

Analiza zmian zakresu uszkodzeń murowanych budynków wielokondygnacyjnych w okresie 10 lat oddziaływań górniczych

Karol Firek, Janusz Rusek, Aleksander Wodyński

1. Wprowadzenie

Podczas inwentaryzacji stanu technicznego budynków na terenach górniczych szczególną uwagę należy zwrócić na ocenę zakresu i intensywności uszkodzeń, zwłaszcza w kontekście określania przyczyn ich powstania. W pracach [1, 3, 5] przedstawiono propozycję uniwersalnej klasyfikacji intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów budynków, zarówno o konstrukcji murowanej, wykonanych w prefabrykowanych systemach uprzemysłowionych (wielki blok, wielka płyta), jak i obiektów szkieletowych typu halowego. Następnie na podstawie tej klasyfikacji ustalono metodykę wyznaczania uogólnionych wskaźników intensywności uszkodzeń dla poszczególnych typów budynków [4].

Celem prezentowanych w artykule badań było przeprowadzenie analizy zmian w czasie intensywności uszkodzeń współczesnych wielokondygnacyjnych budynków o konstrukcji murowanej oraz zbadanie relacji między zakresem ich uszkodzeń a oddziaływaniem eksploatacji górniczej.

Podstawę badań stanowiła baza danych o konstrukcji, stanie technicznym i potencjalnych przyczynach uszkodzeń 56 budynków o konstrukcji murowanej, w wieku do 20 lat, usytuowanych na terenie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM). Budynki te w całym okresie istnienia były poddawane wpływom górniczym w postaci deformacji powierzchni i wstrząsów górotworu. Przedstawione wyniki stanowią kontynuację analiz zapoczątkowanych dla tej samej grupy obiektów w pracy [2].

2. Baza danych o budynkach

2.1. Charakterystyka techniczna badanej grupy budynków


W badaniach wykorzystano informacje zebrane podczas przeprowadzonych w latach 2002, 2007 i 2012 inwentaryzacji stanu technicznego 56 murowanych budynków (mieszkalnych wielorodzinnych i użyteczności publicznej) wzniesionych w latach 1993–2002 na terenie górniczym LGOM. Średni wiek obiektów podczas pierwszej inwentaryzacji w roku 2002 wyniósł 4,6 lat.

Badane budynki są wielokondygnacyjne (od 2 do 4 kondygnacji) i wielosegmentowe (od 2 do 7 oddylatowanych segmentów), w większości w zabudowie zwartej i półzwartej. W obiektach tych zastosowano zabezpieczenia profilaktyczne na I lub II kategorię terenu górniczego. Zgodnie z zasadami dylatowania budynków na terenach górniczych szczeliny

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki analizy zakresu uszkodzeń 56 wielokondygnacyjnych budynków o konstrukcji murowanej, usytuowanych na terenie górniczym Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Są to obiekty mieszkalne i użyteczności publicznej w wieku do 20 lat, zabezpieczone w trakcie budowy przeciw wpływom górniczym. Podstawę badań stanowiły wyniki inwentaryzacji stanu technicznego przeprowadzone w latach 2002, 2007 i 2012.

W ramach badań ustalono intensywność uszkodzeń poszczególnych a następnie przeprowadzono analizę zmian tej intensywności w czasie oraz zbadano relacje między zakresem uszkodzeń, a oddziaływaniami eksploatacji górniczej.

Słowa kluczowe: uszkodzenia budynków, murowane budynki wielokondygnacyjne, wpływy górnicze

 **Abstract:** The paper presents the results of the analysis of the extent of damage to 56 multi-story masonry buildings located in the mining area of Legnica-Głogow Copper District. These include residential and public buildings, not older than 20 years, protected against mining impacts already at the construction stage. The results of inspections of their technical condition carried out in 2002, 2007 and 2012 formed the basis for the study.

The intensity of damage to the individual buildings was determined, and then the changes of this intensity in time were analyzed. The relationship between the extent of damage and the impact of mining exploitation was examined as well.

Keywords: damage to building structures, masonry multi-story buildings, mining impacts

dylatacyjne wykonano od poziomu podstawy fundamentu do kalenicy, a poszczególne segmenty stanowią konstrukcyjnie odrębne obiekty. Prawie wszystkie budynki posadowiono na stałym poziomie. Zastosowano fundamenty żelbetowe w postaci ław lub płyt fundamentowych. Ściany piwniczne są żelbetowe monolityczne lub betonowe, natomiast ściany wyższych kondygnacji murowane z cegły ceramicznej lub z bloczków z betonu komórkowego. W budynkach podpiwniczonych stropy nad piwnicami wykonano jako żelbetowe monolityczne lub z żelbetowych płyt prefabrykowanych, stropy wyższych

kondygnacji żelbetowe monolityczne oraz rzadziej żelbetowe płyty prefabrykowane. Przekrycie stanowią drewniane więźby dachowe.

2.2. Wskaźniki stanu technicznego budynków

Stopień zużycia technicznego

Miarą stanu technicznego budynku jest stopień zużycia s_z (np. [8]). W ramach opisywanych badań stopień zużycia technicznego został wyznaczony dla poszczególnych budynków metodą średniej ważonej, z uwzględnieniem indywidualnych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych. Badane obiekty charakteryzuje stopień zużycia o średnich wartościach podanych w tabeli 1.

Wskaźnik intensywności uszkodzeń

W celu zbadania udziału uszkodzeń w zużyciu technicznym budynków, zmian intensywności uszkodzeń w czasie oraz relacji między zakresem uszkodzeń a oddziaływaniem eksploatacji górniczej określono jakościowy wskaźnik intensywności uszkodzeń w_{ui} dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych (np. [1]). Łącznie wyodrębniono 22 elementy, dla których wskaźnik ten został zdefiniowany w 6-stopniowej skali, w której $w_{ui} = 0$ oznacza, że uszkodzenia nie występują, $w_{ui} = 1$ – nieznaczne uszkodzenia (zakres od 0 do 10%), $w_{ui} = 2$ – umiarkowane uszkodzenia (zakres od powyżej 10 do 30%), $w_{ui} = 3$ – intensywne uszkodzenia (zakres od powyżej 30 do 50%), $w_{ui} = 4$ (i 5) – bardzo intensywne uszkodzenia (zakres powyżej 50%).

Analiza wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w_{ui} dla poszczególnych elementów budynków w badanej grupie wykazała, że wystąpiły tu najwyższe uszkodzenia nieznaczne lub umiarkowane (por. tab. 1 i rys. 1).

Następnie ustalono wskaźniki intensywności uszkodzeń całych budynków jako kombinacje liniowe wskaźników opisujących uszkodzenia ich elementów składowych. Do tworzenia formuły uogólnionego wskaźnika uszkodzeń w_u wykorzystano metodę cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (*Partial Least Squares Regression* – PLSR) z zakresu Data Mining [2].

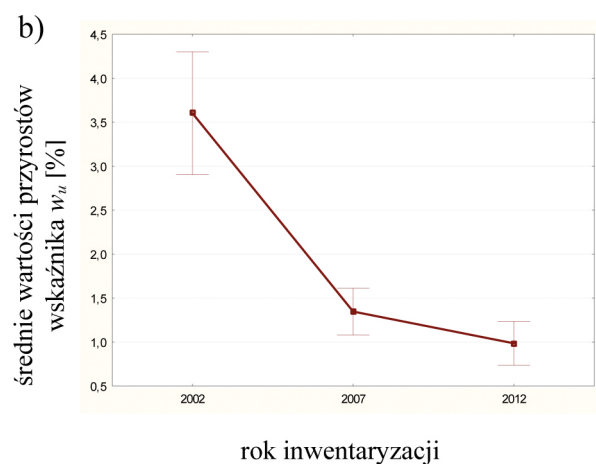
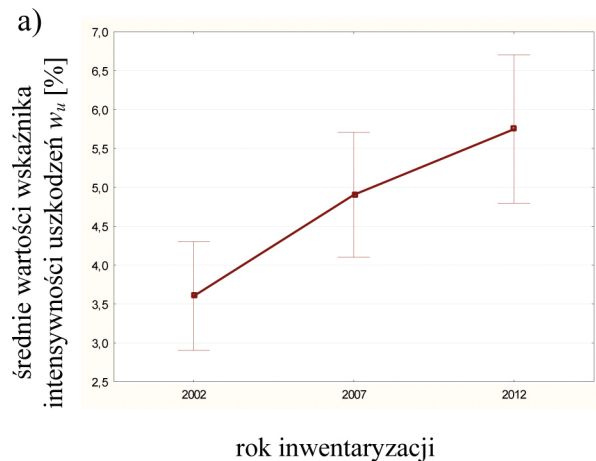
Uwzględniając specyfikę badanej zabudowy, w analizach uwzględniono wskaźniki opisujące uszkodzenia następujących elementów: ścian nośnych piwnic lub fundamentowych (w_{u2}), ścian nośnych nadziemnych (w_{u3}), stropów nad piwnicami (w_{u6}) i wyższych kondygnacji (w_{u7}), ścian działowych (w_{u11}), tynków wewnętrznych i okładzin ściennych (w_{u12}), podłóg (w_{u13}), warstw elewacyjnych (w_{u17}), obróbek blacharskich i rynnowania (w_{u20}) oraz elementów zewnętrznych, czyli wejść do budynków, podestów, tarasów, opasek (w_{u22}).

Stwierdzono, że opisem uogólnionego wskaźnika uszkodzeń w_u dla badanego typu budynków jest liniowa kombinacja (1) wskaźników uszkodzeń jego elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych w_{ui} :

$$w_u = 0,076w_{u2} + 0,050w_{u3} + 0,006w_{u6} + 0,130w_{u7} + 0,092w_{u11} + 0,022w_{u12} + 0,005w_{u13} + 0,058w_{u17} + 0,031w_{u20} + 0,170w_{u22} [\%]$$

Tabela 1. Charakterystyka stanu technicznego badanych grup budynków

Rok inwentaryzacji	2002	2007	2012
Średni stopień zużycia s_z [%]	5,8	9,6	14,1
Średni wskaźnik uszkodzeń budynków w_u [%]	3,6	4,9	5,7
Udział uszkodzeń w zużyciu technicznym (w_u/s_z) [%]	62	51	40
Przyrost średniego wskaźnika uszkodzeń budynków w_u pomiędzy kolejnymi inwentaryzacjami [%]	-	1,3	1,0



Rys. 1. Wykres średnich wartości wskaźnika uszkodzeń w_u badanej zabudowy (a) oraz jego przyrostów (b) ustalonych na podstawie inwentaryzacji w latach 2002, 2007 i 2012

Pozwala ona na wyjaśnienie 37% zmienności zawartej w danych o stopniu zużycia technicznego s_z w badanej grupie budynków.

Wyznaczone dla poszczególnych budynków wartości w_u mieszczą się w granicy kategorii nieznaczne (tab. 1 i rys. 1).

2.3. Wskaźniki opisujące zagrożenie zabudowy wpływami górnictwami

Wskaźnik zagrożenia ciągłymi deformacjami powierzchni

Uwzględniając specyfikę ciągłych deformacji terenu w LGOM oraz charakter badanej zabudowy (budynki murowane,

wysokości do 4 kondygnacji, o stosunkowo niewielkich wymiarach rzutu poziomego), jako podstawową miarę zagrożenia ciągłymi deformacjami powierzchni przyjęto poziome odkształcenia terenu ϵ . Na podstawie uzyskanych z kopalń informacji o dokonanej w badanych rejonach eksploatacji górniczej kaźdemu budynkowi przypisano maksymalną wartość poziomych odkształceń terenu ϵ_{max} , jakie wystąpiły w analizowanych okresach istnienia budynku, to jest od daty budowy do roku 2002, następnie w latach 2003–2007 oraz w latach 2008–2012.

Uzyskane wartości ϵ_{max} mieszczą się dla większości przypadków w granicach I i II kategorii terenu górniczego (tab. 2 i rys. 2).

Wskaźniki opisujące zagrożenie wstrząsami górnicznymi

W przypadku oceny bezpieczeństwa konstrukcji jako podstawowy wskaźnik do oceny zagrożenia przyjmuje się z reguły poziomą składową przyspieszenia drgań a_{Hmax} lub ich prędkość V_{Hmax} . Nie uwzględnia się więc krotności wstrząsów oddziałujących na budynek.

Takie postępowanie nie pozwala na ocenę wpływu wstrząsów na zużycie techniczne budynku. W analizie należy bowiem uwzględnić powtarzalność oddziaływań dynamicznych, a więc liczbę i indywidualne intensywności wpływów wszystkich zjawisk sejsmicznych istotnie oddziałujących na obiekt w całym okresie jego użytkowania.

W pracy [7] przedstawiono koncepcję wskaźnika a_{sg} , który stanowi miarę oddziaływań wstrząsów górnicznych na zużycie techniczne budynków. Zdefiniowano go jako sumę geometryczną wartości szczytowych poziomej składowej przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia budynku. Uwzględnia się tylko te wstrząsy, które wystąpiły w ciągu okresu eksploatacji obiektu i których wartości szczytowe w miejscu jego lokalizacji są większe od zadanej wartości progowej a_p , poniżej której oddziaływanie wstrząsu na zużycie techniczne budynku uznaje się za nieistotne. Badania przedstawione w [7] wykazały, że optymalną wartością progową jest $a_p = 0,12 \text{ m/s}^2$.

Na podstawie kopalnianych katalogów wstrząsów dla poszczególnych budynków ustalono wartości a_{Hmax} od wszystkich zarejestrowanych zjawisk sejsmicznych w poszczególnych analizowanych przedziałach czasu (od daty budowy do roku 2002, w latach 2003–2007 oraz w latach 2008–2012 – por. tab. 2). Mieszczą się w przedziale od 0,16 do 1,18 $[\text{m/s}^2]$.

W przypadku wskaźnika a_{sg} uwzględniano wszystkie wstrząsy, które wystąpiły w ciągu całego okresu eksploatacji obiektu i których wartości szczytowe przyspieszenia w miejscu jego lokalizacji były większe od $a_p = 0,12 \text{ m/s}^2$ (por. tab. 2 i rys. 3). Uzyskano wartości a_{sg} w przedziale od 1,01 do 3,02 $[\text{m/s}^2]$.

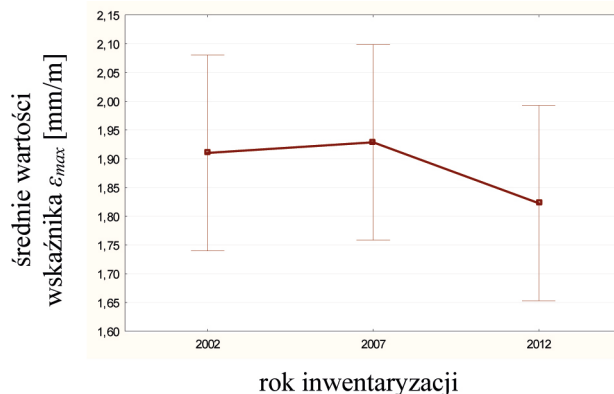
3. Analiza zmian w czasie intensywności uszkodzeń budynków i oddziaływań górnicznych

W tabelach 1 i 2 oraz na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawiono zmiany w czasie średnich wartości charakterystyk stanu technicznego (s_z, w_u) oraz wskaźników zagrożenia zabudowy wpływami górnicznymi (ϵ_{max}, a_{Hmax} i a_{sg}).

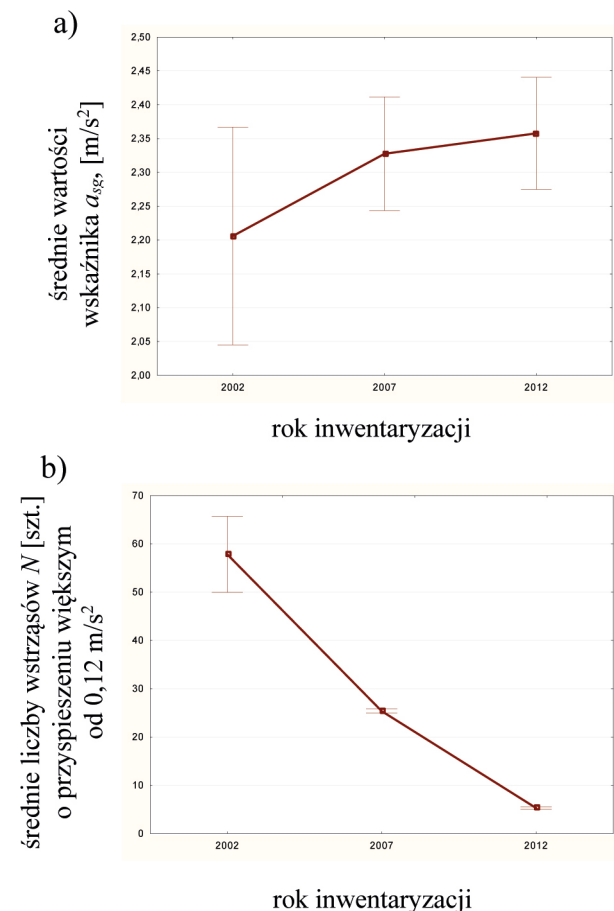
Stwierdzono, że wraz z upływem czasu wzrasta nie tylko stopień zużycia s_z badanych budynków, ale i zakres ich uszkodzeń reprezentowany przez w_u . Pomimo wzrostu naturalnego zużycia

Tabela 2. Zestawienie średnich wartości wskaźników opisujących zagrożenie zabudowy wpływami górnicznymi

Rok inwentaryzacji	2002	2007	2012
Średnia z maksymalnych wartości poziomych odkształceń terenu ϵ_{max} [mm/m]	1,9	1,9	1,8
Średnia z maksymalnych poziomych składowych przyspieszenia drgań a_{Hmax} [m/s^2]	0,7	0,9	0,2
Średni wskaźnik wpływu wstrząsów na zużycie techniczne a_{sg} [m/s^2]	2,2	2,3	2,4
Średnia liczba wstrząsów z $a_{Hmax} \geq a_p = 0,12 \text{ m/s}^2$ N [szt.]	58	25	5



Rys. 2. Wykres średnich wartości wskaźnika ϵ_{max}



Rys. 3. Wykres średnich wartości wskaźnika a_{sg} badanej zabudowy (a) oraz średnie liczby wstrząsów N o $a_p \geq 0,12 \text{ m/s}^2$ (b)

Tabela 3. Badania korelacji między wskaźnikiem w_{ui} a wskaźnikiem wpływu deformacji powierzchni ϵ_{max}

Rok inwentaryzacji	2002		2007		2012	
Wskaźnik uszkodzeń w_{ui}	Korelacje między w_{ui} i ϵ_{max}					
	R	p	R	p	R	p
w_{u2}	0,061	0,656	0,091	0,507	0,074	0,588
w_{u3}	0,197	0,146	0,282	0,035	0,261	0,052
w_{u6}	0,189	0,162	0,223	0,098	0,129	0,344
w_{u7}	0,272	0,043	0,292	0,029	-0,114	0,401
w_{u11}	0,172	0,204	0,240	0,075	0,264	0,049
w_{u12}	0,130	0,338	0,102	0,455	0,115	0,398
w_{u13}	0,356	0,007	0,321	0,016	0,150	0,269
w_{u17}	0,094	0,491	-0,018	0,893	0,137	0,314
w_{u20}	0,107	0,434	0,232	0,086	0,234	0,083
w_{u22}	-0,047	0,730	-0,049	0,718	-0,109	0,452
w_u	0,133	0,327	0,156	0,251	0,033	0,812

R – współczynnik korelacji
p – poziom istotności

związanego z upływem czasu, w efekcie prowadzonych napraw i konserwacji badanej zabudowy, obserwuje się spadek udziału uszkodzeń w zużyciu technicznym (w_u/s_z) od 60% w roku 2002 do 40% w 2012.

Obserwowana w roku 2002 stosunkowo wysoka wartość średnia wskaźnika uszkodzeń w_u badanych budynków (na poziomie 3,6%, przy średnim wieku 4,6 lat), jest najprawdopodobniej związana z ujawnianiem się w początkowym okresie eksploatacji obiektu ewentualnych błędów budowlanych, projektowych lub wykonawczych. Przyrost wskaźnika uszkodzeń w_u w okresie 2003–2007 był o 30% wyższy niż w latach 2008–2012. Stwierdzono, że w latach 2008–2012, mimo szybszego tempa wzrostu stopnia zużycia technicznego s_z , wskaźnik uszkodzeń w_u przyrastał wolniej, co może świadczyć o spadku intensywności oddziaływań, które są potencjalnymi przyczynami uszkodzeń.

Z kolei analiza trendów zmian średnich wartości wskaźników wpływów górniczych, tj. ϵ_{max} oraz a_{Hmax} , wskazuje, że w ostatnich latach występuje spadek zarówno wartości poziomych odkształceń terenu, jak i intensywności wstrząsów górniczych.

Przy niższych parametrach najintensywniejszych wstrząsów (spadek średniej wartości wskaźnika a_{Hmax}) występuje stały przyrost wartości wskaźnika a_{sg} , który uwzględnia również krotność wstrząsów oddziałujących na budynek.

4. Badania zależności zakresu uszkodzeń budynków od oddziaływań górniczych

4.1. Zależność między wskaźnikiem uszkodzeń budynków a poziomymi odkształceniami terenu

Celem badań było sprawdzenie, czy istnieje istotna zależność między wskaźnikiem intensywności uszkodzeń budynków w_u oraz ich elementów w_{ui} a ciągłymi deformacjami powierzchni, opisanymi przez maksymalne wartości odkształceń poziomych ϵ_{max} .

Posłużono się testem korelacji liniowej Pearsona. Oprócz współczynnika korelacji R obliczany był również poziom istotności p otrzymanego rezultatu. Jako poziom krytyczny

przyjęto $p = 0,05$. Wyniki przeprowadzonych badań zestawiono w tabeli 3. Zaznaczono przypadki, w których stwierdzono istotne korelacje dodatnie.

Przedstawione rezultaty wskazują na istotne korelacje między poziomymi odkształceniami terenu ϵ_{max} a:

- wskaźnikiem uszkodzeń stropów wyższych kondygnacji w_{u7} i warstw podłogowych w_{u13} (w okresie do roku 2002);
- wskaźnikiem uszkodzeń ścian nośnych nadziemna w_{u3} oraz stropów wyższych kondygnacji w_{u7} i warstw podłogowych w_{u13} (w okresie od roku 2003 do 2007);
- wskaźnikiem uszkodzeń ścian nośnych nadziemna w_{u3} oraz ścian działowych w_{u11} (w okresie od roku 2008 do 2012).

4.2. Zależność między wskaźnikiem uszkodzeń budynków a wstrząsami górniczymi

Celem badań było sprawdzenie, czy istnieje istotna zależność między wskaźnikiem uszkodzeń badanych budynków w_u oraz ich elementów w_{ui} a oddziaływaniami wstrząsów górniczych. Za miarę tych oddziaływań przyjęto dwa wskaźniki: a_{Hmax} oraz a_{sg} . Wyznaczono je indywidualnie dla każdego budynku. W przypadku a_{sg} podstawę stanowiły wszystkie wstrząsy, jakie wystąpiły w okresie od powstania budynku do dnia, w którym przeprowadzono prace inwentaryzacyjne. W przypadku a_{Hmax} uwzględniono wszystkie wstrząsy, jakie wystąpiły w analizowanych okresach istnienia budynku, to jest od daty budowy do roku 2002, w latach 2003–2007 i 2008–2012.

Przedstawione w tabeli 4 wyniki badań wskazują, że we wszystkich wyżej wymienionych okresach istnienia budynku uzyskano istotne korelacje, o średnich i wysokich wartościach współczynników wskaźnika a_{sg} , ze wskaźnikami uszkodzeń większości elementów składowych. W przypadku wskaźnika w_u wyznaczonego dla całego budynku każdorazowo uzyskiwano najwyższe współczynniki korelacji o wartości $R = 0,566 \div 0,628$ przy $p = 0,000$.

Z kolei dla wskaźnika a_{Hmax} istotne dodatnie korelacje stwierdzono (tab. 5):

- ze wskaźnikiem uszkodzeń ścian nośnych nadziemna w_{u3} , ścian działowych w_{u11} i wypraw wewnętrznych w_{u12} (w okresie do roku 2002);
- ze wskaźnikami uszkodzeń stropów nad piwnicami w_{u6} , stropów wyżej w_{u7} oraz obróbek blacharskich i orynnowania w_{u20} (w okresie od roku 2003 do 2007);
- ze wskaźnikami uszkodzeń stropów nad piwnicami w_{u6} i wyższych kondygnacji w_{u7} , obróbek blacharskich i orynnowania w_{u20} oraz elementów zewnętrznych w_{u22} (w okresie od roku 2008 do 2012). W okresie tym dla wskaźnika w_u wyznaczonego dla całego budynku uzyskano istotną korelację o współczynniku $R = 0,287$.

5. Podsumowanie i wnioski

Przedmiotem badań była grupa 56 murowanych budynków wielokondygnacyjnych w wieku do 20 lat, usytuowanych na terenie górniczym LGOM, zabezpieczonych przeciw wpływom górniczym w trakcie budowy, które w całym okresie istnienia były poddawane wpływom górniczym w postaci ciągłych deformacji terenu i wstrząsów górniczych. Przedstawiono wyniki analizy zmiany w czasie intensywności ich uszkodzeń, stwierdzonych w ramach trzech inwentaryzacji przeprowadzonych w latach 2002, 2007 i 2012 oraz relacji między zakresem ich uszkodzeń a oddziaływaniem eksploatacji górniczej.

Podstawę badań stanowił stwierdzony na podstawie inwentaryzacji stopień zużycia technicznego s_z budynków oraz wskaźniki intensywności uszkodzeń w_{ui} dla ich poszczególnych elementów konstrukcyjnych i drugorzędnych.

Korzystając z formuły określonej metodą PLSR, wyznaczono uogólnione wskaźniki uszkodzeń w_u dla całych budynków oraz przyrosty wskaźnika uszkodzeń, do których doszło w okresach pomiędzy kolejnymi inwentaryzacjami. Każdemu budynkowi przypisano maksymalne wartości wskaźników wpływów górniczych, jakie wystąpiły w analizowanych okresach istnienia budynku, to jest od daty budowy do roku 2002, następnie w latach 2003–2007 oraz w latach 2008–2012. Przyjęto wskaźnik opisujący oddziaływanie ciągłych deformacji terenu ϵ_{max} oraz wskaźniki reprezentujące wpływy dynamiczne: a_{sg} i a_{Hmax} .

Analiza przebiegu zmian intensywności uszkodzeń badanych budynków w 10-letnim okresie ich eksploatacji potwierdziła ciągle przyrost zakresu uszkodzeń reprezentowanego przez wskaźnik w_u . Jednak tempo przyrostu intensywności uszkodzeń w ostatnim okresie maleje (w okresie 2003–2007 był on o 30%

Tabela 4. Badania korelacji między wskaźnikiem w_{ui} a wskaźnikiem wpływu wstrząsów górniczych na zużycie techniczne a_{sg}

Rok inwentaryzacji	2002		2007		2012	
Wskaźnik uszkodzeń w_{ui}	Korelacje między w_{ui} i a_{sg}					
	R	p	R	p	R	p
w_{u2}	0,522	0,000	0,523	0,000	0,467	0,000
w_{u3}	0,342	0,010	0,288	0,032	0,192	0,156
w_{u6}	0,349	0,008	0,396	0,003	0,447	0,001
w_{u7}	0,244	0,070	0,222	0,100	0,221	0,101
w_{u11}	0,340	0,010	0,490	0,000	0,423	0,001
w_{u12}	0,408	0,002	0,415	0,001	0,349	0,008
w_{u13}	0,448	0,001	0,489	0,000	0,335	0,012
w_{u17}	0,445	0,001	0,502	0,000	0,632	0,000
w_{u20}	0,268	0,046	0,162	0,233	0,223	0,099
w_{u22}	0,350	0,008	0,453	0,000	0,417	0,001
w_u	0,566	0,000	0,628	0,000	0,571	0,000

R - współczynnik korelacji
p - poziom istotności

Tabela 5. Badania korelacji między wskaźnikiem w_{ui} a wskaźnikiem wpływu wstrząsów górniczych a_{Hmax}

Rok inwentaryzacji	2002		2007		2012	
Wskaźnik uszkodzeń w_{ui}	Korelacje między w_{ui} i a_{Hmax}					
	R	p	R	p	R	p
w_{u2}	0,003	0,982	0,142	0,296	0,221	0,103
w_{u3}	0,333	0,012	-0,170	0,210	-0,247	0,066
w_{u6}	-0,230	0,088	0,295	0,027	0,446	0,001
w_{u7}	-0,398	0,002	0,410	0,000	0,492	0,000
w_{u11}	0,315	0,018	-0,215	0,112	-0,163	0,230
w_{u12}	0,377	0,004	-0,415	0,001	-0,436	0,001
w_{u13}	0,159	0,242	-0,012	0,930	0,166	0,223
w_{u17}	0,100	0,462	-0,156	0,250	-0,060	0,662
w_{u20}	-0,385	0,003	0,495	0,000	0,499	0,000
w_{u22}	-0,098	0,473	0,196	0,148	0,346	0,009
w_u	-0,020	0,884	0,175	0,198	0,287	0,032

R - współczynnik korelacji
p - poziom istotności

wyższy niż w latach 2008–2012). Obserwuje się również spadek udziału uszkodzeń w_u w zużyciu technicznym s_z (od około 60% w roku 2002 do 40% w 2012). Zmiany te następują przy obserwowanych w ostatnich latach niższych intensywnościach oddziaływań górniczych, o czym świadczy stwierdzony spadek średnich wartości wskaźników zagrożenia badanej zabudowy wpływami górniczymi (ϵ_{max} i a_{Hmax}).


Z kolei wyniki badań zależności zakresu uszkodzeń budynków od oddziaływań górniczych wskazują na istotne korelacje pomiędzy wskaźnikiem w_u wyznaczonym dla całego budynku oraz uszkodzeniami jego elementów a wskaźnikami wpływów dynamicznych a_{sg} . W przypadku poziomych odształceń terenu ϵ_{max} oraz wartości szczytowych przyspieszeń drgań gruntu w miejscu lokalizacji obiektu a_{Hmax} stwierdzono niższe korelacje z uszkodzeniami jedynie dla niektórych elementów składowych

budynków. W poszczególnych okresach były to wskaźniki dla ścian nośnych nadziemna, stropów nad piwnicami i wyższych kondygnacji, ścian działowych, wypraw wewnętrznych, warstw podłogowych, warstw elewacyjnych, obróbek blacharskich i orynnowania oraz elementów zewnętrznych. Rezultaty te świadczą o istotnym wpływie krotności oddziaływania wstrząsów reprezentowanych przez wskaźnik a_{sg} na intensywność uszkodzeń budynków, co stanowi potwierdzenie wyników wcześniejszych analiz prowadzonych dla tradycyjnej zabudowy jednorodzinnej LGOM.

Literatura

- [1] FIREK K.: *Propozycja klasyfikacji intensywności uszkodzeń budynków wielkopłytowych na terenach górniczych*. Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Vol. 54, Iss. 3, Kraków 2009.
- [2] FIREK K.: *Analiza uszkodzeń murowanych budynków wielokondygnacyjnych usytuowanych na terenie górniczym metodami eksploracji danych*. Polish Journal of Environmental Studies. vol. 25 no. 5A, 2016.
- [3] FIREK K.: *Analiza wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków murowanych*. Journal Of Civil Engineering, Environment And Architecture, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (1/17), Rzeszów 2017
- [4] FIREK K., RUSEK J.: *Metoda cząstkowych najmniejszych kwadratów w analizie intensywności uszkodzeń budynków wielkoblokowych*. Archiwum Górnictwa, vol. 62, no. 2, Kraków 2017.
- [5] FIREK K., RUSEK J., WODYŃSKI A.: *Wybrane metody eksploracji danych i uczenia maszynowego w analizie stanu uszkodzeń i zużycia technicznego zabudowy terenów górniczych*. Przegląd Górniczy, nr 1/2016, Katowice 2016.
- [6] RUSEK J.: *Metody inteligencji obliczeniowej w problemie modelowania stopnia zużycia technicznego budynków na terenach górniczych*. Geomatics and Environmental Engineering, Quarterly, AGH University of Science and Technology, vol. 6, no. 3, Kraków 2012.
- [7] WODYŃSKI A., LASOCKI S.: *Badanie wpływu wstrząsów górniczych na zużycie techniczne budynków murowanych*. Przegląd Górniczy, nr 12/2003, Katowice.
- [8] WODYŃSKI A.: *Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne AGH, Kraków 2007.

Referat opracowano w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005
Artykuł ukazał się w czasopiśmie „Przegląd górniczy” nr 1/2018.

 Karol Firek, Janusz Rusek, Aleksander Wodyński – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

artykuł recenzowany