

Załącznik nr 2

AUTOREFERAT

dotyczący dorobku i osiągnięć naukowych

dr inż. Karol Firek

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Kraków, czerwiec 2017

Spis treści

1.	DANE PERSONALNE.....	3
2.	POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE	3
3.	DOTYCHCZASOWE ZATRUDNIENIE W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH	3
4.	WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI	4
4.1.	Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2.	Zestawienie jednotematycznych publikacji stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego.....	4
4.3.	Omówienie celu naukowego, zastosowanej metodyki badań oraz osiągniętych wyników i sposobów ich wykorzystania	6
4.3.1.	Cel i zakres badań.....	6
4.3.2.	Baza danych o badanej zabudowie	8
	A. Charakterystyka techniczna badanych grup budynków	8
	B. Wskaźniki opisujące zagrożenie zabudowy wpływami górnictwami	9
4.3.3.	I etap badań - wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów budynku w_{ui}	10
	A. Koncepcja wskaźnika w_u [1].....	10
	B. Wstępna analiza danych [2]	12
4.3.4.	II etap badań - uogólniony wskaźnik intensywności uszkodzeń budynku w_u	14
	A. Badania wstępne [6]	14
	B. Wyniki analizy PLSR dla grupy budynków murowanych [7]	17
	C. Zestawienie wyników analizy PLSR dla badanych grup budynków [3, 4, 5, 6 i 7]	18
4.3.5.	III etap badań - analiza wpływu oddziaływań górnictw na intensywność uszkodzeń budynków	20
	A. Wyniki analizy metodą regresji wielorakiej i SVM dla grupy budynków murowanych [8].....	20
	B. Wyniki analizy metodą regresji wielorakiej i SVM dla grupy budynków wielkopłytowych.....	23
4.3.6.	Podsumowanie	24
	Literatura	25
5.	WYKAZ INNYCH OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH NIE WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA WYMIENIONEGO W PKT 4.2	28
6.	INFORMACJE O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, WSPÓŁPRACY Z INSTYTUCJAMI NAUKOWYMI I DZIAŁALNOŚCI POPULARYZUJĄCEJ NAUKĘ	31

1. DANE PERSONALNE

Imię i nazwisko Karol Firek

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

VI.2005 r. Stopień naukowy: doktor nauk technicznych
Dyscyplina: inżynieria środowiska
Specjalność: budownictwo na terenach górniczych

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

Rozprawa doktorska: *Badanie wpływu czynników górniczych i budowlanych na zużycie techniczne tradycyjnej zabudowy terenu górniczego LGOM*

IX.1997 r. Tytuł zawodowy: magister inżynier
Dyscyplina: budownictwo
Specjalność: konstrukcje budowlane i inżynierskie

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki,
Wydział Inżynierii Lądowej

Praca magisterska: *Projekt techniczny wielorodzinnego budynku mieszkalnego z wariantowym rozwiązaniem posadowienia*

3. DOTYCHCZASOWE ZATRUDNIENIE W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

X.1997 r. do IX.2005 r. Asystent
X.2005 r. do IX.2013 r. Adiunkt
X.2013 r. do teraz Starszy wykładowca

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR. 65, POZ. 595 ZE ZM.)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym, określonym zgodnie z obowiązującą "Ustawą o stopniach naukowych... art. 16 ust. 2" jest cykl 8 publikacji powiązanych tematycznie pod wspólnym tytułem:

**WPŁYW ODDZIAŁYWAŃ GÓRNICZYCH
NA INTENSYWNOŚĆ USZKODZEŃ BUDYNKÓW**

4.2. Zestawienie jednotematycznych publikacji stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego

Lp.	Tytuł publikacji	Udział własny [%]	Punktacja
1	2	3	4
1.	Firek K.: Proposal for classification of prefabricated panel building damage intensity rate in mining areas (<i>Propozycja klasyfikacji intensywności uszkodzeń budynków wielkopłytowych na terenach górniczych</i>). Archives of Mining Sciences = Archiwum Górnictwa; ISSN 0860-7001. — 2009 vol. 54 iss. 3 s. 467–479.	100	lista A czasopism MNiSW, 2009: 6 Impact factor: 0,306
2.	Firek K., Rusek J., Wodyński A.: Decision trees in the analysis of the intensity of damage to portal frame buildings in mining areas (<i>Drzewa decyzyjne w analizie intensywności uszkodzeń budynków halowych na terenach górniczych</i>). Archives of Mining Sciences = Archiwum Górnictwa ; ISSN 0860-7001. — 2015 vol. 60 no. 3, s. 847–857	40	lista B czasopism MNiSW, 2015: 14 Impact factor: 0,448
	Zakres merytoryczny udziału: wspólna koncepcja publikacji, studia literaturowe, przygotowanie bazy danych, udział w analizie obliczeniowej, udział w opracowaniu wyników, udział w przygotowaniu manuskryptu publikacji		
3.	Firek K.: Analiza intensywności uszkodzeń budynków typu halowego (<i>Analysis of the intensity of damage to portal frame buildings</i>). Materiały Budowlane : technologie, rynek, wykonawstwo ; ISSN 0137-2971. — 2016 nr 5	100	lista B czasopism MNiSW, 2016: 8

1	2	3	4
4.	Firek K., Rusek J.: Assessment of damage to portal frame buildings located in a mining area (<i>Ocena stanu uszkodzeń budynków typu halowego usytuowanych na terenie górniczym</i>). W: SGEM 2016: 16th international multidisciplinary scientific geoconference: ecology, economics, education and legislation : 30 June–6 July, 2016, Albena, Bulgaria: conference proceedings. Vol. 2, Ecology and environmental protection. — Sofia: STEF92 Technology Ltd., cop. 2016. — (International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM; ISSN 1314-2704). — ISBN: 978-619-7105-66-7. — S. 93–100.	70	baza Web of Science, 2016: 15
	Zakres udziału: koncepcja publikacji, studia literaturowe, przygotowanie bazy danych, analiza obliczeniowa, opracowanie wyników, udział w przygotowaniu publikacji		
5.	Firek K.: Analysis of damage to masonry multi-storey building structures located in the mining area using data mining techniques (<i>Analiza uszkodzeń murowanych budynków wielokondygnacyjnych usytuowanych na terenie górniczym metodami eksploracji danych</i>). Polish Journal of Environmental Studies ; ISSN 1230-1485. — 2016 vol. 25 no. 5A, s. 37–41.	100	lista A czasopism MNiSW, 2016: 15 * Impact factor: 0,790
6.	Firek K., Rusek J.: Partial least squares method in the analysis of the intensity of damage in prefabricated large-block building structures (<i>Metoda cząstkowych najmniejszych kwadratów w analizie intensywności uszkodzeń budynków wielkoblokowych</i>). Archives of Mining Sciences = Archiwum Górnictwa; ISSN 0860-7001. — 2017 vol. 62 no. 2, Kraków	50	lista A czasopism MNiSW, 2017: 20 Impact factor: 0,448
	Zakres merytoryczny udziału: wspólna koncepcja publikacji, studia literaturowe, przygotowanie bazy danych, udział w analizie obliczeniowej, udział w opracowaniu wyników, udział w przygotowaniu publikacji		
7.	Firek K.: Ocena intensywności uszkodzeń budynków o konstrukcji murowanej usytuowanych na terenie górniczym (<i>Assessment of the intensity of damage to masonry building structures located in the mining area</i>). Przegląd Górniczy; ISSN 0033-216X. — 2017 t. 73 nr 1, s. 39–43	100	lista B czasopism MNiSW, 2017: 7
8.	Firek K.: Analysis of the influence of mining impacts on the intensity of damage to masonry building structures (<i>Analiza wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków murowanych</i>). Journal Of Civil Engineering, Environment And Architecture, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (1/17) Rzeszów 2017	100	lista B czasopism MNiSW, 2017: 9
Suma punktów:			94

* w zestawieniu uwzględniono punktację za Biblioteką Główną AGH. Praca była recenzowana i wygłoszona w ramach VIII Konferencji naukowej "Ochrona i inżynieria środowiska -

zrównoważony rozwój”. Wrzesień 2016, Kraków, a następnie została opublikowana w „Polish Journal of Environmental Studies - Supplement”

Udział naukowy współautorów w pracach wymienionych jako osiągnięcie naukowe, został przedstawiony w załączonych oświadczeniach znajdujących się w załączniku nr 4 do Wniosku.

4.3. Omówienie celu naukowego, zastosowanej metodyki badań oraz osiągniętych wyników i sposobów ich wykorzystania

4.3.1. Cel i zakres badań

W podrozdziale 4.2 wymieniono 8 prac, w tym 5 samodzielnych, które można ująć pod wspólnym tytułem ***Wpływ oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków***. Opracowane rozwiązania i wyniki, które zostały przedstawione pod ww. tytułem stanowią oryginalne osiągnięcia naukowe w dyscyplinie inżynieria środowiska w specjalności budownictwo na terenach górniczych.

Stan techniczny budynku wynika z jego naturalnego zużycia oraz szeregu innych czynników o charakterze losowym. Czynniki losowe, do których zaliczyć należy również wpływy eksploatacji górniczej, mogą powodować powstawanie uszkodzeń, a tym samym przyrost stopnia zużycia technicznego, wzrost wydatków remontowych, obniżenie trwałości obiektu lub nawet zagrożenie bezpieczeństwa. Stan techniczny budynku jest zatem funkcją zużycia naturalnego oraz zakresu uszkodzeń wszystkich jego elementów, zarówno konstrukcyjnych, wykończeniowych jak i wyposażenia (instalacji).

Powodem podjęcia tematu były doświadczenia autora zebrane w czasie wykonywania okresowych przeglądów i ocen stanu technicznego dużej liczby budynków mieszkalnych, przemysłowych i użyteczności publicznej. Były one realizowane w ramach opracowań naukowo-badawczych, ekspertyz i opinii technicznych dla obiektów budowlanych usytuowanych na terenach górniczych Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM), Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) oraz Zagłębia Lubelskiego (ZL).

Okresowe przeglądy i oceny stanu technicznego są niezbędne dla określenia bezpieczeństwa budynków oraz utrzymania założonego poziomu ich wartości użytkowych (np. [Prawo budowlane 1994, Warunki techniczne 2002]). 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 (np. [Ochrona obiektów..., 1997, Instrukcja... 2000]). Podczas inwentaryzacji stanu technicznego szczególną trudność sprawia ocena intensywności uszkodzeń, głównie w kontekście określania przyczyn ich powstania (np. [Kwiatek 2007, Wodyński 2007, Kawulok 2015]). Dotyczy to zarówno budynków o tradycyjnej konstrukcji murowanej jak i wykonanych w prefabrykowanych technologiach uprzemysłowionych (*wielki blok, wielka płyta*) oraz budynków szkieletowych typu halowego.

Obok szeroko opisaney w literaturze technicznej problematyki oddziaływań górniczych na bezpieczeństwo konstrukcji, istotne znaczenie ma również ich wpływ na zakres i częstość uszkodzeń elementów drugorzędnych oraz przyspieszenie zużycia naturalnego budynku. Prowadzone w ostatnich latach badania oddziaływań górniczych na stan techniczny zabudowy powierzchni dotyczyły głównie budynków mieszkalnych o konstrukcji murowanej (np. [Wodyński, 2007]). Dotychczas brakowało uniwersalnej i kompleksowej metodyki określania zakresu i intensywności uszkodzeń innych typów budynków, którą można byłoby stosować w ramach opracowań naukowo-badawczych lub technicznych, dla dużej liczby obiektów i ich elementów.

Wobec powyższego jako główny cel przedstawionych badań przyjęto opracowanie uniwersalnej metodyki oceny intensywności uszkodzeń budynków wznoszonych w różnych technologiach (murowanych, żelbetowych monolitycznych lub prefabrykowanych, ścianowych lub szkieletowych), poddawanych oddziaływaniom górniczym. Założono, że efekty badań powinny ułatwić:

- analizy porównawcze zakresu uszkodzeń budynków, stwierdzonego w trakcie okresowych przeglądów i ocen stanu technicznego,
- analizy zależności między występującymi uszkodzeniami budynków, a potencjalnymi ich przyczynami,
- ocenę właściwości użytkowych uszkodzonych budynków oraz prognozowanie kosztów ich napraw.

W prezentowanym osiągnięciu naukowym można wyróżnić trzy etapy badań:

- Etap I. Propozycja autorskiego wskaźnika intensywności uszkodzeń elementów budynków w_{ui} wznoszonych w różnych technologiach wraz z określeniem szczegółowych kryteriów ustalania wskaźników intensywności uszkodzeń dla konstrukcyjnych i drugorzędnych elementów budynków. Tematyka ta została przedstawiona w pracach [1 i 2] – por. rozdział 4.2.
- Etap II. Opracowanie metodyki wyznaczania uogólnionego wskaźnika intensywności uszkodzeń dla całego budynku w_u w poszczególnych grupach badanej zabudowy, osobno dla budynków murowanych, wznoszonych w prefabrykowanych systemach uprzemysłowionych oraz obiektów typu halowego – prace [3, 4, 5, 6 i 7].
- Etap III. Aplikacja wyznaczonego wskaźnika w_u do analizy wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków. Wykonano badania porównawcze intensywności uszkodzeń różnych grup budynków i ich elementów oraz analizę zależności między stwierdzonym zakresem uszkodzeń budynków reprezentowanym przez w_u , a oddziaływaniami eksploatacji górniczej w postaci ciągłych deformacji terenu i wstrząsów górniczych – prace [4, 5, 7 i 8].

4.3.2. Baza danych o badanej zabudowie

W badaniach wykorzystano informacje zebrane podczas szczegółowych inwentaryzacji zabudowy terenu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, przeprowadzanych w ciągu ostatnich kilkunastu lat przez zespół Katedry Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa AGH przy udziale autora. Na tej podstawie utworzono bazę danych o konstrukcji, stanie technicznym i potencjalnych przyczynach uszkodzeń budynków, które w okresie istnienia (do dnia przeprowadzonej inwentaryzacji) były poddawane wpływom górniczym (tabela 1).

Tabela 1. Struktura badanej zabudowy

Grupa budynków		Liczba obiektów
Budynki o konstrukcji murowanej	jednorodzinne (do dwóch kondygnacji)	199
	wielorodzinne (wielokondygnacyjne)	56
Budynki o prefabrykowanej konstrukcji żelbetowej wznoszone w technologiach uprzemysłowionych	wielkopłytowe	74
	wielkoblokowe	129
Budynki typu halowego		94
Razem		552

A. Charakterystyka techniczna badanych grup budynków

Budynki o konstrukcji murowanej, jednorodzinne [7 i 8]

Baza danych o murowanych jednorodzinnych budynkach mieszkalnych obejmuje 199 obiektów, jedno lub dwukondygnacyjnych. W budynkach tych wykonano zabezpieczenia profilaktyczne na II kategorię terenu górniczego. Zastosowano stały poziom posadowienia oraz betonowe ławy fundamentowe z dodatkowym zbrojeniem podłużnym. Ściany piwniczne są betonowe. Ściany wyższych kondygnacji wykonano jako murowane. Stropy są żelbetowe, a przekrycie stanowią drewniane więźby dachowe lub płaskie stropodachy.

Budynki o konstrukcji murowanej, wielokondygnacyjne, wielorodzinne [5]

Baza danych zawiera informacje o 56 murowanych budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i użyteczności publicznej. Są to obiekty wielokondygnacyjne (od 2 do 4 kondygnacji) i wielosegmentowe (od 2 do 7 oddzielonych segmentów). W budynkach zastosowano zabezpieczenia profilaktyczne na I lub II kategorię terenu górniczego. Budynki posadowiono na stałym poziomie na żelbetowych fundamentach. Ściany piwniczne są żelbetowe lub betonowe, ściany wyższych kondygnacji murowane z cegły ceramicznej lub z bloczków z betonu komórkowego. Stropy wykonano jako żelbetowe monolityczne lub z żelbetowych płyt prefabrykowanych. Przekrycie stanowią drewniane więźby dachowe.

Budynki o prefabrykowanej konstrukcji żelbetowej wznoszone w technologii wielkopłytowej [1]

W bazie danych znajdują się informacje o 74 budynkach mieszkalnych o prefabrykowanej konstrukcji wielkopłytowej, w tym 32 to 5-kondygnacyjne budynki wykonane w systemie Wk-70, a 42 to budynki od 5- do 11-kondygnacyjne wzniesione

w systemie WWP. Ich ustrój nośny składa się z pionowych tarcz ściennych w układzie poprzecznym, opartych na fundamentach i połączonych na każdej kondygnacji poziomymi tarczami stropowymi. Zmonolityzowanie tarcz ściennych i stropowych jest zapewnione przez zastosowanie ciągłych wieńców oraz systemowych złączy poziomych i pionowych. Różnice pomiędzy systemami są związane m.in. z wymiarami elementów prefabrykowanych oraz konstrukcją złączy.

Budynki o prefabrykowanej konstrukcji żelbetowej wznoszone w technologii wielkoblokowej [6]

Zgromadzono dane o 129 budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej. Obiekty podlegające analizie wykonane zostały w systemach *wielki blok (WBL)* oraz *szkolny wielki blok (SzWBL)*. Są to wielosegmentowe budynki wolno stojące o wysokości do 5 kondygnacji. Posadowienie budynków na stałym poziomie z całkowitym podpiwniczeniem. Ściany nośne w układzie poprzecznym. Ustrój nośny składa się z tarcz ściennych, połączonych pionowymi złączami oraz usztywnionych w poziomie za pomocą płyt stropowych połączonych ze ścianami wieńcem. Fundamenty oraz ściany piwnic żelbetowe lub betonowe monolityczne, stropy żelbetowe prefabrykowane, a przekrycie stropodachem dwudzielnym. Większość badanych budynków posiada zabezpieczenia profilaktyczne przeciw wpływom górniczym, zastosowane na poziomie fundamentów i stropów.

Budynki typu halowego [2, 3 i 4]

Badaniom poddano 94 budynki typu halowego. Pełnią one funkcje produkcyjne, handlowe, biurowe lub magazynowe. Pod względem konstrukcyjnym w badanym zbiorze znajdują się 33 hale o szkieletowej konstrukcji żelbetowej, głównie prefabrykowanej, 29 hal o szkieletowej konstrukcji stalowej oraz 32 hale z murowanymi ścianami nośnymi. Budynki są jednokondygnacyjne, przeważnie jednosegmentowe. Hale żelbetowe i stalowe posiadają najczęściej schemat statycznym ramowy dwuprzegubowy, rzadziej w postaci ram sztywnych. Fundamenty wykonano jako żelbetowe monolityczne lub betonowe, posadowione na stałym poziomie. Ściany nadziemia wypełniające lub nośne są murowane z cegły, z bloczków z betonu komórkowego lub z bloczków betonowych. Stropodachy są pełne, z prefabrykowanych płyt żelbetowych lub z blachy trapezowej.

B. Wskaźniki opisujące zagrożenie zabudowy wpływami górniczymi

Wskaźniki opisujące zagrożenie zabudowy wpływami górniczymi zostały ustalone indywidualnie dla każdego budynku na podstawie danych uzyskanych z kopalń.

Wskaźnik zagrożenia ciągłymi deformacjami powierzchni

Uwzględniając specyfikę ciągłych deformacji terenu w LGOM oraz charakter badanej zabudowy, zgodnie z wynikami wcześniej prowadzonych badań jako miarę wpływu ciągłych deformacji powierzchni przyjęto maksymalne poziome odkształcenia terenu ε [mm/m] (np. [Firek i Wodyński 2007, Niedojadło 2008, Popiołek i in. 2015, Kowalski 2015, Hejmanowski i Malinowska 2016]). Każdemu budynkowi przypisano maksymalną wartość poziomych odkształceń, jakie wystąpiły w całym okresie jego istnienia [4, 5, 7, 8].

Wskaźniki opisujące zagrożenie wstrząsami górnictwem

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} i czas trwania (np. [Firek 2006, Zębaty 2010, Tatar 2012, Kuźniar i in. 2014]). 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 [Wodyński i Lasocki 2003] przedstawiono koncepcję wskaźnika a_{sg} , który stanowi miarę oddziaływań wstrząsów górniczych 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 (w omawianym przypadku wynosi ona $a_p = 0,12 \text{ m/s}^2$). Wskaźnik ten dla obiektu położonego w miejscu o współrzędnych (x, y) wyrazić można jako:

$$a_{sg}(x, y) = \sqrt{\sum_{k=1}^n a_{Hk}(x, y)^2} \quad ; \quad a_{Hk}(x, y) \geq a_p \quad (1)$$

gdzie: (x, y) – współrzędne obiektu,

$a_{Hk}(x, y)$ – wyliczona w punkcie (x, y) wartość szczytowa składowej poziomej przyspieszenia drgań w paśmie częstotliwości do 10 Hz; wartości a_{Hk} wyznacza się metodami geofizycznymi wykorzystując w tym celu obowiązujące dla danego terenu relacje tłumienia (np. [Olszewska 2008]),

n – liczba wstrząsów, które wystąpiły w okresie istnienia budynku (do dnia przeprowadzonej inwentaryzacji), dla których wyliczona wartość szczytowa w punkcie (x, y) była większa od wartości progowej a_p .

W prezentowanych badaniach jako miarę oddziaływań dynamicznych przyjęto wskaźnik a_{sg} . Wskaźnik ten wyznaczono indywidualnie dla każdego budynku, w oparciu o analizę wszystkich wstrząsów, jakie wystąpiły w okresie od powstania budynku do dnia, w którym przeprowadzono prace inwentaryzacyjne [4, 5, 7, 8].

4.3.3. I etap badań - wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów budynku w_{ui}

A. Koncepcja wskaźnika w_u [1]

Miarą stanu technicznego budynków jest stopień zużycia s_z . W ramach opisywanych badań stopień zużycia technicznego s_z został wyznaczony dla poszczególnych budynków metodą średniej ważonej, z uwzględnieniem indywidualnych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych (np. [Wodyński 2007]).

W celu zbadania zakresu powstałych uszkodzeń oraz ich udziału w zużyciu technicznym każdego obiektu został zdefiniowany autorski, jakościowy wskaźnik intensywności uszkodzeń w_u dla poszczególnych elementów budynków wznoszonych w różnych technologiach. Uwzględniając zróżnicowane rozwiązania projektowe budynków, łącznie wyodrębniono 22 elementy konstrukcyjne i drugorzędne (tabela 2).

Tabela 2. Wskaźniki intensywności uszkodzeń elementów budynku w_{ui} [1, 2 i 5]

Oznaczenie	Opis wskaźnika intensywności uszkodzeń
Elementy ustroju nośnego (konstrukcyjne)	
w_{u1}	intensywność uszkodzeń fundamentu
w_{u2}	intensywność uszkodzeń ścian nośnych piwnic lub fundamentowych
w_{u3}	intensywność uszkodzeń ścian nośnych nadziemnych wewnętrznych i zewnętrznych
w_{u4}	intensywność uszkodzeń murów ogniowych
w_{u5}	intensywność uszkodzeń elementów szkieletowego ustroju nośnego (słupy, rygle)
w_{u6}	intensywność uszkodzeń stropów nad piwnicami
w_{u7}	intensywność uszkodzeń stropów kondygnacji nadziemnych, stropodachu
w_{u8}	intensywność uszkodzeń schodów
w_{u9}	intensywność uszkodzeń balkonów i loggii
w_{u10}	intensywność uszkodzeń konstrukcji dachu
Elementy drugorzędne (wykończeniowe)	
w_{u11}	intensywność uszkodzeń ścian działowych
w_{u12}	intensywność uszkodzeń tynków wewnętrznych i okładzin ściennych
w_{u13}	intensywność uszkodzeń podłogi (warstw podłogowych)
w_{u14}	intensywność uszkodzeń ścian kominowych
w_{u15}	intensywność uszkodzeń stężeń (elementów zapewniających sztywność przestrzenną)
w_{u16}	intensywność uszkodzeń ścian wypełniających (lub osłonowych)
w_{u17}	intensywność uszkodzeń elewacji (warstw elewacyjnych)
w_{u18}	intensywność uszkodzeń izolacji przeciwwilgociowych
w_{u19}	intensywność uszkodzeń pokrycia dachowego
w_{u20}	intensywność uszkodzeń obróbek blacharskich, rynien i rur spustowych
w_{u21}	intensywność uszkodzeń stolarki
w_{u22}	intensywność uszkodzeń elementów zewnętrznych (wejścia do budynków oraz podesty, tarasy itp.)

Wskaźnik w_u został zdefiniowany w 6-stopniowej skali, w której:

- $w_u = 0$ – uszkodzenia nie występują,
- $w_u = 1$ – nieznaczne uszkodzenia (zakres od 0 do 10%),
- $w_u = 2$ – umiarkowane uszkodzenia (zakres powyżej 10 do 30%),

- $w_u = 3$ – intensywne uszkodzenia (zakres powyżej 30 do 50%),
- $w_u = 4$ (i 5) – bardzo intensywne uszkodzenia (zakres powyżej 50%).

Przy określaniu szczegółowych kryteriów ustalania intensywności uszkodzeń dla poszczególnych elementów budynków korzystano z własnych doświadczeń oraz z literatury, instrukcji i wytycznych technicznych dotyczących diagnostyki stanu technicznego budynków, z uwzględnieniem specyfiki obiektów usytuowanych na terenach górniczych (np. [Hajdasz 1992, EMS 1998, Cholewicki 2002, Kawulok i Selańska-Herbich 2002, Lewicki 2002, Wodyński i Barycz 2002, An advanced... 2004, Ostrowski i Ćmiel 2008, Malinowska i Hejmanowski 2010, Dubiński i in. 2012, Tatar 2012]).

W tabeli 3 podano przykładowe kryteria stosowane do ustalania pierwszych trzech stopni wskaźnika intensywności uszkodzeń ścian nośnych nadziemna w_{u3} .

Tabela 3. Przykład szczegółowych kryteriów ustalania wskaźnika intensywności uszkodzeń dla ścian nośnych nadziemna w_{u3} [1]

Wskaźnik intensywności uszkodzeń w_u	Definicja	Opis	Szczegółowe kryteria ustalania wskaźnika intensywności uszkodzeń dla ścian nośnych nadziemna w_{u3}	Zakres [%]
0	nie występują	uszkodzenia nie występują lub są niezauważalne	uszkodzenia nie występują	0
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	od 0 do 10
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	powyżej 10 do 30

B. Wstępna analiza danych [2]

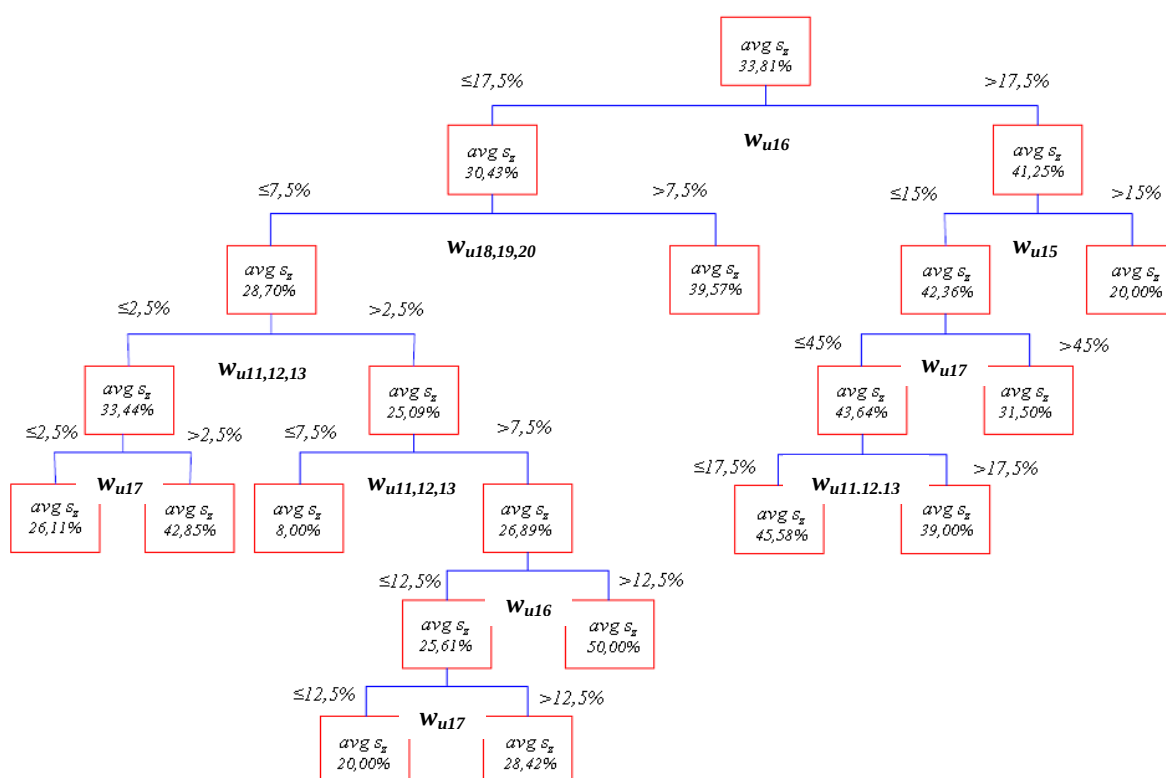
Celem wstępnych badań była optymalizacja wskaźnika intensywności uszkodzeń ustalonego dla poszczególnych elementów budynków zlokalizowanych na terenach górniczych w aspekcie uciążliwości ich użytkowania [2]. Wykorzystano przy tym *drzewa decyzyjne* - metodę *CART (Classification and Regression Tree)* oraz *losowy las (Random Forest)*, które są zaliczane do grona technik *Data Mining* (np. [Ćwik i Koronacki 2005, Hastie i in. 2009, Morzy 2013]).

Drzewa decyzyjne są uznaną metodą eksploracji danych, pozwalającą na rozwiązywanie problemów zarówno klasyfikacyjnych, jak i regresyjnych. Oprócz aproksymacji funkcji wielu zmiennych, metoda ta umożliwia analizę struktury utworzonego systemu oraz ocenę udziału, tj. istotności poszczególnych zmiennych wejściowych. Ponadto drzewa decyzyjne w podejściu regresyjnym, w odróżnieniu od np. tradycyjnej metody regresji wielorakiej, pozwalają na

przedstawienie przebiegu aproksymowanej funkcji z uwzględnieniem jej zmienności lokalnej, realizując aproksymację w wydzielonych w partycjach przestrzeni zmiennych wejściowych.

Każde *drzewo decyzyjne* (klasyfikacyjne bądź regresyjne) ma postać spójnego grafu acyklicznego, który reprezentuje proces podziału zbioru uczącego na jednorodne podzbiory. W korzeniu takiego drzewa skupiony jest cały zbiór danych uczących, a pozostałymi elementami są węzły wewnętrzne (miejsca, gdzie dokonywany jest podział danego podzbioru) oraz liście (miejsca końcowe, w których podział kolejno następujących po sobie podzbiorów już nie zachodzi).

Strukturę *drzewa decyzyjnego* dla stopnia zużycia technicznego s_z ($avg\ s_z$ oznacza średni stopień zużycia) budynków typu halowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat utworzonej struktury *drzewa decyzyjnego* do predykcji wartości stopnia zużycia technicznego s_z budynków halowych [2]

Struktura utworzonego *drzewa decyzyjnego* (rys. 1) wskazuje zmienne wejściowe, które zostały ujęte w modelu końcowym. Na zmiennych tych dokonywany jest podział zbioru danych w celu minimalizacji błędu SSE uzyskiwanego na wyjściu.

Zaletą metody *drzew decyzyjnych* jest to, że mimo niejawnej reprezentacji ostatecznego podziału przestrzeni wielowymiarowej, struktura drzewa jest w pełni przejrzysta i pozwala na interpretację powiązań przyczynowo-skutkowych w opisie modelu. Dodatkowo zarówno procedura budowy *drzew decyzyjnych*, jak również analiza struktury istniejącego drzewa pozwala ustalić wpływ poszczególnych zmiennych wejściowych na wartość modelowanego procesu (np. [Breinman i inni 1984]).

W toku przeprowadzonych badań wykonano analizy z wykorzystaniem metody *CART* (*Classification and Regression Tree*) oraz *losowego lasu* (*Random Forest*). Pozwoliło to na usystematyzowanie wkładów poszczególnych wskaźników uszkodzeń pod kątem ich znaczenia dla opisu stopnia zużycia technicznego grupy 94 budynków typu halowego usytuowanych na terenie górniczym (tabela 4).

Uwzględniając specyfikę budynków halowych, w badaniach ustalono łączne wskaźniki uszkodzeń wewnętrznych elementów wykończeniowych (ścian działowych, tynków oraz okładzin ściennych i podłogowych - $w_{u11,12,13}$) oraz izolacji przeciwwilgociowych, pokrycia dachowego, obróbek blacharskich, rynien i rur spustowych ($w_{u18,19,20}$).

Tabela 4. Rangi wskaźników intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów w stopniu zużycia technicznego budynku [2]

Metoda	Rangi wskaźników intensywności uszkodzeń							
	w_{u5}	w_{u7}	w_{u15}	w_{u16}	w_{u17}	$w_{u11,12,13}$	$w_{u18,19,20}$	w_{u22}
<i>CART</i>	6	4	8	2	1	3	5	7
<i>losowy las</i>	5	6	8	1	3	2	4	7

Z tabeli 4 wynika, że największy udział w zużyciu technicznym budynków stwierdzono w przypadku uszkodzeń ścian wypełniających i osłonowych, warstw elewacyjnych oraz wewnętrznych elementów wykończeniowych, reprezentowanych w analizie przez wskaźniki w_{u16} , w_{u17} i $w_{u11,12,13}$. Z kolei najmniej znaczący wkład w stopniu zużycia mają uszkodzenia elementów stężających (w_{u15}) oraz zewnętrznych (w_{u22}).

4.3.4. II etap badań - uogólniony wskaźnik intensywności uszkodzeń budynku w_u

A. Badania wstępne [6]

W celu wyodrębnienia optymalnej reprezentacji wskaźników uszkodzeń dla opisu zużycia technicznego budynków wstępnie zastosowano metodę składowych głównych *PCA* (*Principal Component Analysis*) oraz metodę cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym *PLSR* (*Partial Least Squares Regression*) [6]. Metody te polegają na ekstrakcji wiedzy z rozległych zasobów baz danych. Pozwalają one między innymi na wyłonienie asocjacji między zmiennymi, redukcji wymiarowości danych itd.

Metoda *PCA* to jedna z podstawowych technik *Data Miningu*, pozwalająca na redukcję wymiarowości pierwotnego zestawu danych, przy zachowaniu niezbędnej informacji. Polega na wyznaczeniu wartości i wektorów własnych macierzy kowariancji dla danego zestawu zmiennych. Tym samym otrzymuje się nowe, nieskorelowane wzajemnie kombinacje liniowe zmiennych wejściowych. Dla każdej z nowych zmiennych dąży się do maksymalizacji wariancji [Osowski 2013]. W przypadku analiz regresyjnych (*PCR* – *Principal Component Regression*) wymaga dwóch rozłącznych etapów. W pierwszym z nich następuje wyłanianie składowych głównych ze zbioru potencjalnych zmiennych wejściowych. W drugim etapie

budowane są modele regresyjne wykorzystujące skompresowaną informację o zmiennych wejściowych, którą wyodrębniono w etapie pierwszym.

Z kolei w metodzie *PLSR* wyłanianie wektorów własnych w przestrzeni zmiennych wejściowych jest jednym z etapów budowy wielowymiarowego modelu regresji. Procedura ekstrakcji wartości własnych przebiega jednak odmiennie niż w przypadku *PCA*. W metodzie *PLSR* każdy etap iteracyjnej procedury wyłaniania składowych głównych jest związany ze zmienną zależną, którą w ramach badań był stopień zużycia technicznego budynków. Fakt ten jest bardzo istotny w sytuacji, gdy celem jest wyłonienie uogólnionego czynnika najlepiej korespondującego ze zmienną zależną. Metoda *PLSR* polega na iteracyjnym wyznaczaniu składowych głównych PC_j (*PC - Principal Component*) w przestrzeni zmiennych wejściowych, które następuje z permanentnym zachowywaniem związku ze zmienną zależną. Składowe główne stanowią wynik dekompozycji wektorów zmiennych wejściowych oraz zmiennej zależnej wyznaczonej zgodnie z iteracyjnym algorytmem *NIPALS - Nonlinear Partial Least Squares* (np. [Geladi i inni 1986, Wold i inni 2001]). Analiza metodą *PLSR* odbywa się w dwóch etapach, z których pierwszy polega na wyłonieniu składowych głównych z przestrzeni zmiennych wejściowych, a drugi na wykrywaniu zależności wiążących te składowe ze zmienną zależną. Taki tok postępowania prowadzi do wyodrębnienia optymalnej kombinacji liniowej zmiennych wejściowych względem zmiennej zależnej. Miarą służącą do weryfikacji poszczególnych składowych głównych jest współczynnik determinacji R^2 dla jednowymiarowych modeli regresyjnych. Miara ta daje pogląd na stopień, w jakim dana składowa główna przyczynia się do wyjaśnienia zmienności zawartej w danych wyjściowych.

W metodzie *PLSR* przyjmuje się, że zarówno dane z przestrzeni wejściowej $\mathbf{X}$, jak i wyjściowej $\mathbf{Y}$ można zapisać jako sumę kombinacji liniowych wektorów $\mathbf{t}$ i $\mathbf{p}$ oraz $\mathbf{q}$ i $\mathbf{u}$, czyli tzw. wyników i ładunków (*scores* i *loadings*). Zależności te mają następującą postać [Rosipal i inni, 2006]:

$$\mathbf{X} = \sum_{i=1}^a \mathbf{t}_i \mathbf{p}_i = \mathbf{TP}^T \quad (2)$$

$$\mathbf{Y} = \sum_{i=1}^a \mathbf{q}_i \mathbf{u}_i = \mathbf{QU}^T \quad (3)$$

gdzie:

$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_i, \dots, \mathbf{x}_m\}$ - przestrzeń zmiennych wejściowych,

$\mathbf{Y} = \{\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_i, \dots, \mathbf{y}_m\}$ - przestrzeń zmiennych wyjściowych,

a - arbitralnie ustalona liczba składowych głównych,

$\mathbf{t}, \mathbf{p}$ - parametry kombinacji liniowych: wyniki,

$\mathbf{q}, \mathbf{u}$ - parametry kombinacji liniowych: ładunki,

$\mathbf{T}, \mathbf{Q}$ - zblokowana macierz wyników ($n \times a$),

$\mathbf{P}^T, \mathbf{U}^T$ - zblokowana macierz ładunków ($a \times m$).

Metoda *PLSR* w postaci klasycznej opartej na algorytmie iteracyjnym *NIPALS* prowadzi do znalezienia wektorów $\mathbf{w}$ i $\mathbf{c}$ (unormowane wektory $\mathbf{t}$ i $\mathbf{u}$) tak, aby w konsekwencji zmak-

symalizować kowariancję między rzutowaną przestrzenią zmiennych wejściowych i wyjściowych, odpowiednio na unormowane kierunki $\mathbf{t}$ i $\mathbf{u}$ ($\mathbf{w}$ i $\mathbf{c}$) [KeeSiong Ng., 2013]:

$$[\text{cov}(\mathbf{t}, \mathbf{u})]^2 = [\text{cov}(\mathbf{Xw}, \mathbf{Yc})]^2 = \max_{|\mathbf{r}|=|\mathbf{s}|=1} [\text{cov}(\mathbf{Xr}, \mathbf{Ys})]^2 \quad (4)$$

W rezultacie uzyskuje się założoną na wstępie dekompozycję wektorów stanu zmiennych wejściowych oraz zmiennej zależnej, przy czym poszczególne wektory składowe macierzy $\mathbf{P}$ stanowią współczynniki kierunkowe dla kolejnych składowych głównych wyodrębnionych w trakcie budowy modelu *PLSR*.

Do zalet metody *PLSR* w odniesieniu do metody *PCA* należy m. in. (np. [Wise 2015]):

- możliwość wyłonienia dowolnej liczby składowych głównych zależnej jedynie od liczby zmiennych atrybutów, a nie od liczby przypadków zebranych w bazie danych,
- możliwość iteracyjnego wyodrębniania składowych głównych w przestrzeni zmiennych wejściowych z jednoczesnym zachowaniem związku ze zmienną zależną,
- wyłoniony zestaw składowych głównych, z uwagi na wykorzystywaną procedurę iteracyjną, jest niewrażliwy na odstępstwa danych od wymogów stawianych standardowym modelom liniowym,
- istnieje możliwość analizowania zarówno zmiennych ciągłych, jak i skategoryzowanych.

W efekcie badań wstępnych [6], których bazę stanowiły dane o 129 budynkach o konstrukcji wieloblokowej wykazano, że metoda *PLSR* jest bardziej efektywna na poziomie wstępnej analizy danych niż metoda *PCA*. Świadczą o tym między innymi wyniki analizy wpływu składowych głównych (PC_j) na wyjaśnienie zmienności danej s_z zależnej przedstawione w tabeli 5. Wartości współczynnika determinacji były wyznaczane każdorazowo dla modeli regresji postaci $y = a_j \cdot PC_j$ indywidualnie dla każdej j -tej składowej wynikającej z podejścia *PCA* oraz *PLSR*. Tym samym, sprawdzano wpływ każdej składowej głównej na wyjaśnienie zmienności zawartej w danych pierwotnych.

Tabela 5. Zestawienie wpływu poszczególnych składowych głównych uzyskanych metodami *PLSR* i *PCA* na zmienność danej objaśnianej s_z [6]

Numer składowej głównej PC_j	<i>PCA</i>	<i>PLSR</i>
	Wartości współczynnika determinacji R^2	
PC_1	2,48	8,16
PC_2	6,25	0,62
PC_3	2,03	0,01
PC_4	0,00	0,44
PC_5	0,04	0,75
PC_6	0,03	0,49
PC_7	1,11	0,01

Z rezultatów badań przedstawionych w tabeli 5 wynika, że metoda *PLSR* jest bardziej efektywna na poziomie wstępnej analizy danych niż metoda *PCA*. W metodzie *PLSR* pierwsza wyłoniona składowa główna przyczynia się do wyjaśnienia powyżej 8% zmienności zawartej w pierwotnym zbiorze zmiennej wyjściowej s_z . Porównywalny rząd wielkości zmienności wy-

jaśnionej w metodzie *PCA* obejmuje trzy pierwsze składowe główne. Mając na uwadze przyjęty cel, jakim było wyodrębnienie optymalnej dla opisu zużycia technicznego budynków reprezentacji wskaźnika uszkodzeń widać, że na jego realizację pozwala metoda *PLSR*. Wskazuje bowiem tylko jedną składową główną, która zdecydowanie odbiega ilościowo od składowych pozostałych.

B. Wyniki analizy *PLSR* dla grupy budynków murowanych [7]

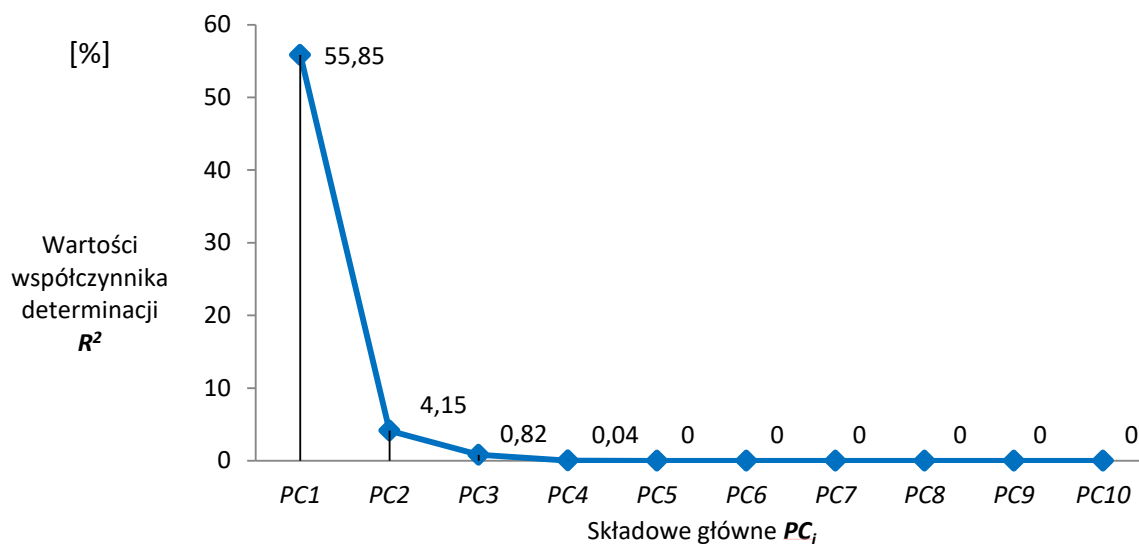
Dla murowanych budynków mieszkalnych, na podstawie stwierdzonych podczas inwentaryzacji uszkodzeń określono wskaźniki w_{ui} dla następujących elementów konstrukcyjnych i drugorzędnych [7]: ścian nośnych piwnic lub fundamentowych (w_{u2}), ścian nośnych nadziemna (w_{u3}), stropów nad piwnicami (w_{u6}), stropów 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 orynnowania (w_{u20}) oraz elementów zewnętrznych czyli wejść do budynków, podestów, tarasów, opasek (w_{u22}).

W wyniku analizy *PLSR* przeprowadzonej w środowisku *Matlab* [Matlab 2016], uzyskano dziesięć składowych PC_j przedstawionych w tabeli 6. Wyniki zaprezentowano dla danych standaryzowanych. Standaryzacja zmiennych umożliwia ocenę względnego wkładu poszczególnych wskaźników, jaki wnoszą dane uszkodzenia do odpowiedniej składowej głównej. Polega ona na przeskalowaniu zmiennych, tak aby dla każdej z nich średnia wartość była równa 0, a wariancja miała wartość 1. Współczynniki kombinacji liniowej składowych głównych występujące przy poszczególnych standaryzowanych wskaźnikach uszkodzeń oznaczono odpowiednio a_2 , a_3 itd.

Tablica 6. Zestawienie postaci kolejnych składowych PC_j oraz wpływ składowych na zmienność danej objaśnianej s_z [7]

Postaci kolejnych składowych dla danych wejściowych standaryzowanych $PC_j = a_2w_{u2} + a_3w_{u3} + a_6w_{u6} + a_7w_{u7} + a_{11}w_{u11} + a_{12}w_{u12} + a_{13}w_{u13} + a_{17}w_{u17} + a_{20}w_{u20} + a_{22}w_{u22}$										
Współczynniki kombinacji liniowej	PC_1	PC_2	PC_3	PC_4	PC_5	PC_6	PC_7	PC_8	PC_9	PC_{10}
a_2	0,28	-0,05	-0,01	0,24	-0,13	0,34	-0,04	-0,63	0,69	-0,28
a_3	0,37	-0,31	-0,02	0,27	-0,24	0,18	0,15	-0,30	-0,37	0,59
a_6	0,42	0,00	-0,11	-0,25	-0,31	0,07	-0,61	0,11	-0,12	-0,15
a_7	0,37	0,07	-0,05	0,02	0,10	0,63	-0,24	0,49	-0,28	-0,22
a_{11}	0,26	-0,70	-0,05	0,00	-0,12	-0,21	0,19	0,33	0,28	-0,03
a_{12}	0,33	-0,33	0,53	0,15	0,44	-0,40	0,03	-0,03	-0,23	-0,32
a_{13}	0,11	-0,15	0,43	-0,84	0,11	0,08	0,33	-0,28	0,00	-0,03
a_{17}	0,40	0,44	0,19	0,13	-0,35	-0,29	0,34	0,17	0,16	0,16
a_{20}	0,14	0,21	-0,57	0,07	-0,04	-0,31	0,53	-0,22	-0,30	-0,48
a_{22}	0,33	0,22	-0,39	-0,25	0,69	-0,24	-0,03	-0,05	0,24	0,37
Zestawienie wpływu poszczególnych składowych na zmienność danej objaśnianej s_z										
Wartości współczynnika determinacji R^2	55,85	4,15	0,82	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Następnie wykorzystując poszczególne składowe utworzono jednowymiarowe, liniowe modele regresji dla predykcji stopnia zużycia technicznego budynków s_z , dla których wyznaczono wartości współczynników determinacji R^2 . Graficzną interpretację wpływu poszczególnych składowych na zmienność danej objaśnianej s_z pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Graficzna interpretacja wpływu poszczególnych składowych na zmienność danej objaśnianej s_z

W wyniku analizy metodą *PLSR* wykazano [7], że wstępnym przybliżeniem uogólnionego wskaźnika uszkodzeń w_u dla murowanych budynków jednorodzinnych może być pierwsza wyłonią składowa PC_1 , wygenerowana metodą *PLSR* dana formułą (5).

$$w_u = a_2 w_{u2} + a_3 w_{u3} + a_6 w_{u6} + a_7 w_{u7} + a_{11} w_{u11} + a_{12} w_{u12} + a_{13} w_{u13} + a_{17} w_{u17} + a_{20} w_{u20} + a_{22} w_{u22} \quad [\%] \quad (5)$$

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*.

Z uzyskanych rezultatów można wnioskować, że wyznaczony uogólniony wskaźnik uszkodzeń w_u w badanej grupie murowanych budynków mieszkalnych pozwala na wyjaśnienie około 55% zmienności zawartej w obserwowanym stopniu zużycia technicznego s_z . W pozostałej części na zmienność zużycia technicznego s_z wpływa głównie zużycie naturalne związane z upływem czasu.

C. Zestawienie wyników analizy *PLSR* dla badanych grup budynków [3, 4, 5, 6 i 7]

W wyniku analizy metodą cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (*PLSR*), wykonanej dla poszczególnych grup badanych budynków uzyskano uogólnione wskaźniki uszkodzeń w_u jako kombinacje liniowe wskaźników uszkodzeń ich poszczególnych elementów składowych w_{ui} [3, 4, 5, 6 i 7]. Wykazano, że wstępnym przybliżeniem uogólnio-

nego stopnia uszkodzeń w_u dla poszczególnych grup badanych budynków może być pierwsza składowa główna, wygenerowana metodą *PLSR*. Pozwala ona wyjaśnić większość zmienności zawartej w obserwowanym stopniu zużycia technicznego s_z .

W tabeli 7 dla badanych grup zestawiono formuły uogólnionego wskaźnika uszkodzeń budynku w_u [%] oraz wyznaczone dla nich wartości współczynników determinacji R^2 . Przedstawione w tabeli 7 współczynniki kombinacji liniowych zostały uzyskane dla określonych na podstawie inwentaryzacji wartości wskaźników uszkodzeń poszczególnych elementów w_{ui} (w zakresie od 0,00 do 1,00).

W każdej z badanych grup budynków (tabela 7) uszkodzenia stwierdzone podczas inwentaryzacji, dla których określono wskaźniki w_{ui} , mogą dotyczyć innych elementów składowych, co wynika z różnic konstrukcyjnych i technologicznych.

Tabela 7. Zestawienie formuł uogólnionego wskaźnika uszkodzeń budynku w_u i wyznaczone dla nich wartości współczynników determinacji R^2 , dla badanych grup budynków [3, 4, 5, 6 i 7]

Formuła uogólnionego wskaźnika uszkodzeń budynku w_u	Współczynnik determinacji R^2 [%]
Budynki o konstrukcji murowanej, jednorodzinne	
$w_u = 0,178w_{u2} + 0,202w_{u3} + 0,334w_{u6} + 0,249w_{u7} + 0,168w_{u11} + 0,192w_{u12} + 0,105w_{u13} + 0,138w_{u17} + 0,174w_{u20} + 0,164w_{u22}$ [%]	55
Budynki o konstrukcji murowanej, wielokondygnacyjne, wielorodzinne	
$w_u = 0,076w_{u2} + 0,050w_{u3} + 0,006w_{u6} + 0,130w_{u7} + 0,092w_{u11} + 0,022w_{u12} + 0,005w_{u13} + 0,058w_{u17} + 0,031w_{u20} + 0,170w_{u22}$ [%]	37
Budynki o prefabrykowanej konstrukcji żelbetowej, wielkoblokowe	
$w_u = 0,057w_{u2} + 0,058w_{u3} + 0,064w_{u7} + 0,039w_{u11} + 0,015w_{u12} + 0,037w_{u13} + 0,044w_{u17}$ [%]	8
Budynki o prefabrykowanej konstrukcji żelbetowej, wielkopłytowe	
$w_u = 0,200w_{u2} + 0,190w_{u3} + 0,080w_{u7} + 0,203w_{u9} + 0,283w_{u11} + 0,241w_{u12} + 0,275w_{u13} + 0,101w_{u17} + 0,206w_{u18} + 0,060w_{u19} + 0,212w_{u20} + 0,053w_{u22}$ [%]	60
Budynki szkieletowe typu halowego o konstrukcji żelbetowej	
$w_u = 0,027w_{u5} + 0,019w_{u10} + 0,026w_{u11} + 0,018w_{u12} + 0,036w_{u13} + 0,019w_{u16} + 0,034w_{u17} + 0,024w_{u18} + 0,032w_{u19} + 0,037w_{u20}$ [%]	37
Budynki szkieletowe typu halowego o konstrukcji stalowej	
$w_u = 0,026w_{u11} + 0,001w_{u12} + 0,040w_{u16} + 0,027w_{u17} + 0,045w_{u18} + 0,049w_{u19} + 0,041w_{u20}$ [%]	12
Budynki typu halowego z murowanymi ścianami nośnymi	
$w_u = 0,019w_{u3} + 0,011w_{u11} + 0,027w_{u12} + 0,053w_{u13} + 0,015w_{u17} + 0,029w_{u18} + 0,048w_{u19} + 0,044w_{u20}$ [%]	40

Wykorzystując metodę cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (PLSR) wykazano, że wstępnym przybliżeniem uogólnionego stopnia uszkodzeń dla badanych grup budynków mogą być pierwsze składowe główne PC_1 , które przyczyniają się do wyjaśnienia od 8 do 60 % zmienności stopnia zużycia technicznego s_z . Zróżnicowanie wartości współczynników determinacji R^2 uzyskanych dla poszczególnych grup budynków jest związane ze specyfiką zastosowanej konstrukcji i technologii budowy, zakresem wykonanych zabezpieczeń przeciw wpływom górniczym, wiekiem obiektów, stopniem ich zużycia naturalnego oraz jakością utrzymania.

Uzyskane formuły mogą być wykorzystywane do analizy stanu technicznego budynków wzniesionych w wyżej wymienionych technologiach.

4.3.5. III etap badań - analiza wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków

W III etapie badań implementowano wyznaczony uogólniony wskaźnik w_u do analizy wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków.

A. Wyniki analizy metodą regresji wielorakiej i SVM dla grupy budynków murowanych [8]

Analiza metodą regresji wielorakiej

W pierwszym kroku badanie wpływu oddziaływań górniczych na intensywności uszkodzeń budynków przeprowadzono metodą regresji wielorakiej (*MLR – Multiple Linear Regression*).

Metoda regresji wielorakiej pozwala na łączne badanie wpływu czynników warunkujących przebieg danego procesu. Zakłada się liniową zależność między zmiennymi wejściowymi, a zmienną zależną. Przyjmując, że aproksymowaną zmienną zależną można zapisać jako kombinację liniową czynników wchodzących w opis zjawiska oraz dysponując zestawem danych obserwowanych, wyznacza się parametry modelu. Parametrami tymi są współczynniki kierunkowe występujące przy każdej zmiennej. Świadczą one o wpływie tych parametrów na przebieg aproksymowanej zmiennej zależnej. Podstawową procedurą, która umożliwia ich wyznaczenie jest metoda najmniejszych kwadratów. Metoda ta wymaga aby rozkład reszt wokół aproksymowanej powierzchni miał charakter zbliżony do normalnego. Sprawdzenia można dokonać na podstawie analizy rozkładu reszt oraz wykresu ich normalności. Dodatkowo, przy wyłanianiu parametrów modelu metodą najmniejszych kwadratów wymagane jest, aby wariancja składników losowych dla wszystkich obserwacji była taka sama oraz aby nie występowały istotne wzajemne korelacje wiążące ze sobą poszczególne zmienne wejściowe (np. [Stanisz 2007]). W efekcie uzyskuje się standaryzowane współczynniki regresji ($BETA$), współczynniki regresji (B), a także współczynniki korelacji wielorakiej R i determinacji R^2 oraz wartości błędów średniokwadratowych MSE . Wartości współczynników $BETA$ pozwalają porównać relatywne wkłady, jakie każda ze zmiennych niezależnych wnosi w predykcję zmiennej zależnej.

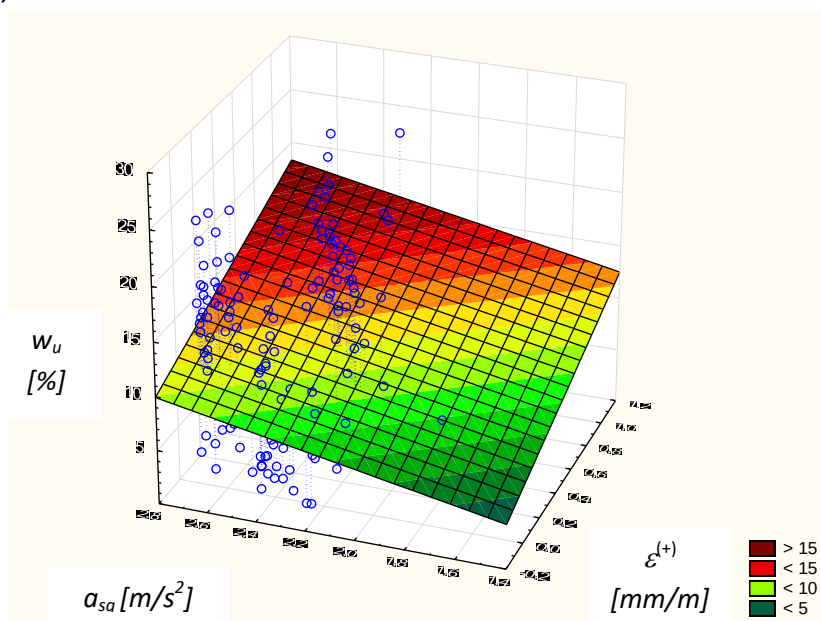
Zgodnie z przyjętymi założeniami przeprowadzono analizę zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń w_u od wskaźników oddziaływań górniczych reprezentowanych przez $\varepsilon^{(+)}$ (dla deformacji powierzchni) i a_{sg} (dla wstrząsów górniczych) – por. 4.3.2.B. Estymację parametrów modelu przeprowadzono korzystając z programu komputerowego STATISTICA [Statistica 2016]. Wyniki analizy dla grupy murowanych budynków mieszkalnych przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Wyniki badań zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń w_u od wskaźników oddziaływań górniczych $\varepsilon^{(+)}$ i a_{sg} przy użyciu metody regresji wielorakiej [8]

Czynnik (zmienna niezależna)	Standaryzowany współczynnik regresji $BETA$	Współczynnik przy zmiennej niezależnej B	Poziom istotności p	Współczynnik korelacji R	Współczynnik determinacji R^2
$\varepsilon^{(+)}$	0,201	5,99	0,005	0,229	0,052
a_{sg}	0,140	4,16	0,047		

Z przedstawionych rezultatów wynika, że oddziaływanie analizowanych czynników tłumaczy łącznie około 5 % zmienności wskaźnika intensywności uszkodzeń badanej zabudowy. Wykazano istotny wpływ oddziaływań górniczych na uszkodzenia, o czym świadczą poziomy istotności wyznaczone dla parametrów modelu odpowiadające poszczególnym czynnikom górniczym.

Na rysunku 3 przedstawiono graficznie trójwymiarowy wykres płaszczyzny dopasowania. Na wykresie widoczne są odstępstwa aproksymowanej powierzchni od danych rzeczywistych. Może to świadczyć na rzecz nieliniowości zjawiska, dlatego podjęto decyzję o przeprowadzeniu dodatkowych analiz metodą wektorów podpierających SVM (Support Vector Machine).



Rys. 3. Trójwymiarowy wykres rozrzutu z płaszczyzną dopasowania wskaźnika intensywności uszkodzeń dla $\varepsilon^{(+)}$ i a_{sg} [8]

Analiza metodą SVM dla budynków murowanych

W celu weryfikacji uzyskanych wyników zastosowano nieliniową metodę wektorów podpierających (*Support Vector Machine – SVM*). Metoda ta jest narzędziem stosowanym zarówno przy rozwiązywaniu problemów klasyfikacji, jak i regresji (np. [Burges 1998, Vapnik 1998, Łęski 2008, Schölkopf i Smola 2002, Rusek 2009 i 2012]).

Podstawową zaletą metody SVM, w odróżnieniu od sztucznych sieci neuronowych, jest jednoznaczność procesu budowy modelu oraz wysoki poziom uogólniania (generalizacji) nabytej wiedzy. Deterministyczny opis aproksymatora SVM powoduje, że zachowuje on ciągłość i różniczkowalność w dziedzinie zmiennych wejściowych.

Głównym problemem na etapie budowy modelu SVM jest ustalenie optymalnych wartości parametrów C , ϵ i σ . Parametr σ jest wynikiem przyjęcia radialnych funkcji jąder dla budowanego aproksymatora i określa ich szerokość. Z kolei parametry C i ϵ są odpowiednio stałą regularizacyjną oraz szerokością pasma tolerancji. Doboru parametrów dokonuje się za pomocą bezgradientowej metody optymalizacyjnej *Patternsearch*, w procesie n -krotnej walidacji skośnej (np. [Chang i Lin 2008]).

Uwzględniając powyższe założenia dokonano analizy intensywności uszkodzeń badanej zabudowy metodą wektorów podpierających SVM. Zestawienie podstawowych charakterystyk modelu dla grupy murowanych budynków mieszkalnych przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Zestawienie wartości podstawowych charakterystyk modelu SVM

parametr regularizacyjny C	Parametry modelu				wartość błędu MSE
	szerokość funkcji jądrowych σ	szerokość pasma tolerancji ϵ	liczba wektorów podpierających	współczynnik korelacji R	
96	0,050	0,300	77	0,302	0,00458

Przedstawione w tabeli 9 wyniki wskazują, że liczebność struktury modelu SVM (liczba wektorów podpierających – 77) zredukowana została o około 50 % w stosunku do liczebności zbioru treningowego (142). Jest to efekt regularizacji, która występuje w tego typu podejściu i świadczy na korzyść modelu w zakresie generalizacji nabytej wiedzy.

Z kolei wyznaczony na podstawie porównania obserwowanych i przewidywanych wartości w_u średniokwadratowy błąd MSE wynosi 0,00458 co świadczy o dobrej generalizacji struktury.

Uzyskana wartość współczynnika korelacji pomiędzy rzeczywistymi i aproksymowanymi wartościami wskaźnika uszkodzeń na poziomie 0,302 pozwala na wstępną ocenę łącznego wpływu czynników górniczych na zakres uszkodzeń badanych budynków.

Wynik ten jest wyższy od uzyskanego liniową metodą regresji wielorakiej co oznacza, że efekty nieliniowe w tym przypadku mają istotne znaczenie dla opisu zjawiska.

Uzyskiwane w badaniach niskie wartości współczynników determinacji wynikają z uwzględnienia w analizach zależności jedynie wpływu oddziaływań górniczych na intensywność

ność uszkodzeń budynków, z pominięciem innych potencjalnych przyczyn uszkodzeń i nieprawidłowości budowlanych - czynników w sensie statystycznym losowych, które należałoby uwzględnić budując model zjawiska.

B. Wyniki analizy metodą regresji wielorakiej i SVM dla grupy budynków wielkopłytowych

Analogiczne analizy wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń przeprowadzono dla grupy budynków o prefabrykowanej konstrukcji wielkopłytowej. Zostały one opisane w publikacji przyjętej do druku w czasopiśmie *Polish Journal of Environmental Studies* (planowany termin wydania – wrzesień 2017). Wyniki tych badań, uzyskane metodą regresji wielorakiej przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Wyniki badań zależności wskaźnika intensywności uszkodzeń w_u od wskaźników oddziaływań górniczych ε_{max} i a_{sg} przy użyciu metody regresji wielorakiej, dla grupy budynków wielkopłytowych

Czynnik (zmienna niezależna)	Standaryzowany współczynnik regresji $BETA$	Współczynnik przy zmiennej niezależnej B	Poziom istotności p	Współczynnik korelacji R	Współczynnik determinacji R^2	Wartość błędu MSE
ε_{max}	0,335	5,73	0,00135	0,532	0,283	0,00519
a_{sg}	0,421	17,69	0,00001			

Wykazano istotny wpływ oddziaływań górniczych na uszkodzenia, o czym świadczą poziomy istotności wyznaczone dla parametrów modelu odpowiadające poszczególnym czynnikom górniczym. Z przedstawionych rezultatów wynika m. in., że oddziaływanie analizowanych czynników tłumaczy łącznie około 28 % zmienności wskaźnika intensywności uszkodzeń badanej zabudowy.

Z kolei zestawienie podstawowych charakterystyk analizy SVM dla budynków wielkopłytowych zaprezentowano w tabeli 11.

Tabela 11. Zestawienie wartości podstawowych charakterystyk modelu SVM, dla grupy budynków wielkopłytowych

Parametry modelu					
parametr regularyzacyjny C	szerokość funkcji jądrowych σ	szerokość pasma tolerancji ε	liczba wektorów podpierających	współczynnik korelacji R	wartość błędu MSE
10	0,050	0,450	22	0,538	0,00525

Wyniki uzyskane metodą SVM są tu zbliżone do wartości obliczonych liniową metodą regresji wielorakiej, co oznacza że efekty nieliniowe w tym przypadku nie mają istotnego znaczenia dla opisu zjawiska. Zatem do analizy problemu dla grupy budynków wielkopłytowych możliwe jest stosowanie prostszego modelu MLR.

4.3.6. Podsumowanie

Celem wykonanych badań było opracowanie uniwersalnej metodyki oceny intensywności uszkodzeń budynków wznoszonych w różnych technologiach, poddawanych oddziaływaniom górniczym.

W badaniach wykorzystano bazę danych o konstrukcji, stanie technicznym i potencjalnych przyczynach uszkodzeń 552 budynków usytuowanych na terenie LGOM, które były poddawane wpływowi górniczym w postaci ciągłych deformacji powierzchni i wstrząsów górotworu. Wskaźniki opisujące zagrożenie zabudowy wpływami górniczymi zostały ustalone indywidualnie dla każdego budynku. Jako podstawową miarę wpływu ciągłych deformacji powierzchni przyjęto maksymalne poziome odkształcenia terenu ϵ . Z kolei w przypadku zagrożenia wstrząsami górniczymi przyjęto sumę geometryczną wartości szczytowych poziomej składowej przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia budynku a_{sg} , czyli wskaźnik stosowany do oceny wpływu wstrząsów na zużycie techniczne budynku, który pozwala uwzględnić powtarzalność oddziaływań dynamicznych.

W I etapie badań zaproponowano autorską klasyfikację intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów konstrukcyjnych i drugorzędnych, dla budynków o konstrukcji murowanej, prefabrykowanych (*wielki blok, wielka płyta*) oraz szkieletowych typu halowego [1 i 2]. Przyjęta uniwersalna skala objawowa umożliwiła ustalenie syntetycznych wskaźników intensywności uszkodzeń elementów badanych budynków w_{ui} na podstawie informacji zgromadzonych w trakcie inwentaryzacji.

Do wstępnej analizy danych [2] wykorzystano *drzewa decyzyjne*, w tym metodę *CART* (*Classification and Regression Tree*) oraz *losowego lasu* (*Random Forest*). Badania przeprowadzone dla grupy budynków typu halowego pozwoliły na usystematyzowanie wkładów poszczególnych wskaźników uszkodzeń pod kątem ich znaczenia dla opisu stopnia zużycia technicznego badanej zabudowy.

Następnie w II etapie korzystając z metody cząstkowych najmniejszych kwadratów w podejściu regresyjnym (*Partial Least Squares Regression – PLSR*), na podstawie ustalonych intensywności uszkodzeń poszczególnych elementów składowych, wyznaczono postacie uogólnionych wskaźników intensywności uszkodzeń dla poszczególnych typów budynków w_u [3, 4, 5, 6 i 7]. Metoda *PLSR* polega na iteracyjnym wyznaczaniu składowych głównych w przestrzeni zmiennych wejściowych, które następuje z ciągłym zachowywaniem związku ze zmienną zależną. Taki tok postępowania prowadzi do wyodrębnienia optymalnej kombinacji liniowej zmiennych wejściowych względem zmiennej zależnej, którą w analizowanym problemie był stopień zużycia technicznego s_z .

W III etapie badań wyznaczone uogólnione wskaźniki w_u zostały wykorzystane do analizy wpływu oddziaływań górniczych na intensywność uszkodzeń budynków wznoszonych w różnych technologiach [4, 5, 7 i 8]. Badania przeprowadzono przy użyciu analizy korelacji, metodą regresji wielorakiej (*MLR*), której wyniki zweryfikowano stosując nieliniową metodę wektorów podpierających (*Support Vector Machine – SVM*) zaliczaną do tzw. *uczenia maszynowego* (*Machine Learning*).

Na przykład dla budynków murowanych [8] analizy przeprowadzone metodą regresji wielorakiej potwierdzają istotny wpływ oddziaływań górniczych zarówno w postaci ciągłych deformacji terenu jak i wstrząsów górniczych na intensywność uszkodzeń badanych budynków. Ustalono, że uwzględnienie nieliniowości ma istotne znaczenie dla opisu zjawiska. W szczególności uwzględniając wyniki uzyskane metodą wektorów podpierających SVM, stwierdzono że oddziaływanie analizowanych czynników górniczych tłumaczy łącznie około 9 % zmienności wskaźnika intensywności uszkodzeń badanej zabudowy. Interpretując opisane rezultaty badań należy dodać, że analizowane budynki charakteryzowały się krótkim okresem eksploatacji, zabezpieczeniami przeciw wpływom górniczym wykonanymi na etapie budowy oraz z reguły dobrym stanem technicznym.

Z kolei na podstawie analogicznej analizy przeprowadzonej dla grupy budynków wielopłytowych stwierdzono, że wyniki uzyskane metodą SVM są zbliżone do wartości obliczonych liniową metodą regresji wielorakiej, co oznacza że efekty nieliniowe w przypadku tej grupy obiektów nie mają istotnego znaczenia dla opisu zjawiska.

Opisane rezultaty badań świadczą o przydatności zastosowanej metodyki do analizy zakresu i przyczyn uszkodzeń budynków wznoszonych w różnych technologiach, poddawanych oddziaływaniom górniczym lub innym oddziaływaniom środowiskowym.

Zaproponowany uniwersalny wskaźnik w_u może służyć do:

- analizy porównawczej intensywności uszkodzeń licznych grup budynków lub ich elementów,
- jakościowej i ilościowej analizy zależności między obserwowanym zakresem uszkodzeń budynków w_u a oddziaływaniami eksploatacji górniczej.

Ponadto jako element składowy zużycia technicznego może być również stosowany do oceny stopnia uciążliwości użytkowania budynków usytuowanych na terenach górniczych, a także do oceny szkód górniczych oraz prognozowania kosztów związanych z ich usuwaniem.

Proponowana metodyka stanowi pierwsze opracowanie dotyczące syntetycznej reprezentacji intensywności uszkodzeń elementów budynków wielokondygnacyjnych o konstrukcji murowanej, wykonanych w prefabrykowanych systemach uprzemysłowionych (wielki blok, wielka płyta) oraz szkieletowych typu halowego.

Przedstawione wyniki badań należy traktować jako ocenę zjawiska w skali globalnej. Stanowią one potwierdzenie efektów wcześniejszych badań przeprowadzonych dla tradycyjnej zabudowy terenów górniczych przy użyciu klasycznych metod statystycznych. Ustalenie wpływu oddziaływań górniczych na zakres uszkodzeń pojedynczego budynku wymaga dokonania indywidualnej oceny.

Literatura

1. An advanced... 2004: 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.
2. Breinman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., and Stone, C.I., 1984: Classification and regression trees. Belmont, Calif.: Wadsworth.
3. Burges C.J.C., 1998: A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. Data Mining and Knowledge Discovery, 2, 121–167 (1998), 1998 Kluwer Academic Publishers, Boston.

4. Chang C-C., Lin C-J., 2008: LIBSVM: a Library for Support Vector Machine. Software available at: <http://www.csie.nyu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
5. Cholewicki A., 2002: Budynki wielkopłytkowe – wymagania podstawowe. Zeszyt 3. Budynki wielkopłytkowe podlegające wstrząsom górniczym. Instytut Techniki Budowlanej. Seria: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 373/2002, Warszawa.
6. Ćwik J., Koronacki J., 2005: Statystyczne systemy uczące się. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
7. Dubiński J., Jaśkiewicz K., Lurka A., Mutke G. 2012: Górnicza skala intensywności sejsmicznej GSI 2004/11 dla wstrząsów górniczych, KGHM Polska Miedź S.A., Lubin.
8. EMS 1998: European Macroseismic Scale 1998. European Seismological Commission, Editor G. Grünthal, Luxembourg.
9. Firek K., 2006: Assessment of mining tremor impacts on technical wear of masonry buildings located in the Legnica-Głogów Copper District. 7. Geokinematischer Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg.
10. 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 Geokinematischer Tag, Freiberg.
11. Geladi P., Kowalski R.B., 1986: Partial least-squares regression: a tutorial. Journal: Analytica Chimica Acta - ANAL CHIM ACTA, vol. 185, no. 1, pp. 1-17.
12. Hajdasz, H., 1992: Sposoby ustalania zużycia technicznego budynków i budowli. Katowice.
13. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J., 2009: The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction. Springer Series in Statistics.
14. Hejmanowski R., Malinowska A., 2016: Significance of the uncertainty level for the modeling of ground deformation ranges. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences; ISSN 1365-1609. Vol. 83, s. 140–148.
15. Instrukcja... 2000: Instrukcja GIG nr 12. Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
16. Kawulok M., 2015: Szkody górnicze. ITB. Warszawa.
17. Kawulok, M., Selańska-Herbich, K., 2002: Budynki wielkopłytkowe – wymagania podstawowe. Zeszyt 2. Budynki wielkopłytkowe podlegające wpływom górniczych deformacji podłoża. Instytut Techniki Budowlanej. Seria: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 372/2002, Warszawa.
18. KeeSiong Ng., 2013: A Simple Explanation of Partial Least Squares. keesiong.ng@gopivotal.com. Draft, April 27, 2013.
19. Kowalski A., 2015: Deformacje powierzchni terenu w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
20. Kuźniar K., Maciąg E., Tatara T. 2014: Unormowane spektra odpowiedzi od drgań powierzchniowych wzbudzanych wstrząsami górniczymi. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, Rzeszów, (61, nr 2), 69-80.
21. Kwiatek J., 2007: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
22. Łęski J. 2008: Systemy neuronowo-rozmyte. WNT. Warszawa.
23. Lewicki B., 2002: Budynki wielkopłytkowe – wymagania podstawowe. Zeszyt 1. Metodyka oceny stanu technicznego konstrukcji budynków wielkopłytkowych. Instytut Techniki Budowlanej. Seria: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 371/2002, Warszawa.
24. Malinowska A., Hejmanowski R., 2010: Building damage risk assessment on mining terrains in Poland with GIS application. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences; ISSN 1365-1609. Vol. 47 no. 2, pp. 238–245.
25. Matlab, 2016: Matlab. The MathWorks, Inc.
26. Morzy T., 2013: Eksploracja danych. Metody i algorytmy. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
27. Niedojadło Z., 2008: Problematyka eksploatacji złoża miedzi z filarów ochronnych szybów w warunkach LGOM. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
28. Ochrona obiektów..., 1997: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych., Praca zbiorowa pod kierunkiem J. Kwiatka, Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.

29. Olszewska D. 2008: Ocena efektów lokalnych i struktury częstotliwościowej sygnałów sejsmometrycznych dla poprawy dokładności prognozy rozprzestrzeniania drgań wzbudzanych wstrząsami górniczymi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica. Rozprawa doktorska, Kraków.
30. Osowski S., 2013: Methods and tools for data mining. Publishing house BTC. Warsaw.
31. Ostanin A., 2007: Informatyka z matlabem. Białystok Wydawnictwo Politechniki Białostockiej.
32. Ostrowski, J., Ćmiel A., 2008: The use of a logit model to predict the probability of damage to building structures in mining terrains. Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Vol. 53, No 2, Kraków
33. Popiołek E., 2009: Ochrona terenów górniczych. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
34. Popiołek E., Kłeczek Z., Niedojadło Z., Hejmanowski R., Skobliński W., Sopata P., Stoch T., Wójcik A. 2015: An analysis of the interaction during simultaneous use of copper ore and salt deposits in the LGOM mines with regard to displacement and deformation of rock mass. Archives of Mining Sciences; ISSN 0860-7001. Vol. 60 no. 2, s. 535–548.
35. Prawo budowlane, 1994: Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz.U. nr 89, poz. 414) z późniejszymi zmianami. Tekst jednolity: Dz.U. 2013, nr 142, poz. 1409.
36. Rosipal R., Kramer N., 2006: Overview and Recent Advances in Partial Least Squares. In Subspace, Latent Structure and Feature Selection Techniques. Saunders C., Grobelnik M., Gunn S., Shawe-Taylor J. (eds.), Springer, pp. 34-51.
37. Rusek J., 2009: Creating a model of technical wear of building in mining area, with utilization of regressive SVM approach. Archives of Mining Sciences. Wydawnictwo Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Vol. 54, Iss. 3, Kraków.
38. 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. Krakow.
39. Schölkopf B., Smola A.J., 2002: Learning with Kernels. Cambridge, MIT Press. Massachusetts.
40. Stanisław A., 2007: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków.
41. Statistica 2016: Statistica 12. StatSoft, Inc.
42. Tatara T. 2012: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
43. Tatara T., 2002: Działania drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, Inżynieria Lądowa, nr 74.
44. Vapnik V., 1998: Statistical learning theory. John Wiley & Sons, New York.
45. Warunki techniczne, 2002: Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002, nr 75, poz. 690) z późniejszymi zmianami.
46. Wise B.M., 2015: Properties of Partial Least Squares (PLS) Regression, and Differences between Algorithms. Technical Report. Eigenvector Research, Inc.: Manson, WA, USA.
47. Wodyński A., 2007: Zużycie techniczne budynków na terenach górniczych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków.
48. 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.
49. Wodyński A., Firek K., Rusek J., 2010: Metoda wektorów podpierających (SVM) w modelowaniu zużycia technicznego budynków wielkopłytowych na terenach górniczych. Przegląd Górniczy, t. 66, nr 10/2010, Katowice.
50. Wodyński A., Lasocki S., 2003: Badanie wpływu wstrząsów górniczych na zużycie techniczne budynków murowanych. Przegląd Górniczy nr 12, Katowice.
51. Wold S., Sjostrom M., Eriksson L., 2001: PLS-regression: a basic tool of chemometrics. Chemometrics and Laboratory Systems 58 (2001), s. 109-103.
52. Zembaty Z. 2010: Rola prędkości w ocenie intensywności wstrząsów górniczych. Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko, nr 4/4.

5. WYKAZ INNYCH OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH NIE WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA WYMIENIONEGO W PKT 4.2

Szczegółowy wykaz opublikowanych prac naukowych i dorobku naukowego znajduje się w załączniku 5.

Moja dotychczasowa działalność naukowa obejmowała:

- współautorstwo 3 **projektów badawczych KBN**,
- kierowanie 4 **projektami badawczymi własnymi** realizowanymi na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH,
- udział w **badaniach statutowych** Katedry Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH (w latach od 1997 do 2017),
- współautorstwo 10 **prac naukowo-badawczych dla przemysłu**.

Zestawienie wykonywanych projektów badawczych

Rodzaj projektu	Liczba projektów		
	przed doktoratem	po doktoracie	razem
Projekt badawczy krajowy KBN	1	2	3
Projekt badawczy własny realizowane na WGGiIŚ AGH	2	2	4
Badania statutowe Katedry Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa WGGiIŚ AGH (od 1997 do 2017)	8	12	20
Praca naukowo-badawcza realizowana dla przemysłu	5	5	10

Moja działalność naukowa dotyczy głównie problematyki:

- A.** Zagrożenia obiektów budowlanych i inżynierskich usytuowanych na terenach górniczych oraz zagadnień związanych z oceną ich trwałości i zużycia technicznego.
- B.** Oddziaływania środowiska przemysłowego na bezpieczeństwo obiektów budowlanych.
- C.** Analizy problemów techniczno-prawnych dotyczących procesu inwestycyjnego i eksploatacji obiektów budowlanych.

Ad. A. W zakresie analizy wpływu eksploatacji górniczej na zabudowę powierzchni, a w szczególności na bezpieczeństwo lub zużycie techniczne i trwałość obiektów budowlanych, opublikowano następujące artykuły i referaty (numeracja według tabeli w załączniku 5): 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 25, 29, 35, 36 i 37. Z tego zestawu w załączniku 6 przedstawiono kserokopie czterech wybranych artykułów:

- 10. **Firek K.**, Wodyński A.: Jakościowa i ilościowa ocena wpływu oddziaływań górniczych na tradycyjną zabudowę terenów górniczych. Archives of Mining Sciences; 2011 vol. 56 no. 2.

11. Barycz S., **Firek K.**, Kocot W., Malinowska A.: Wpływ zabezpieczeń profilaktycznych na stan techniczny budynku sakralnego usytuowanego na terenie górniczym. Archives of Mining Sciences, 2016 vol. 61 no. 2.
13. **Firek K.**: Ocena wpływu wstrząsów górniczych na zużycie techniczne budynków murowanych usytuowanych na terenie LGOM. 7. Geokinematisher Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie, 2006, Freiberg.
16. **Firek K.**, Wodyński A.: Wpływ zabezpieczeń profilaktycznych oraz remontów na zużycie tradycyjnej zabudowy terenów górniczych. Problemy naukowo-badawcze budownictwa. T. 3, Materiały, technologie i organizacja w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2007 Białystok.

Ad. B. Z kolei na temat oddziaływania środowiska przemysłowego na bezpieczeństwo obiektów budowlanych przygotowano następujące publikacje: 21, 24 28, 30, 32 i 34. Dla przykładu w załączniku 6 przedstawiono kserokopie następujących artykułów:

24. **Firek K.**, Barycz S., Kocot W., Witkowski M.: Ocena uszkodzeń typowej prefabrykowanej hali magazynowej. Geomatics and Environmental Engineering; 2013 vol. 7 no. 3.
34. Barycz S., **Firek K.**, Kocot W.: Rola badań cech technicznych betonu do oceny prognozowanej trwałości masywnych konstrukcji żelbetowych na przykładzie fundamentów pod turbozespoły. Geomatics and Environmental Engineering; 2015 vol. 9 no. 3.

Ad. C. W przypadku analizy problemów techniczno-prawnych dotyczących z procesu inwestycyjnego i eksploatacji obiektów budowlanych wyniki przedstawiono w artykułach 20, 26, 27 i 31. W załączniku 6 znajdują się kserokopie następujących artykułów:

20. **Firek K.**, Zgórski K.: Wybrane problemy prawne związane z przygotowaniem inwestycji drogowych. Geomatics and Environmental Engineering; 2010 vol. 4 no. 1/1.
31. **Firek K.**, Oruba R., Wodyński A.: Problemy związane z kwalifikacją wybranych budowli przemysłowych w aspekcie naliczania podatku od nieruchomości. Geomatics and Environmental Engineering; 2015 vol. 9 no. 4.

Łącznie mój **dorobek naukowy stanowi 49 artykułów** i referatów opublikowanych w czasopismach naukowych oraz wygłoszonych na konferencjach i sympozjach naukowych krajowych i zagranicznych. Z tego **42** prace zostały opublikowane po doktoracie, w tym **8** w czasopismach z bazy JCR (Lista A MNiSW i Impact Factor).

W latach 2003, 2006, 2012 oraz 2016 zostałem wyróżniony **nagrodą w Rektora AGH** za działalność naukową.

Zestawienie publikacji po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych

Rodzaj osiągnięcia	Liczba publikacji po doktoracie	Punktacja
Rozdziały w książkach lub monografiach	1	-
Artykuły w czasopismach z bazy JCR (Lista Filadelfijska i Impact Factor)	8	120
Artykuły w czasopismach punktowanych z listy MNiSW (poza bazą JCR)	16	113
Artykuły w czasopismach niepunktowanych	2	0
Referaty na konferencjach międzynarodowych (w tym zarejestrowane w bazie Web of Science)	10	95
Referaty na konferencjach krajowych	5	0
SUMA:	42	328

Zestawienie czasopism, w których opublikowano artykuły wchodzące w skład dorobku naukowego

Czasopisma	Liczba publikacji
Archives of Mining Sciences	5
Polish Journal of Environmental Studies	2
Gospodarka Surowcami Mineralnymi	1
Journal Of Civil Engineering, Environment And Architecture	1
Przegląd Górniczy	3
Przegląd Budowlany	2
Materiały Budowlane	2
Geomatics and Environmental Engineering (poprz. Geodezja oraz Inżynieria Środowiska)	11
Czasopismo Techniczne, Politechnika Krakowska	1
Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie	1
SUMA	29

Liczba cytowanych publikacji oraz Indeks Hirscha

Bazy danych	Liczba publikacji	Liczba cytowań	Indeks Hirscha
Web of Science	12	3	1
Scopus*	11	8	2
Publish or Perish*	21	19	3
Google Scholar*	30	37	4

*bazy zawierają autocytowania

**Sumaryczny Impact Factor według listy Journal Citation Reports,
zgodnie z rokiem opublikowania**

Miejsce publikacji	Impact Factor
Archives of Mining Sciences, 2009	0,306
Archives of Mining Sciences, 2011	0,350
Archives of Mining Sciences, 2015	0,448
Archives of Mining Sciences, 2016	0,448
Polish Journal of Environmental Studies, 2016, 1)	0,790
Polish Journal of Environmental Studies, 2016, 2)	0,790
Archives of Mining Sciences, 2017	0,448
SUMA	3,580

6. INFORMACJE O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, WSPÓŁPRACY Z INSTYTUCJAMI NAUKOWYMI I DZIAŁALNOŚCI POPULARYZUJĄCEJ NAUKĘ

Szczegółowy opis osiągnięć dydaktycznych, współpracy z instytucjami naukowymi oraz działalności popularyzującej naukę znajduje się w załączniku 7.

- I. W latach 2002-2017 uczestniczyłem w 25 międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowo-technicznych.
- II. Od roku 2012 jestem przewodniczącym Koła Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa (PZITB) przy AGH, a od marca 2016 roku pełnię funkcję wiceprzewodniczącego Małopolskiego Oddziału Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa w Krakowie.
- III. W latach 2012 i 2015 organizowałem spotkania informacyjne dla studentów Wydziału Geodezji Górniczej i Środowiska oraz Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH na temat uprawnień budowlanych.
- IV. Reprezentowałem Małopolski Oddział PZITB na konferencjach technicznych stowarzyszeń zawodowych inżynierów budownictwa z krajów Grupy Wyszehradzkiej V-4, organizowanych przy współpracy Uniwersytetu Technicznego w Ostrawie (w roku 2014) oraz Uniwersytetu w Miskolcu (w roku 2016).
- V. W ramach działalności w Zarządzie PZITB brałem udział w organizacji konferencji: XXXII Ogólnopolskie „Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji”. 7-10 marca 2017, Wisła.
- VI. W roku 2017 otrzymałem złotą odznakę honorową Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa.
- VII. Od roku 2016 jestem członkiem Polskiej Grupy Inżynierii Sejsmicznej i Parasejsmicznej.

- VIII. W roku 2000 ukończyłem Studium Doskonalenia Dydaktycznego dla Asystentów w Instytucie Nauk Społecznych AGH.
- IX. W ramach pracy pedagogicznej prowadziłem ćwiczenia i wykłady na studiach dziennych, zaocznych i podyplomowych na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Geoinżynierii oraz Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH.
- X. Mój dorobek dydaktyczny obejmuje opracowanie autorskiego programu dla kilku nowych przedmiotów oraz prowadzenie wykładów i ćwiczeń z tych przedmiotów.
- XI. Byłem promotorem lub recenzentem ponad 100 prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich wykonywanych przez studentów AGH na kierunkach: Budownictwo, Geodezja i Kartografia oraz Inżynieria Środowiska.
- XII. Jestem współautorem 2 artykułów przygotowanych wspólnie z dyplomantami (nr 20 i 33 według tabeli w załączniku 5) opublikowanych w czasopiśmie *Geomatics and Environmental Engineering* w latach 2010 i 2015. Byłem opiekunem naukowym referatu przygotowanego przez studenta WGGiŚ AGH na sesję studenckich kół naukowych w roku 2009.
- XIII. W okresie od roku 2009 do 2011 odbyłem staż zawodowy na stanowisku inżyniera budowy w Centrum Inwestycji Budowlanych CENTRBUD w Pszowie k/Wodzisławia Śląskiego.
- XIV. W latach 2001-2016 byłem współautorem 20 ekspertyz, opinii technicznych i ocen stanu technicznego realizowanych dla przemysłu. W 6-ciu pracach pełniłem funkcję kierownika zespołu.

Zestawienie ekspertyz, opinii technicznych i ocen stanu technicznego realizowanych dla przemysłu

Charakter udziału w pracy	Liczba prac		
	przed doktoratem	po doktoracie	razem
kierownik zespołu	-	6	6
wykonawca (współautor)	2	18	20

- XV. Projekty badawcze, ekspertyzy i opinie techniczne afiliowane przez AGH, które wykonywałem na zamówienie podmiotów gospodarczych były inspiracją do podejmowania kolejnych badań oraz umożliwiły przygotowanie publikacji naukowych (np. nr 11, 21, 24, 26, 28, 32 i 34 według tabeli w załączniku 5). Kilka z nich zostało opracowanych wspólnie z przedstawicielami instytucji zlecających.

