



Ocena intensywności uszkodzeń budynków o konstrukcji murowanej usytuowanych na terenie górniczym

Assessment of the intensity of damage to masonry building structures located in the mining area

Dr inż. Karol Firek *)

Treść: W artykule przedstawiono wyniki analizy intensywności uszkodzeń mieszkalnych budynków jednorodzinnych o tradycyjnej konstrukcji murowanej, usytuowanych na terenie górniczym Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Wykorzystano bazę danych o konstrukcji, stanie technicznym i potencjalnych przyczynach uszkodzeń 199 nieremontowanych budynków w wieku do 20 lat, które w okresie istnienia były poddawane wpływowi górniczym w postaci ciągłych deformacji powierzchni i wstrząsów górotworu. W pierwszym etapie ustalono intensywność uszkodzeń badanych budynków jako liniową kombinację wskaźników opisujących uszkodzenia ich elementów składowych, konstrukcyjnych i wykończeniowych. Wykorzystano metodę cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (*Partial Least Squares Regression - PLSR*) z zakresu *Data Mining*. W drugim etapie zbadano korelację tego wskaźnika z oddziaływaniami eksploatacji górniczej. Wyniki badań zostały skonfrontowane z rezultatami wcześniejszych analiz dotyczących oddziaływań górniczych na uszkodzenia wielorodzinnych budynków o murowanej konstrukcji nośnej. Zaproponowana w artykule metodyka badań może być wykorzystana do oceny zakresu i przyczyn ewentualnych uszkodzeń budynków poddawanych oddziaływaniom górniczym.

Abstract: This paper presents the results of the analysis of the intensity of damage to traditional masonry residential single-family houses, located in the mining area of Legnica-Głogów Copper District. The database which was used included the information on the design, technical condition and potential causes of damage to 199 non-renovated buildings up to the age of 20 years, which were subjected to mining impacts in the form of continuous surface deformation and rock mass tremors throughout the whole period of their use. The first stage involved the identification of the intensity of damage to the analyzed buildings, as a linear combination of the indices describing the damage to their individual components, as well as design and finishing elements. The method of the partial least squares in the regression approach (PLSR) in the field of Data Mining was used. In the second stage, correlations between this index and the mining impacts were examined. The results were confronted with the results of the previous analyses of the mining impacts on the damage to multi-family buildings with masonry load-bearing structure. The proposed research methodology can be used to assess the extent and causes of any possible damage to buildings subjected to mining impacts.

Słowa kluczowe:

stan techniczny budynków, budynki o konstrukcji murowanej, wpływy górnicze, metoda cząstkowych najmniejszych kwadratów (PLSR), analiza korelacji

Key words:

technical condition of buildings, masonry structures, mining impacts, method of partial least squares regression (PLSR), correlation analysis

1. Wprowadzenie

Okresowe kontrole i ocena stanu technicznego są niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa budynków i ich użytkowników oraz utrzymania założonego poziomu wartości użytkowych. Na terenach górniczych okresowych kontroli stanu technicznego budynków dokonuje się również w celu oceny ich odporności na wpływy górnicze oraz ustalenia zakresu ewentualnych szkód górniczych. W trakcie inwentaryzacji stanu technicznego szczególną trudność sprawia ocena zakresu i intensywności uszkodzeń, zwłaszcza w kontekście określania przyczyn ich powstania.

W publikacjach wielu autorów przedstawiono propozycję uniwersalnej klasyfikacji intensywności uszkodzeń po-

szczególnych elementów budynków, zarówno o konstrukcji murowanej, wykonanych w prefabrykowanych systemach przemysłowych (wielki blok, wielka płyta), jak i obiektów szkieletowych typu halowego (Firek 2009, Firek i in. 2016). Na podstawie zgromadzonych danych o uszkodzeniach elementów budynków oraz korzystając z metody cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (*Partial Least Squares Regression - PLSR*) z zakresu *Data Mining*, wyznaczono uogólnione wskaźniki intensywności uszkodzeń dla poszczególnych typów budynków. Następnie zbadano korelację intensywności uszkodzeń budynków ze wskaźnikami opisującymi oddziaływanie eksploatacji górniczej.

Celem prezentowanych w niniejszym artykule badań było potwierdzenie możliwości wykorzystania opisaną wyżej metodyki do analizy małych, głównie jednorodzinnych budynków o konstrukcji murowanej.

*) AGH w Krakowie

Podstawę badań stanowiła baza danych o konstrukcji, stanie technicznym i potencjalnych przyczynach uszkodzeń 199 nieremontowanych budynków o konstrukcji murowanej, w wieku do 20 lat, usytuowanych na terenie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM). Budynki te w okresie istnienia były poddawane wpływowi górniczym w postaci deformacji powierzchni i wstrząsów górotworu.

2. Baza danych o budynkach

2.1. Charakterystyka techniczna badanej grupy budynków

W badaniach wykorzystano informacje zebrane podczas inwentaryzacji przeprowadzonych przez zespół Katedry Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa AGH. Na tej podstawie utworzono bazę danych o 199 murowanych jednorodzinnych budynkach mieszkalnych, w wieku do 20 lat, usytuowanych na terenie górniczym LGOM. Są to obiekty jedno lub dwukondygnacyjne, głównie wolno stojące oraz rzadziej w zabudowie zwartej i półzwartej.

W budynkach wykonano zabezpieczenia profilaktyczne na II kategorię terenu górniczego. Zastosowano stały poziom posadowienia oraz betonowe ławy fundamentowe z dodatkowym zbrojeniem podłużnym. Ściany piwniczne są betonowe monolityczne lub murowane z bloczków betonowych. Ściany wyższych kondygnacji wykonano jako murowane z bloczków z betonu komórkowego, z pustaków żużlobetonowych, z pustaków ceramicznych lub z cegły ceramicznej. Stropy nad piwnicami oraz wyższych kondygnacji są żelbetowe monolityczne, z żelbetowych płyt prefabrykowanych lub gęstożebrowe. Pokrycie stanowią drewniane więźby dachowe lub płaskie stropodachy. Wszystkie analizowane budynki w czasie swego istnienia były poddawane jedynie drobnym pracom konserwacyjnym i naprawom bieżącym.

2.2. Wskaźniki stanu technicznego budynków

Miarą stanu technicznego budynków jest stopień zużycia s_z . W ramach opisywanych badań stopień zużycia technicznego został wyznaczony dla poszczególnych budynków metodą średniej ważonej, z uwzględnieniem indywidualnych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych (Wodyński 2007). Badane obiekty charakteryzuje stopień zużycia s_z w zakresie do 20%.

W celu zbadania udziału uszkodzeń w zużyciu technicznym każdego obiektu został określony jakościowy wskaźnik intensywności uszkodzeń w_{ui} dla poszczególnych elementów budynku (Firek 2009, Firek i in. 2016). Uwzględniając zróżnicowane rozwiązania budynków, łącznie wyodrębniono 22 elementy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne. Wskaźnik w_{ui} został zdefiniowany w 6-stopniowej skali, w której $w_{ui} = 0$ oznacza, że uszkodzenia nie występują, $w_{ui} = 1$ – nieznaczne uszkodzenia, $w_{ui} = 2$ – umiarkowane uszkodzenia, $w_{ui} = 3$ – intensywne uszkodzenia, $w_{ui} = 4$ (i 5) – bardzo intensywne uszkodzenia.

W tabeli 1 przedstawiono przykład szczegółowych kryteriów ustalania wskaźnika intensywności uszkodzeń dla ścian nośnych nadziemia w_{u3} w zakresie uszkodzeń nieznacznych i umiarkowanych. Przy ich określaniu korzystano z własnych doświadczeń oraz z ustaleń innych autorów z uwzględnieniem specyfiki obiektów usytuowanych na terenach górniczych (An advanced...2004, EMS... 1998, Hajdasz 1992, Kawulok 2015, Lewicki 2002, Rusek 2012, Tatar 2002, Wodyński 2007).

Analiza wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w_{ui} w badanej grupie budynków wykazała, że poszczególne ich elementy wykazują najwyżej uszkodzenia nieznacznie lub umiarkowanie.

2.3. Wskaźniki opisujące zagrożenie zabudowy wpływami górniczymi

– Wskaźnik zagrożenia ciągłymi deformacjami powierzchni

Uwzględniając specyfikę ciągłych deformacji terenu w LGOM oraz charakter badanej zabudowy, jako podstawową miarę zagrożenia ciągłymi deformacjami powierzchni przyjęto poziome odkształcenia rozciągające terenu $\epsilon^{(+)}$ [mm/m] (Firek, Wodyński 2007).

Na podstawie informacji z kopalni informacji o dokonanej w badanych rejonach eksploatacji górniczej każdemu budynkowi przypisano maksymalną wartość poziomych odkształceń rozciągających, jakie wystąpiły w całym okresie jego istnienia. We wszystkich przypadkach uzyskane wartości $\epsilon^{(+)}$ mieszczą się w granicach I i II kategorii terenu górniczego.

– Wskaźniki opisujące zagrożenie wstrząsami górniczymi

W przypadku oceny bezpieczeństwa konstrukcji jako podstawowy wskaźnik do oceny zagrożenia przyjmuje się z reguły poziomą składową przyspieszenia drgań a_{Hmax} lub ich

Tabela 1. Przykład szczegółowych kryteriów ustalania wskaźnika intensywności uszkodzeń dla ścian nośnych nadziemia w_{u3}

Table 1. Example of detailed criteria for determining the damage intensity index w_{u3} for the load-bearing walls of the overground part of the building

Wskaźnik intensywności uszkodzeń w_{ui}	Definicja	Opis	Szczegółowe kryteria ustalania wskaźnika intensywności uszkodzeń dla ścian nośnych nadziemia w_{u3}
0	nie występują	uszkodzenia nie występują lub są niezauważalne	uszkodzenia nie występują
1	nieznaczne	uszkodzenia mało znaczące, drobne, występujące pojedynczo	pojedyncze zarysowania (drobne, włosowate, mikrorysy), o długości sięgającej całej wysokości kondygnacji; ewentualnie 1-2 rysy o rozwarości do 1 mm i długości do 1,5 m
2	umiarkowane	uszkodzenia umiarkowane, występujące lokalnie, miejscami	lokalne zarysowania (drobne, mikrorysy), ewentualnie rysy o rozwarości do 1 mm lub 1-2 rysy o rozwarości do 3 mm; długości mogą sięgać całej wysokości kondygnacji; ewentualnie w złączach ścian prefabrykowanych lokalne drobne zarysowania i ubytki zaprawy

Z analizy zamieszczonych wyników można wnioskować, że pierwsza wyłoniona składowa PC, jest zdecydowanie dominująca i pozwala na wyjaśnienie ponad 55% (R^2) zmienności obserwowanych wartości stopnia zużycia technicznego sz.

Wykazano więc, że wstępnym przybliżeniem uogólnionego stopnia uszkodzeń dla badanego typu budynku może być pierwsza składowa wygenerowana metodą PLSR o następującej postaci:

$$w_u = a_2 \cdot w_{u2} + a_3 \cdot w_{u3} + a_6 \cdot w_{u6} + a_7 \cdot w_{u7} + a_{11} \cdot w_{u11} + a_{12} \cdot w_{u12} + a_{13} \cdot w_{u13} + a_{17} \cdot w_{u17} + a_{20} \cdot w_{u20} + a_{22} \cdot w_{u22} \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

- w_{ui} – wskaźniki uszkodzeń konstrukcyjnych i wykończeniowych elementów budynków,
- a_i – współczynniki kierunkowe kombinacji liniowej składowych występujące przy poszczególnych wskaźnikach uszkodzeń, wyznaczone metodą PLSR.

4. Badania zależności między zakresem uszkodzeń budynków a oddziaływaniami górniczymi

4.1. Zależność między wskaźnikami uszkodzeń budynków a poziomymi odkształceniami terenu

Celem badań było sprawdzenie, czy istnieje istotna w sensie statystycznym zależność między wskaźnikami uszkodzeń budynków a ciągłymi deformacjami powierzchni opisanymi przez maksymalne wartości poziomych odkształceń rozciągających $\varepsilon^{(+)}$.

Posłużono się testem korelacji liniowej Pearsona, wykorzystując oprogramowanie *Statistica* (*Statistica ... 2016*). Oprócz współczynnika korelacji R obliczany był również poziom istotności p otrzymanego rezultatu. Jako poziom krytyczny przyjęto $p = 0,05$. W tabeli 3 zestawiono przypadki, w których stwierdzono istotne korelacje dodatnie.

Przedstawione rezultaty wskazują na istotne korelacje o średnich współczynnikach między poziomymi odkształceniami rozciągającymi $\varepsilon^{(+)}$ a uogólnionymi wskaźnikami w_u wyznaczonymi formułą (1) dla poszczególnych budynków, a także wskaźnikami uszkodzeń stropów nad piwnicami w_{u6} oraz posadzek w_{u13} .

4.2. Zależność między wskaźnikami uszkodzeń budynków a wstrząsami górniczymi

Celem badań było sprawdzenie, czy istnieje istotna w sensie statystycznym zależność między wskaźnikami uszkodzeń badanej zabudowy a oddziaływaniami wstrząsów górniczych reprezentowanymi przez wskaźniki oddziaływań dynamicznych a_{Hmax} oraz a_{sg} . Podobnie jak w p. 4.1 posłużono się testem korelacji liniowej Pearsona.

W przypadku wskaźnika wpływów dynamicznych a_{sg} , badania zależności przeprowadzone dla całej grupy 199 nieremontowanych budynków mieszkalnych nie wykazały istotnej korelacji z uogólnionym wskaźnikiem uszkodzeń w_u . Dlatego sprawdzono analizowaną zależność, uwzględniając podział badanych budynków z uwagi na ich lokalizację i związany z tą lokalizacją poziom wartości wskaźnika wpływów dynamicznych.

W przypadku grupy 65 budynków zlokalizowanych w rejonie o najwyższej średniej wartości a_{sg} stwierdzono korelację zarówno ze wskaźnikiem uszkodzeń w_{u2} , jak i ze wskaźnikami uszkodzeń wewnętrznych warstw wykończeniowych w_{u12} oraz elewacji w_{u17} (tabela 4).

W przypadku wskaźnika a_{Hmax} nie stwierdzono istotnych korelacji ze wskaźnikiem uszkodzeń w_u .

5. Analiza porównawcza z uwzględnieniem wyników uzyskanych dla wielorodzinnych budynków murowanych

Przedstawione wyżej wyniki badań grupy 199 jednorodzinnych budynków mieszkalnych o konstrukcji murowanej, zostały skonfrontowane z rezultatami przedstawionymi w pracy (*Firek 2016*), uzyskanymi dla grupy 56 wielokondygnacyjnych, murowanych budynków wielorodzinnych, usytuowanych na terenie górniczym LGOM.

Analiza porównawcza wyników badań prowadzi do następujących wniosków:

- wstępna analiza danych wykazała, że w przypadku obu typów budynków znaczące uszkodzenia występują dla tych samych elementów składowych,
- w wyniku analizy metodą PLSR stwierdzono, że wstępnym przybliżeniem uogólnionego wskaźnika uszkodzeń w_u dla obu badanych grup budynków może być pierwsza

Tabela 3. Badania korelacji między wskaźnikami w_{ui} a wskaźnikiem wpływu deformacji powierzchni $\varepsilon^{(+)}$

Table 3. Analysis of the correlation between the damage indices w_{ui} and the index of the surface deformation $\varepsilon^{(+)}$

Wskaźnik uszkodzeń w_{ui}	Korelacja między w_{ui} i $\varepsilon^{(+)}$	
	Współczynnik korelacji R	Poziom istotności p
w_{u6}	0,193	0,006
w_{u13}	0,241	0,001
w_u	0,183	0,010

Tabela 4. Badania korelacji między wskaźnikami uszkodzeń w_{ui} a wskaźnikiem wpływów dynamicznych a_{sg}

Table 4. Analysis of the correlation between the damage indices w_{ui} and the index of the impact of mining tremors a_{sg}

Wskaźnik uszkodzeń w_{ui}	Korelacja między w_{ui} i a_{sg}	
	Współczynnik korelacji R	Poziom istotności p
w_{u12}	0,347	0,005
w_{u17}	0,339	0,006
w_u	0,310	0,012

składowa PC_i w postaci liniowej kombinacji wskaźników uszkodzeń ich elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych w_{wi} .

- analiza korelacji wykazała istotne statystycznie zależności między wskaźnikami oddziaływań górniczych ($\varepsilon^{(+)}$ i a_{sg}) a uogólnionym wskaźnikiem uszkodzeń w_u wyznaczonym dla poszczególnych budynków.

6. Podsumowanie i wnioski

Głównym celem badań było potwierdzenie możliwości wykorzystania prezentowanej metodyki do wstępnej analizy danych oraz wyłonienia uogólnionego wskaźnika intensywności uszkodzeń budynku, który mógłby służyć do oceny wpływu ciągłych deformacji terenu i wstrząsów górniczych na stan techniczny zabudowy terenu górniczego. Wykorzystano bazę danych o konstrukcji, stanie technicznym i potencjalnych przyczynach uszkodzeń 199 nieremontowanych budynków w wieku do 20 lat, usytuowanych na terenie LGOM, które w okresie istnienia były poddawane wpływowi górniczym w postaci ciągłych deformacji powierzchni i wstrząsów górotworu.

- Stwierdzono, że metoda cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (*PLSR*) jest efektywna na poziomie wstępnej analizy danych, co wynika z iteracyjnego wyodrębniania składowych w przestrzeni zmiennych wejściowych przy jednoczesnej kontroli danych wyjściowych.
- Wykazano, że wstępnym przybliżeniem uogólnionego wskaźnika uszkodzeń w_u dla badanego typu budynków może być pierwsza składowa PC_1 w postaci liniowej kombinacji wskaźników uszkodzeń jego elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych w_{wi} . Pozwala ona na wyjaśnienie 55% zmienności zawartej w obserwowanym stopniu zużycia technicznego s_t . Podobny udział uszkodzeń w stopniu zużycia budynków stwierdzono w ramach przeprowadzonej wcześniej, szczegółowej analizy porównawczej stanu budynków usytuowanych na terenie górniczym oraz zlokalizowanych poza zasięgiem oddziaływań górniczych (Wodyński, Barycz 2002).
- Badania zależności intensywności uszkodzeń budynków z oddziaływaniami górniczymi wskazują na istotne statystycznie korelacje, o średnich wartościach współczynników, pomiędzy wskaźnikami w_u wyznaczonymi formułą (1) dla poszczególnych budynków a poziomymi odkształceniami rozciągającymi terenu reprezentowanymi przez $\varepsilon^{(+)}$ oraz wskaźnikami wpływów dynamicznych a_{sg} . W przypadku wartości szczytowych przyspieszeń drgań gruntu w miejscu lokalizacji obiektu a_{Hmax} nie stwierdzono istotnej zależności z w_u . Rezultaty te świadczą o istotnym w sensie statystycznym wpływie ciągłych deformacji terenu oraz wstrząsów górniczych (z uwzględnieniem krotności ich oddziaływania) na intensywność uszkodzeń budynków. Stanowi to potwierdzenie rezultatów wcześniejszych analiz prowadzonych dla tradycyjnej zabudowy LGOM (Wodyński 2007).
- Porównanie rezultatów badań przeprowadzonych dla murowanych budynków jednorodzinnych z efektami wcześniejszych analiz wykonanych dla murowanych budynków wielorodzinnych (Firek 2016) wykazało podobne rezultaty, zarówno na etapie budowy uogólnionego wskaźnika uszkodzeń, jak i oceny jego zależności z oddziaływaniami górniczymi.

Opisane wyniki analiz świadczą o przydatności zaproponowanej w pracy metodyki badań do wstępnej oceny zakresu i przyczyn uszkodzeń obiektów poddawanych oddziaływaniom górniczym.

Literatura

- An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different european towns. RISK-UE Project EVK4-CT-2000-00014. Fifth Framework Programme, 2001-2004.
- EMS: European Macroseismic Scale 1998. European Seismological Commission, Editor G. Grünthal, Luxembourg, 1998.
- FIREK K. 2016 - Analysis of damage to masonry multi-storey building structures located in the mining area using data mining techniques (Analiza uszkodzeń murowanych budynków wielokondygnacyjnych usytuowanych na terenie górniczym metodami eksploracji danych). Polish Journal of Environmental Studies, vol. 25 no. 5A, s. 37–41, Olsztyn.
- FIREK K. 2009 - Proposal for classification of prefabricated panel building damage intensity rate in mining areas (Propozycja klasyfikacji intensywności uszkodzeń budynków wielokopłytowych na terenach górniczych). Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Vol. 54, Iss. 3, Kraków.
- FIREK K., RUSEK J., WODYŃSKI A. 2016 - Wybrane metody eksploracji danych i uczenia maszynowego w analizie stanu uszkodzeń i zużycia technicznego zabudowy terenów górniczych. „Przeгляд Górniczy” nr 1, s. 50-55.
- FIREK K., WODYŃSKI A. 2007 - Assessment of surface deformation impacts on technical wear of masonry buildings located in the Legnica-Głogów Copper District. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, 8 Geokinematisher Tag, Freiberg.
- HAJDASZ H. 1992 - Sposoby ustalania zużycia technicznego budynków i budowli. Katowice.
- KAWULOK M. 2015 - Szkody górnicze. ITB. Warszawa.
- LEWICKI B. 2002 - Budynki wielokopłytowe – wymagania podstawowe. Zeszyt 1. Metodyka oceny stanu technicznego konstrukcji budynków wielokopłytowych. Instytut Techniki Budowlanej. Seria: Instrukcje, Wyttyczne, Poradniki nr 371/2002, Warszawa.
- Matlab. The MathWorks, Inc. 2015.
- RUSEK J. 2012 - Computational intelligence methods concerning in the problem of modelling technical wear of buildings in mining areas. Geomatics and Environmental Engineering. Quarterly. AGH University of Science and Technology. Vol. 6, No. 3. Kraków.
- Statistica 12. StatSoft, Inc. 2016.
- TATARA T. 2002 - Działania drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, seria: Inżynieria Lądowa, nr 74.
- WODYŃSKI A., BARYCZ S. 2002 - Analiza porównawcza stanu technicznego i zakresu uszkodzeń budynków na terenie górniczym LGOM. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2002, seria: Sympozja i Konferencje, nr 54, PAN/AGH, Kraków/Szczyrk.
- WODYŃSKI A., LASOCKI S. 2003 - Badanie wpływu wstrząsów górniczych na zużycie techniczne budynków murowanych. „Przeгляд Górniczy” nr 12.
- WODYŃSKI A. 2007 - Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne AGH, Kraków.
- WOLD S., SJOSTROM M., ERIKSSON L. 2001 - PLS-regression: a basic tool of chemometrics. Chemometrics and Laboratory Systems 58 (2001), s. 109-103.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2016
Artykuł zaakceptowano do druku 15.12.2016