

# Analizy bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych ulegających degradacji na podłożach górniczych.

## Część 1. Klasyczne postępowanie inżynierskie



dr hab. inż.  
**JAN FEDOROWICZ, PROF. WST**  
Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach  
**ORCID: 0000-0001-5383-7152**

W artykule opisano przypadek analizy rzeczywistego, nietypowego obiektu inżynierskiego, którego bezpieczne użytkowanie zagrożone zostało przez nadmierną deformację podłoża gruntowego, pokazując drogę postępowania inżynierskiego przy ocenie bezpieczeństwa tego obiektu.

stotnym zagadnieniem dotyczącym budownictwa na terenach górniczych jest problem analizy skutków oddziaływania eksploatacji górniczej na budowle już istniejące. Jednym z podstawowych elementów tej analizy jest ocena wrażliwości zabudowy na odkształcenia podłoża. Szczególnie chodzi tu o budowle starsze, niezabezpieczone przed wpływami górniczymi, lub zabezpieczone na wpływy o mniejszej intensywności od spodziewanych. Przykładowo, na fot. 1–4 widzimy skutki deformacji podłoża w różnych obiektach, m.in. w hali analizowanej w pracy.

Ocena wrażliwości na wpływy górnicze budowli (takiego typu, jak powyżej) oraz ocena ich bezpieczeństwa wymaga z reguły przeprowadzenia analizy statyczno-wytrzymałościowej układu konstrukcja – podłoże.

W pracy [1, 2] sformułowano i opisano szczegółowo możliwe postępowanie oraz procedury takich analiz. Dokładność wyznaczania sił wewnętrznych oraz wiarygodność sposobów wyznaczania ich wartości decydują o skuteczności zastosowanych zabezpieczeń. Klasyczny, inżynierski proces oceny wytrzymałości, a także bezpieczeństwa budowli na deformującym się podłożu jest obecnie wspomagany komputerowo. Niemniej, sposoby tworzenia schematów (czy modeli) obliczeniowych układów konstrukcja – podłoże oraz przekazywanie obciążeń wynikających z wpływu deformującego się podłoża na budowlę są w dalszym ciągu uproszczone. Otrzymywane zatem wyniki analiz prowadzą do uogólnień w ocenie wielkości wewnętrznych w konstrukcji (patrz część 2. pracy).

Przed przystąpieniem do analizy wybranego obiektu halowego prześledźmy szczegółowo procedurę postępowania. Graficzny, blokowy zapis pierwszego, decydują-

cego kroku pokazano za [1, 2] na rys. 1. Dokonujemy tu wyboru odpowiedniej ścieżki (zarazem dokładności opisu zadania); gdy danymi wejściowymi analizy jest prognozowany stan przemieszczeń powierzchni wolnego terenu. W przypadku ŚCIEŻKI I (zastosowanej w przedstawionym przykładzie), obliczenia mogą być przeprowadzone w sposób opisywany w literaturze [1, 3, 4], co daje dużą gwarancję określenia skutków deformacji terenu dla budynku w sposób konserwatywny.

W literaturze przedmiotu mamy sformułowane dwie teorie, pozwalające (dla ŚCIEŻKI I) oszacować siły wewnętrzne w konstrukcji oraz jej odkształcenia, są to:

- 1) teoria Wasilkowskiego [5] dla wpływu poziomych odkształceń podłoża, z modyfikacją w [4],
- 2) teoria Budzianowskiego [6] dla pionowych przemieszczeń podłoża, uzupełniona w [4]. Danymi wejściowymi do ob-



Fot. 1. Widok na elewację hali produkcyjnej od strony północno-zachodniej, 2014 r.



Fot. 2. Budynek mieszkalny, uszkodzenie elewacji, 2016 r.



Fot. 3. Uszkodzona ściana przyziemia, budynek mieszkalny, 2013 r.

liczeń są, oprócz cech fizyko-mechanicznych materiałów konstrukcji i podłoża oraz geometrii budowli, wartości prognozowanych wskaźników deformacji podłoża górniczego ( $K$  – krzywizna profilu prognozowanej niecki obniżenia oraz  $\varepsilon$  – poziome odkształcenie przypowierzchniowej warstwy podłoża).

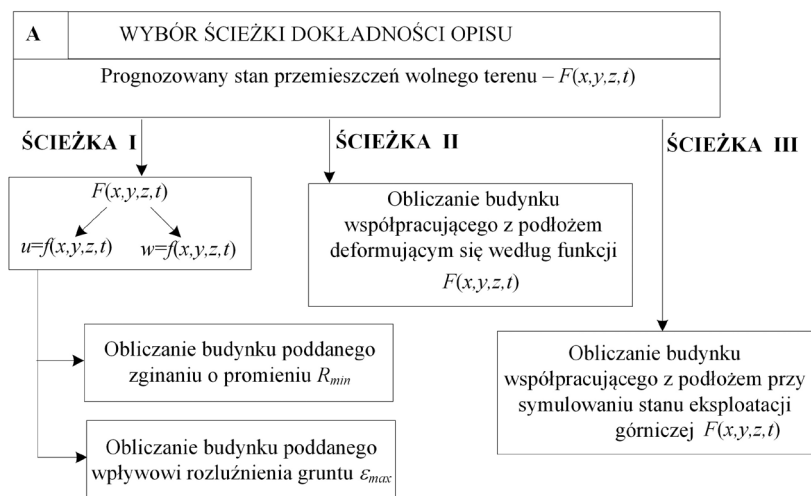
Powracając do analizy bezpieczeństwa zabudowy całych obszarów (dzielnic, osiedli) można stwierdzić, że większość obiektów budownictwa powszechnego cechuje niejasny, skomplikowany ustrój statyczny, niejednorodna struktura o zróżnicowanych cechach fizycznych i wytrzymałościowych. Z uwagi na pracochłonność analiz szczegółowych pojawiła się w praktyce tendencja szacunkowej oceny bezpieczeństwa i odporności zabudowy na wpływy górniczne prowadząc do sformułowania definicji odporności budowli na wpływy górniczne.

Definicja ta [1, 7] zawiera wymóg zapewnienia bezpieczeństwa użytkownika obiektu i brzmi następująco: „Odporność budynku na wpływy podziemnej eksploatacji górnicznej określa się jako zdolność budynku do przeniesienia określonych wpływów ciągłych deformacji terenu bez zagrożenia bezpieczeństwa użytkownika obiektu przy jednoczesnym dopuszczeniu wystąpienia w obiekcie niewielkich uszkodzeń elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych, możliwych do usunięcia w ramach remontów bieżących, a także niemających wpływu na istotne pogorszenia się walorów użytkowych obiektu”.

Definicja ta jest ściśle związana z klasyfikacją wpływów górnicznych, jak również ze sformułowaniem w [1, 7] stopniem uciążliwo-



Fot. 4. Przedszkole, uszkodzenie ściany zewnętrznej, widok od środka, 2011 r.



Rys. 1. Schemat wyboru ścieżki opisu zadania za [1]

Tabela 1. Klasyfikacja terenu górniczego wg [4]

Kategoria przydatności terenu do zabudowy	Wartość wskaźnika deformacji terenu		
	Nachylenie $T$ [mm/m]	Promień krzywizny $R$ [km]	Odształcenie poziome $\varepsilon$ [mm/m]
0	$T \leq 0,5$	$ R  \geq 40$	$ \varepsilon  \leq 0,3$
I	$0,5 < T \leq 2,5$	$40 >  R  \geq 20$	$0,3 <  \varepsilon  \leq 1,5$
II	$2,5 < T \leq 5$	$20 >  R  \geq 12$	$1,5 <  \varepsilon  \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$12 >  R  \geq 6$	$3 <  \varepsilon  \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$6 >  R  \geq 4$	$6 <  \varepsilon  \leq 9$
V	$T < 15$	$ R  < 4$	$ \varepsilon  > 9$

Wskaźniki opisujące deformację powierzchni podłoża kategoryzujące intensywność wpływów górnicznych:  $T$  [mm/m] – nachylenie terenu,  $K, R$  [1/km, km] – krzywizna profilu prognozowanej niecki obniżenia oraz promień tej krzywizny,  $\varepsilon$  [mm/m] – poziome odkształcenie przypowierzchniowej warstwy podłoża.

ści użytkownika. Klasyfikacja terenu w zależności od intensywności wpływów dzieli obszar górniczny na sześć kategorii (od 0 do V kategorii) przydatności terenu do zabudowy wg reguły podanej za [4] w tabeli 1. Podobnie zdefiniowano cztery stopnie uciążliwości użytkownika, granice których podano za [1] w tabeli 2.

Zebrane i omówione powyżej informacje są podstawą sformułowanej w [7] i zaprezentowanej w [1, 8] dość szybkiej procedury oszacowania odporności pojedynczych obiektów poprzez wykonanie podstawowych analiz obliczeniowych. W pracy procedura ta została uzupełniona o kryterium wytrzymałościowe i omówiona na przykładzie budynku o konstrukcji murowanej.

Tabela 2. Klasyfikacja uciążliwości skutków eksploatacji górniczej wg [1]

Skutki w budynku	Stopień uciążliwości użytkownika			
	nieodczuwalny	mały	średni	duży
T, [mm/m]	T < 10	10 < T ≤ 15	15 < T ≤ 20	20 < T ≤ 25
d, [mm]	d < 1	1 < d ≤ 5	5 < d ≤ 10	10 < d ≤ 30
$\gamma_{dop} \cdot 10^{+3}$	$\gamma_{dop} \cdot 10^{+3} < 1$	$1 < \gamma_{dop} \cdot 10^{+3} \leq 2$	$2 < \gamma_{dop} \cdot 10^{+3} \leq 3$	$3 < \gamma_{dop} \cdot 10^{+3} \leq 5$

Tabela 3. Zestawienie wzorów stosowanych w kryterium odkształceniowym

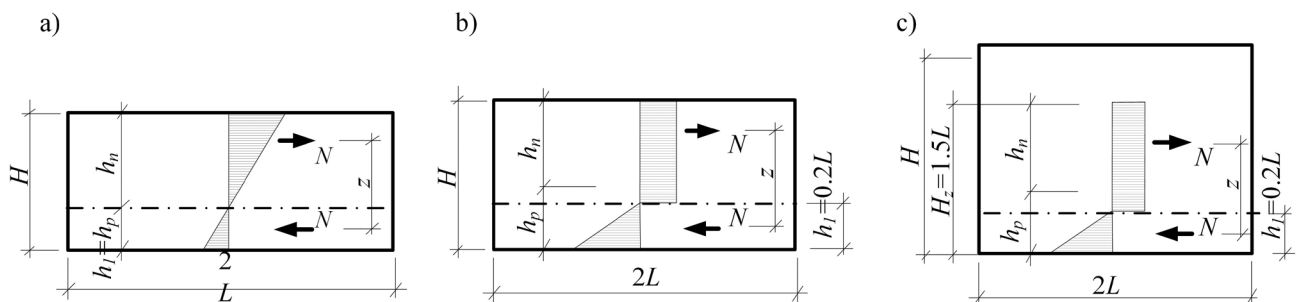
Dane wejściowe:	Założony dopuszczalny stopień uciążliwości użytkownika budynku $\gamma_{dop}$ wg Tabeli 2	
Dopuszczalna, maksymalna wartość $\epsilon_{dop}$ poziomego odkształcenia warstwy podłoża górniczego przy promieniu krzywizny $R_d$	$\epsilon_{dop} = \frac{A \cdot R_d \cdot \gamma_{dop} + M_2 \cdot R_d \cdot \epsilon_{kf} - M_1}{M_2 \cdot R_d - A \cdot B \cdot R_d \cdot 10^{-3}}$	(1)
Dopuszczalna, minimalna wartość $R_{dop}$ promienia krzywizny odkształcanej warstwy podłoża górniczego przy poziomym odkształceniu $\epsilon_d$	$R_{dop} = \frac{M_1}{A \cdot \gamma_{dop} - M_2 \cdot (\epsilon_d - \epsilon_{kf}) + A \cdot B \cdot \epsilon_d \cdot 10^{-3}}$	(2)
gdzie:	$M_1 = 8 \cdot F \cdot C_o \cdot L^4, \quad M_2 = 32 \cdot c \cdot F \cdot C_o \cdot L^3 \cdot 10^{-3}, \quad B = D \cdot E_m \cdot \Omega,$ $A = 720 \cdot E_m J_m + C_o \cdot F \cdot L \cdot (11 \cdot L^2 + 30 \cdot \beta \cdot n), \quad \gamma(\epsilon) = -B \cdot \epsilon_{max} \cdot 10^{-3},$ $\Omega = \frac{b_f \cdot k_h}{\rho + b_f \cdot k_h} \cdot 1 - \frac{1}{\cosh \left( L \cdot \sqrt{\frac{\rho + b_f \cdot k_h}{E_m \cdot A_f}} \right)}, \quad n = \frac{E_m \cdot J_m}{G_m \cdot A_m}$	
oraz		
<p>c – współczynnik charakteryzujący podłoże i przyjmujący wartości według [1,9,10,11] w granicach c=0÷0.09, – najmniejsze poziome rozluźnienie terenu powodujące zmianę jego promienia krzywizny, wg [1,9,10,11,12] <math>\epsilon_{kf} = 0.001 \div 0.0015</math>, <math>\rho</math> – współczynnik uwzględniający wpływ współpracy nadbudowy z kondygnacją piwniczną, przyjmujący wg [1,7] wartości <math>\rho = 0 \div 0.15 E_{tm}</math>, L – połowa – długości budynku, <math>C_o, k_h</math> – współczynnik pionowej i poziomej podatności podłoża, F – pole rzutu poziomego fundamentu, <math>b_f</math> – szerokość zastępcza fundamentu równa F/(2L), <math>b_m</math> – sumaryczna grubość ścian budynku rozpatrywanego kierunku, z, <math>h_n</math> – ramię sił wewnętrznych i wysokość strefy rozciąganej budynku wyznaczana wg [4] – rys. 2, <math>\beta</math> – współczynnik kształtu przekroju przy ścinaniu, <math>E_m, G_m, A_m, J_m</math> – moduł sprężystości podłużnej i poprzecznej materiału muru, pole przekroju i moment bezwładności przekroju budynku.</p>		
Kontrola odkształcenia konstrukcji.		
Wskaźnik wyznaczający wielkość odkształcenia postaciowego konstrukcji $\gamma_{Bk}$ i pozwalający na oszacowanie stopnia uciążliwości użytkownika obiektu przy założonej prognozowanej deformacji terenu górniczego $R_{min}$ (oraz $\epsilon_{max}$ wg Tabeli 1	$\gamma_{Bk} = \gamma(\epsilon) + \frac{M_1 + M_2 \cdot (\epsilon_{max} - \epsilon_{kf}) \cdot R_{min}}{A \cdot R_{min}}$	(4)

### Parametryczna ocena odporności oraz ocena bezpieczeństwa użytkownika

Omawiana procedura oceny odporności budynku jest metodą analityczną, polegającą na liczbowym oszacowaniu dopuszczalnych wartości wskaźników ( $R_{dop}, \epsilon_{dop}$ ) na podstawie założonej do obliczeń dopuszczalnej wartości

odkształcenia postaciowego budynku  $\gamma_{dop}$ . Analiza ta przeprowadzana jest na modelu budynku w postaci pojedynczej ściany (rys. 2.) i oparta na założeniach:

- 1) Materiał konstrukcji i podłoże pracuje sprężysto.
- 2) Geometria budynku pozwala na zbudowanie modelu w postaci ściany płaskiej



Rys. 2. Proponowany w [4] rozkład naprężenia normalnego na wysokości ściany zginanej parą sił N, a)  $z = 0.667 H$ , b)  $z = 0.5H + 0.34 L$ , c)  $z = 0.8 L$

lub na wyodrębnienie poszczególnych ścian danego kierunku.

- 3) O zarysowaniu konstrukcji murowej decyduje przekroczenie wytrzymałości materiału muru na rozciąganie lub ścinanie.
- 4) Przyjmuje się, że zarysowanie konstrukcji sygnalizowane jest przez osiągnięcie kąta postaciowego odkształcenia konstrukcji oszacowanego jako wartość graniczna dla analizowanej konstrukcji.
- 5) Przyjmuje się za [4], że rozkład poziomych sił normalnych w analizowanym modelu pokazany na (rys. 2.) w zależności od proporcji H/(2L) ściany, a spowodowany jej zginaniem parą sił N jest dostatecznie dokładny dla potrzeb analizy inżynierskiej.

Założenia te stanowią podstawę sformułowania odpowiednich, zestawionych w tabeli 3. wzorów, pozwalających na oszacowanie odporności budowli (kryterium odkształceniowe), oraz wzorów w tabeli 4., ułatwiających analizę możliwej odkształcalności konstrukcji spełniającej jeszcze wymóg wytrzymałości materiału (kryterium wytrzymałościowe). Wartości potrzebnych współczynników dotyczących podłoża i konstrukcji murowych oraz granicznych wartości odkształcenia postaciowego muru zestawiono natomiast w tabeli 5.

Procedura oszacowania odporności przebiega tu dwuetapowo:

I. w etapie I dla założonej uciążliwości użytkownika (np. wg tabeli 2.) wyrażonej wartością odkształcenia postaciowego ( $\gamma_{dop}$ ), wyznaczamy na podstawie wzorów kryterium odkształceniowego (1) i (2) wartości dopuszczalnych wskaźników odkształcenia powierzchni terenu  $R_{dop}$  (oraz  $\epsilon_{dop}$ ), które równocześnie wyznaczają kategorię odporności budynku zgodnie z tabelą 1.,

II. w etapie II – kontrolnym – za pomocą wzoru (4) określamy wartość możliwego globalnego odkształcenia postaciowego konstrukcji  $\gamma_{Bk}$  wynikającego z prognozowanych wskaźników deformacji terenu  $R_{min}$  (oraz  $\epsilon_{max}$ ), które na podstawie tabeli 2. określają, jaka może być uciążliwość użytkownika.

Jak widać z budowy wzorów (1-4) do korzystania z omawianej procedury konieczna jest znajomość takich cech geo-

Tabela 4. Zestawienie wzorów stosowanych w kryterium wytrzymałościowym

Dane wejściowe:	Znane charakterystyczne wytrzymałości muru na ścinanie i rozciąganie przy zginaniu ( $f_{vk}$ , $f_{td}$ )
wartość globalnego odkształcenia konstrukcji ( $\gamma_{gran}$ [mm/m]) wynikająca z wytrzymałości muru ( $f_{vk}$ , $f_{td}$ )	$\gamma_{gran} \cdot 10^{-3} = \min \left\{ \frac{D \cdot f_{xk}}{\sqrt{3} \cdot L^2 \cdot b_m}, \frac{D \cdot f_{td}}{10 \cdot E_m \cdot S_x^0} \cdot f_{vk} \right\} \quad (5)$
gdzie	$D = \begin{cases} \frac{12 \cdot z \cdot h_n \cdot b_m \cdot L}{45 \cdot E_m \cdot J_m}, & \text{dla ściany z rys. 2a} \\ \frac{24 \cdot z \cdot h_n \cdot b_m \cdot L}{45 \cdot E_m \cdot J_m}, & \text{dla ściany z rys. 2b, c} \end{cases} \quad (6)$
oraz $f_{xk}$ – wytrzymałość charakterystyczna muru na rozciąganie przy zginaniu, $f_{td}$ – wytrzymałość charakterystyczna muru na ścinanie, pozostałe oznaczenia jak w tabeli 3. i rys. 2.	

Tabela 5. Zestawienie współczynników dotyczących podłoża i konstrukcji murowych oraz granicznych wartości odkształcenia postaciowego wykorzystywanych w kryteriach odkształceniowym i wytrzymałościowym

Wartości współczynnika c charakteryzującego niesprężyste własności podłoża wg [1,9,10,11,12]	
grunty sypkie	grunty spoiste w stanie plastycznym
0.04 ÷ 0.09	0 ÷ 0.03
grunty spoiste w stanie twardoplastycznym	
0.03 ÷ 0.06	
Współczynnik $\rho$ współpracy ścian piwnic z nadbudową i stropami	
– ściany nadbudowy mocno perforowane (sumaryczna powierzchnia otworów jest większa niż 15% powierzchni całkowitej ścian) oraz brak współpracy stropów nadbudowy ze ścianami,	$\rho = (0 \div 0.01) \cdot E_m$
– ściany nadbudowy mocno perforowane, zapewniona współpraca stropów kondygnacji nadbudowy ze ścianami,	$\rho = (0.01 \div 0.05) \cdot E_m$
– ściany nadbudowy pełne lub sumaryczna powierzchnia otworów jest mniejsza niż 15% powierzchni całkowitej ścian oraz brak współpracy stropów nadbudowy ze ścianami,	$\rho = (0.05 \div 0.10) \cdot E_m$
– ściany nadbudowy pełne lub sumaryczna powierzchnia otworów jest mniejsza niż 15% powierzchni całkowitej ścian oraz zapewniona współpraca stropów kondygnacji nadbudowy ze ścianami.	$\rho = (0.10 \div 0.15) \cdot E_m$
Maksymalne wartości kąta odkształcenia postaciowego $\gamma_{gran}$ konstrukcji odpowiadające nieodczuwalnemu stopniowi uciążliwości użytkowania	
Budynki o układzie nośnym ścianowym:	$\gamma_{gran}$ konstrukcji
– w ścianach betonowych	$0.25 \cdot 10^{-3}$
– w ścianach murowanych na zaprawie cementowej	$0.40 \cdot 10^{-3}$
– w ścianach murowanych na zaprawie cementowo-wapiennej	$0.50 \cdot 10^{-3}$
– w ścianach piwnic o podrzędnym znaczeniu użytkowym, niezależnie od konstrukcji ścian	$(0.50 \div 1.0) \cdot 10^{-3}$
Budynki szkieletowe z wypełnieniem murowym:	$\gamma_{gran}$ konstrukcji
– przy wypełnieniu bloczkami z betonu komórkowego o średniej wytrzymałości na ściskanie większej niż 5.0 MPa przy zaprawie cementowej klasy większej od 5 MPa	$0.20 \cdot 10^{-3}$
– przy wypełnieniu jak wyżej lecz przy zaprawie cementowo-wapiennej	$0.30 \cdot 10^{-3}$
– przy wypełnieniu murem z elementów murowych grupy 1	$0.50 \cdot 10^{-3}$
– w budynkach, dla których dopuszcza się znaczniejsze zarysowania na stykach ścian niezależnie od materiału wypełnienia	$(0.50 \div 1.0) \cdot 10^{-3}$
W ścianach ostonowych budynków:	$\gamma_{gran}$ konstrukcji
– w ścianach ostonowych sztywnych z elementów trójwarstwowych lub pasmowych o podatnych połączeniach z konstrukcją	$(0.50 \div 1.0) \cdot 10^{-3}$
– w ścianach ostonowych kondygnacji nadziemnych, które dopasowują się do odkształceń układu nośnego bez widocznych zarysowań – np. w ścianach murowych z bloczków z betonu komórkowego lub innych elementów drobnowymiarowych.	$1.0 \cdot 10^{-3}$

metrycznych i fizycznych budynku, które umożliwią wyznaczenia sztywności zastępczej  $E_m$ ,  $J_m$  na zginanie oraz ścinanie  $G_m$ ,  $A_m$  budynku zgodnie z zaleceniami [4]. Można tę procedurę stosować do oceny odporności budynków mieszkalnych o konstrukcji ścianowej murowanych z ele-

mentów drobnowymiarowych, zlokalizowanych w zabudowie wolnostojącej lub zwartej o wysokości do 5 kondygnacji. Metoda ta może być stosowana do oceny odporności budynków użyteczności publicznej, a także budynków przemysłowych o konstrukcji i użytych materiałach zbliżonych do stosowanych

w budynkach o tradycyjnej konstrukcji murowej.

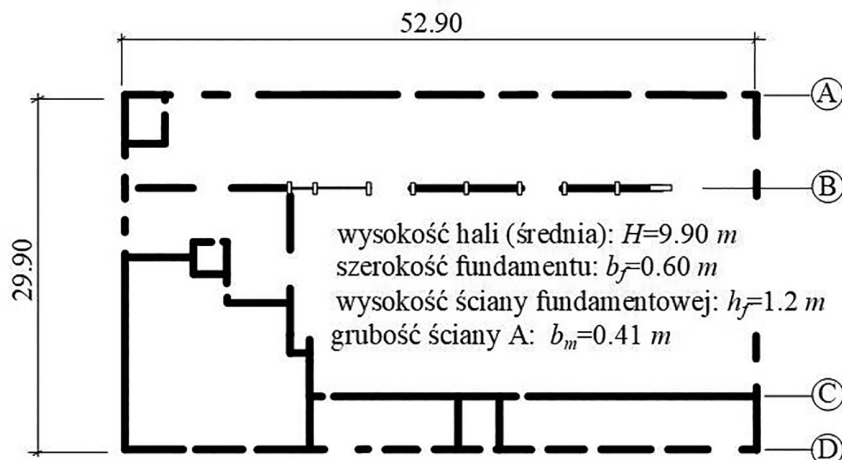
W przedstawianej pracy procedurę tę uzupełniono o kryterium wytrzymałościowe (tabela 4.). Wykorzystując przyjęte założenia 3 i 4 oraz przyjmując rozkład sił wewnętrznych w ścianie wg rys. 2., sformułowano wyrażenie (5) określające możliwą wartość kąta odkształcenia postaciowego  $\gamma_{gran}$ , konstrukcji wynikającą z wytrzymałości muru na rozciąganie lub ścinanie np. wg [13]. Przekroczenie tej wielkości w konstrukcji zgodnie z przyjętymi założeniami skutkuje pojawieniem się zarysowania w analizowanej ścianie. Równocześnie wykorzystanie wyznaczonej wartości  $\gamma_{Bk}$ , ze wzoru (5) dla prognozowanych wskaźników odkształcenia terenu, ( $R_{min}$  oraz  $\epsilon_{max}$  pozwala na oszacowanie bezpieczeństwa konstrukcji.

### Przykład oceny odporności i bezpieczeństwa budynku

Omówioną metodę szacowania odporności budynku i bezpieczeństwa konstrukcji zastosujemy do budynku hali produkcyjnej zlokalizowanej na terenie Śląska. Na rys. 3. pokazano schemat rzutu poziomego hali.

Jest to budynek murowany, niepodpiwniczony wybudowany w pierwszej połowie XX wieku wielokrotnie rozbudowywany i przebudowywany, o długości 52,80 m oraz szerokości 29,90 m. Średnia wysokość ścian hali nad poziomem posadzki wynosi 8,70 m a całkowita wysokość 9,90 m. Fundamenty, a także ściany fundamentowe są żelbetowe, zaś ściany nadziemia murowane z cegły pełnej. Dach konstrukcji stalowej kryty blachą trapezową. Układ nośny konstrukcji hali stanowią ściany podłużne usztywnione w kierunku poprzecznym jedynie zewnętrznymi ścianami poprzecznymi i niewielkimi pilastrami w ścianach zewnętrznych podłużnych. Można również z uwagi na konstrukcję uznać, że niewielkim usztywnieniem w kierunku poprzecznym budynku hali jest konstrukcja dachu. W związku z tym dla potrzeb analizy bezpieczeństwa i odporności budynku odrębiono pojedynczą ścianę – ścianę A – rys. 7. Niezbędne dane szczegółowe do oceny analizowanej hali zaczerpnięto z dokumentacji techniczno-projektowej.

Analizę prowadzono wariantowo. Dla gruntu oszacowano wartości współczynnika pionowej podatności  $C_0$  w przedziale 25-35 MN/m<sup>3</sup>. Natomiast wartość współczynnika c opisującego własności niesprężyste, reologiczne gruntu przyjęto jak dla gruntu spoistego w stanie twardoplastycznym na poziomie  $c = 0.06$ . Na podstawie wyników wizji lokalnej i literatury oszacowano wartości modułu sprężystości muru oraz wytrzymałości na rozciąganie, a także ścinanie w przedziałach:  $E_m = 2000-4000$  kPa,  $f_{xk}$  oraz  $f_{vk}$  w przedziałach 50-400 kPa. Analizę przeprowadzono, przyjmując najmniejsze poziome rozluź-



Rys. 3. Schemat rzutu poziomego hali

Tabela 6. Wyniki szacowania stopnia uciążliwości użytkowania konstrukcji hali dla  $C_0 = 25 \text{ MN/m}^3$  oraz fundamentu betonowego, a także dopuszczalnego odkształcenia poziomego podłoża

Prognozowany promień krzywizny R w [km] przy $E_m$ w [MPa]	prognozowana odkształcenie poziome podłoża $\epsilon$ [%]	odpowiadająca uciążliwość użytkowania $\gamma_{Bk}$ [mm/m]		$\gamma_{dop}$ [%]	dopuszczalne odkształcenie poziome podłoża $\epsilon$ [%]	
		ściana przed degradacją	ściana zdegradowana w 50%		ściana przed degradacją	ściana zdegradowana w 50%
$E_m = 2000$ , $R = 40$	0.3	0.3	0.4	1.0	2.1	1.2
	1.5	0.8	1.2	2.0	4.8	2.9
$E_m = 4000$ , $R = 40$	0.3	0.3	0.4	1.0	2.4	1.3
	1.5	0.7	1.1	2.0	5.2	3.0
$E_m = 2000$ , $R = 20$	1.5	1.1	1.5	1.0	1.2	0.6
	3.0	1.7	2.4	2.0	3.9	2.3
$E_m = 4000$ , $R = 20$	1.5	1.0	1.4	1.0	1.6	0.8
	3	1.5	2.3	2.0	4.5	2.5

Tabela 7. Wyniki szacowania dopuszczalnego odkształcenia promienia krzywizny podłoża  $R_{dop}$

prognozowane odkształcenie poziome podłoża $\epsilon$ [%] przy $E_m = 4000$ [MPa]	założona uciążliwość użytkowania $\gamma_{dop}$ [%]	dopuszczalny promień krzywizny $R_{dop}$ w [km] przy $C_0 = 25 \text{ MN/m}^3$		założona uciążliwość użytkowania $\gamma_{dop}$ [%]	dopuszczalny promień krzywizny $R_{dop}$ w [km] przy $C_0 = 35 \text{ MN/m}^3$	
		ściana przed degradacją	ściana zdegradowana w 50%		ściana przed degradacją	ściana zdegradowana w 50%
$\epsilon = 0.5$	1.0	11.7	16.1	1.0	13.7	18.9
	2.0	5.6	7.3	2.0	6.5	8.2
$\epsilon = 1.0$	1.0	14.5	25.0	1.0	18.5	37.5
	2.0	6.2	8.7	2.0	7.3	10.4
$\epsilon = 1.5$	1.0	18.9	55.7	1.0	28.0	-
	2.0	6.9	10.8	2.0	8.5	14.2
$\epsilon = 3.0$	1.0	211.4	-	1.0	-	-
	3	10.3	37.3	2.0	16.1	-

nienie terenu powodujące zmianę jego promienia krzywizny wg [1, 9, 10, 11] na poziomie  $\epsilon_{kt} = 0.001$ .

Przyjęto również do analizy jako miarodajne wartości promienia krzywizny R i odkształcenia poziomego  $\epsilon$  podłoża gruntowego odpowiadające wg tabeli 1. zakresom 0, I, i II kategorii terenu górniczego. Podobnie prze-

prowadzono wariantowe oszacowanie prawdopodobnej uciążliwości użytkowania. Natomiast przyjmując jako miarodajne wartości promienia krzywizny R odpowiadające 0, I, i II kategorii oraz możliwe stopnie uciążliwości, oszacowano odporność budynku hali.

Analizę przeprowadzono wg podanej w tabeli 3. procedury dwukrotnie, przy-

jąc za pierwszym razem, że konstrukcja hali nie jest uszkodzona w momencie wystąpienia wpływów górniczych, a jej obniżona sztywność wynika jedynie z naturalnego zużycia, a następnie obliczenia powtórzono uznając, że konstrukcja nośna budynku hali jest uszkodzona, a jej stan techniczny jest zły, a sztywność muru hali wyrażona modułem odkształcenia  $E_m$  uległa na skutek uszkodzeń degradacji o 50%. Wybrane wyniki pokazano w tabeli 6. Przeprowadzone obliczenia na podstawie kryterium wytrzymałościowego można podsumować stwierdzeniem, że dla założonych warunków wyjściowych wartość kąta wynikająca z wytrzymałości muru na rozciąganie  $f_{xk}$  zawiera się w przedziale  $\gamma_{glob} = (0.03 \div 0.28) \cdot 10^{-3}$ , a z wytrzymałości  $f_{vk}$  na ścinanie  $\gamma_{glob} = (0.11 \div 0.90) \cdot 10^{-3}$ .

Jak widać w obu przypadkach, otrzymane wyniki są z zakresu stopnia uciążliwości nieodczuwalnej, ale równocześnie są znacznie mniejsze od przewidywanych wartości na podstawie (4) i równocześnie są zbliżone wartości granicznych zebranych w Tabeli 5.

Z analizy otrzymanych rezultatów wynika, że przy dopuszczeniu – z uwagi na sposób eksploatacji – małego stopnia uciążliwości, konstrukcja hali może przenosić następujące poziome odkształcenia podłoża:

a) w stanie nieuszkodzonym dla założonego nieodczuwalnego stopnia uciążliwości użytkowania  $\gamma \leq 1.0 \text{ mm/m}$ ,

–  $\epsilon_{dop} = (1.2 - 2.4) \text{ mm/m}$  przy prognozowanym  $R = (20 - 40) \text{ km}$ ,

–  $R_{dop} = (13.7 - 28.0) \text{ km}$  przy prognozowanym odkształceniu powierzchni podłoża  $\epsilon \leq 1.5 \text{ mm/m}$ ,

b) po uszkodzeniu dla założonego nieodczuwalnego stopnia uciążliwości użytkowania  $\gamma \leq 1.0 \text{ mm/m}$ ,

–  $\epsilon_{dop} = (0.6 - 1.3) \text{ mm/m}$  przy prognozowanym  $R = (20 - 40) \text{ km}$ ,

–  $R_{dop} = (8.2 - 14.2) \text{ km}$  przy prognozowanym odkształceniu powierzchni podłoża  $\epsilon \leq 1.5 \text{ mm/m}$ .

W analizie tej nie uwzględniano możliwości zmiany stateczności ściany w trakcie przejmowania wpływów górniczych ani możliwości jej zwichrowania. W związku z powyższym należy, z uwagi na proporcje wymiarów poszczególnych ścian i brak efektywnych usztywnień ścian w kierunku poprzecznym, obniżyć odporność hali przynajmniej o jeden stopień.

Ostatecznie, przy uwzględnieniu powyższych uwarunkowań odporność hali konstrukcji murowanej można oznaczyć w dwuwariantowo:

a) w przypadku hali nieuszkodzonej jej odporność jest szacowana w zakresie dolnej strefy I kategorii,

b) w przypadku hali uszkodzonej jej odporność szacować należy na kategorię 0.

## Podsumowanie

Przedstawione w pracy w tabeli 3. wyrażenia pozwalają na oszacowanie zarówno stopnia uciążliwości użytkowania budowli – poprzez obliczenie wartości  $\gamma_{BK}$  budynku, jak i również przy przyjętym stopniu uciążliwości, oszacowanie odporności budynku czy to ze względu na promień krzywizny R, czy też ze względu na poziome odkształcenie podłoża  $\epsilon$ . Dodatkowo podana w tabeli 4. formuła wyznaczania umożliwia, przez porównanie z obliczonymi wg (5) wartościami oraz podanymi w tabeli 5. wartościami ocenę poziomu bezpieczeństwa konstrukcji.

Szacowana na podstawie proponowanych formuł odporność budowli, w odróżnieniu od np. chętnie stosowanej w Polsce metody punktowej jest zależna bezpośrednio tylko od szeregu czynników związanych z geometrią, materiałami i technologią wykonania konstrukcji. Za jej wadę może być natomiast uznana konieczność wykonania odpowiednich przeliczeń liczbowych, co oczywiście wydłuża czas wykonania oceny odporności i bezpieczeństwa konstrukcji.

## Bibliografia:

- [1] Praca zbiorowa: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wyd. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1997.
- [2] Fedorowicz J., Mrozek M., Mrozek D.: Ochrona budynków murowanych na terenie górniczym. Część 1 – Rozważania teoretyczne. Przegląd Górniczy, nr 8, 2014, s. 85-92, UKD 622.333:622.013-049.65.
- [3] Praca zbiorowa: Ochrona powierzchni przed szkodami górnictwami. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980.
- [4] Instrukcje, Wytyczne, Poradnik 416/2006. Projektowanie budynków na terenach górniczych. Wydawnictwo Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2006.
- [5] Wasilkowski F.: Pełne zabezpieczenie budowli przed szkodami górnictwami. Inżynieria i Budownictwo, Cz. I. nr 7-8, 1951, s. 276-287, Cz. II. nr 4, 1952, s. 128-134, Cz. III, nr 3, 1953, s. 74-82, Cz. IV, nr 2, 1955, s. 53-62.
- [6] Budzianowski Z.: Działanie wygiętego podłoża na sztywną budowlę znajdującą się w obszarze eksploatacji górniczej. Inżynieria i Budownictwo, nr 6, 1964, s. 199-206 i nr 7, 1964, s. 235-239.

[7] Sprawozdanie końcowe Projektu Badawczego Zamawianego PBZ-016-6 pt.: Ochrona obiektów budowlanych przed szkodami powodowanymi podziemną eksploatacją górnictwami. Zadanie 3.4. „Zasady oceny odporności budynków na deformacje terenu spowodowane eksploatacją górnictwami wraz z prognozowaniem uciążliwości użytkowania”. Praca niepublikowana (maszynopis), archiwum Instytutu Techniki Budowlanej Oddział Gliwice, 1997.

[8] Fedorowicz J., Kawulok M.: Odkształceniuowe kryteria oceny odporności budynków na terenach górniczych. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Ochrona powierzchni i obiektów przed szkodami górnictwami”, Główny Instytut Górnictwa, czestochowa, Katowice 1996, s. 83-94.

[9] Kwiatek J.: Wpływ rozpiętości podłoża pod budowlami na jego krzywiznę. Inżynieria i Budownictwo, nr 9, 1967, s. 360-363.

[10] Kwiatek J.: Wybrane problemy ochrony obiektów budowlanych na terenach górniczych. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Ustroń, maj, 1993.

[11] Kwiatek J.: Wybrane problemy geotechniki terenów górniczych. Wydawnictwo PAN, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1982.

[12] Fedorowicz L., Fedorowicz J.: Rola współczynnika parcia geostatycznego Ko w analizach geotechnicznych i sposoby jego oceny. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach, nr 6, 2014, s. 35-54.

[13] PN-EN-1996-1-1: 2010 – Konstrukcje murowe – Projektowanie i obliczanie.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.0285

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA  
Fedorowicz Jan, 2021, Analizy bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych ulegających degradacji na podłożach górniczych. Część 1. Klasyczne postępowanie inżynierskie, „Builder” 8 (289). DOI: 10.5604/01.3001.0015.0285

**Streszczenie:** Oprócz analiz szczegółowych w praktyce inżynierskiej zachodzi często potrzeba ustalenia w krótkim czasie odporności zabudowy całych zespołów wiejskich lub miejskich (dzielnic i osiedli) na wpływy eksploatacji – bieżącej, planowanej lub deformacji pogórnictw. W tym celu najczęściej wykorzystuje się metodę najszybszą – tak zwaną metodę punktową. Ograniczenia tej metody wykluczają jednak budowle nietypowe np. halowe, w złym stanie technicznym itp. Dla przypadków takich, wymagających szczegółowej i indywidualnej analizy, opracowano przedstawioną analityczną metodę parametryczną [1].

W artykule opisano przypadek analizy rzeczywistego, nietypowego obiektu inżynierskiego, którego bezpieczne użytkowanie zagrożone zostało przez nadmierną deformację podłoża gruntowego, pokazując drogę postępowania inżynierskiego przy ocenie bezpieczeństwa tego obiektu.

**Słowa kluczowe:** wpływy górnicze, szkody górnicze, niecka obniżeniowa, kategoria terenu górniczego, uciążliwość użytkowania.

**Abstract:** SAFETY ANALYSIS OF BUILDING STRUCTURES SUBJECT TO DEGRADATION IN MINING AREAS. PART 1 – CLASSICAL ENGINEERING PROCEDURE. In addition to detailed analyzes in engineering practice, there is often a need to determine, in a short time, the resistance of the development of entire rural or urban complexes (districts and housing estates) to the impact of exploitation – current, planned or post-mining deformations. For this purpose, the fastest method is most often used – the so-called point method. However, the limitations of this method exclude atypical structures, e.g. hall buildings, buildings in poor technical condition, etc. For such cases, requiring a detailed and individual analysis, the analytical parametric method presented below was developed [1].

The article describes a case of an analysis of a real, atypical engineering structure, the safe use of which was endangered by excessive deformation of the subsoil; showing the way of engineering proceedings when assessing the safety of this facility.

**Keywords:** mining influences, mining damage, depression basin, category of mining area, nuisance of use