

Ocena efektywności zabezpieczeń profilaktycznych budynków murowanych na terenie górniczym LZW

mgr inż. Adrian Jędrzejczyk, dr hab. inż. Karol Firek, prof. uczelni, dr inż. Wojciech Kocot, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, mgr inż. Katarzyna Jurczykowska, Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A.

1. Wprowadzenie

Prawidłowa ocena stanu technicznego budynków jest szczególnie ważna na terenach objętych szkodliwymi wpływami prowadzenia działalności górniczej związanej z podziemną eksploatacją surowców. Górnictwo podziemne powoduje ingerencje w masy skalne, a także prowadzi do powstawania naprężeń i odkształceń wewnątrz górotworu, co może spowodować powstawanie deformacji na powierzchni terenu i wstrząsy górnicze, które z kolei mogą mieć negatywny wpływ na zabudowę [3, 10, 11]. Oddziaływania te mogą się ujawniać w postaci uszkodzeń elementów wykończeniowych oraz rzadziej elementów konstrukcyjnych, powodując pogorszenie stanu technicznego i właściwości użytkowych budynku. Z tego względu na terenach górniczych rutynowo stosuje się kompleksowe zabezpieczenia profilaktyczne, które mają na celu ulepszenie konstrukcji budynku w sposób pozwalający na ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie niekorzystnych efektów działalności górniczej. Stosowanie profilaktycznych zabezpieczeń konstrukcji na terenach górniczych polega na dostosowaniu obiektów budowlanych do przewidywanych wpływów eksploatacji górniczej poprzez dobór odpowiednich rozwiązań wzmacniających konstrukcję (np. dodatkowe zbrojenie podłużne łań fundamentowych), odpowiednie usytuowanie budynku, dobór wymiarów i kształtu budynku, a w przypadku budynków wydłużonych – podział ich na segmenty.

W ostatnich latach w Akademii Górniczo-Hutniczej prowadzono badania wpływu ingerencji budowlanych w postaci zabezpieczeń profilaktycznych przeciw wpływom górniczym oraz remontów na stan techniczny obiektów, zlokalizowanych na terenie LGOM i GZW, np. [2, 8, 9, 13].

W niniejszej publikacji przedstawiono analizy przeprowadzone dla grupy 116 budynków zlokalizowanych na terenie górniczym Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW), które w okresie swojego istnienia nie

były poddawane pracom remontowym. Celem opisywanych badań była ilościowa ocena wpływu zabezpieczeń profilaktycznych przeciw wpływom górniczym na stan techniczny i trwałość murowanych budynków mieszkalnych poddawanych niekorzystnym oddziaływaniom eksploatacji podziemnej.

2. Baza danych o budynkach

Podstawą opisywanych badań była baza danych zawierająca informacje o 116 budynkach mieszkalnych o konstrukcji murowanej, zlokalizowanych we wschodniej Polsce, na terenie górniczym Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Baza ta powstała na podstawie prac inwentaryzacyjnych przeprowadzonych w 2018 roku przez zespół pracowników Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH. Zawarto w niej informacje m.in. o wieku oraz cechach geometrycznych i konstrukcyjnych poszczególnych budynków, a także o wykonanych zabezpieczeniach profilaktycznych przeciw wpływom górniczym. Ponadto zgromadzono informacje o stanie technicznym, intensywności uszkodzeń oraz jakości utrzymania poszczególnych obiektów.

Na podstawie wykonanej analizy stwierdzono, że w efekcie prowadzonej na badanym obszarze eksploatacji podziemnej występowały tam deformacje powierzchni ze wskaźnikami na poziomie I lub II kategorii terenu górniczego [4]. Jedynie niewielka część budynków znajdowała się na obszarze o intensywności oddziaływań charakterystycznej dla granicy pomiędzy II i III kategorią. Ponadto w rejonie badanej zabudowy w ostatnich latach, przed datą inwentaryzacji, odnotowano wstrząsy górnicze, w tym kilka o wskaźnikach odpowiadających górnej granicy I stopnia intensywności według Górniczej Skali Intensywności Sejsmicznej GSIS-2017 [6].

W utworzonej bazie danych zgromadzono informacje o budynkach w wieku do 22 lat, które dotychczas nie były przedmiotem prac remontowych. W grupie tej

znalazły się 64 obiekty niezabezpieczone i 52 obiekty profilaktycznie zabezpieczone przeciw wpływom górniczym. Zabezpieczenia te zostały przewidziane w projekcie, a następnie wykonane podczas wznoszenia budynków.

W bazie danych zdecydowaną większość (96,6%) stanowią obiekty w zabudowie wolno stojącej. Występują zarówno obiekty o prostym, jak i słabo oraz silnie rozczłonkowanym kształcie rzutu poziomego. Zwarta bryła charakteryzuje połowę analizowanych budynków. Badane budynki mają murowaną konstrukcję nośną. 94,0% obiektów posadowiono na stałym poziomie. Jedynie 22 obiekty mają całkowite lub częściowe podpiwniczenie. Fundamenty we wszystkich budynkach wykonano jako żelbetowe (106 szt.) lub betonowe (10 szt.). Ściany piwnic (lub fundamentowe) w przeważającej części zabudowy (86,2%) wykonano jako betonowe monolityczne lub murowane z bloczków betonowych. Ściany nośne parteru oraz wyższych kondygnacji wykonano przeważnie z bloczków z betonu komórkowego (88,8%). W pozostałych obiektach zastosowano ściany murowane z pustaków ceramicznych (5,2%), żużlobetonowych (3,4%), bloczków silikatowych (1,7%) lub cegły ceramicznej (0,9%).

Analizowana grupa budynków charakteryzuje się dużą różnorodnością pod względem konstrukcji stropów. Nad I kondygnacją dominują stropy żelbetowe monolityczne, gęstożebrowe, prefabrykowane lub z płyt betonowych na belkach stalowych (93,1%), rzadziej występują stropy drewniane (5,2%) oraz Kleina (1,7%). Aż 78,4% budynków ma tylko jeden strop. W niemal wszystkich budynkach (114 szt.) zastosowano ciągłe wieńce obwodowe w poziomie oparcia stropów na ścianach.

W bazie danych znajdują się 52 budynki, które zostały zabezpieczone przeciw wpływom górniczym na etapie projektowania oraz budowy. Fundamenty 51 zabezpieczonych budynków zostały wykonane jako żelbetowe ławy z dodatkowym zbrojeniem podłużnym. Ściągą przekątniową ław zastosowano w 75% przypadków, a w 1 przypadku zastosowano przepony kotwiczne. Ponadto w ramach zabezpieczeń profilaktycznych w 21 obiektach zastosowano wzmocnienie ścian w postaci trzpieni żelbetowych

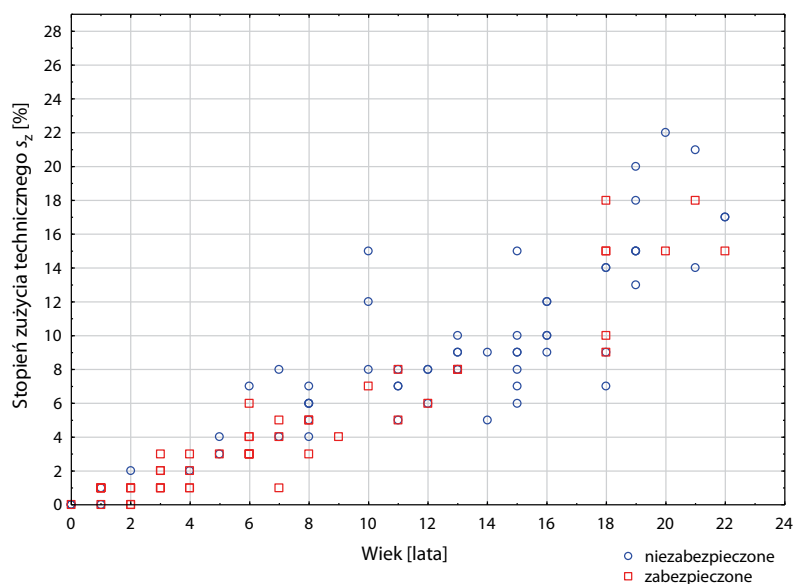
oraz we wszystkich zabezpieczonych budynkach wykonano ciągłe, obwodowe wieńce żelbetowe w poziomach stropów.

Zarówno kształt rzutu poziomego i bryły, jak i rodzaj zastosowanych fundamentów, ścian oraz stropów wpływają na sztywność konstrukcji budynku oraz zdolność obiektu do przyjmowania sił powstających w wyniku eksploatacji górniczej. W ramach badań do oceny sztywności przyjęto kryteria opisane w „Zasadach stosowania budownictwa zastępczego na terenach górniczych” [5]. Na podstawie zebranych danych wszystkie budynki w badanej grupie zakwalifikowano do kategorii: sztywne.

3. Metodyka badań

3.1. Średnioważony stopień zużycia technicznego

Pierwszym etapem prac badawczych było ustalenie stopnia zużycia technicznego budynków z możliwie jak najwyższą dokładnością. Większość metod wykorzystywanych do oceny oparta jest na założeniu, że zużycie techniczne narasta w czasie i zależy od jakości utrzymania budynków, np. [12]. Na tej podstawie sformułowane zostały tzw. formuły czasowe. Jednak formuły te mogą być wykorzystywane jedynie do wstępnego oszacowania wartości zużycia technicznego. Dlatego w przeprowadzonych badaniach do oceny stopnia zużycia technicznego budynków wykorzystano metodę średniej ważonej, w której uwzględnia się zużycie poszczególnych elementów oraz udział ich wartości w koszcie odtworzenia całego obiektu. Ustalenie średnioważonego stopnia zużycia budynku dokonuje się za pomocą wzoru [12]:



Rys. 1. Wykres rozrzutu wartości stopnia zużycia technicznego w czasie $s_z(t)$ dla budynków w wieku do 22 lat, podzielonych z uwzględnieniem profilaktycznych zabezpieczeń konstrukcji

$$s_z = \sum_{i=1}^n \frac{u_i \cdot s_{zei}}{100} [\%] \quad (1)$$

gdzie:

s_z – średnioważony stopień zużycia technicznego obiektu,

u_i – udział wartości i -tego elementu w koszcie odtworzenia całego obiektu,

s_{zei} – stopień zużycia i -tego elementu.

Rozkład uzyskanych wartości stopnia zużycia s_z badanych budynków w zależności od ich wieku, z uwzględnieniem podziału na objekty **zabezpieczone** i **niezabezpieczone**, przedstawiono graficznie na rysunku 1.

3.2. Przebieg zużycia technicznego w czasie

W kolejnym etapie badań ustalono trendy zużycia technicznego w każdej z wyodrębnionych grup budynków. Analiza trendu pozwala wykryć liniowe tendencje w zdefiniowanym zbiorze danych. Zależności te można wykrywać już na podstawie wykresu rozrzutu danych, których rozkład wskazuje na ogólny kierunek (malejący lub wzrostowy). Analiza taka pozwala też na określenie rodzaju funkcji trendu, która właściwie opisuje zbiór danych. Każdorazowo przystępując do badań, należy dążyć do ustalenia możliwie prostego modelu, który ma uzasadnienie fizyczne oraz dobrze dopasowuje się do analizowanych danych. Z kolei, aby wyznaczyć parametry modelu – równania linii najlepiej opisującej badane dane, należy wpasować krzywą regresji [1].

Ustalenie modelu regresji dokonuje się najczęściej za pomocą metody najmniejszych kwadratów [1], która polega na wpasowaniu w zbiór danych takiej funkcji, aby suma wartości kwadratów odległości punktów (reprezentujących pojedyncze wartości zmiennej) od linii regresji była możliwie najmniejsza. Tak wyznaczony model reprezentuje, możliwie najdokładniej, zmienność zawartą w danych.

Z opisanych powodów, w ramach niniejszych badań, poszukiwanie optymalnego modelu ograniczono do funkcji liniowych, kwadratowych, wielomianowych i eksponentialnych. Badania wykonano przy użyciu programu Matlab [7].

4. Wyniki badań

4.1. Wybór najlepszego modelu do porównań

W ramach badań wstępnych wykonano analizę przebiegu zużycia technicznego w czasie przy zastosowaniu metody regresji nieliniowej, wykorzystując przy doborze parametrów modelu metodę najmniejszych kwadratów (MNK). Takie podejście pozwoliło na bezpośrednie porównanie ze sobą estymowanych modeli różnych funkcji.

Najlepiej dopasowane okazały się wielomiany 3 stopnia, co w istotny sposób ograniczało możliwość przeprowadzenia analiz porównawczych. Spowodowało to potrzebę znalezienia jednolitego rozwiązania, dzięki któremu możliwe byłoby bezpośrednie porównanie wybranych modeli ustalonych dla poszczególnych grup budynków. W toku dalszych badań stwierdzono, że liniowe modele trendu (2) mają parametry zbliżone do modeli najlepiej dopasowanych do danych, a ich dokładność jest wystarczająca do badań porównawczych zużycia technicznego dla wydzielonych grup budynków. Potwierdzają to wartości współczynnika korelacji uzyskane dla modeli liniowych, które są niemal równe tym wyznaczonym dla najlepiej dopasowanych modeli.

$$s_z = b \cdot t \quad (2)$$

gdzie:

s_z – stopień zużycia technicznego,

b – współczynnik kierunkowy,

t – wiek budynku.

4.2. Ocena efektywności zabezpieczeń profilaktycznych budynków

Wśród 116 budynków zgromadzonych w bazie stwierdzono, że 52 mają zabezpieczenia profilaktyczne przewidziane na etapie projektowania i zrealizowane w czasie budowy, których celem jest przeciwdziałanie szkodliwym wpływom górniczym. Pozostałe 64 budynki nie mają zabezpieczeń profilaktycznych. Krótką charakterystykę badanych obiektów przedstawiono w drugim rozdziale. Znaczna liczba badanych obiektów w stanie technicznym niezaburzonym ingerencjami budowlanymi umożliwia wykonanie analiz porównawczych pomiędzy przebiegiem zużycia technicznego wydzielonych grup budynków (tab. 1 i rys. 2).

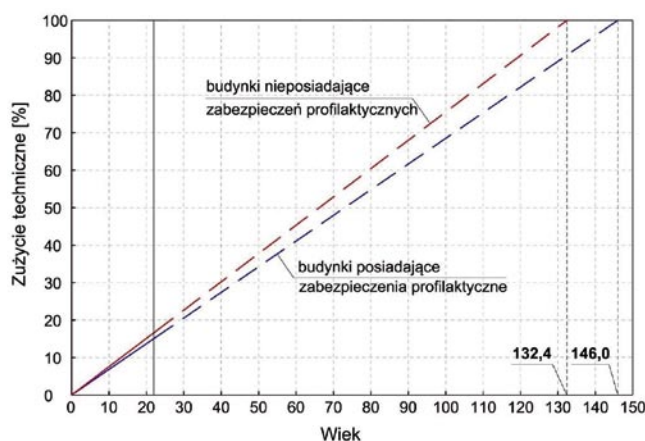
Wyliczona i zamieszczona w tabeli 1 różnica średniego stopnia zużycia technicznego dotyczy zabezpieczonych i niezabezpieczonych budynków w wieku do 22 lat o podobnych rozwiązaniach konstrukcyjno-materiałowych. Otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że stosowanie zabezpieczeń profilaktycznych na etapie projektowania i budowy może obniżyć zużycie techniczne budynków średnio o 1,8% w okresie 25 lat i o 3,5% w okresie 50 lat, względem obiektów niezabezpieczonych.

Dla badanych grup budynków uzyskane modele zużycia technicznego pozwalają także na ocenę i porównanie ich trwałości (rys. 2).

Na podstawie analizy uzyskanych modeli (tab. 1), które przedstawiono na wykresie (rys. 2) można stwierdzić, że stosowanie zabezpieczeń profilaktycznych umożliwia

Tabela 1. Zestawienie parametrów modeli dla budynków nieremontowanych w wieku do 22 lat z uwzględnieniem zabezpieczeń profilaktycznych

Grupa budynków	Liczba obiektów	Parametry modelu przebiegu zużycia technicznego ($s_z = b \cdot t$)	Średni stopień zużycia technicznego $s_{zsr}(t)$ i przewidywane różnice $\Delta s_{zsr}(t)$ po 25 i 50 latach użytkowania			
			$t = 25$ years		$t = 50$ years	
	[szt.]	b	$s_{zsr}(t)$ [%]	$\Delta s_{zsr}(t)$ [%]	$s_{zsr}(t)$ [%]	$\Delta s_{zsr}(t)$ [%]
Zabezpieczone	52	0,6849	17,1	1,8	34,2	3,5
Niezabezpieczone	64	0,7551	18,9		37,8	



Rys. 2. Przebieg zużycia technicznego ustalony na podstawie tabeli 1, z uwzględnieniem podziału na obiekty posiadające i nieposiadające zabezpieczeń profilaktycznych oraz przewidywane okresy ich trwałości

wydłużenie trwałości murowanej zabudowy jednorodzinnej, średnio o co najmniej 13,6 lat.

5. Podsumowanie

Celem opisywanych badań była ilościowa ocena wpływu zabezpieczeń profilaktycznych przeciw wpływom górniczym na stan techniczny murowanych budynków mieszkalnych poddawanych niekorzystnym oddziaływaniom eksploatacji podziemnej.

Podstawą badań była baza danych zawierająca informacje o 116 budynkach mieszkalnych o konstrukcji murowanej, w wieku do 22 lat, zlokalizowanych na terenie górniczym Lubelskiego Zagłębia Węglowego.

W efekcie przeprowadzonych badań uzyskano modele przebiegu zużycia technicznego dla grup budynków wydzielonych z uwzględnieniem zastosowanych zabezpieczeń profilaktycznych. Ustalono, że wśród 116 analizowanych budynków liczną grupę stanowią obiekty zabezpieczone profilaktycznie przeciw wpływom górniczym (52 szt.). Następnie przeprowadzono analizę porównawczą modeli zużycia technicznego budynków, która wykazała w szczególności, że zużycie budynków zabezpieczonych może być po 50 latach użytkowania średnio o 3,5 punktu procentowego niższe niż

w przypadku budynków niezabezpieczonych (tab. 1). Stwierdzono też, że stosowanie zabezpieczeń profilaktycznych może wydłużyć trwałość badanej zabudowy średnio o 13,6 lat (ze 132,4 do 146,0 lat).

Przedstawione rezultaty badań potwierdzają istotny w sensie statystycznym wpływ profilaktycznych zabezpieczeń konstrukcji na przebieg zużycia technicznego zabudowy terenu górniczego LZW. Uzyskane wyniki wskazują, że chociaż stosowanie zabezpieczeń profilaktycznych wiąże się ze znacznymi kosztami, to w efekcie skutecznie ogranicza zakres uszkodzeń i spowalnia tempo przyrostu zużycia w czasie, co z kolei przekłada się na redukcję kosztów remontów i wydłużenie trwałości budynku.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Devore J. L., Berk K. N., Modern Mathematical Statistics with Applications, Springer, 2012
- [2] Firek K., Wodyński A., Qualitative and quantitative assesment of mining impacts influence on traditional development in the mining areas, Archives of Mining Sciences 56/2011, str. 179–188
- [3] Hejmanowski R., Malinowska A. A., Significance of the uncertainty level for the modelling of ground deformation ranges, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 83/2016, str. 140–148
- [4] Kwiatek J., Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych, Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnicztwa, Katowice, 1997
- [5] Lejczak W., Kiczan W., Lubas B., Stranz B., Bojarski Z., Zasady stosowania budownictwa zastępczego na terenach górniczych, Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1969
- [6] Mutke G., Zasady stosowania górniczej skali intensywności sejsmicznej GSIS-2017 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją na obiekty budowlane oraz klasyfikacji ich odporności dynamicznej, Główny Instytut Górnicztwa, Katowice, 2017
- [7] Pratap R., Getting Started with MATLAB: A Quick Introduction for Scientists and Engineers, Oxford University Press, 2017
- [8] Rusek J., Application of Support Vector Machine in the analysis of the technical state of development in the LGOM mining area, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 19(1)2019, str. 54–61
- [9] Rusek J., Firek K., Wodyński A., Assessing the Influence of Mining Impacts on Buildings using SVM and MLR Method. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019, str. 471
- [10] Sroka A., Misa R., Tajduś K., Dudek M., Analytical design of selected geotechnical solutions which protect civil structures from the effects of underground mining. Journal of Sustainable Mining. 18/2018, str. 1–7
- [11] Tajduś K., Tajduś A., Cała M., Seismicity and rock burst hazard assessment in fault zones: a case study. Archives of Mining Sciences 63/2018, str. 747–765
- [12] Wodyński A., Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2007
- [13] Wodyński A., Firek K., Kocot W., Ocena wpływu remontów oraz zabezpieczeń profilaktycznych na trwałość budynków murowanych w LGOM, Inżynieria Środowiska/AGH, Kraków, 11/2006, str. 39–52