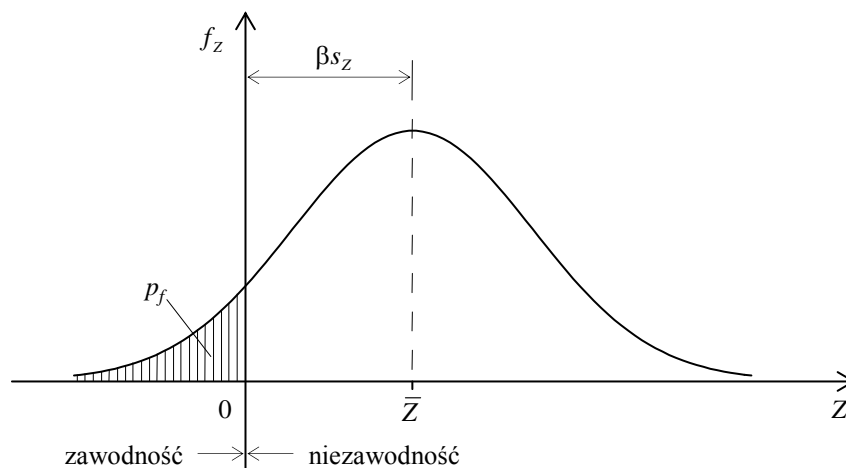
$$\begin{aligned}\bar{Z} &= \bar{D}_0 - \bar{D} \\ s_Z &= \sqrt{s_{D_0}^2 + s_D^2}\end{aligned}$$

Dla $Z(\omega) > 0$ konstrukcja jest niezawodna, a dla $Z(\omega) < 0$ konstrukcja jest zawodna. Granicą jest $Z(\omega) = 0$. Jedną z możliwości szacowania niezawodności konstrukcji jest wprowadzenie do rozważań wskaźnika niezawodności β , związanego z przebiegiem funkcji f_Z zależnością (Biegus 1999)

$$\bar{Z} - \beta s_Z = 0$$

wobec czego

$$\beta = \frac{\bar{Z}}{s_Z} = \frac{\bar{D}_0 - \bar{D}}{\sqrt{s_{D_0}^2 + s_D^2}} \quad (2.1)$$



Rys. 2.2. Losowy charakter zapasu niezawodności
Fig. 2.2. Random characteristic of reliability margin

Wprowadzenie indeksu niezawodności β umożliwia deterministyczną ocenę niezawodności konstrukcji na bazie rozważań probabilistycznych. Wraz ze wzrostem wartości tego indeksu, wzrasta bezpieczeństwo konstrukcji. Wskaźnik niezawodności β jest powiązany z prawdopodobieństwem zawadności p_f zależnością

$$p_f = \Phi(-\beta)$$

gdzie Φ jest funkcją dystrybuanty rozkładu normalnego. W tabeli 2.1 przedstawiono związek między wskaźnikiem niezawodności β a zawadnością konstrukcji p_f .

Tabela 2.1.
Kształtowanie się prawdopodobieństwa zawadności p_f w zależności od wskaźnika niezawodności β

Unreliability probabilities p_f in relation to reliability indicator β

Table 2.1.

β	5,2	4,7	4,2	3,7	3,2	2,3	1,3
p_f	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}

Uwzględniając, że:

$$s_{D_0} = v_{D_0} \bar{D}_0, \quad s_D = v_D \bar{D}$$

gdzie:

v_{D_0} – współczynnik zmienności odporności obiektu,

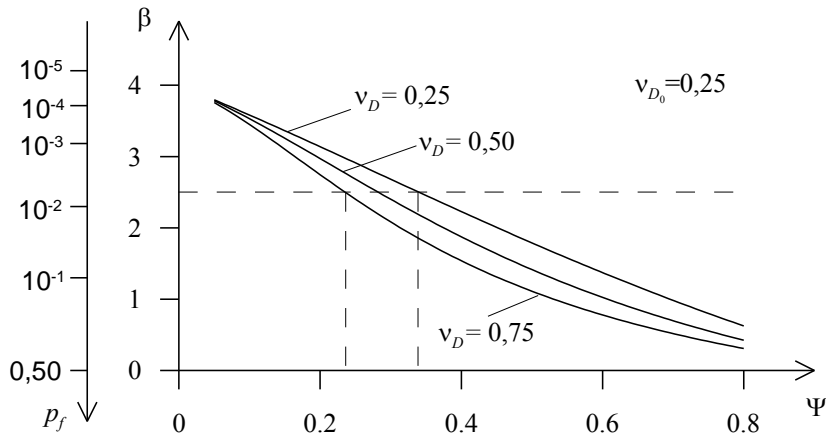
v_D – współczynnik zmienności wskaźnika deformacji powierzchni,

można zależność (2.1) przekształcić do postaci (Kwiatk 2004):

$$\beta = \frac{1 - \Psi}{\sqrt{v_{D_0}^2 + \Psi^2 v_D^2}}, \quad \Psi = \frac{\bar{D}}{D_0} \quad (2.2)$$

Dla wykorzystania zależności (2.2) potrzebna jest znajomość współczynników zmienności v_{D_0} i v_D . Informacje na ten temat podane zostaną w dalszym ciągu referatu, natomiast na rysunku 2.3 przedstawiono przykładowo zależność wskaźnika niezawodności β i prawdopodobieństwa zawadności p_f od współczynnika Ψ dla współczynnika zmienności odporności obiektów $v_{D_0} = 0,25$ oraz współczynników zmienności górnich oddziaływań na obiekty $v_D = 0,25, 0,50$ i $0,75$. Z przedstawionych wykresów wynika, że na przykład w przypadku przyjęcia wskaźnika niezawodności $\beta = 2,5$ współczynnik Ψ , dla przyjętych wartości współczynników zmienności odporności i oddziaływań, waha się w przybliżeniu w granicach od 0,25 do 0,35, średnio wynosi około 0,30. Oznacza to, że przy przyjętych danych istnieje możliwość wykorzystania średniej wartości odporności obiektu tylko w około 30%, uzyskując przy tym prawdopodobieństwo zawadności równe $p_f = 0,006$.

Znając średnią wartość odporności D_0 obiektu budowlanego na górnicze oddziaływania podłoża na obiekty, charakteryzowane wskaźnikiem oddziaływań D , oraz znając odchylenia standardowe odporności s_{D_0} i oddziaływań s_D (lub współczynniki zmienności odporności v_{D_0} i oddziaływań v_D) można na podstawie przedstawionych zależności, przyjmując prawdopodobieństwo p_f wystąpienia uszkodzeń obiektów ponad poziom przyjęty jako dopuszczalny, określić odpowiadający temu prawdopodobieństwu wskaźnik niezawodności β i współczynnik Ψ , a następnie wyznaczyć dopuszczalną średnią wartość wskaźnika oddziaływań \bar{D} , odpowiadającą przyjętemu sposobowi i zakresowi eksploatacji górniczej.



Rys. 2.3. Zależność wskaźnika niezawodności β i prawdopodobieństwa zawodności p_f od współczynnika Ψ

Fig. 2.3. Relation of reliability indicator β and probability of unreliability p_f to coefficient Ψ

3. Wskaźniki niezawodności β

3.1. Niegórnictwe obciążenia obiektów

Do stosowania w praktyce przedstawionego sposobu postępowania potrzebne jest określenie wymaganych wartości wskaźnika niezawodności β . Wartości te są przyjmowane arbitralnie, zależnie od sposobu i konsekwencji zniszczenia obiektu budowlanego, od rodzaju rozpatrywanego stanu granicznego i od okresu użytkowania obiektu. W tabeli 3.1 przedstawiono jedną z wersji wartości wskaźnika β (Murzewski 1989). Jego wartości według innych wersji są podobne. Zaletą wersji przedstawionej, z punktu widzenia niezawodności obiektów poddanych obciążeniom górniczym, jest uzależnienie wskaźnika β od sposobu i konsekwencji zniszczenia obiektu.

Wskaźniki niezawodności β dla obciążeń niegórnictwe

Tabela 3.1.

Indicators of reliability β for non-mining loads

Table 3.1.

Sposób zniszczenia		Konsekwencje zniszczenia		
		nieznaczne	dotkliwe	bardzo dotkliwe
I	ciągły – z rezerwą nośności po osiągnięciu stanu granicznego	3,1	3,7	4,2
II	ciągły – bez rezerwy nośności po osiągnięciu stanu granicznego	3,7	4,2	4,7
III	kruchy, na skutek niestateczności itp.	4,2	4,7	5,2

3.2. Górnicze obciążenia obiektów

Mając na uwadze, że w czasie prowadzenia eksploatacji górniczej sprawowany jest nadzór budowlany nad jej skutkami, istnieje możliwość złagodzenia wymagań w stosunku do niegórnicyznych obciążeń obiektów budowlanych w przypadku ciągłego sposobu zniszczenia obiektu, to znaczy w przypadku przewidywanego występowania objawów świadczących o zbliżającym się zniszczeniu (zniszczenie z ostrzeżeniem). Nie wyróżniono przypadków z rezerwą i bez rezerwy nośności po osiągnięciu stanu granicznego, pozostawiając potrzebę takiego wyróżnienia do decyzji projektantów zabezpieczeń obiektów. W tabeli 3.2 przedstawiono taką propozycję. W przypadku krucheo sposobu zniszczenia (bez ostrzeżenia) należałoby pozostać przy wskaźnikach β według tabeli 3.1.

Wskaźniki niezawodności β dla górniczych oddziaływań na obiekty budowlane

Tabela 3.2.

Reliability indicators β for mining impacts on building structures

Table 3.1.

Konsekwencje zniszczenia	Małe	średnie	duże
Wartość wskaźnika β	2,5	3,0	3,5

Wieloletnie doświadczenie wskazuje na możliwość, w niektórych przypadkach, dalszego obniżenia wartości wskaźnika niezawodności bez katastrofalnych konsekwencji. W nawiązaniu do przedstawionych w tabeli 3.2 wartości wskaźników niezawodności dotyczyłoby to przypadków $\beta < 2,5$, a więc przypadków o prawdopodobieństwie zawodności większym od 0,006. Należałoby jednak wówczas dokonać szczegółowej analizy stanu technicznego obiektów, wytypować elementy konstrukcyjne stanowiące o możliwym zagrożeniu i sprawować nad nimi wzmożony nadzór techniczny w czasie ujawniania się skutków eksploatacji, o częstotliwości zależnej od prawdopodobieństwa zawodności.

4. Współczynniki zmienności

4.1. Współczynniki zmienności deformacji powierzchni

Średnie wartości współczynników zmienności wskaźników deformacji powierzchni, uwzględniające wyniki różnych badań (Popiołek 1976; Popiołek i in. 1997; Stoch 2005) przedstawiono w tabeli 4.1.

Średnie współczynniki zmienności wskaźników deformacji powierzchni

Tabela 4.1.

Average variability coefficients of indicators of surface deformations

Table 4.1.

Wskaźnik deformacji D	Współczynnik zmienności \bar{v}_D
obniżenie w	0,03
przemieszczenie poziome u	0,09
nachylenie T	0,11
poziome odkształcenie ϵ	0,25
krzywizna K	0,46

W rzeczywistości współczynniki zmienności v_D odbiegają od wartości średnich głównie z uwagi na:

- zróżnicowanie wartości współczynników zmienności w zależności od warunków geologiczno-górnictwowych,
- potrzebę uwzględnienia innych długości baz pomiarowych, niż przy określaniu średnich współczynników zmienności nachyleń, poziomych odkształceń i krzywizn, z uwagi na potrzebę ich dostosowania do długości chronionych obiektów.

W związku z tym proponuje się określać współczynniki zmienności według zależności

$$v_D = \alpha \bar{v}_D \quad (4.1)$$

gdzie α jest współczynnikiem zależnym od warunków geologiczno-górnictwowych i długości obiektów. Wartość współczynnika α powinna być każdorazowo oceniana indywidualnie. W przypadku nie przeprowadzania takich ocen, można dla uzyskania rozwiązania orientacyjnego uwzględniać wartości współczynnika α , uzależnione od konsekwencji zniszczenia obiektu, według zestawienia przedstawionego w tabeli 4.2. Przy określaniu tych wartości stosowano w przybliżeniu następujące zasady:

- dla konsekwencji małych zniszczenia obiektu przyjmuje się $\alpha = 1$,
- dla konsekwencji dużych zniszczenia obiektu uwzględnia się:
 1. rozproszenie współczynników zmienności wskaźników deformacji powierzchni odpowiadające połowie odchylenia standardowego współczynników zmienności z ich zbioru reprezentującego różne warunki geologiczno-górnictwowe przemysłu węgla kamiennego, co zwiększa współczynnik α o ok. 20%,
 2. dostosowanie baz pomiarowych o długościach ok. 25 m w przypadku nachyleń i poziomych odkształceń powierzchni oraz ok. 50 m w przypadku krzywizn powierzchni do obiektów o długości ok. 20 m (w przybliżeniu średnia długość budynków), co zwiększa współczynnik α o ok. 15% w przypadku nachyleń i poziomych odkształceń powierzchni i o ok. 55% w przypadku krzywizn powierzchni.
- dla konsekwencji średnich zniszczenia obiektu przyjęto wartości współczynników α równe średnim wartościom z wartości tego współczynnika dla konsekwencji małych i dużych.

Tabela 4.2.
Zestawienie orientacyjnych wartości współczynnika α

Breakdown of rough values for coefficient α

Table 4.2.

Wskaźnik deformacji powierzchni	Współczynnik α w zależności od konsekwencji zniszczenia obiektu		
	małe	średnie	duże
Obniżenie w , Poziome przemieszczenie u	1,0	1,1	1,2
Nachylenie T , Poziome odkształcenie ε	1,0	1,2	1,4
Krzywizna K	1,0	1,4	1,8

4.2. Współczynniki zmienności odporności obiektów

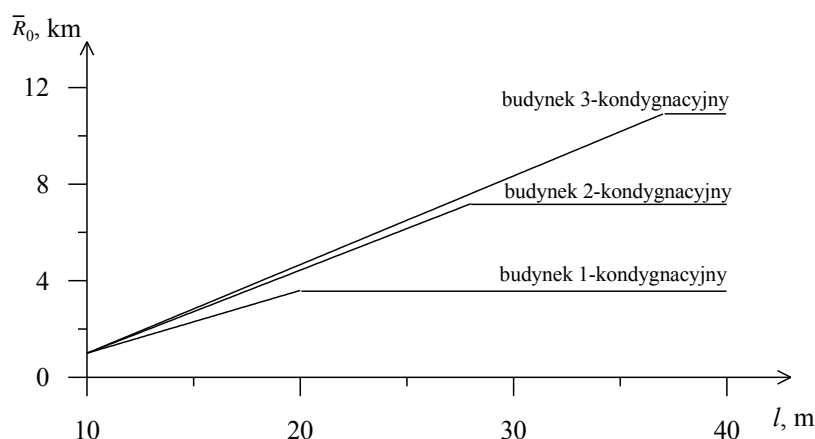
Współczynniki zmienności odporności obiektów v_{D_0} powinny być każdorazowo wyznaczone w nawiązaniu do rozpatrywanego przypadku odporności. Na ogół zawierają się one w przedziale $0,10 \div 0,30$ (Kwiatek i in. 2006). Na przykład w przypadku odporności budynków o konstrukcji tradycyjnej uzyskano dla budynków nieodkształcalnych $v_{K_0} = 0,23$, a dla budynków odkształcalnych $v_{K_0} = 0,30$. Wyjątkowo dla punktowej metody określania odporności budynków otrzymano $v_{\epsilon_0} \approx 0,50$.

5. Przykład zastosowania przedstawionej metody

Przedstawiona metoda probabilistycznej oceny niezawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych zostanie zastosowana przykładowo do oceny szkodliwości krzywizn powierzchni dla budynków.

Na ogół uważa się, że wobec małej stabilności krzywizn powierzchni jako wskaźnika intensywności skutków eksploatacji na powierzchni, a także wobec uznawanych za duże średnich wartości promieni krzywizn powierzchni, krzywizny te mogą być pomijane w ocenie skutków eksploatacji w budynkach. Po uwzględnieniu rozproszenia krzywizn powierzchni okazuje się, że tak nie jest i w niektórych przypadkach krzywizny powierzchni mogą być powodem znaczących uszkodzeń budynków.

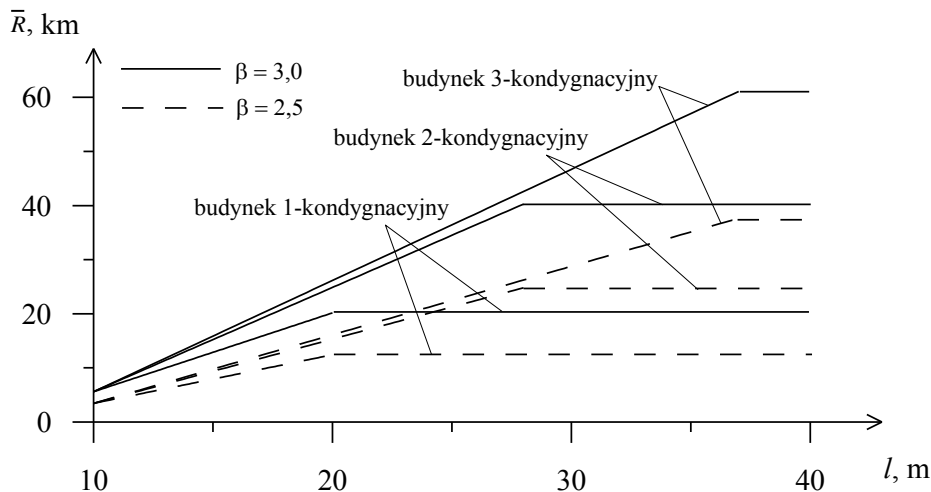
Krzywizny powierzchni ujawniają się w budynkach powstaniem w ich murach sił poprzecznych i naprężeń ścinających, czemu towarzyszą postaciowe odkształcenia murów. Miarą tych odkształceń są kąty odkształcenia postaciowego Θ , a za graniczne, prowadzące do pojawienia się w murze pierwszych rys o rozwartości $0,1 \div 0,3$ mm, uważa się kąty $\Theta \leq 0,001$. Na rysunku 5.1 przedstawiono przykładowo przybliżone średnie wartości odporności budynków 1, 2 i 3-kondygnacyjnych na krzywiznę powierzchni, wyrażonych w średnich wartościach promieni krzywizn \bar{R}_0 . Charakterystyczne, że począwszy od pewnej długości budynków, zależnej od ich wysokości (a w istocie od sztywności), odporność budynków na krzywizny powierzchni można uznać za ustabilizowaną.



Rys. 5.1. Średnia odporność budynków
Fig. 5.1. Average resistance of buildings

Dla określenia dopuszczalnych krzywizn powierzchni należy określić dopuszczalne prawdopodobieństwo zawodności i uwzględnić rozproszenie losowe zarówno odporności budynków, jak i prognozowanych średnich wartości krzywizn powierzchni.

Mając na uwadze, że dla budynków nieodkształcalnych współczynnik zmienności $v_{K_0} = 0,23$, a dla budynków łatwo odkształcalnych $v_{K_0} = 0,30$ (Kwiatek i in. 2006) i zaliczając rozpatrywane budynki do budynków trudno odkształcalnych można w przybliżeniu przyjąć wartość średnią $v_{K_0} = 0,25$. Ponadto zaliczając budynki do budynków o średnich skutkach zniszczenia otrzymuje się $v_K = \alpha v_{K_0} = 1,4 * 0,46 = 0,64$. Uwzględniając przedstawione dane i wartość wskaźnika niezawodności dla średnich skutków zniszczenia budynku $\beta = 3,0$ ($p_f = 0,001$) oraz korzystając z zależności 2.2 otrzymuje się $\Psi = \bar{R}_0 / \bar{R} = 0,18$, gdzie \bar{R} jest dopuszczalną średnią wartością promienia krzywizny powierzchni. Oznacza to, że dla przyjętych warunków ochrony możliwe jest wykorzystanie średnich wartości odporności budynków na krzywizny w 18%. Zaliczając natomiast budynki do budynków o małych skutkach zniszczenia współczynnik zmienności krzywizn powierzchni $v_K = 1 * 0,46 = 0,46$, a uwzględniając $\beta = 2,5$ ($p_f = 0,006$) otrzymuje się $\Psi = 0,29$. W tym przypadku wykorzystanie średnich wartości odporności budynków na krzywizny jest równe 29 %, a więc jest większe niż poprzednio. Płaci się jednak za to 6-krotnie większym prawdopodobieństwem zawodności. Wykresy przedstawiające dopuszczalne promienie krzywizn powierzchni \bar{R} dla rozpatrzonych przypadków przedstawiono na rysunku 5.2.



Rys. 5.2. Dopuszczalne promienie krzywizn powierzchni
Fig. 5.2. Acceptable curvature radii of surfaces

6. Zakończenie

Miarą niezawodności obiektów budowlanych jest wskaźnik niezawodności i skojarzone z nim prawdopodobieństwo zawodności. W przypadku oddziaływań niegórnicznych prawdopodobieństwo zawodności w przypadku stanów granicznych nośności waha się od 10^{-5} do 10^{-7} . Uzyskanie takiego małego prawdopodobieństwa zawodności w przypadku górniczych oddziaływań na obiekty związane byłoby z trudnym do zaakceptowania zakresem zabezpieczeń obiektów budowlanych lub z istotnym ograniczeniem możliwości eksploatacyjnych

zakładów górniczych. Mając na uwadze prowadzenie na terenach górniczych regularnego monitorowania skutków eksploatacji można sądzić, że w przypadku przewidywanych uszkodzeń obiektów „z ostrzeżeniem” można z uwagi na bezpieczeństwo dopuścić zwiększone prawdopodobieństwo zawodności. Kierując się tym uzasadnieniem zaproponowano obniżenie wartości wskaźników niezawodności do przedziału $2,5 \div 3,5$ w przypadku rutynowego sprawdzania stanu technicznego obiektów budowlanych na terenach górniczych, a także zaproponowano dalsze zmniejszenie tego wskaźnika pod warunkiem sprawowania szczególnej kontroli zagrożonych obiektów. Takie postępowanie jest odstępstwem od reguł stosowanych w budownictwie, ma jednak oprócz argumentu przedstawionego powyżej, także uzasadnienie w uwarunkowaniach społeczno-gospodarczych rejonów górniczych, w których można spodziewać się akceptacji zwiększonej zawodności obiektów budowlanych. Może być jednak uzależniona od sprawności usuwania powstałych ewentualnie szkód. Zachodzi wobec tego pytanie, jakie prawdopodobieństwo zawodności obiektów na terenach górniczych jest możliwe z ekonomicznego punktu widzenia zakładów górniczych? Odpowiedzi na nie należy szukać w analizie ryzyka związanego z prowadzeniem eksploatacji, którego elementem jest przedstawiona w referacie probabilistyczna ocena niezawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych.

Literatura

- [1] Biegus A. 1999: Probabilistyczna analiza konstrukcji stalowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Wrocław.
- [2] Kwiatek J. 2004: Podstawy budownictwa na terenach górniczych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- [3] Kwiatek i in. 2006: Opracowanie probabilistycznej metody oceny skutków podziemnej eksploatacji górniczej w obiektach. Projekt badawczy 4 T12A 036 26, GIG Katowice (praca niepublikowana).
- [4] Murzewski J. 1989: Niezawodność konstrukcji inżynierskich. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- [5] Popiołek E. 1976: Rozproszenie statystyczne odkształceń poziomych terenu w świetle geodezyjnych obserwacji skutków eksploatacji górniczej. ZN AGH Geodezja, z. 44, nr 594.
- [6] Popiołek i in. 1997: Losowość pogórnich deformacji terenu i odporność obiektów powierzchniowych w świetle pomiarów geodezyjnych i obserwacji budowlanych oraz jej wpływ na wiarygodność prognoz szkód górniczych. Projekt badawczy nr 9 60 102 907, AGH Kraków (praca niepublikowana).
- [7] Stoch T. 2005: Wpływ warunków geologiczno-górnich eksploatacji złoża na losowość procesu przemieszczeń i deformacji powierzchni terenu. AGH Kraków (rozprawa doktorska).

Probabilistic assessment of reliability of building structures on mining terrains

Protection of building structures on mining terrains depends on a necessary resistance of these structures to impacts having mining origin. Both the resistance and the impacts are incriminated with random distribution. Therefore, an assessment of effects of mining should have a probabilistic character. The probabilistic method was presented of reliability assessment for structures set on the ground subjected to continuous deformations caused by underground mining. As a measure of this reliability the value of reliability indicator was chosen, depending on average values and standard deviations of the resistance of structures and impacts from the ground. It enables to assess the probability of unreliability of structures on mining terrains.

Przekazano: 15 marca 2006 r.