

Piotr KALISZ, Jerzy KWIA TEK
Główny Instytut Górnictwa, Katowice

ZAWODNOŚĆ 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 zatem 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 oraz oddziaływań ze strony podłoża. Umożliwia to oszacowanie prawdopodobieństwa zawodności obiektów na terenach górniczych.

UNRELIABILITY OF BUILDING STRUCTURES ON MINING AREAS

Summary. Protection of building structures on mining areas depends on 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 areas.

1. Wprowadzenie

Ocena zawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych sprowadza się do stwierdzenia, że obiekt wykaże przekroczenie stanu uznanego za graniczny. Najczęściej rozpatrywanym stanem granicznym jest stan graniczny nośności, którego nieprzekroczenie stanowi o bezpieczeństwie obiektu, ale stan graniczny, może również dotyczyć

użytkowości 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 niepożądany 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 tzw. 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 artykule propozycję probabilistycznej oceny niezawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych, ilustrując ją zastosowaniem dla oddziaływań na obiekty budowlane, a szczególnie na rurociągi o konstrukcji odcinkowej, ciągłych deformacji powierzchni.

2. Deformacje powierzchni

Podziemna eksploatacja górnicza powoduje deformacje powierzchni, a ściślej przypowierzchniowej warstwy górotworu, stwierdzone przemieszczeniami pionowymi (obniżeniami) w i poziomymi u punktów powierzchni. W celu uwzględnienia zmian tych przemieszczeń, teoretycznie w punkcie, a praktycznie na odcinku powierzchni nazywanym bazą, określa się pochodne przemieszczeń, spośród których powszechne są nachylenia T , krzywizny K i poziome odkształcenia ϵ . W zależności od potrzeby możliwe jest określenie innych wielkości, charakteryzujących deformację przypowierzchniowej warstwy górotworu, jak na przykład różnicy obniżeń lub przemieszczeń poziomych na wybranym odcinku na powierzchni. Każda z wymienionych wielkości charakteryzuje część składową deformacji przypowierzchniowej warstwy górotworu i nazywa się wskaźnikiem deformacji tej warstwy, a często wprost – wskaźnikiem deformacji powierzchni – i ogólnie oznaczana jest symbolem D .

Prognozując wskaźniki deformacji powierzchni, określa się ich wartości średnie $\bar{D}_i (i = w, u, T, \varepsilon, K)$. Doświadczenia wskazują na niepomijalne w problemach ochrony terenów górniczych losowe rozproszenie wartości wskaźników deformacji powierzchni, uzyskanych na podstawie terenowych pomiarów pionowych i poziomych przemieszczeń (lub różnicy przemieszczeń) punktów powierzchni w stosunku do wartości prognozowanych. Jest to wynikiem ingerencji w proces deformacji górotworu dużej liczby trudnych do uwzględnienia czynników i uwzględniania tylko rozpoznanych oraz uznanych za istotne. W szczególności rozproszenie nachyleń, poziomych odkształceń i krzywizn powierzchni zależy od przyjętej do pomiarów bazy pomiarowej l_1 .

Względna miarą rozproszenia jest współczynnik zmienności v_D , będący stosunkiem odchylenia standardowego s_D do średniej wartości \bar{D} analizowanego wskaźnika. Wskaźniki ekstremalne D^{ekstr} deformacji powierzchni, z uwzględnieniem rozproszenia losowego rozpatrywanego zjawiska, określa zależność:

$$D^{\text{ekstr}} = \bar{D}(1 \pm n v_D), \quad (2.1)$$

gdzie n – współczynnik zależny od wymaganego prawdopodobieństwa nieprzekroczenia przez wartość rozpatrywanego wskaźnika jego wartości ekstremalnych, wynikających ze wzoru (2.1). Współczynnik n nazywany jest współczynnikiem tolerancji.

W budownictwie istotne jest jednostronne nieprzekroczenie, z określonym prawdopodobieństwem, wartości D uwzględnianego wskaźnika deformacji powierzchni. Sprowadza się to do spełnienia z wymaganym prawdopodobieństwem, zależnym od przyjętej wartości współczynnika n , warunku:

$$|D| \leq |\bar{D}| + n s_D = |\bar{D}|(1 + n v_D). \quad (2.2)$$

Przykładowo dla wartości współczynnika $n = 0,5; 1; 1,5$ i 2 prawdopodobieństwa te są kolejno równe $0,69; 0,84; 0,94$ i $0,98$.

Do opisu deformacji powierzchni na terenach górniczych stosowany jest współczynnik zmienności M_D [3, 15, 17], w którego definicji uwzględnia się w liczniku odchylenie standardowe wartości badanego wskaźnika, wynikających z pomiarów, w stosunku do wartości uśrednionych na wybranym odcinku niecki obniżeniowej, natomiast w mianowniku uwzględnia się jego ekstremalną wartość na tym odcinku. Tak zdefiniowany współczynnik zmienności przedstawia „naturalne” błędy zjawiska i dobrze charakteryzuje rozproszenie kształtowania się całej niecki obniżeniowej w stosunku do jej przebiegu uśrednionego.

Na ogół stosuje się średnią wartość tego współczynnika dla całego zagłębia górniczego, a w związku z tym, wobec dużego rozrzutu otrzymywanych wartości współczynników zmienności, nie uwzględnia się lokalnych warunków w miejscu posadowienia obiektu budowlanego. Ponadto, uwzględnia się wyniki pomiarów na bazie o długości około 25 m, w związku z czym, mając na uwadze zależność współczynników zmienności nachyleń, poziomych odkształceń i krzywizn powierzchni od długości bazy, uzyskane współczynniki zmienności nie odpowiadają obiektom o innych długościach. Proponuje się więc określać współczynniki zmienności v_D według zależności [7, 11]:

$$v_D = \alpha \bar{v}_D, \quad (2.3)$$

gdzie: \bar{v}_D – średnia wartość współczynnika v_D , przy czym przyjęto $\bar{v}_D = \bar{M}_D$,

\bar{M}_D – średnia wartość współczynnika M_D ,

α – współczynnik umożliwiający: uwzględnienie stopnia zaufania do prognozowanych średnich wartości wskaźników deformacji powierzchni (odpowiedniość teorii i przyjętych jej parametrów), oszacowanie zmienności innych wartości wskaźników deformacji niż wartości ekstremalne, których dotyczy wartość średnia współczynnika zmienności $\bar{v}_D = \bar{M}_D$, uwzględnienie rozproszenia uzyskanego w badaniach zbioru wartości współczynników zmienności M_D [12, 13, 14, 16] oraz uwzględnienie różnic długości obiektów budowlanych i stosowanej standardowo długości bazy pomiarowej.

Współczynniki α powinny być określone indywidualnie dla rozpatrywanych warunków geologiczno-górnicych i potrzeb budowlanych. Orientacyjne wartości współczynnika α przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1

Zestawienie orientacyjnych wartości współczynnika α

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

3. Odporność obiektów budowlanych

W zależności od rodzaju obiektu budowlanego, różne jest oddziaływanie na obiekt części składowej deformacji przypowierzchniowej warstwy górotworu określonej wskaźnikiem D , nazywane krócej oddziaływaniem D . Można więc, zależnie od przewidywanych skutków eksploatacji w obiekcie, rozpatrywać oddziaływanie na obiekt części składowej deformacji przypowierzchniowej warstwy górotworu określonej na przykład obniżeniem w i wówczas $D = w$, oddziaływanie określone krzywizną K i wówczas $D = K$, oddziaływanie określone poziomym odkształceniem ε i wówczas $D = \varepsilon$ oraz oddziaływanie określone różnicą obniżeń $w_2 - w_1$ i wówczas $D = w_2 - w_1$.

Przez odporność obiektu na wpływ oddziaływania D rozumie się taką wartość D_0 tego oddziaływania, której przekroczenie powoduje przekroczenie stanu granicznego obiektu budowlanego, uznanego za kryterium dopuszczalności wpływu eksploatacji górniczej na obiekt. Może to dotyczyć całości obiektu (na przykład wychylenia budynku od pionu) lub elementu konstrukcyjnego obiektu (na przykład pęknięcia ściany budynku). Przyjmując taką definicję odporności obiektu na wpływ ciągłych deformacji powierzchni, należy mieć na uwadze, że podstawową sprawą w określaniu odporności obiektu jest zdefiniowanie rozpatrywanego stanu granicznego, którego przekroczenie uznaje się za niepożądane. W szczególności może to być stan graniczny nośności, stanowiący o bezpieczeństwie obiektu, lub stan graniczny użyteczności, stanowiący o przydatności obiektu do użytkowania [5].

Zauważyć należy, że odporność obiektów według podanej wyżej definicji jest pojęciem niejednoznacznym. Nie uwzględnia się w niej bowiem prawdopodobieństwa wystąpienia stanu granicznego obiektu po osiągnięciu przez oddziaływanie wartości D_0 . Podobnie jak oddziaływania, odporności obiektów charakteryzują się losowym rozproszeniem. Wynika to z dużej liczby, niekiedy trudnych do dokładnego uwzględnienia, czynników wpływających na ocenę odporności, natomiast ocena szacunkowa prowadzi do losowego rozproszenia uzyskiwanych odporności. W celu probabilistycznego ujęcia wpływu losowego rozproszenia odporności na ocenę niezawodności obiektów poddanych wpływom eksploatacji górniczej, przyjmuje się dla odporności rozkład normalny o wartości średniej \bar{D}_0 i odchyleniu standardowym s_{D_0} oraz współczynniku zmienności $v_{D_0} = \frac{s_{D_0}}{\bar{D}_0}$. Jednoznaczna definicja odporności obiektu powinna zawierać informację o prawdopodobieństwie niewystąpienia

stanu granicznego obiektu przed wystąpieniem oddziaływania D o wartości D_0 . Jedną z możliwości jest wprowadzenie pojęcia odporności charakterystycznej D_{0k} , charakteryzującej się prawdopodobieństwem nie mniejszym niż 0,95, niewystąpienia stanu granicznego obiektu dopóty, dopóki $D \leq D_{0k}$, co prowadzi do zależności $D_{0k} = (1 - 1,64v_{D_0})\bar{D}_0$.

Odporność charakterystyczna obiektu D_{0k} jest więc kwantylem jego odporności rzędu 0,05.

4. Prawdopodobieństwo zawodności

W ujęciu probabilistycznym niezawodność konstrukcji zależy od losowego rozkładu wskaźników $D(\omega)$ i $D_0(\omega)$, określonych w przestrzeni zdarzeń elementarnych, gdzie ω oznacza takie zdarzenie [2, 9, 10]. 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} . Wykresy funkcji gęstości prawdopodobieństwa f_D zmiennej losowej $D(\omega)$ i f_{D_0} zmiennej losowej $D_0(\omega)$ przedstawiono na rysunku 4.1. Miarą niezawodności konstrukcji jest prawdopodobieństwo p_{f1} , że losowa odporność obiektu jest większa od losowego oddziaływania na obiekt:

$$p_{f1} = P\{D_0(\omega) > D(\omega)\},$$

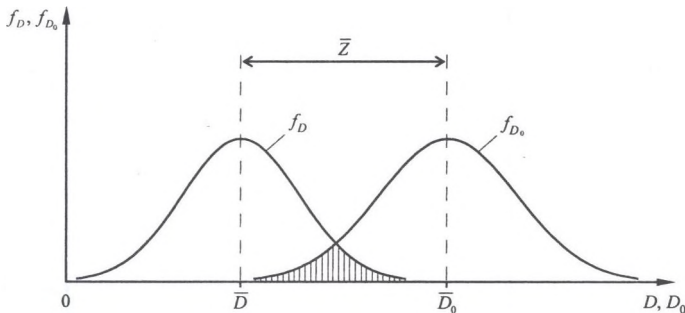
gdzie P – prawdopodobieństwo.

Przypadek $D(\omega) > D_0(\omega)$ oznacza zawodność konstrukcji, a prawdopodobieństwo zaistnienia takiego przypadku jest równe:

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

Miara zapasu niezawodności konstrukcji jest losowa funkcja:

$$Z(\omega) = D_0(\omega) - D(\omega) > 0. \quad (4.1)$$



Rys. 4.1. Losowy charakter D i D_0

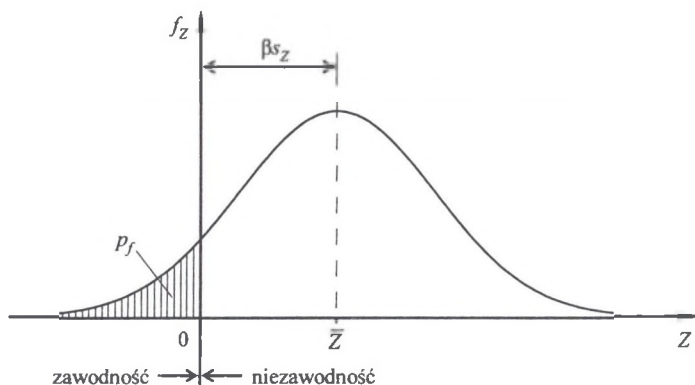
Fig. 4.1. Random characteristics of D and D_0

Wobec przyjęcia normalnych rozkładów $D(\omega)$ i $D_0(\omega)$, rozkład zmiennej losowej $Z(\omega)$ opisuje również rozkład normalny (rys. 4.2):

$$f_Z = \frac{1}{s_Z \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-\bar{Z})^2}{2s_Z^2}},$$

o wartości średniej \bar{Z} i odchyleniu standardowym s_Z , przy czym:

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



Rys. 4.2. Losowy rozkład zapasu niezawodności
Fig. 4.2. Random characteristic of reliability margin

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, a więc bezpieczeństwa konstrukcji, jest wprowadzenie do rozważań wskaźnika niezawodności β (indeks niezawodności t , współczynnik niezawodności Cornella), związanego z przebiegiem funkcji f_Z rozkładu zmiennej losowej $Z(\omega)$ zależnością [2]:

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

Wobec czego:

$$\beta = \frac{\bar{Z}}{s_Z} = \frac{\bar{D}_0 - \bar{D}}{\sqrt{s_{D_0}^2 + s_D^2}}. \quad (4.2)$$

Wprowadzenie wskaźnika 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 zawodności p_f zależnością:

$$p_f = \Phi(-\beta), \quad (4.3)$$

gdzie: Φ – funkcja dystrybuanty zestandaryzowanego rozkładu normalnego.

Uwzględniając w dalszym ciągu, 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 (4.2) przekształcić do postaci [6, 7]:

$$\beta = \frac{1 - \Psi}{\sqrt{v_{D_0}^2 + \Psi^2 v_D^2}}, \quad (4.4)$$

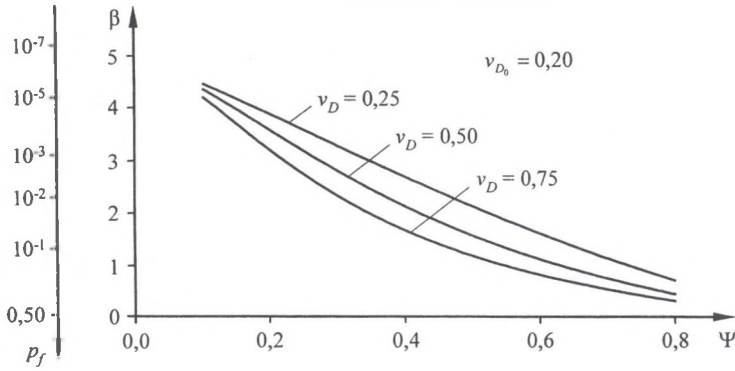
gdzie wprowadzono oznaczenie $\Psi = \frac{\bar{D}}{\bar{D}_0}$.

Zależność (4.4) może być wykorzystywana do określania wartości współczynnika Ψ , a więc stosunku średnich wartości oddziaływań na obiekt do średnich wartości odporności obiektu, przy znajomości współczynników zmienności v_{D_0} oraz v_D i przyjęciu wymaganej wartości wskaźnika niezawodności β . Znając na przykład średnią wartość odporności D_0 obiektu budowlanego na oddziaływania charakteryzowane wskaźnikiem D , można, na podstawie przedstawionych zależności, przyjmując prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń obiektów p_f , określić odpowiadający temu prawdopodobieństwu indeks niezawodności β i współczynnik Ψ , a następnie wyznaczyć dopuszczalną średnią wartość wskaźnika deformacji powierzchni \bar{D} , odpowiadającą przyjętemu sposobowi i zakresowi eksploatacji górniczej. Zauważyć należy, że wprowadzony współczynnik Ψ przedstawia możliwy stopień wykorzystania odporności obiektu z uwagi na wymagane jego bezpieczeństwo. Na rysunku 4.3 przedstawiono przykładowo kształtowanie się zależności $\beta(\Psi)$ dla wartości współczynnika zmienności odporności obiektów budowlanych $v_{D_0} = 0,2$ oraz wartości współczynników zmienności oddziaływań na obiekt v_D w granicach od 0,25 do 0,75. Na rysunku tym przedstawiono także prawdopodobieństwa zawodności p_f obiektów w zależności od wartości współczynnika Ψ .

W budownictwie jest stosowana wartość charakterystyczna odporności obiektu budowlanego D_{0k} , określona zazwyczaj przy założeniu nieprzekroczenia odporności

w kierunku niekorzystnym z prawdopodobieństwem 0,95. Między wartościami średnimi \bar{D}_0 a wartościami charakterystycznymi D_{0k} odporności występuje zależność:

$$D_{0k} = (1 - 1,64v_{D_0})\bar{D}_0.$$



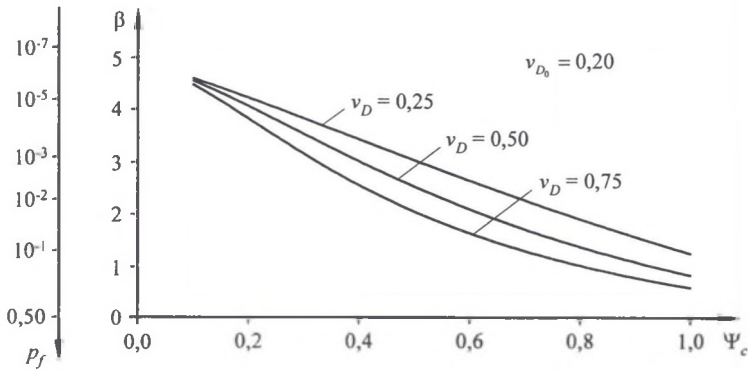
Rys. 4.3. Zależność wskaźnika β i prawdopodobieństwa zawodności p_f od współczynnika Ψ
 Fig. 4.3. Relation of reliability indicator β and probability of unreliability p_f to coefficient Ψ

W przypadku stosowania charakterystycznych wartości odporności obiektu D_{0k} i średnich wartości oddziaływań na obiekt \bar{D} oraz ich współczynników zmienności v_{D_0} i v_D , wskaźnik niezawodności β określa zależność:

$$\beta = \frac{1 - (1 - 1,64v_{D_0})\Psi_c}{\sqrt{v_{D_0}^2 + (1 - 1,64v_{D_0})^2\Psi_c^2 v_D^2}}, \quad (4.5)$$

gdzie $\Psi_c = \frac{\bar{D}}{D_{0k}}$.

Na rysunku 4.4 przedstawiono przykładowo kształtowanie się zależności $\beta(\Psi_c)$ oraz $p_f(\Psi_c)$ dla wartości współczynnika zmienności odporności obiektów budowlanych $v_{D_0} = 0,2$ oraz wartości współczynników zmienności oddziaływań na obiekt v_D w granicach od 0,25 do 0,75.



Rys. 4.4. Zależność wskaźnika β i prawdopodobieństwa zawadności p_f od współczynnika Ψ_c
 Fig. 4.4. Relation of reliability indicator β and probability of unreliability p_f to coefficient Ψ_c

5. Przykład rurociągu odcinkowego

Miarą odporności pojedynczego złącza lub kompensatora jest dopuszczalna wartość odkształceń przypowierzchniowej warstwy gruntu, jaką mogą one przenieść z uwzględnieniem rozrzutu losowego tych odkształceń oraz odpowiedniego prawdopodobieństwa ich nieprzekroczenia. W przypadku złączy lub kompensatorów istniejących rurociągów, znając średnią wartość możliwego przemieszczenia $\overline{\Delta l}_0$ końców rur, można wyznaczyć wartość dopuszczalnych średnich odkształceń $\overline{\epsilon}_0$, a więc ich średnią odporność. Wartość tych odkształceń można wyznaczyć ze wzoru:

$$\overline{\epsilon}_0 = \frac{\overline{\Delta l}_0 (1 - n v_0)}{l (1 + \beta \alpha v_\epsilon)}, \quad (5.1)$$

gdzie: $\overline{\Delta l}_0$ – średnia długość efektywna złącza lub kompensatora, wartość możliwego przemieszczenia końców rur (projektowana lub średnia wartość z pomiarów),

v_0 – współczynnik zmienności możliwych przemieszczeń w złączy lub kompensatorze, określony na podstawie pomiarów,

v_ϵ – współczynnik zmienności poziomych odkształceń powierzchni (wymaganych przemieszczeń w złączy lub kompensatorze); można przyjąć wartość średnią

$$v_\epsilon = 0,25 \text{ lub } v_\epsilon = \frac{\sqrt{v_r^2 + v_z^2}}{2} [11],$$

α – współczynnik uwzględniający rozrzut wartości współczynników zmienności poziomych odkształceń gruntu, w tym, z uwagi na długość rozpatrywanych

$$\text{odcinków rurociągu, } \alpha_l = \sqrt{\frac{l_1}{l}} \quad [1],$$

v_r – współczynnik zmienności odkształceń powierzchni przy rozluźnianiu gruntu,

v_z – współczynnik zmienności odkształceń powierzchni przy zagęszczaniu gruntu,

l – odległość między środkami rozpatrywanych odcinków rur równa ich długości,

n – współczynnik zależny od wymaganego prawdopodobieństwa określenia możliwego przemieszczenia końców rur w złączu dla $p = 0,95$ $n = 1,64$.

Losowa odporność złącza na działanie poziomych odkształceń przypowierzchniowej warstwy górotworu zależy od współczynnika niezawodności β , odpowiadającego określonemu prawdopodobieństwu jego nieuszkodzenia, z jakim chcemy określić tą odporność. Im ważniejszy odcinek przewodu dla właściwego funkcjonowania sieci, tym wyższa wartość tego współczynnika. Przy szacowaniu niezawodności złączy powinno uwzględnić się także, w przypadku przewodów poddanych wcześniej eksploatacji górniczej, możliwość nierównomiernego rozsunięcia rur w złączach i kompensatorach, a przez to istotne zmniejszenie ich odporności. Ma to szczególnie istotne znaczenie w przypadku nasuwek kompensacyjnych magistralnych przewodów wodociagowych oraz kompensatorów magistralnych przewodów gazowych. W takich przypadkach wskazana jest kontrola rozstawu końców rur i przemieszczeń nasuwek, którą można prowadzić z zastosowaniem odpowiedniego oprzyrządowania pomiarowego. Jest to tym bardziej istotne, że na terenach górniczych obserwuje się najwięcej awarii w kompensatorach oraz złączach nasuwkowych i kielichowych [4]. Uszkodzenia kompensatorów wynikają ze zbyt dużych przemieszczeń końców rur, utraty szczelności zastosowanych uszczelnień, a także korozji wynikającej z uszkodzenia izolacji przy wymuszonych przemieszczeniach rur.

Zakładając, że dla istniejącego przewodu kanalizacyjnego wykonanego z rur żeliwnych o średnicy nominalnej 500 mm, długości $l = 5$ m i średniej długości efektywnej kielicha wynoszącej $\Delta l_0 = 70$ mm współczynnik zmienności możliwych przemieszczeń w złączu, określony na podstawie pomiarów, wynosi $v_0 = 0,2$, obliczoną odporność złączy \bar{e}_0 , określoną ze wzoru (5.1) w zależności od przyjętego prawdopodobieństwa, przedstawiono

w tabeli 5.1. Dla obliczenia odporności przyjęto współczynnik $v_e = 0,25$ oraz współczynnik

$$\alpha_l = \sqrt{\frac{25}{5}} = 2,24.$$

Tabela 5.1

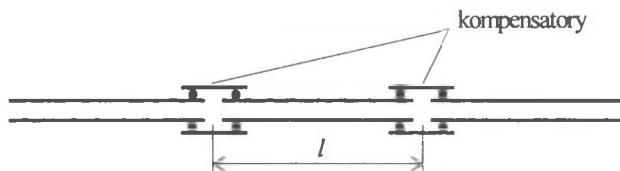
Odporność $\bar{\epsilon}_0$ złączy rur w zależności od wskaźnika niezawodności β

β	p_f	$\bar{\epsilon}_0$, mm/m	β	p_f	$\bar{\epsilon}_0$, mm/m
1,00	0,16	6,5	2,50	0,006	4,2
1,10	0,136	6,2	3,00	0,001	3,8
1,50	0,067	5,5	3,20	0,001	3,6
1,64	0,05	5,2	3,70	0,0001	3,3
2,00	0,023	4,8	4,20	0,00001	3,0
2,30	0,0119	4,4	5,20	0,0000001	2,6

Z tabeli tej widać, że średnia odporność złączy rurociągu dla $p_i = 0,95$ wynosi 3,3 mm/m, a więc złącze charakteryzuje się odpornością 2 kategorii.

Pojedynczy przewód stanowi system szeregowo połączonych odcinków i elementów uzbrojenia, stanowi więc obiekt złożony o szeregowej strukturze niezawodnościowej. W takim obiekcie niesprawność dowolnego elementu powoduje niesprawność całego obiektu. Szczególnie istotnym elementem przewodu pracującego na terenach górniczych jest złącze rurociągu odcinkowego, złożonego z krótkich rur. Do tego rodzaju rurociągów zaliczają się zazwyczaj przewody kanalizacyjne zbudowane z rur o złączach kielichowych lub nasuwkowych. W celu zmniejszenia wpływu eksploatacji górniczej na rurociągi podziemne o konstrukcji ciągłej, a niekiedy także ze względów technologicznych, stosuje się podział rurociągów na odcinki. Do zapewnienia prawidłowego funkcjonowania rurociągu jako całości, poszczególne jego odcinki łączone są za pomocą kompensatorów. Zadaniem kompensatorów jest umożliwienie wzdluznych, wzajemnych przemieszczeń sąsiednich odcinków rurociągu, przy zachowaniu jego wymaganej szczelności. Schemat rurociągu odcinkowego przedstawiono na rysunku 5.1.

Mając na uwadze, że konstrukcja kompensatorów umożliwia oprócz przemieszczeń wzdluz rurociągu, także pewne niewielkie przemieszczenia w kierunkach prostopadłych do rurociągu a także pewne niewielkie wzajemne obroty łączonych jego odcinków, przyjmuje się, że kompensatory nie przenoszą żadnych oddziaływań między łączonymi odcinkami rurociągu. Przy określaniu obciążeń działających na te odcinki należy więc traktować je jako elementy pracujące niezależnie.



Rys. 5.1. Schemat rurociągu odcinkowego

Fig. 5.1. Diagram of sectorial pipeline

W rurociągach odcinkowych miejscami zawodności są przede wszystkim złącza. Przy ocenie niezawodności rurociągów odcinkowych należy mieć na uwadze, że zwiększanie liczby złączy zwiększa zawodność rurociągów. Jeśli bowiem niezawodność i -tego złącza jest równa p_i i przyjmie się jednakową wagę wszystkich złączy dla niezawodności R całego rurociągu, to niezawodność ta jest określona zależnością [11]:

$$R = \prod_{i=1}^n p_i, \quad (5.2)$$

gdzie n – liczba złączy.

Do określenia niezawodności pojedynczego złącza p_i jest potrzebna znajomość wskaźnika niezawodności β , wyrażonego zależnością:

$$\beta = \frac{1 - \Psi}{\sqrt{v_0^2 + \Psi^2 v_\varepsilon^2}}, \quad \Psi = \frac{\bar{\Delta}l}{\Delta l_0}, \quad (5.3)$$

gdzie: $\bar{\Delta}l$ – wymagana średnia wartość przemieszczenia w złączu, przy czym $\bar{\Delta}l = \bar{\varepsilon}l$,

$\bar{\varepsilon}$ – średnia wartość poziomych odkształceń powierzchni.

Znając wartość wskaźnika niezawodności β można określić prawdopodobieństwo niezawodności pojedynczego złącza p_i , wykorzystując funkcję dystrybuanty Φ dla rozkładu normalnego:

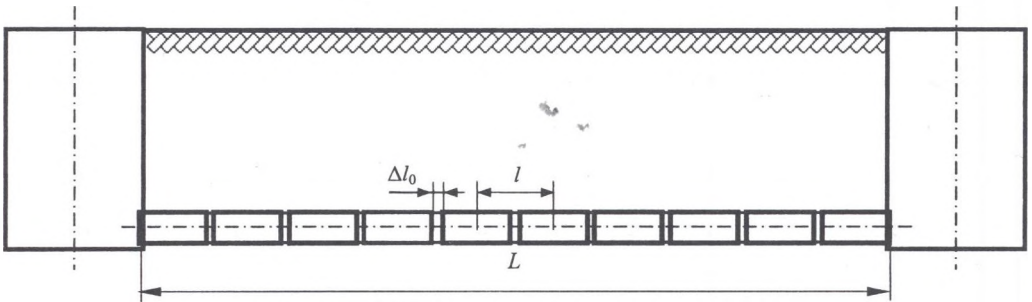
$$p_i = \Phi(\beta) = 1 - \Phi(-\beta) = 1 - p_f,$$

i następnie można określić prawdopodobieństwo R niezawodności rozpatrywanej części rurociągu na podstawie zależności (5.2).

Przyjmując przykładowo dwukrotnie większą możliwość przemieszczeń w kompensatorze aniżeli wynika to z prognozy deformacji powierzchni, to znaczy przyjmując $\Psi = 0,5$ oraz uwzględniając 10 złączy na rozpatrywanej części rurociągu, $v_0 = 0,20$ i $v_\varepsilon = 0,25$, otrzymuje się niezawodność pojedynczego złącza $p_i = 0,98$, a niezawodność

rozpatrywanej części rurociągu jako całości $R = 0,83$. Natomiast w przypadku gdyby na tej części rurociągu było zastosowanych 20 złączy, prawdopodobieństwo jej niezawodności byłoby $R = 0,69$. Przedstawiony przykład wskazuje na potrzebę optymalizacji odległości między kompensatorami i możliwego technicznie zakresu przemieszczeń odcinków rurociągów w kompensatorach.

Nawiązując do przedstawionego wyżej przykładu przewodu kanalizacyjnego zbudowanego z krótkich rur, znacznie krótszych od długości standardowej bazy pomiarowej, przy analizie niezawodności odcinka przewodu można rozpatrywać odcinki między studzienkami kanalizacyjnymi, których długość jest zazwyczaj większa od długości standardowej bazy pomiarowej. W takim przypadku rozpatrywany odcinek przewodu o długości kilkudziesięciu metrów poddany będzie oddziaływaniu poziomych odkształceń przypowierzchniowej warstwy gruntu o współczynniku zmienności mniejszym od współczynnika zmienności opisującego rozrzut wartości tych odkształceń dla odległości między środkami rozpatrywanych rur. Zatem charakterystyczna wartość wydłużenia lub skrócenia odcinka o długości l , a więc zakres możliwych przemieszczeń końców rur z uwzględnieniem rozproszenia losowego odkształceń dla odcinka równego długości l rur, jest proporcjonalnie większa od charakterystycznej wartości wydłużenia lub skrócenia odcinka o długości $L = zl$, gdzie z jest liczbą rur na długości L (rys. 5.2).



Rys. 5.2. Odcinek rurociągu o szeregowej strukturze niezawodnościowej
Fig. 5.2. Section of pipeline with a serial structure

W pierwszym przypadku wartość współczynnika zmienności wynosi $\alpha_l v_\varepsilon$, gdzie $\alpha_l = \sqrt{\frac{l_1}{l}}$ [1], a l_1 to długość standardowej bazy pomiarowej. W drugim przypadku wartość ta wynosi v_ε . W związku z tym przy określaniu niezawodności odcinka przewodu o szeregowej strukturze niezawodnościowej, złożonego z krótkich rur o znacznie mniejszej długości od

standardowej bazy pomiarowej, należy przyjmować wartość współczynnika zmienności v_ϵ odpowiadającego długości L tego odcinka.

Przyjmując $z = 10$, $L = 50$ m i niezawodność pojedynczego złącza, jaką należy uwzględnić przy ocenie niezawodności rozpatrywanego odcinka przewodu $p_t = 0,98$, niezawodność całego odcinka rozpatrywanego jako obiekt o szeregowej strukturze niezawodnościowej wynosi $R = 0,83$. Natomiast niezawodność R_t pojedynczego złącza z uwzględnieniem współczynników zmienności dla długości rur $l = 5$ m można określić na

podstawie wskaźnika niezawodności $\beta = \frac{1 - \Psi}{\sqrt{v_0^2 + \Psi^2 \alpha_l^2 v_\epsilon^2}}$, który dla rozpatrywanego

przykładu wynosi $\beta = 1,5$, co odpowiada $R_t = 0,93$. Mniejsza wartość β wynika z możliwości wystąpienia wyższych wartości odkształceń na znacznie krótszym odcinku niż długość standardowej bazy pomiarowej, co określa współczynnik α_l .

6. Podsumowanie

Oddziaływanie eksploatacji górniczej na obiekty budowlane charakteryzuje się trudną prognozowalnością i dużym rozproszeniem losowym. Rozproszenie to należy uwzględniać przy ocenie niezawodności obiektów budowlanych na terenach górniczych, podobnie jak rozproszenie losowe ich odporności. Miarą niezawodności obiektów budowlanych jest wskaźnik niezawodności i skojarzone z nim prawdopodobieństwo zawodności. Przy ocenie niezawodności obiektów budowlanych należy uwzględniać również złożoność ich struktury.

W celu uzyskania wymaganego w budownictwie, w przypadku oddziaływań niegórnictwowych, niskiego poziomu zawodności, należałoby w przypadku oddziaływań górniczych stosować duże wartości współczynników bezpieczeństwa. Spowodowałoby to zwiększenie kosztów dostosowania obiektów budowlanych na terenach górniczych do przenoszenia wpływów eksploatacji i ograniczenie możliwości eksploatacyjnych oraz mogłoby doprowadzić do nieopłacalności eksploatacji i związanych z tym problemów społecznych. W każdym więc przypadku zarówno budowania nowych obiektów na terenach górniczych, jak i dopuszczania eksploatacji pod obiektami istniejącymi, należy optymalizować wymagania w zakresie niezawodności obiektów budowlanych, biorąc pod uwagę możliwości techniczne, efekty gospodarcze i uwarunkowania społeczne.

W praktyce mogą, ze względów społecznych i ekonomicznych, zdarzyć się przypadki eksploatacji pod obiektami przy zaakceptowaniu zwiększonej zawodności. Powinny to być jednak przypadki wyjątkowe, a możliwość i warunki prowadzenia wówczas eksploatacji powinny wynikać z odpowiednio ukierunkowanych ekspertyz górniczych, a zwłaszcza budowlanych.

BIBLIOGRAFIA

1. Batkiewicz W.: Odchylenia standardowe poeksploatacyjnych deformacji górotworu. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej Oddziału PAN w Krakowie, Geodezja, nr 10, 1971.
2. Biegus A.: Probabilistyczna analiza konstrukcji stalowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Wrocław 1999.
3. Greń K., Popiołek E.: Wpływ eksploatacji górniczej na powierzchnię i górotwór. Wydawnictwo AGH, Kraków 1982.
4. Kalisz P.: Problemy określania odporności sieci uzbrojenia terenu na górnicze deformacje podłoża. Kwartalnik Głównego Instytutu Górnictwa, nr V/2007, s. 55-67.
5. Kawulok M.: Ocena właściwości użytkowych budynków z uwagi na oddziaływania górnicze. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2000.
6. Kwiatek J.: Podstawy budownictwa na terenach górniczych. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2004.
7. Kwiatek J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG, Katowice 2007.
8. Lewicki B.: Obliczanie konstrukcji metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa w ujęciu eurokodów. Prace Instytutu Techniki Budowlanej, nr 4 (96), Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 1995, s. 3-15.
9. Murzewski J.: Niezawodność konstrukcji inżynierskich. Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1989.
10. Murzewski J.: Podstawy projektowania i niezawodności konstrukcji. Podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
11. Opracowanie probabilistycznej metody oceny skutków podziemnej eksploatacji górniczej w obiektach budowlanych. Sprawozdanie z realizacji Projektu Badawczego Własnego 4 T12A 036 26 pod kierunkiem J. Kwiatka. Wydawnictwo GIG, Katowice 2006 (praca niepublikowana).
12. Popiołek E.: Rozproszenie statystyczne odkształceń poziomych terenu w świetle geodezyjnych obserwacji skutków eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH, s. Geodezja, z. 44, Kraków 1976.

13. Popiołek E. i in.: Losowość pogórnich deformacji terenu i odporności obiektów powierzchniowych w świetle wyników pomiarów geodezyjnych i obserwacji budowlanych oraz jej wpływ na wiarygodność prognoz szkód górniczych. Projekt badawczy nr 9 60 102 907. AGH, Kraków 1994 – 1997 (praca niepublikowana).
14. Popiołek E.: Losowy charakter wskaźników deformacji i jego uwzględnienie w budownictwie na terenach górniczych. Materiały Konferencji pt. „Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi”, Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, s. Konferencje, nr 20, Katowice 1997.
15. Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Praca zbiorowa pod red. Kwiatka J. Wydawnictwo GIG, Katowice 1998.
16. Stoch T.: Wpływ warunków geologiczno-górnich eksploatacji złóż na losowość procesu przemieszczeń i deformacji powierzchni terenu. AGH, Kraków 2005 (rozprawa doktorska).
17. Zych J., Drzęzła B., Strzałkowski P.: Prognozowanie deformacji powierzchni terenu pod wpływem eksploatacji górniczej. Skrypty Uczelniane nr 1684, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. dr h.c. Mirosław CHUDEK

Abstract

Protection of building structures on mining areas depends on 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. In the paper the probabilistic method was presented of reliability assessment for structures set on the ground subjected to continuous deformations caused by underground mining.

For suitable protection of objects against the effects of exploitation, the knowledge on deformed base influences onto objects is necessary. Analyses were executed of value of variation coefficients for indicators of surface deformation obtained on a basis of measurements in the field. Their large random dispersion was confirmed, and applying of different values of these coefficients was proposed, in dependence from effects of objects' destruction.

For safe transfer of extraction influences it is needed to make influences onto object smaller than its resistance. The resistance of objects to extraction influence, and especially mining influences onto objects, are characterised with large random dispersions. The problem of reliability of objects on mining areas have to be considered in probabilistic terms, and the probability of exceeding of such a state is the only objective measure of their reliability.

In the paper, a way of defining the probability of failure of building objects subjected to an influence of continuous deformations of surface on mining areas was presented on the basis of knowledge of average values and variation coefficients of influences onto objects and average and characteristic values the objects' resistance.

As a measure of a 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 areas.

A probability of sectional pipelines' failure for territorial development on mining areas was defined and an example of the unreliability assessment for section of pipeline with a sectional structure was presented.