

## **Spis treści załącznika 1c**

<b>1. Imię i nazwisko .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych .....</b>	<b>2</b>
<b>4. Wskazanie osiągnięcia 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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):.....</b>	<b>2</b>
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	2
4.2. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe .....	2
4.3. Omówienie celu naukowego cyklu publikacji oraz osiągniętych wyników .....	4
a) Wprowadzenie .....	4
b) Przedmiot, cel i zakres cyklu publikacji powiązanych tematycznie.....	7
c) Omówienie osiągniętych wyników .....	8
d) Podsumowanie.....	29
<b>5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych .....</b>	<b>30</b>
<b>6. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych po uzyskaniu stopnia doktora..</b>	<b>33</b>
6.1. Osiągnięcia naukowo-badawcze w obszarze nauk technicznych .....	33
6.2. Osiągnięcia naukowo-badawcze we wszystkich obszarach wiedzy .....	34
<b>7. Omówienie działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej oraz współpracy międzynarodowej po uzyskaniu stopnia doktora.....</b>	<b>38</b>

**1. Imię i nazwisko:** Łukasz Sadowski

**2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe**

- dyplom magistra inżyniera budownictwa, Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, 2007,
- stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo, Politechnika Wroclawska, Instytut Budownictwa, 2013. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Nieniszcząca ocena zespolenia warstw betonowych w podłogach z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych* (promotor: prof. Jerzy Hoła).

**3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

- od 2011 do 2013 - asystent naukowo-dydaktyczny, Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego,
- od 2013 - adiunkt naukowo-dydaktyczny, Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego.

**4. Wskazanie osiągnięcia 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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):**

**4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Podstawą do ubieganie się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jest cykl publikacji powiązanych tematycznie pt.: **Identyfikacja poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym.**

**4.2. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe**

W skład osiągnięcia naukowego wchodzi **12** artykułów, stanowiących cykl publikacji powiązanych tematycznie, opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports (JCR), w latach 2015-2018, z których 2 są samodzielne a w 9 zespołowych jestem pierwszym autorem. Zespołowość opublikowanych prac jest między innymi rezultatem podjętej przeze mnie współpracy badawczej i prowadzonych dyskusji naukowych z badaczami z ośrodków naukowych krajowych i zagranicznych. We wszystkich 12 artykułach byłem pomysłodawcą, koordynatorem badań, autorem do korespondencji (ang. *corresponding author*) i w związku z tym prowadziłem krytyczne polemiki z recenzentami prac. Większość z tych artykułów powstało w wyniku realizacji kierowanego przeze mnie projektu badawczego krajowego nr. 2014/15/D/ST8/00550 p.t.: *Ocena zespolenia warstw betonowych o zmiennej grubości na podstawie badań nieniszczących z wykorzystaniem sztucznej inteligencji* finansowanego w ramach konkursu SONATA 8 ze środków Narodowego Centrum Nauki w Krakowie (2015 – 2018).

Artykuły te wyszczególniłem poniżej w kolejności chronologicznej, z podaniem danych bibliograficznych oraz wartości współczynnika impact factor (IF):

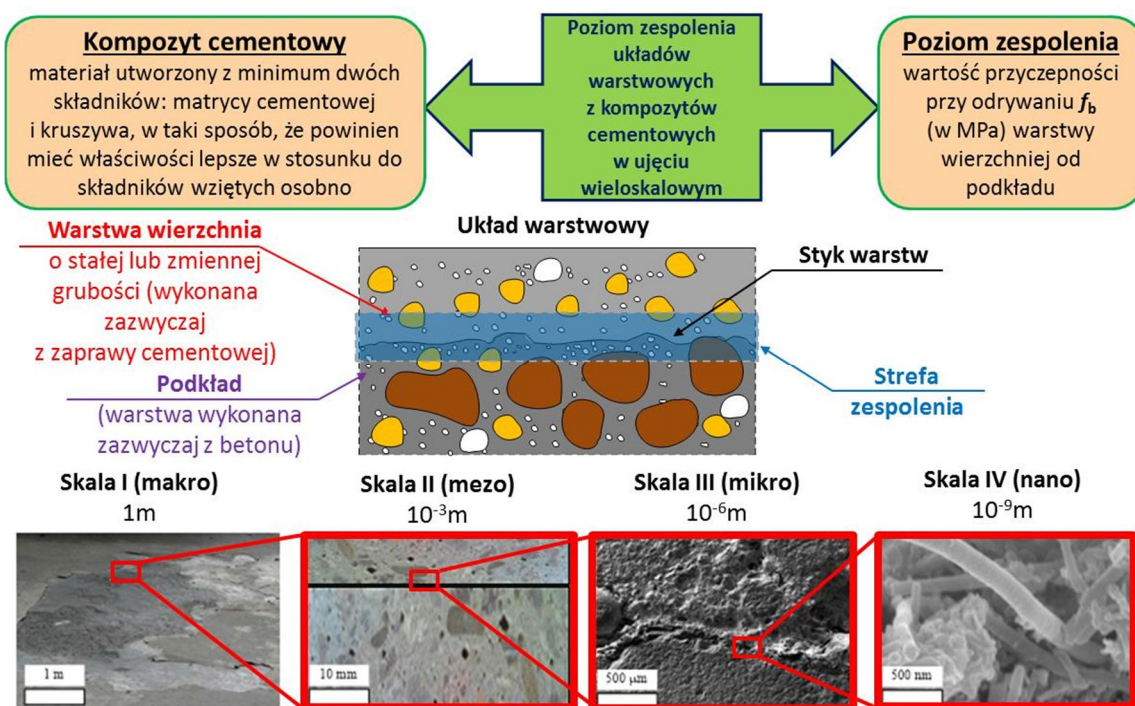
1. **Sadowski Ł.**, Żak A., Hoła J., 2018, Multi-sensor evaluation of the concrete within the interlayer bond with regards to pull-off adhesion, Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 18 (2), s. 573-582, **IF = 2,216**.
2. **Sadowski Ł.**, Hoła J., Czarnecki S., Wang D., 2018, Pull-off adhesion prediction of variable thick overlay to the substrate, Automation in Construction, vol. 85, s. 10-23, **IF = 2,919**.
3. **Sadowski Ł.**, 2018, Methodology of the assessment of the interlayer bond in concrete composites using NDT methods. Journal of Adhesion Science and Technology, vol. 32 (2), s. 139-157, **IF = 1,073**.
4. **Sadowski Ł.**, Stefaniuk D., 2018, The effect of surface treatment on the microstructure of the skin of concrete. Applied Surface Science, vol. 427PB, s. 934-941, **IF = 3,387**.
5. **Sadowski Ł.**, 2017, Multi-scale evaluation of the interphase zone between the overlay and concrete substrate: methods and descriptors, Applied Sciences, vol. 7 (9), art. 893, **IF = 1,726**.
6. **Sadowski Ł.**, Nikoo M., Nikoo M., 2017, Hybrid Metaheuristic-Neural Assessment of the Adhesion in Existing Cement Composites, Coatings, vol. 7(4), art. 49, **IF = 2,175**.
7. **Sadowski Ł.**, Stefaniuk D., Hoła J., 2017, The effect of the porosity within the interfacial zone between layers on pull-off adhesion, Construction and Building Materials, vol. 152, s. 887-897, **IF = 3,169**.
8. **Sadowski Ł.**, Stefaniuk D., 2017, Microstructural Evolution within the Interphase between Hardening Overlay and Existing Concrete Substrates, Applied Sciences, vol. 7 (2), art. 123, **IF = 1,679**.
9. **Sadowski Ł.**, Hoła J., Czarnecki S., 2016, Non-destructive neural identification of the bond between concrete layers in existing elements, Construction and Building Materials, vol. 127, s. 49-58, **IF = 3,169**.
10. **Sadowski Ł.**, Mathia T. G., 2016, Multi-scale metrology of concrete surface morphology: fundamentals and specificity, Construction and Building Materials, vol. 113, s. 613-621, **IF = 3,169**.
11. Hoła J., **Sadowski Ł.**, Reiner J., Stach S., 2015, Usefulness of 3D surface roughness parameters for nondestructive evaluation of pull-off adhesion of concrete layers, Construction and Building Materials, vol. 84, s. 111-120, **IF = 3,169**.
12. **Sadowski Ł.**, Nikoo M., Nikoo M., 2015, Principal Component Analysis combined with a Self Organization Feature Map to determine the pull-off adhesion between concrete layers, Construction and Building Materials, vol. 78, s. 386-396, **IF = 2,265**.

Kopie artykułów stanowiących cykl publikacji powiązanych tematycznie wraz z oświadczeniami współautorów i wyszczególnieniem wkładu indywidualnego autorów, zamieściłem w Załączniku 3.

#### 4.3. Omówienie celu naukowego cyklu publikacji oraz osiągniętych wyników

##### a) Wprowadzenie

Przez kompozyt cementowy należy rozumieć materiał utworzony z minimum dwóch składników: matrycy cementowej i kruszywa, w taki sposób, że powinien mieć właściwości lepsze w stosunku do składników wziętych osobno. Stosowane w budownictwie układy warstwowe wykonane z kompozytów cementowych składają się najczęściej z warstwy wierzchniej o stałej lub zmiennej grubości wykonanej zazwyczaj z zaprawy cementowej oraz z podkładu, do budowy którego wykorzystywany jest przede wszystkim beton (rys. 1). Układy warstwowe mogą być nowo budowane (np. podłogi) lub istniejące. Mogą to też być elementy betonowe naprawiane, które po naprawie powierzchniowej, polegającej na nałożeniu warstwy naprawczej, stają się układem warstwowym. Poprawna praca oraz trwałość układów warstwowych z kompozytów cementowych istotnie zależy od należytego poziomu ich zespolenia. Przez poziom zespolenia należy rozumieć wartość przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  (w MPa). Jest ona oceniana w praktyce metodą odrywania i porównywana z wartością minimalną zdefiniowaną albo normowo albo przez projektanta. Przez ujęcie wieloskalowe należy rozumieć badania poziomu zespolenia w skalach od makro do nano.



Rys. 1. Wyjaśnienie podstawowych pojęć zawartych w tytule cyklu publikacji powiązanych tematycznie

Dużą niedogodnością metody odrywania jest to, że w każdym punkcie badawczym powstaje po zakończeniu badania ubytek wymagający uzupełnienia. Wymaga się ponadto, aby 1 pomiar kontrolny przypadał na powierzchnię wynoszącą około  $3\text{m}^2$ . W praktyce mankamenty te mają wpływ na ograniczenie liczby koniecznych do wykonania pomiarów kontrolnych. Dlatego uzasadnione jest badanie poziome zespolenia metodami nieniszczącymi.

Mając na uwadze poprawną pracę oraz trwałość układów warstwowych wykonanych z kompozytów cementowych, w ostatnim czasie coraz częściej podejmowane są działania w kierunku zwiększenia przyczepności  $f_b$  ponad wymaganą wartość minimalną. Dotyczą one na przykład stosowania specjalnego przygotowania powierzchni podkładu, powodującego zwiększenie efektywnej powierzchni rozwinięcia, usunięcie mleczka cementowego lub powierzchniowe odsłonięcie kruszywa. Podejmowane działania dotyczą również stosowania środków szepnych oraz modyfikacji struktury porów powietrznych kompozytów cementowych użytych do wykonania poszczególnych warstw. Wpływ danego działania na poziom zespolenia oceniany metodą odrywania w skali makro nie daje możliwości głębszej analizy rezultatu.

W ocenie wpływu tych wymienionych wyżej przykładowych działań na poziom zespolenia bardzo pomocne mogą być badania w ujęciu wieloskalowym. Rezultaty tych badań mogą w istotnym stopniu wspomagać podejmowanie decyzji w kwestii świadomego wyboru konkretnego zabiegu, czy też środka szepnego znacząco poprawiającego przyczepność, doboru danego rodzaju dodatku czy też domieszki pozytywnie ingerujących w strukturę kompozytu cementowego. Poszukiwanie relacji pomiędzy cechami kompozytów cementowych w strefie zespolenia warstw określanymi w skali makro, a cechami określanymi w skalach mezo, mikro i nano wydaje się być w tej sytuacji nie tylko interesujące, ale przede wszystkim zasadne. Relacje te mogą mieć duże znaczenie w praktyce, bo mogą pozwolić uzyskiwać pożądane cechy makroskopowe przez odpowiednie modelowanie struktury. Obecnie udoskonalanie zespolenia w skali makro jest wykonywane zazwyczaj empirycznie, tzn. wiele próbek o różnych mikrostrukturach jest wytwarzanych i testowanych, dopóki nie zostaną uzyskane żądane cechy.

W rozprawie doktorskiej, którą obroniłem z wyróżnieniem w 2013 roku, zajmowałem się nieniszczącą oceną zespolenia warstw betonowych w podłogach na podstawie wyników badań doświadczalnych analizowanych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (SSN). Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz wykazałem, że do nieniszczącej identyfikacji wartości przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  warstw betonowych wierzchniej od podkładowej w podłogach nadaje się SSN wielowarstwowa z wsteczną propagacją błędów i algorytmem uczenia Quasi-Newtona. Dokonałem tego na podstawie badań prowadzonych w skali makro, wykorzystując najprostsze do uzyskania parametry amplitudowe opisujące

morfologię powierzchni podkładu i parametry akustyczne uzyskane na powierzchni warstwy wierzchniej, których wartości są pośrednio powiązane (uzależnione) od tego jak ukształtowana jest strefa zespolenia warstw. Wykazałem w rozprawie brak korelacji pomiędzy poszczególnymi, ale analizowanymi pojedynczo, parametrami a  $f_b$ . Opracowałem metodykę pozwalającą na wiarygodną identyfikację wartości  $f_b$  warstw betonowych wierzchniej od podkładowej w podłogach, z wykorzystaniem do tego celu SSN kojarzących ze sobą różne parametry oceniane metodami nieniszczącymi.

Wyniki badań zrealizowanych na etapie doktoratu, zostały opublikowane w 6 artykułach w czasopismach znajdujących się w bazie JCR, w tym w 5 artykułach po uzyskaniu stopnia doktora [19, 20, 21, 24, 26 w Zał. 3], nie wchodzących w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie. Za publikacje te otrzymałem w 2015 roku wyróżnienie w postaci medalu Wrocławskiego Oddziału Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu, w konkursie *Iuvenes Wratislaviae*. Podczas realizacji doktoratu powstało także rozwiązanie patentowe [11 w Zał. 4] zgłoszone do Urzędu Patentowego dnia 10.04.2012 pod nr 398785, nie wchodzące w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie. W podsumowaniu rozprawy doktorskiej zdefiniowałem najistotniejsze według mnie, na tamtą chwilę, kierunki dalszych badań, znacznie poszerzające tematykę ujętą w doktoracie.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych w wyniku prowadzonego rozpoznania literaturowego, zmodyfikowałem zawarte w rozprawie doktorskiej kierunki dalszych badań. Opracowałem plan badań, który w dużej części stał się podstawą do złożenia wniosku o sfinansowanie badań w ramach projektu badawczego krajowego p.t.: *Ocena zespolenia warstw betonowych o zmiennej grubości na podstawie badań nieniszczących* w konkursie SONATA 8 ogłoszonego przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) w Krakowie [1 w Zał. 5]. Po pozytywnych recenzjach w 2015 roku uzyskałem finansowanie w tym konkursie na lata 2015 – 2018 i jako kierownik tego projektu rozpocząłem jego realizację. Ponadto plan ten, wzbogacony o dotychczas posiadany dorobek publikacyjny, stał się podstawą do złożenia przeze mnie wniosku o przyznanie stypendium dla wybitnych młodych uczonych START Fundacji na rzecz Nauki Polskiej oraz wniosku o przyznanie stypendium Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców. Obydwa te stypendia, przydzielane w trybie konkursowym, otrzymałem w 2015 roku. Stypendium START Fundacji na rzecz Nauki Polskiej otrzymałem na jeden rok, a stypendium Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na trzy lata. Uzyskanie przede wszystkim grantu badawczego z NCN upewniło mnie o słuszności obranych kierunków dalszych badań.

## **b) Przedmiot, cel i zakres cyklu publikacji powiązanych tematycznie**

Przedmiotem cyklu publikacji powiązanych tematycznie są rezultaty doświadczalnych badań i analiz poziomu zespolenia warstw z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym. W celu możliwości porównywania wyników wielowątkowych badań, w tym również tych uzyskiwanych w różnych skalach, badaniami poddane zostały modelowe układy warstwowe, których warstwa wierzchnia o grubości od 25 do 60 mm wykonana została we wszystkich przypadkach z zaprawy cementowej klasy C20/25 o maksymalnej wielkości ziarna kruszywa kwarcowego równej 2 mm, a podkład z betonu klasy C30/37 o maksymalnej wielkości ziarna kruszywa łamanego bazaltowego do 8 mm. Prace doświadczalne zrealizowałem w czterech etapach, w których strefa zespolenia poddawana była badaniom w różnych skalach (makro, mezo, mikro i nano). Program badań w kolejnych etapach, uszczegóławiałem czerpiąc z doświadczeń, które zdobyłem realizując wcześniejsze etapy.

Celem ogólnym cyklu publikacji powiązanych tematycznie jest identyfikacja poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym, na podstawie badań doświadczalnych i analiz numerycznych. W szczególności celem przeprowadzonych badań i analiz było przede wszystkim:

- analiza przydatności niestosowanych dotychczas narzędzi sztucznej inteligencji i algorytmów uczenia do wiarygodnej oceny poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie badań nieniszczących,
- opracowanie metodyki wiarygodnej oceny poziomu zespolenia w nowo budowanych układach warstwowych o dowolnej grubości warstwy wierzchniej oraz w istniejących układach warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie badań nieniszczących,
- ustalenie, czy do oceny poziomu zespolenia układów warstwowych mogą być przydatne oprócz parametrów amplitudowych parametry przestrzenne, hybrydowe i objętościowe opisujące w skali mezo morfologię powierzchni podkładu betonowego,
- uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy opisywane w skali mezo rozwinięcie powierzchni podkładu betonowego i stopień odsłonięcia na niej kruszywa mają wpływ na poziom zespolenia układów warstwowych,
- ocena struktury porów powietrznych w skali mikro oraz składu chemicznego kompozytu cementowego w skali nano w strefie zespolenia wraz z określeniem ich wpływu na poziom zespolenia układów warstwowych,
- opracowanie skutecznej metodyki badań poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym, w tym wskazanie przydatnych do tego celu metod badawczych i deskryptorów.

W pierwszej pracy cyklu [12 w Zał. 3a] przedstawiłem analizę możliwości wykorzystania niestosowanych dotychczas narzędzi sztucznej inteligencji i algorytmów uczenia przydatnych do oceny poziomu zespolenia układów warstwowych na podstawie badań nieniszczących. Następnie w trzech pracach cyklu [2, 6 i 9 w Zał. 3a] zająłem się wykazaniem możliwości oceny poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w układach warstwowych nowo budowanych o dowolnej grubości warstwy wierzchniej oraz w układach warstwowych istniejących o stałej grubości warstwy wierzchniej, także z wykorzystaniem badań nieniszczących i sztucznej inteligencji. Podsumowaniem moich dociekań w tym zakresie jest praca [3 w Zał. 3a] zawierająca opracowaną własną metodykę takich badań. Po serii badań przeprowadzonych w skali makro przystąpiłem do wykonania badań zespolenia w skalach mezo, mikro i nano.

Następne trzy prace cyklu, [10, 11 i 1 w Zał. 3a], dotyczą badań prowadzonych w skali mezo. I tak, praca [10 w Zał. 3a] dotyczy sprecyzowania podstaw badania morfologii powierzchni podkładu betonowego. Praca [11 w Zał. 3a] zawiera rezultaty badań mających na celu wykazanie, że parametry przestrzenne, hybrydowe i objętościowe opisujące morfologię powierzchni podkładu mogą być przydatne do oceny poziomu zespolenia układów warstwowych. Z kolei, pierwsza część pracy [1 w Zał. 3a] dotyczy oceny wpływu rozwinięcia powierzchni podkładu betonowego i stopnia odsłonięcia na niej kruszywa na poziom zespolenia.

Następne trzy prace cyklu dotyczą opisanie w skali mikro struktury porów powietrznych kompozytu cementowego w strefie zespolenia, w tym określenia wpływu tej struktury na poziom zespolenia układów warstwowych [4, 7 i 8 w Zał. 3a]. Z kolei druga część pracy [1 w Zał. 3a] poświęcona jest badaniom w skali nano dotyczącym oceny wpływu składu chemicznego kompozytu cementowego w strefie zespolenia warstwy wierzchniej z podkładem na poziom zespolenia.

Natomiast praca [5 w Zał. 3a] podsumowuje cykl publikacji powiązanych tematycznie i zawiera opracowaną skuteczną metodykę badań poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym, wraz ze wskazaniem przydatnych do tego celu metod badawczych i ocenianych tymi metodami deskryptorów.

### **c) Omówienie osiągniętych wyników**

Zgodnie z opracowanym planem poszerzyłem w pierwszej kolejności badania nad możliwościami wykorzystania narzędzi sztucznej inteligencji i algorytmów uczenia o inne w stosunku do wykorzystanych w rozprawie doktorskiej do nieniszczącej oceny poziomu zespolenia (w rozumieniu identyfikacji wartości  $f_b$ ) układów warstwowych z kompozytów cementowych. Chodziło mi o wykazanie na podstawie badań, czy te inne narzędzia sztucznej inteligencji mogą być bardziej przydatne do wiarygodnej identyfikacji poziomu



zespolenia, w stosunku do SSN wykorzystanych do tego celu na etapie doktoratu. Badania poprzedziłem przeszukaniem literatury, w wyniku którego wytypowałem niestosowaną do tej pory do tego celu sztuczną inteligencję w postaci samoorganizujących się map cech (SOFM). Nawiązałem współpracę z Mehdim i Mehردادem Nikoo z *Azad University* w Iranie na etapie przeprowadzenia analiz numerycznych z wykorzystaniem SOFM. Aby móc porównać rezultaty prowadzonych badań z rezultatami uzyskanymi w rozprawie doktorskiej do analiz wykorzystałem fragment bazy danych zawartej w rozprawie doktorskiej, składającej się z rezultatów badań nieniszczących i seminieniszczących modelowego układu warstwowego odwzorowującego podłogę betonową, składającego się z warstwy wierzchniej o stałej grubości wykonanej z zaprawy cementowej klasy C20/25 ułożonej na podkładzie betonowym wykonanym z betonu klasy C30/37. W skład bazy danych weszły parametry amplitudowe 3D, najprostsze do wyznaczenia, uzyskane metodą skanowania laserowego 3D na powierzchni podkładu: średnie arytmetyczne odchylenie ( $S_a$ ), średnie kwadratowe odchylenie ( $S_q$ ), skośność ( $S_{sk}$ ), wskaźnik nośności ( $S_{bi}$ ), wskaźnik utrzymania płynu przez rdzeń ( $S_{ci}$ ), wskaźnik utrzymania płynu przez doliny ( $S_{vi}$ ), maksymalna głębokość wgłębienia ( $S_v$ ), maksymalna głębokość wzniesienia ( $S_p$ ), oraz parametry akustyczne uzyskane metodą odpowiedzi na impuls na powierzchni warstwy wierzchniej o stałej grubości, mianowicie: sztywność dynamiczna ( $K_d$ ), średnia zmienność dynamiki drgań ( $N_{av}$ ), skok zmienności ( $M_p/N$ ) i współczynnik wadliwości ( $v$ ) oraz wartość  $f_b$  uzyskana metodą odrywania. W sumie baza danych liczyła 472 zestawy wyników. Zestawy te poddane zostały analizom statystycznym za pomocą analizy głównych składowych (PCA) i na tej podstawie dokonałem wyboru pięciu głównych składowych (parametrów), które stanowiły warstwę wejściową SOFM. Do uczenia wykorzystany został nowy algorytm genetyczny (GA). Podjęta próba powiodła się. Wykazałem, że SOFM z algorytmem GA pozwala na podstawie parametrów ocenionych metodami nieniszczącymi bardziej wiarygodnie niż SSN ocenić wartość przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  warstw z kompozytów cementowych. Świadczą o tym wysokie wartości współczynnika korelacji liniowej ( $R$ ) wynoszące 0,9461, 0,9430 oraz 0,9307 odpowiednio dla uczenia, testowania i weryfikacji, które były wyższe w stosunku uzyskanych w rozprawie doktorskiej. Wyniki przeprowadzonych w tym zakresie badań zostały opublikowane w 2015 roku w artykule [12 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Construction and Building Materials* znajdującym się w bazie JCR. Na chwilę obecną artykuł ten był cytowany 4 razy w bazie Web of Science. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest wykazanie, że niestosowana do tej pory do tego celu samoorganizująca się mapa cech (SOFM) z nowym algorytmem uczenia genetycznym (GA) jest bardziej niż SSN przydatna do wiarygodnej oceny poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie parametrów określonych za pomocą nieniszczących metod skanowania laserowego 3D i odpowiedzi na impuls.**

Ponieważ w praktyce nowo budowane układy warstwowe z kompozytów cementowych nie zawsze posiadają stałą grubość warstwy wierzchniej poszerzyłem badania, aby sprawdzić, czy dla takich układów możliwa jest identyfikacja  $f_b$  na podstawie badań nieniszczących z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Układy te w warunkach laboratoryjnych, przy współpracy z Sławomirem Czarneckim z mojego *Wydziału*, poddałem badaniom nieniszczącym i seminieniszczącym. Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych zbudowałem nową bazę danych, w skład której weszło w sumie 256 zestawów wyników, składającą się z rezultatów badań uzyskanych (w skali makro) trzema metodami nieniszczącymi. Było to średnie arytmetyczne odchylenie powierzchni ( $S_a$ ) uzyskane metodą skanowania laserowego 3D na powierzchni podkładu, sztywność dynamiczna ( $K_d$ ), średnia zmienność dynamiki drgań ( $N_{av}$ ), skok zmienności ( $M_p/N$ ) i współczynnik wadliwości ( $v$ ) uzyskane metodą odpowiedzi na impuls, częstotliwość odbicia się fali ultradźwiękowej od dna ( $f_T$ ) uzyskany metodą młoteczkową na powierzchni warstwy wierzchniej, wartość  $f_b$  uzyskana metodą odrywania oraz zmienna grubość warstwy wierzchniej ( $T$ ) określona w poszczególnych miejscach badawczych metodą geodezyjnej niwelacji precyzyjnej. Należy wyjaśnić, że metodę odrywania wykorzystano w celu pozyskania wzorców do uczenia SSN w postaci rzeczywistych wartości przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  we wszystkich miejscach badawczych. Istotne jest również to, że w celu uzyskania jak najlepszych w tym zakresie rezultatów wariantowałem parametry wykorzystywane do uczenia i testowania SSN, pozostawiając jednak za każdym razem 5 parametrów, w tym  $f_T$  i  $T$ . W wariancie 1 wykorzystałem parametry określone trzema metodami nieniszczącymi, a mianowicie  $S_a$  uzyskany na powierzchni podkładu betonowego metodą skanowania laserowego 3D,  $K_d$  i  $N_{av}$  uzyskane metodą odpowiedzi na impuls i  $f_T$  uzyskany metodą młoteczkową na powierzchni warstwy wierzchniej oraz parametr  $T$ . W wariancie 2: wykorzystałem parametry określone dwoma metodami nieniszczącymi, z wyeliminowaniem parametrów morfologii powierzchni ocenianych metodą skanowania laserowego 3D na powierzchni podkładu, a mianowicie  $N_{av}$ ,  $K_d$ ,  $M_p/N$  uzyskane metodą odpowiedzi na impuls i  $f_T$  uzyskany metodą młoteczkową na powierzchni warstwy wierzchniej oraz  $T$ . W wariancie 3 także wykorzystałem parametry określone dwoma metodami nieniszczącymi, z wyeliminowaniem parametrów opisujących morfologię powierzchni podkładu, ocenianych metodą skanowania laserowego 3D, a mianowicie  $N_{av}$ ,  $K_d$ ,  $v$  uzyskane metodą odpowiedzi na impuls i  $f_T$  uzyskany metodą młoteczkową na powierzchni warstwy wierzchniej oraz  $T$ . Uzyskane rezultaty przedstawiłem i przedyskutowałem w 2015 roku podczas *XV International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing* w Pradze. W trakcie wykonywania badań odbyłem także w tym temacie miesięczny staż naukowy w ramach programu Erasmus Mundus w *La Trobe University* w Australii, podczas którego nawiązałem współpracę z prof. Dianhui Wang, z którym

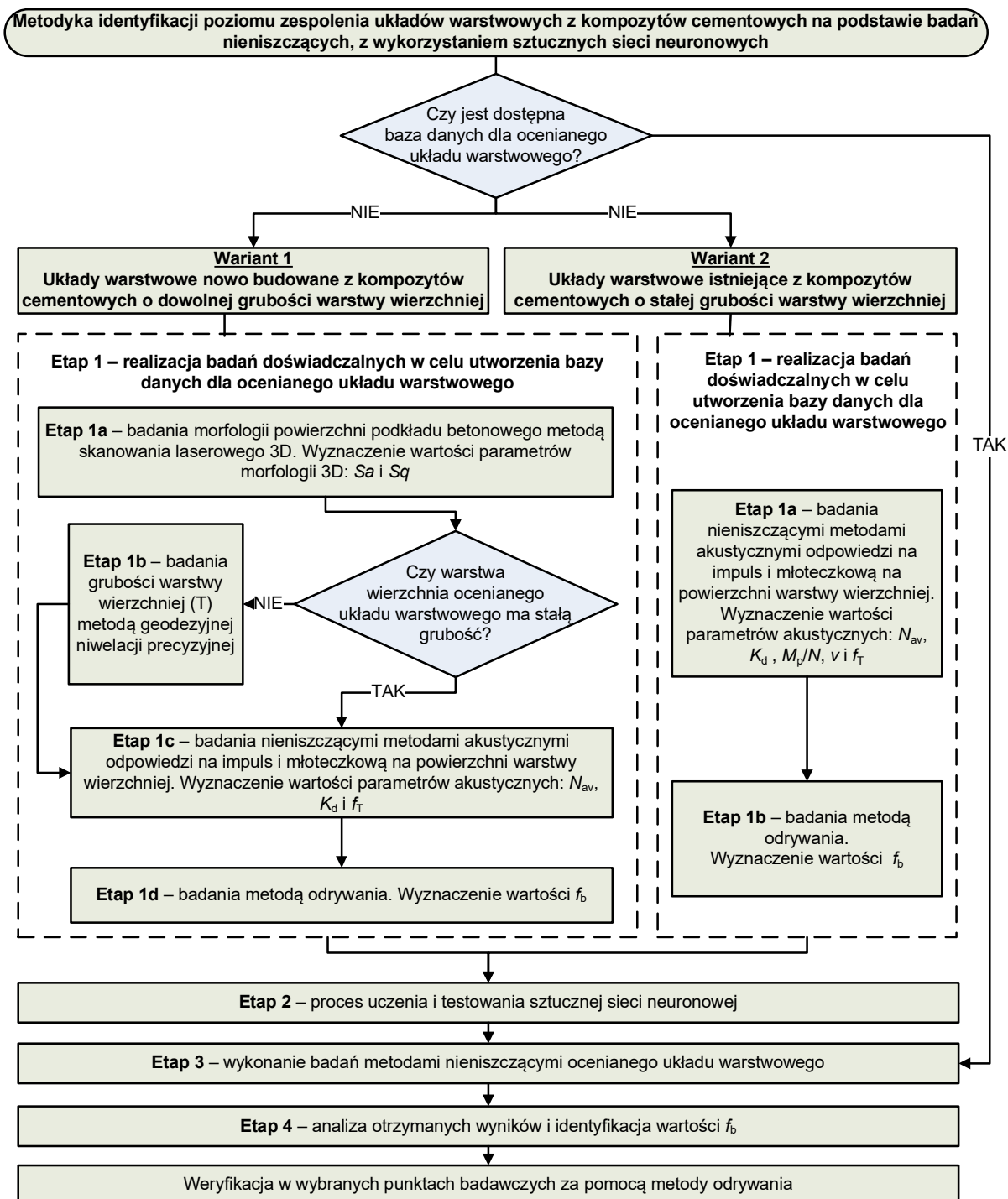
przedyskutowałem uzyskane rezultaty i zdecydowałem się na wytypowanie do analiz numerycznych SSN wielowarstwowej z wsteczną propagacją błędu z algorytmem uczenia *Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno* (BFGS), którego nie wykorzystywałem do tej pory w swoich badaniach. W rezultacie wykazałem, że identyfikacja poziomu zespolenia warstwy wierzchniej o zmiennej grubości z podkładem jest możliwa i, że najbardziej do tego celu przydatne są parametry przyjęte w wariacie 1. Świadczą o tym uzyskane najwyższe wartości  $R$ , wynoszące 0,9691, 0,9575 i 0,9815 odpowiednio dla procesów uczenia, testowania i weryfikacji. Wyniki przeprowadzonych w tym zakresie badań i w sumie długotrwałych i pracochłonnych analiz pozwoliły mi na przygotowanie w 2016 roku artykułu [2 w Zał. 3a], który po uzyskaniu w 2017 roku pozytywnych recenzji opublikowany został w 2018 roku w czasopiśmie *Automation in Construction* znajdującym się w bazie JCR. Efektem tych zainteresowań naukowych jest również objęcie funkcji promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim Sławomira Czarneckiego, otwartym dnia 08.07.2015 na moim Wydziale p.t.: *Nieniszcząca ocena zespolenia betonowej warstwy naprawczej o zmiennej grubości z warstwą podkładową* (Promotor w przewodzie: prof. Jerzy Hoła). **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest wykazanie na podstawie przeprowadzonych badań i wielowariantowych analiz, że w nowo budowanych układach warstwowych z warstwą wierzchnią zmiennej grubości możliwa jest wiarygodna identyfikacja poziomu zespolenia na podstawie parametrów ocenianych nieniszcząco z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, w tym wykazanie, że predysponowana jest do tego celu SSN z algorytmem *Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno* (BFGS).**

Mając na uwadze to, że w istniejących układach warstwowych z kompozytów cementowych nie ma dostępu do powierzchni podkładu, co eliminuje możliwość badania jego morfologii metodą skanowania laserowego 3D, zaprojektowałem i wykonałem kolejne modelowe układy warstwowe z warstwą wierzchnią stałej grubości, aby poszukać możliwości oceny poziomu zespolenia w takich układach tylko i wyłącznie na podstawie badań nieniszczących prowadzonych na powierzchni warstwy wierzchniej, z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Układy te badałem nieniszcząco we współpracy z Sławomirem Czarneckim z mojego Wydziału. Opracowałem sposób tej identyfikacji, bazując na wykorzystaniu parametrów określonych dwoma nieniszczącymi metodami akustycznymi: młoteczkową i odpowiedzi na impuls (w skali makro), z wykorzystaniem SSN. Ustaliłem na drodze badawczej, że niezbędna jest do tego znajomość wartości łącznie pięciu parametrów: sztywność dynamiczna ( $K_d$ ), średnia zmienność dynamiki drgań ( $N_{av}$ ), skok zmienności ( $M_p/N$ ) i współczynnik wadliwości ( $\nu$ ) uzyskanych metodą odpowiedzi na impuls i częstotliwości odbicia się fali ultradźwiękowej od dna ( $f_T$ ) uzyskanego metodą młoteczkową. Po wykonaniu badań nieniszczącymi metodami akustycznymi wykonane zostały w tych

samych miejscach badania metodą odrywania uzyskując rzeczywiste wartości przyczepności przy odrywaniu  $f_b$ , stanowiące wzorce do uczenia i testowania SSN. W pierwszej kolejności wykorzystałem SSN wielowarstwową ze wsteczną propagacją błędu z algorytmem najszybszego spadku gradientu (ang. *gradient descent* - GS). Wykazałem, że sieć ta może zostać wykorzystana do identyfikacji wartości  $f_b$ , na podstawie parametrów ocenianych metodami nieniszczącymi, chociaż uzyskane na podstawie badań wartości  $R$  wynoszące 0.8873, 0.8701 i 0,8441, odpowiednio dla uczenia, testowania i weryfikacji nie były moim zdaniem zbyt wysokie. Wyniki przeprowadzonych w tym zakresie badań zostały opublikowane w 2016 roku w artykule [9 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Construction and Building Materials* znajdującym się w bazie JCR. Na chwilę obecną artykuł ten był cytowany 2 razy w bazie Web of Science. Następnie wykorzystując posiadane rezultaty badań doświadczalnych przeprowadziłem kolejne analizy w poszukiwaniu narzędzia sztucznej inteligencji, które mogłoby pozwolić uzyskać wyższą wartość  $R$ . Postanowiłem wykorzystać do tego celu SSN z imperialistycznym algorytmem współzawodnictwa (ang. *imperialist competitive algorithm*, ICA). Algorytm ten opracowali Esmaeil Atashpaz-Gargari i Caro Lucas w 2007 roku na *University of Tehran* w Iranie. Według mojej wiedzy nie był on jeszcze do tego celu stosowany. Dlatego w zakresie wykonania analiz numerycznych z wykorzystaniem ICA nawiązałem współpracę z Mehdim i Mohammadem Nikoo z *Azad University* w Iranie. Przeprowadzone analizy wykazały, że zastosowanie ICA daje bardzo dobre rezultaty w postaci wysokich wartości  $R$ : odpowiednio 0,9186 i 0,9263 dla uczenia i testowania. Wyniki tych badań i analiz zostały opublikowane w 2017 roku w pracy [6 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Coatings* znajdującym się w bazie JCR. Na chwilę obecną artykuł ten był cytowany 1 raz w bazie Web of Science. Moim zdaniem uzyskane rezultaty można było uznać za satysfakcjonujące, biorąc pod uwagę fakt braku możliwości pozyskania na drodze badawczej parametrów morfologii powierzchni podkładu. Należy oczekiwać, że opracowany sposób identyfikacji poziomego zespolenia układów warstwowych z pominięciem pomiaru morfologii powierzchni podkładu może znaleźć zastosowanie w praktyce budowlanej do badania poziomego zespolenia w istniejących układach warstwowych z kompozytów cementowych. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest opracowanie sposobu wiarygodnej identyfikacji poziomego zespolenia w istniejących układach warstwowych z kompozytów cementowych, bazującego na parametrach określonych wyłącznie metodami nieniszczącymi na powierzchni warstwy wierzchniej i sztucznych sieciach neuronowych, w tym wykazanie, że predysponowana jest do tego celu SSN z imperialistycznym algorytmem współzawodnictwa.**

Podsumowaniem moich dociekań naukowych w zakresie identyfikacji poziomego zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych, zarówno w odniesieniu do nowo budowanych w których warstwa wierzchnia ma dowolną grubość jak i w odniesieniu do

istniejących, w których grubość warstwy wierzchniej jest stała, było opracowanie skutecznej metodyki takiej identyfikacji, przedstawionej na rys. 2.



Rys. 2. Metodyka identyfikacji poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie badań nieniszczących, z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (na podstawie artykułu [3 w Zał. 3a]).

Jak to przedstawiłem na rys. 2 w wariancie 1 dotyczącym układów warstwowych nowo budowanych o dowolnej grubości warstwy wierzchniej najpierw należy wykonać badania

z wykorzystaniem metody skanowania laserowego 3D na powierzchni podkładu (etap 1a). W przypadku badania układu ze zmienną grubością warstwy wierzchniej należy wykonać ponadto badania w etapie 1b polegające na określeniu grubości warstwy wierzchniej ( $T$ ) w każdym miejscu badawczym metodą geodezyjnej niwelacji precyzyjnej. Kolejnym krokiem (etap 1c) jest wykonanie badań nieniszczącymi metodami akustycznymi odpowiedzi na impuls i młoteczkową na powierzchni warstwy wierzchniej. Następnie należy w tych samych punktach badawczych wykonać badania metodą odrywania (etap 1d). Z kolei w wariancie 2 dotyczącym układów warstwowych istniejących z kompozytów cementowych o stałej grubości warstwy wierzchniej należy wykonać badania nieniszczącymi metodami akustycznymi odpowiedzi na impuls i młoteczkową wyłącznie na powierzchni warstwy wierzchniej (etap 1a), a następnie w tych samych punktach badawczych wykonać badania metodą odrywania (etap 1b). Etap 2, zarówno w wariancie 1 jak i 2, to proces uczenia i testowania SSN. W przypadku gdy dla ocenianego układu warstwowego z kompozytów cementowych możliwe jest wykorzystanie bazy danych utworzonej wcześniej należy etapy 1 i 2 pominąć i przejść bezpośrednio do etapu 3. Mówiąc o bazie danych utworzonej wcześniej mamy na myśli sytuację, gdy oceniany układ jest podobny do tego który posłużył do utworzenia takiej bazy. Mam na myśli podobieństwo materiałowe poszczególnych warstw, sposób przygotowania powierzchni podkładu, podobną grubość warstwy wierzchniej. Następnie w etapie 4 następują analizy numeryczne otrzymanych wyników oraz identyfikacja wartości  $f_b$ . Uzyskane wartości  $f_b$  należy zweryfikować w losowo wybranych punktach badawczych metodą odrywania. Za istotne uważam zweryfikowanie tej metodyki na konkretnym przykładzie wziętym z praktyki budowlanej. Metodyka ta okazała się przydatna dla praktyki budowlanej, ponieważ pozwala wykonać badania w dowolnej liczbie miejsc, bez uszkodzenia warstwy wierzchniej. Przez to może być konkurencyjna, w stosunku do metody odrywania. Opracowaną metodykę przedstawiłem i poddałem w 2016 roku dyskusji podczas *XIV konferencji naukowo-technicznej Warsztat pracy rzeczoznawcy budowlanego* w Kielcach-Cedzynie. Rezultat tych prac został opublikowany w 2018 roku, w samodzielnym artykule [3 w Zał. 3a], w czasopiśmie *Journal of Adhesion Science and Technology* znajdującym się w bazie JCR. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest opracowanie skutecznej metodyki identyfikacji poziomu zespolenia, dla układów warstwowych nowo budowanych o dowolnej grubości warstwy wierzchniej oraz dla układów warstwowych istniejących o stałej grubości warstwy wierzchniej na podstawie badań nieniszczących i sztucznych sieci neuronowych.**

W 2014 roku odbyłem krótkoterminowy staż szkoleniowy w zakresie badań morfologii powierzchni w ramach programu Lifelong Learning Programme-Erasmus w *Ecole Centrale de Lyon* we Francji i podjąłem dyskusję naukową z prof. Thomasem G. Mathia. W jej wyniku pogłębiłem swoją wiedzę w zakresie specyfiki i podstaw badania morfologii powierzchni

układów warstwowych z kompozytów cementowych. Utwierdziłem się w przekonaniu, że z punktu widzenia poziomu zespolenia układów warstwowych zarówno morfologię powierzchni podkładu, jak i strefę zespolenia warstwy wierzchniej z podkładem, warto badać w różnych skalach obserwacji. Problem podejścia do badań morfologii powierzchni betonu w różnych skalach przedstawiłem i poddałem w 2014 roku dyskusji podczas *4th International Conference on Surface Metrology* w Hamburgu oraz podczas wykładu wygłoszonego przeze mnie w 2015 roku na zaproszenie prof. Joao Pedro Pego w *University of Porto* w Portugalii. Rezultaty tych rozważań, precyzujących specyfikę i podstawy badania morfologii powierzchni betonu, przedstawiłem wspólnie z prof. Thomasem G. Mathia w artykule [10 w Zał. 3a], który został opublikowany w roku 2016 w czasopiśmie *Construction and Building Materials* znajdującym się w bazie JCR. Takiej przeglądowej pracy, moim zdaniem, brakowało w literaturze. Na chwilę obecną artykuł był już cytowany 7 razy w bazie Web of Science.

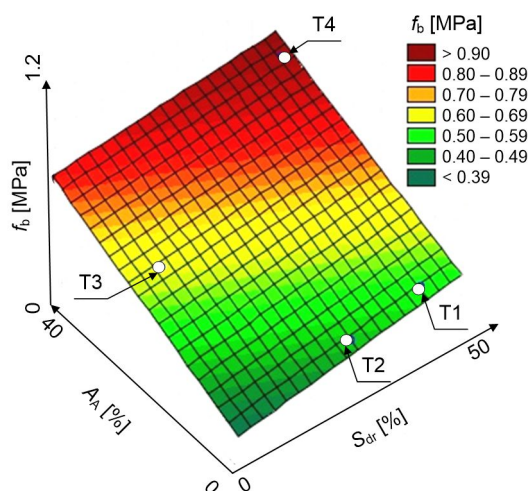
W dotychczasowych badaniach morfologię powierzchni opisywałem wyłącznie za pomocą parametrów amplitudowych 3D, najprostszych do wyznaczenia zgodnie z normą *ISO 25178 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) - Struktura geometryczna powierzchni*. Podjąłem następnie dalsze badania i analizy w celu poszerzenia wiedzy o parametry przestrzenne, hybrydowe i objętościowe służące do bardziej zaawansowanego niż za pomocą parametrów amplitudowych opisu morfologii powierzchni. Interesujące było, czy do opisu morfologii powierzchni betonu mogą być one przydatne. Mimo, że te parametry są powszechnie stosowane w innych dziedzinach wiedzy np. w inżynierii materiałowej, mechanice i medycynie, to na tamtą chwilę nie były znane w literaturze ich zastosowania do opisu morfologii powierzchni betonu. Po przeprowadzonych dyskusjach naukowych z prof. Jerzym Hołą z mojego *Wydziału* zaprojektowałem i wykonałem modelowy układ warstwowy. Powierzchnia podkładu tego układu, wykonanego z betonu została przygotowana dwuwariantowo, mianowicie: w połowie stanowiła ją powierzchnia otrzymana bezpośrednio po zabetonowaniu (zatarta), a w połowie powierzchnia szlifowana mechanicznie. We współpracy z dr hab. Jackiem Reinerem z *Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej* i dr hab. Sebastianem Stachem z *Uniwersytetu Śląskiego* w Katowicach przeprowadziłem badania morfologii powierzchni metodą skanowania laserowego 3D w skali mezo. Na podstawie tych badań zidentyfikowane zostały zgodnie z normą *ISO 25178* wartości w sumie 21 parametrów. Następnie po wykonaniu tych badań, ale jeszcze przed nałożeniem warstwy wierzchniej naniosłem na połowie powierzchni zatartej oraz na połowie powierzchni szlifowanej środek szepny w celu zwiększenia przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  na granicy warstw. Na tak przygotowaną powierzchnię nałożyłem warstwę wierzchnią i po jej stwardnieniu wykonane zostały badania metodą odrywania. Na podstawie testu Shapiro-Wilka zgodności z rozkładem normalnym wytypowałem 5 parametrów morfologii powierzchni z grupy przestrzennych, hybrydowych i objętościowych do analizy korelacyjnej z wartością

przyczepności przy odrywaniu  $f_b$ . Są to następujące parametry: parametr przestrzenny  $Str$  (wydłużenie struktury powierzchni), parametry hybrydowe  $Sdq$  (średniokwadratowy gradient powierzchni) i  $Sdr$  (rozwinięty stosunek pola międzyfazowego powierzchni) oraz parametry objętościowe  $Vv$  (objętość pustej przestrzeni) i  $Vmp$  (objętość pików materiału). Nazewnictwo tych parametrów przyjąłem z normy *ISO 25178*. Najwyższą wartość  $R$  mieszczącą się w przedziale od 0,74 do 0,88 w zależności od sposobu przygotowania powierzchni podkładu uzyskałem dla parametru przestrzennego  $Str$ . Uznałem na podstawie przeprowadzonych analiz, że te parametry 3D (przestrzenny  $Str$ , hybrydowy  $Sdr$  i objętościowy  $Vmp$ ) opisujące morfologię powierzchni podkładu są przydatne do oceny poziomu jego zespolenia z warstwą wierzchnią. Zwróciłem jednak uwagę na to, że uzyskane korelacje mogą mieć jedynie zastosowanie dla powierzchni podkładu przygotowanej poprzez zatarcie lub szlifowanie. Dla tych powierzchni mają one fizyczne uzasadnienie i powiązanie z wartością  $f_b$ . W badaniach nie zaobserwowałem wpływu zastosowania środka szepnego na uzyskane korelacje. Wyniki przeprowadzonych badań zostały opublikowane w 2015 roku w artykule [11 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Construction and Building Materials* znajdującym się w bazie JCR. Na chwilę obecną artykuł był cytowany 14 razy w bazie Web of Science. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest wykazanie, że do badania poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych są przydatne parametry opisujące morfologię powierzchni podkładu, pozyskane w skali mezo, takie jak: przestrzenny  $Str$  (wydłużenie struktury powierzchni), hybrydowy  $Sdr$  (rozwinięty stosunek pola międzyfazowego powierzchni) i objętościowy  $Vmp$  (objętość pików materiału).**

W wyniku przemyśleń będących między innymi wynikiem dyskusji prowadzonych z prof. Thomasem G. Mathia i prof. Jerzym Hołą, ale także przeprowadzenia badań opisanych wyżej, podjąłem dalsze badania chcąc uzyskać odpowiedź na pytanie, czy opisywane w skali mezo rozwinięcie powierzchni podkładu i stopień odsłonięcia na niej kruszywa mogą mieć istotny wpływ na poziom jego zespolenia z warstwą wierzchnią. W tym celu zaprojektowałem i wykonałem modelowy układ warstwowy, którego powierzchnię przygotowałem tym razem czterowariantowo: zatartą, z „odbitym deskowaniem”, szlifowaną oraz śrutowaną. Zastosowane sposoby przygotowania powierzchni podkładu są stosowane w praktyce budowlanej. Te cztery sposoby przygotowania powierzchni stosowałem już konsekwentnie dalej, w kolejnych realizowanych badaniach. W celu opisanego rozwinięcia powierzchni wykonałem badania metodą skanowania laserowego 3D i wykorzystałem parametr hybrydowy  $Sdr$  (rozwinięty stosunek pola międzyfazowego powierzchni). Z kolei stopień odsłonięcia na powierzchni kruszywa ( $A_A$ ) określony został za pomocą mikroskopu optycznego. Po wykonaniu badań morfologii powierzchni podkładu nałożyłem na nią warstwę wierzchnią. Na powierzchni tej stwardniałej warstwy wykonane zostały następnie badania metodą odrywania, w wyniku których uzyskane zostały wartości przyczepności przy



odrywaniu  $f_b$ . Rys. 3 ilustruje jak kształtują się średnie wartości przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  w zależności od parametrów  $Sdr$  i  $A_A$ .



Rys. 3. Kształtowanie się średnich wartości przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  w zależności od parametrów  $Sdr$  oraz  $A_A$  (na podstawie artykułu [1 w Zał. 3a])

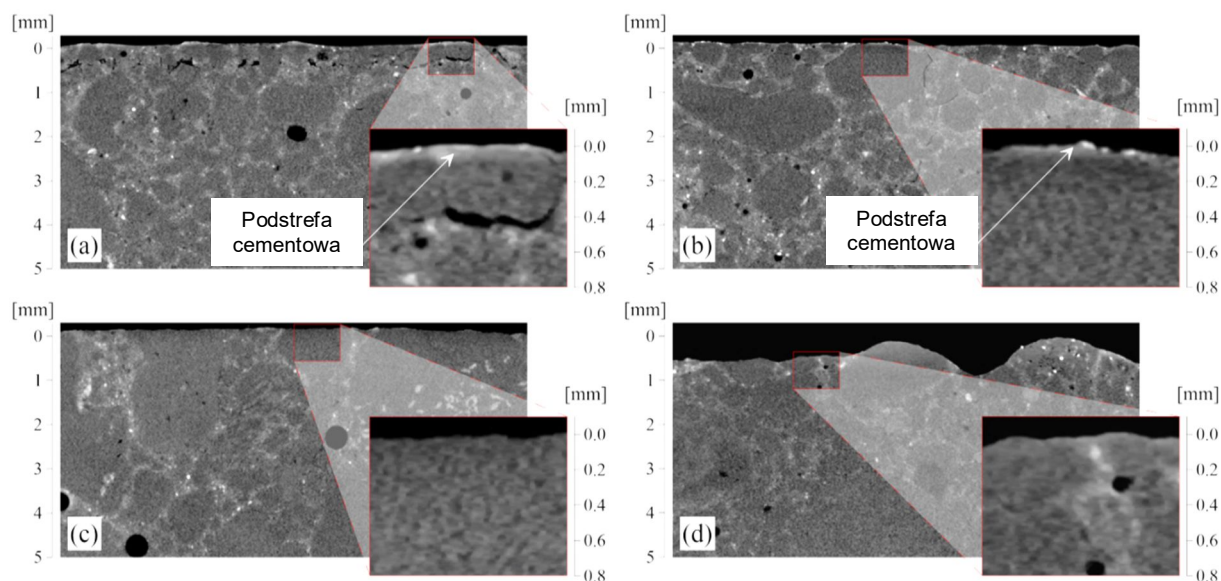
Na podstawie przeprowadzonych badań wykazałem, że wraz ze wzrostem parametru hybrydowego  $Sdr$  oraz parametru  $A_A$  rośnie średnia wartość  $f_b$ . Zależność tą opisałem równaniem:

$$f_b(Sdr; A_A) = 0.32 + 0.0043 Sdr + 0.0138 A_A. \quad (1)$$

W badaniach tych najwyższą wartość  $f_b$  uzyskano wtedy, gdy powierzchnia podkładu była śrutowana. Z przeprowadzonych badań wynika, że śrutowanie powoduje jednocześnie duże „uszkostkowanie” i znaczne odsłonięcie kruszywa. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziłem, że samo odsłonięcie kruszywa poprzez szlifowanie powierzchni bez jej „uszkostkowania” tylko nieznacznie zwiększa wartość  $f_b$  względem powierzchni zatartej. Także samo „uszkostkowanie” powierzchni, bez jednoczesnego odsłonięcia kruszywa nie jest korzystne, czego przykładem jest powierzchnia zatarta. Na podstawie tych badań można w praktyce budowlanej podejmować bardziej świadome decyzje odnośnie do zwiększenia wartości  $f_b$  poprzez zastosowanie sposobu przygotowania powierzchni optymalnego z punktu widzenia zwiększenia efektywnej powierzchni rozwinięcia czy powierzchniowego odsłonięcia kruszywa. Wyniki tych badań zostały opublikowane w 2018 roku w artykule [1 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Archives of Civil and Mechanical Engineering* znajdującym się w bazie JCR. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest wykazanie, w skali mezo, że im większe jest rozwinięcie powierzchni podkładu i równocześnie wyższy jest stopień odsłonięcia na tej powierzchni kruszywa, tym korzystniej kształtuje się poziom zespolenia warstw z kompozytów cementowych.**

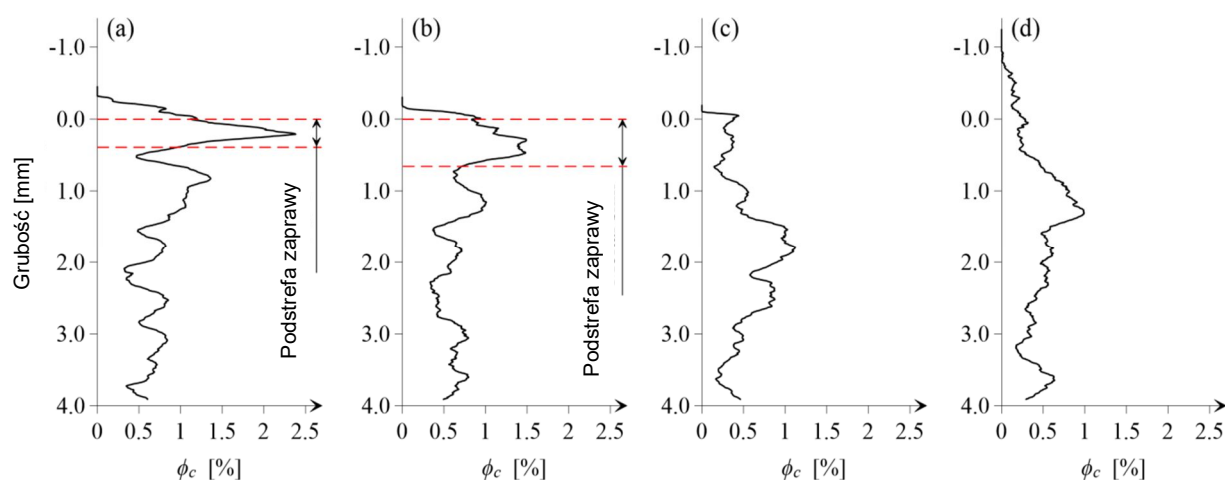
Należy przypuszczać, że sposób przygotowania powierzchni podkładu może wpływać na strukturę porów powietrznych betonu w strefie przypowierzchniowej (tzw. „skórce betonu”,

*ang. concrete skin*). Przez strukturę porów powietrznych należy rozumieć w tym przypadku udział frakcyjny i liczbę porów powietrznych o średnicy od 20 do 1000  $\mu\text{m}$ . Idąc dalej podjąłem kolejne badania w tym kierunku. W tym celu wykonałem podkład układu warstwowego, którego powierzchnię, tak jak poprzednio, przygotowałem czterowariantowo. Na podstawie rozpoznania literaturowego w strefie przypowierzchniowej podkładu wyróżniłem dwie podstrefy: podstrefę cementową (*ang. cement skin*) oraz podstrefę zaprawy (*ang. mortar skin*). Następnie pozyskałem ze strefy przypowierzchniowej podkładu, próbki o wymiarach 20x20x20 mm. Próbki te zostały poddane badaniom w skali mikro z wykorzystaniem metody rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej (micro-CT) w celu określenia struktury porów powietrznych betonu w strefie przypowierzchniowej podkładu. Badania te zrealizowane zostały dzięki współpracy z Damianem Stefaniukiem z mojego *Wydziału*. Widoki mikrostruktury 2D w obrębie strefy przypowierzchniowej podkładu przedstawiłem na rys. 4. Z kolei uzyskane na podstawie tych badań przykładowe rezultaty w postaci wykresów pokazujących objętościowy udział frakcyjny porów  $\phi$  o średnicy od 20 do 1000  $\mu\text{m}$  w strefie przypowierzchniowej podkładu w funkcji wysokości próbki dla powierzchni zatartej, z „odbitym deskowaniem”, szlifowanej oraz śrutowanej, przedstawiłem na rys. 5.



Rys. 4. Widoki mikrostruktury 2D w strefie przypowierzchniowej podkładu na podstawie badań metodą micro-CT dla powierzchni: a) zatartej, b) z „odbitym deskowaniem”, c) szlifowanej, d) śrutowanej (na podstawie artykułu [4 w Zał. 3a])

Z przeprowadzonych badań wynika, że sposób przygotowania powierzchni podkładu ma wpływ na przebieg objętościowego udziału frakcyjnego porów  $\phi$  o średnicy od 20 do 1000  $\mu\text{m}$  w strefie przypowierzchniowej podkładu w funkcji wysokości (grubości) próbki (rys. 5).

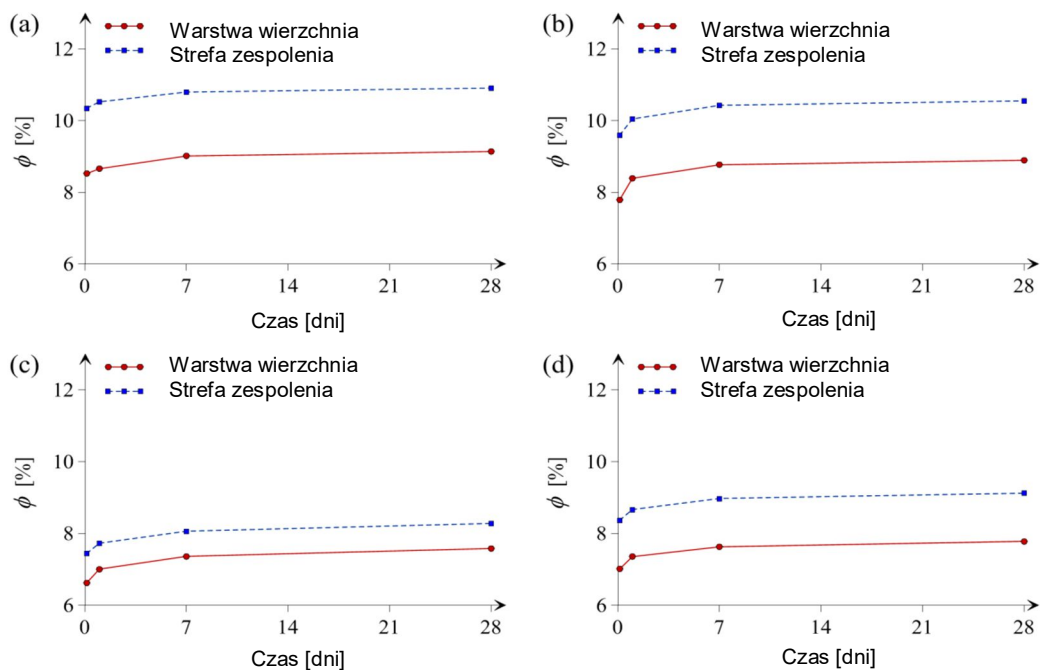


Rys. 5. Objętościowy udział frakcyjny  $\phi$  porów o średnicy od 20 do 1000  $\mu\text{m}$  uzyskany w strefie przypowierzchniowej podkładu w funkcji wysokości próbki na podstawie badań metodą micro-CT dla powierzchni: a) zatartej, b) z „odbitym deskowaniem”, c) szlifowanej, d) śrutowanej (na podstawie artykułu [4 w Zał. 3a])

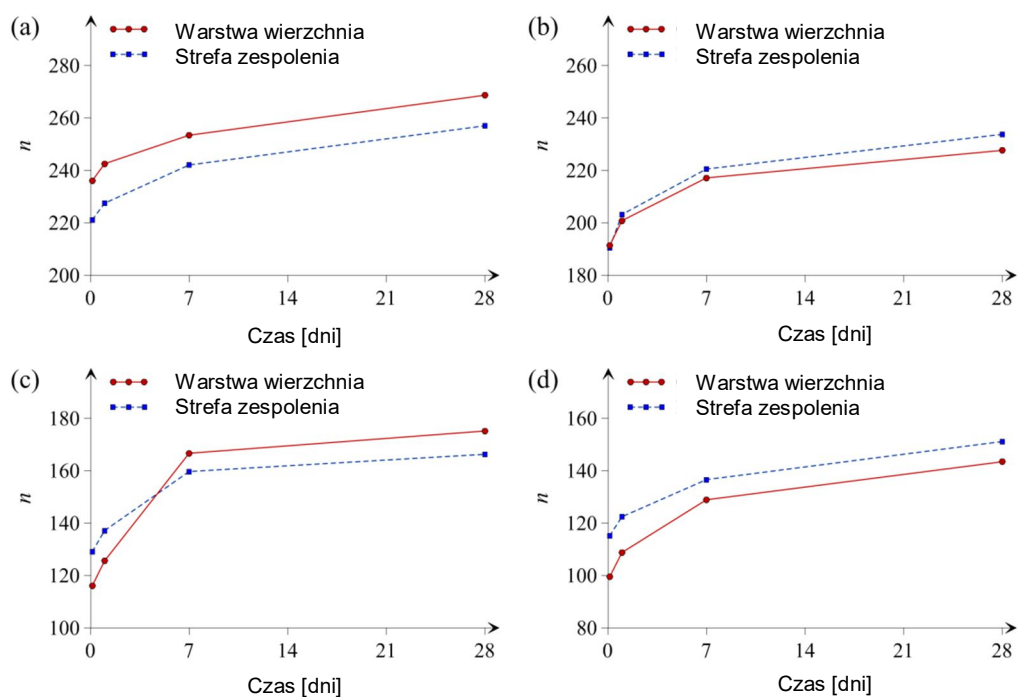
Stwierdziłem na podstawie badań, że różne są również grubości poszczególnych podstref. I tak, w efekcie szlifowania oraz śrutowania powierzchni podkładu usunięciu z jego powierzchni ulega mleczko cementowe, t. j. podstrefy „cement skin” oraz „mortar skin”. Stwierdziłem, że dla powierzchni zatartej grubość podstrefy „cement skin” jest dwukrotnie większa (0,1 mm) w stosunku do powierzchni z „odbitym deskowaniem” (0,05 mm). Z kolei grubość podstrefy „mortar skin” jest większa dla powierzchni z „odbitym deskowaniem” (0,6 mm) niż dla zatartej (0,3 mm). Uważam, że badania struktury porów powietrznych betonu w strefie przypowierzchniowej podkładu mogą być pomocne w praktyce budowlanej na przykład w celu odpowiedniego doboru preparatów impregnujących w celu jego „wzmocnienia” przed nałożeniem na niego warstwy wierzchniej. Wyniki tych badań zostały opublikowane w artykule [4 w Zał. 3a], który ukazał się w roku 2018 w czasopiśmie *Applied Surface Science* znajdującym się bazie JCR. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest wykazanie, w skali mikro, że sposób przygotowania powierzchni podkładu ma wpływ na strukturę porów powietrznych betonu w strefie przypowierzchniowej.**

Na podstawie przeprowadzonych powyżej badań doszedłem do wniosku, że struktura porów powietrznych kompozytu cementowego w strefie zespolenia może być inna niż w oddaleniu od tej strefy, co też może wpływać na poziom zespolenia. Przez strukturę porów powietrznych należy rozumieć w tym przypadku udział frakcyjny i liczbę porów powietrznych o średnicy od 24 do 500  $\mu\text{m}$ . Mając to na uwadze oraz zauważalne różnice w mikrostrukturze strefy przypowierzchniowej w różny sposób przygotowanego podkładu postanowiłem sprawdzić na drodze badawczej jak kształtuje się struktura porów powietrznych kompozytu cementowego w strefie zespolenia po nałożeniu na ten podkład warstwy wierzchniej.

W pierwszym kroku podjąłem próbę opisania na drodze badawczej zmian struktury porów powietrznych kompozytu cementowego w strefie zespolenia zachodzących podczas twardnienia materiału warstwy wierzchniej. W tym celu badałem układ warstwowy, którego powierzchnię podkładu, podobnie jak poprzednio, przygotowałem czterowariantowo. Z każdej przygotowanej powierzchni wyciąłem ze strefy przypowierzchniowej podkładu próbki cylindryczne o średnicy 20 mm i wysokości 25 mm. Następnie ułożyłem na tych próbkach warstwę wierzchnią o grubości 25 mm. Podejmowane do tej pory przez innych badaczy nieliczne próby badania struktury porów powietrznych kompozytu cementowego w strefie zespolenia polegały głównie na wykorzystaniu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) i miały wyłącznie charakter jakościowy. W moim przypadku do badań została wykorzystana metoda rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej (micro-CT). Zmiany struktury porów powietrznych w strefie zespolenia analizowane były po 3 godzinach, 1 dniu, 7 dniach i 28 dniach od zabetonowania warstwy wierzchniej. Podobnie jak wcześniej badania te zostały zrealizowane dzięki współpracy z Damianem Stefaniukiem z mojego Wydziału. Z przeprowadzonych badań wynika, że sposób przygotowania powierzchni podkładu ma wpływ na zmiany objętościowego udziału frakcyjnego porów  $\phi$  o średnicy od 24 do 500  $\mu\text{m}$  (rys. 6) i liczby porów  $n$  (rys. 7) w strefie zespolenia układu warstwowego z kompozytów cementowych zachodzące w czasie twardnienia materiału warstwy wierzchniej.



Rys. 6. Zmiany objętościowego udziału frakcyjnego porów  $\phi$  o średnicy od 24 do 500  $\mu\text{m}$  w strefie zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie badań metodą micro-CT dla powierzchni: a) zatartej, b) z „odbitym deskowaniem”, c) szlifowanej, d) śrutowanej (na podstawie artykułu [8 w Zał. 3a])



Rys. 7. Zmiany liczby porów  $n$  w strefie zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie badań metodą micro-CT dla powierzchni: a) zatartej, b) z „odbitym deskowaniem”, c) szlifowanej, d) śrutowanej (na podstawie artykułu [8 w Zał. 3a])

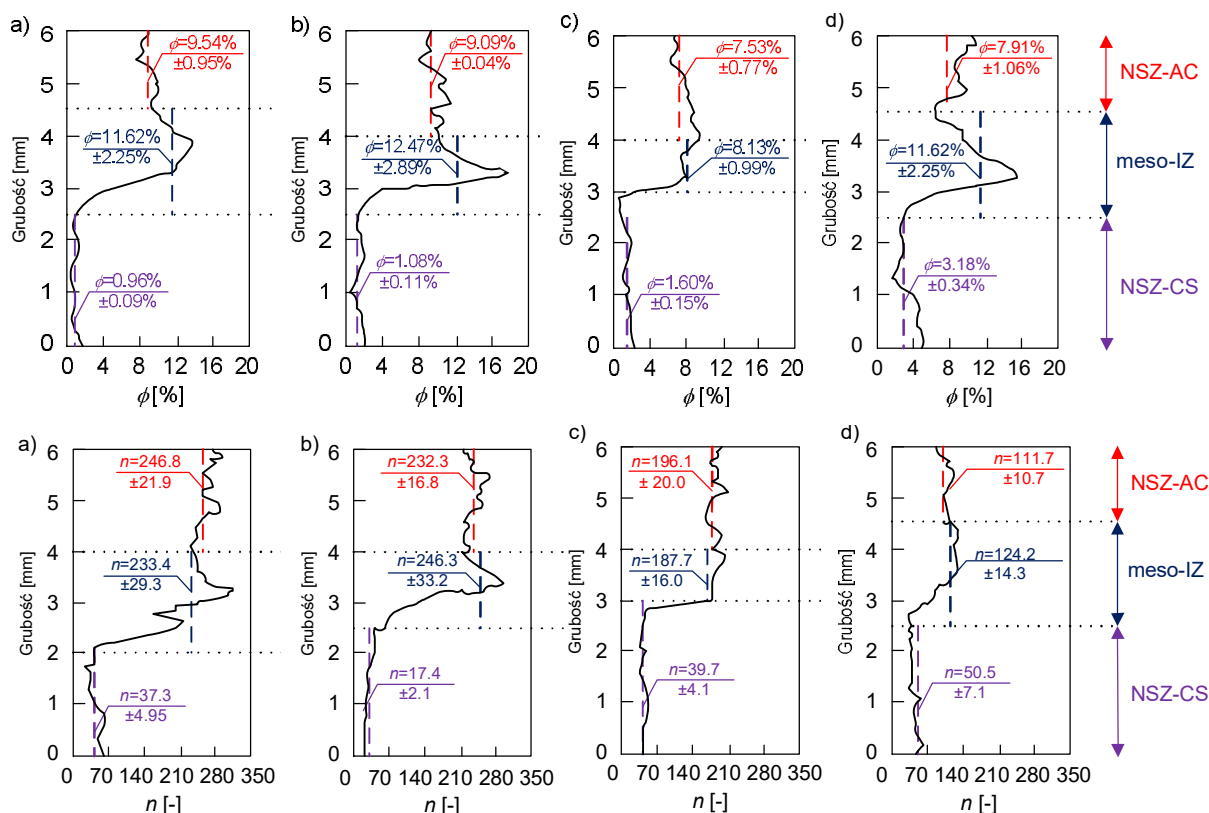
Wyniki tych badań zostały opublikowane w 2017 roku w artykule [8 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Applied Sciences* znajdującym się bazie JCR. Na chwilę obecną artykuł ten był cytowany 2 razy w bazie Web of Science. Badania struktury porów powietrznych betonu w strefie zespolenia po nałożeniu na ten podkład warstwy wierzchniej mogą być pomocne w praktyce budowlanej w celu modyfikacji składu kompozytu cementowego warstwy wierzchniej poprzez bardziej efektywny dobór domieszek wpływających na właściwości mieszanki.

Idąc dalej podjąłem próbę opisanie struktury porów powietrznych w kompozycie cementowym w strefie zespolenia stwardniałej warstwy wierzchniej z podkładem z wykorzystaniem metody micro-CT oraz wpływu tej struktury na poziom zespolenia. W tym celu poddałem badaniom układ warstwowy, którego powierzchnię podkładu, podobnie jak wcześniej, przygotowałem czterowariantowo. Następnie ułożyłem na podkładzie warstwę wierzchnią. Po jej stwardnieniu wykonałem badania w skali makro przyczepności od podkładu metodą odrywania. Po wykonaniu tych badań, w celu wykonania badań metodą micro-CT, wyciąłem ze strefy zespolenia warstw wierzchniej z podkładem próbki o wymiarach 25 mm x 25 mm i grubości 2x12.5 mm (12.5 mm warstwy wierzchniej i 12.5 mm podkładu). Tak jak poprzednio, badania metodą micro-CT zostały zrealizowane dzięki współpracy z Damianem Stefaniukiem z mojego *Wydziału*. Uznałem za zasadne

rozdzielenie strefy zespolenia warstwy wierzchniej z podkładem na trzy podstrefy, mianowicie na:

- podstrefę przypowierzchniową podkładu (ang. *near surface zone* - NSZ-CS),
- podstrefę zespolenia warstw (ang. *meso-interphase zone* - meso-IZ),
- podstrefę przypowierzchniową warstwy wierzchniej (ang. *near surface zone* - NSZ-AC).

Przeprowadzone badania wykazały, że udział frakcyjny porów oraz ich liczba są wyższe w podstrefie meso-IZ w porównaniu z podstrefami NSZ-AC i NSZ-CS (rys. 8).

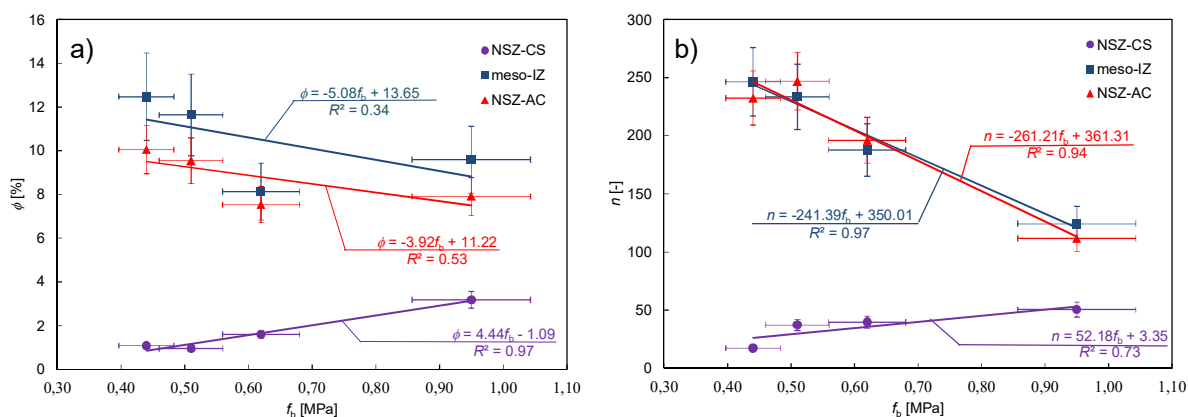


Rys. 8. Objętościowy udział frakcyjny  $\phi$  porów o średnicy od 24 do 500  $\mu\text{m}$  oraz liczba porów  $n$  uzyskane w strefie zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie badań metodą micro-CT dla powierzchni: a) zatartej, b) z „odbitym deskowaniem”, c) szlifowanej, d) śrutowanej (na podstawie artykułu [7 w Zał. 3a])

Na podstawie badań przeprowadzonych w skali mikro określiłem grubość podstrefy zespolenia meso-IZ w zależności od sposobu przygotowania powierzchni podkładu. Wynosiła ona około 2 mm dla powierzchni zatartej i śrutowanej, około 1,5 mm dla powierzchni z „odbitym deskowaniem” oraz około 1 mm dla powierzchni szlifowanej.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazałem też, że wraz ze wzrostem objętościowego udziału frakcyjnego  $\phi$  porów i liczby porów  $n$  w podstrefie NSZ-CS wzrasta wartość przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  warstwy wierzchniej do podkładu (rys. 9). Z kolei wraz ze wzrostem  $\phi$  i  $n$  w podstrefach NSZ-AC i meso-IZ wartość  $f_b$  maleje. Na podstawie tych badań można na przykład podejmować w praktyce budowlanej decyzje w sprawie

doboru dodatków „uszczelniających” strukturę kompozytu cementowego warstwy wierzchniej oraz w strefie zespolenia i tym samym udoskonalać zespolenie.



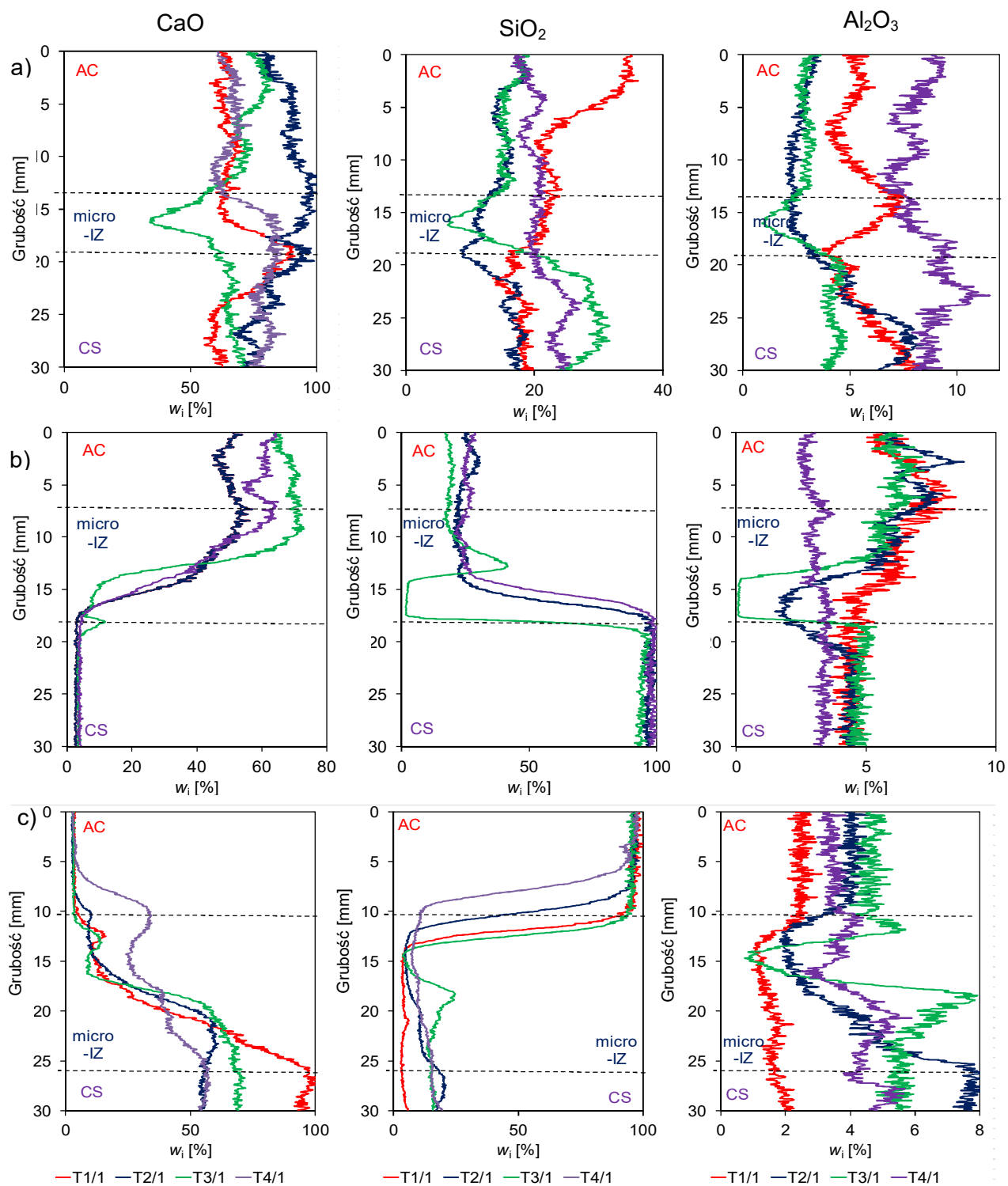
Rys. 9. Zależność między objętościowym udziałem frakcyjnym  $\phi$  porów o średnicy od 24 do 500  $\mu\text{m}$  (a) i liczbą porów  $n$  (b) w podstrefie NSZ-CS, w podstrefie meso-IZ oraz w podstrefie NSZ-AC a przyczepnością  $f_b$  układów warstwowych z kompozytów cementowych (na podstawie artykułu [7 w Zał. 3a])

Wyniki tych badań zostały opublikowane w 2017 roku w artykule [7 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Construction and Building Materials* znajdującym się w bazie JCR.

Należy przypuszczać, że z punktu widzenia poziomu zespolenia układów warstwowych, oprócz struktury porów powietrznych w strefie zespolenia, może mieć również znaczenie skład chemiczny kompozytu cementowego. Brak jest wiedzy jaką grubość strefy zespolenia powinno się uważać za istotną przy rozpatrywaniu migracji pierwiastków i tlenków pomiędzy warstwami. W celu odpowiedzi na te pytania zostały wykonane badania w skali mikro i nano z pomocą SEM z mikroanalizatorem składu chemicznego EDS próbek pobranych ze strefy zespolenia. Badania te zostały zrealizowane we współpracy z Andrzejem Żakiem z Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej. W ich wyniku zaproponowałem wyróżnienie w strefie zespolenia następujących rodzajów kontaktu istotnych z uwagi na zespolenie kompozytów cementowych, z których wykonane zostały warstwa wierzchnia i podkład:

- matryca cementowa warstwy wierzchniej - matryca cementowa podkładu (MM),
- matryca cementowa warstwy wierzchniej - kruszywo podkładu (MA),
- kruszywo warstwy wierzchniej - matryca cementowa podkładu (AM).

Stwierdziłem, że w zależności od rodzaju kontaktu materiału warstwy wierzchniej z podkładem zauważalne są zmiany składu chemicznego kompozytu cementowego w strefie zespolenia, w rozumieniu migracji tlenków z jednej warstwy do drugiej (rys. 10).



Rys. 10. Udział procentowy  $w_i$  tlenków CaO, SiO<sub>2</sub> oraz Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w funkcji grubości próbki pobranej do badań ze strefy zespolenia, uzyskany na podstawie badań metodą SEM z mikroanalizatorem składu chemicznego EDS dla kontaktu: a) MM, b) MA, c) AM (na podstawie artykułu [1 w Zał. 3a])

Na podstawie analiz uzyskanych rezultatów badań (rys. 10) zauważyłem, że dla kontaktu MM migracja tlenków CaO, SiO<sub>2</sub> oraz Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w funkcji grubości próbki jest ciągła dla

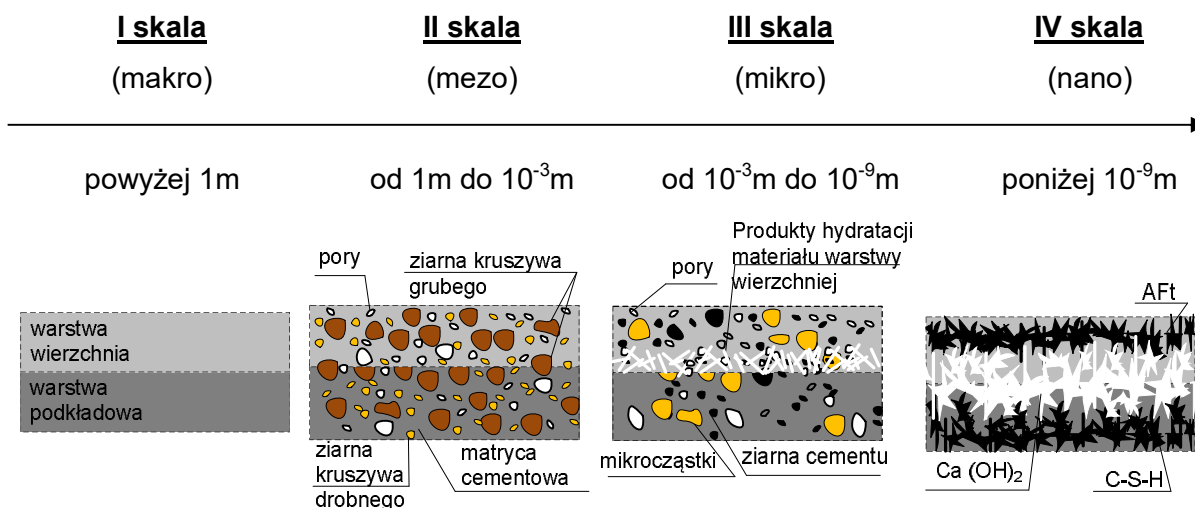


powierzchni śrutowanej, co koresponduje z uzyskiwanymi dla tego sposobu przygotowania powierzchni podkładu wysokimi wartościami przyczepności przy odrywaniu  $f_b$ . Analizując przedstawione wyniki badań, wywnioskowałem, że na uzyskiwaną wartość  $f_b$  niekorzystnie wpływa nagromadzenie tlenku CaO w strefie zespolenia. Wynika to najprawdopodobniej z braku mechanicznego przygotowania powierzchni podkładu i pozostawienia na tej powierzchni mlecza cementowego.

Na podstawie przeprowadzonych badań w skali nano wykazałem, że migracja tlenków pomiędzy warstwami ma miejsce w strefie o grubości od 1 do 7  $\mu\text{m}$  dla kontaktu typu MM, od 5 do 12  $\mu\text{m}$  dla kontaktu typu MA i od 10 do 17  $\mu\text{m}$  dla kontaktu typu AM. Analizując uzyskane rezultaty zauważyłem, że z punktu widzenia wysokich wartości  $f_b$  korzystne jest aby szerokość tej strefy była jak najmniejsza, co ma miejsce dla próbki, której powierzchnia była śrutowana, w przypadku której migracja tlenków zauważalna jest w strefie około 1  $\mu\text{m}$  dla kontaktu MM, około 5  $\mu\text{m}$  dla kontaktu MA i około 10  $\mu\text{m}$  dla kontaktu MA. Na podstawie tych badań można w praktyce budowlanej podejmować decyzje w sprawie doboru składu chemicznego środków szepnych w celu poprawy przyczepności na styku warstw. Wyniki tych badań zostały opublikowane w 2018 roku w artykule [1 w Zał. 3a] w czasopiśmie *Archives of Civil and Mechanical Engineering* znajdującym się w bazie JCR. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest wykazanie, że struktura porów powietrznych w strefie zespolenia oceniana w skali mikro oraz grubość strefy, w obrębie której następuje migracja tlenków, ocenianej w skali nano, mają wpływ na poziom zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych.**

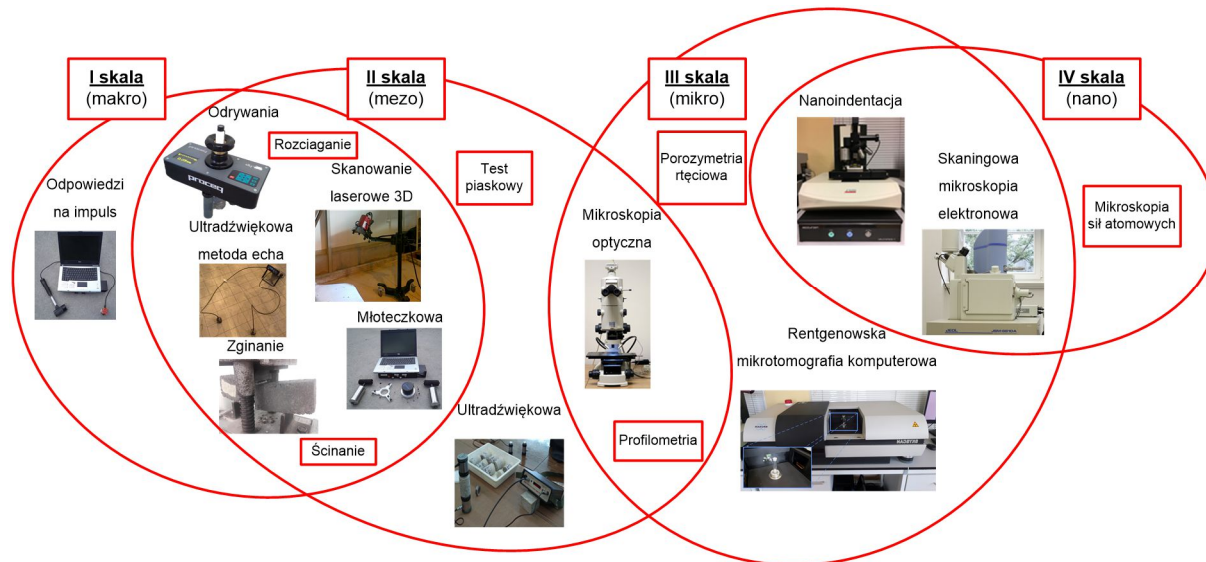
Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań uszczegółowiłem badanie poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w czterech skalach obserwacji (rys. 11):

- I skala obserwacji (makro) – w tej skali oceniana jest przede wszystkim wartość przyczepności przy odrywaniu  $f_b$  na podstawie badań seminieniszczących,
- II skala obserwacji (mezo) - w tej skali oceniane są przede wszystkim parametry opisujące morfologię powierzchni podkładu,
- III skala obserwacji (mikro) - w tej skali oceniana jest przede wszystkim struktura porów powietrznych kompozytu cementowego w strefie zespolenia oraz jej zmiany w czasie,
- IV skala obserwacji (nano) - w tej skali możliwa jest obserwacja mechanizmu zjawisk na poziomie cząsteczkowym, w tym na przykład ocena składu chemicznego kompozytu cementowego w strefie zespolenia i migracja atomów pierwiastków z warstwy do warstwy.



Rys. 11. Cztery skale badania (obserwacji) poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych (na podstawie artykułu [5 w Zał. 3a])

Określiłem również przydatność dostępnych metod badawczych w badaniach poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych, w zależności od skali (rys. 12). Ponadto w tab. 1 zebrałem i nazwałem oceniane tymi metodami podstawowe parametry (deskrytory) przyporządkowując je do odpowiedniej skali obserwacji. Zagadnienia te przedstawiłem i poddałem w 2017 roku dyskusji podczas *4th International Conference on Structural Adhesive Bonding AB2017* w Porto.

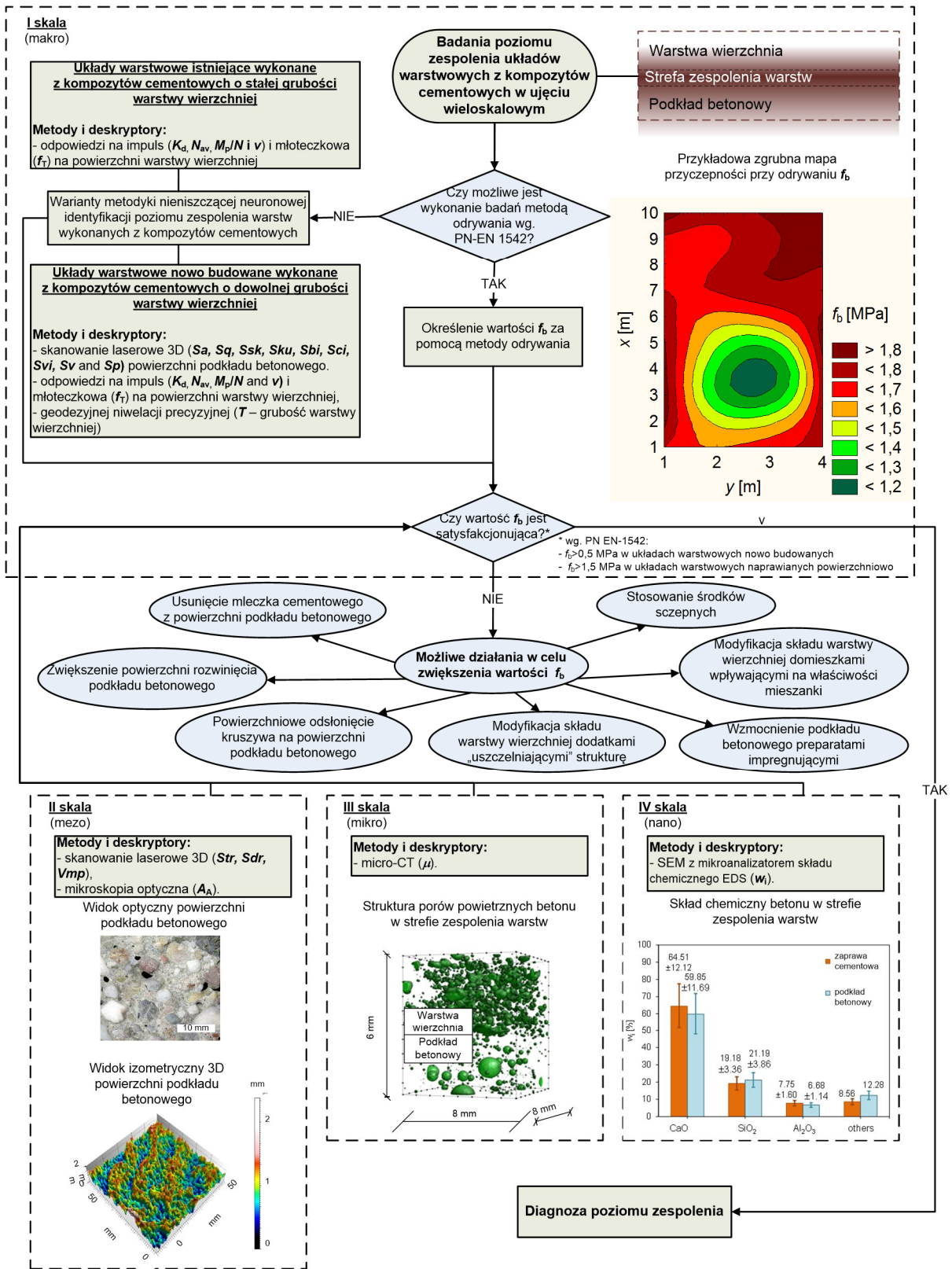


Rys. 12. Przydatność dostępnych metod badawczych w zależności od skali obserwacji poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych (na podstawie artykułu [5 w Zał. 3a])

Tab. 1. Przydatność dostępnych metod badawczych i ocenianych za ich pomocą deskryptorów w zależności od skali obserwacji poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych (na podstawie artykułu [5 w Zał. 3a])

Nazwa metody	Podstawowe oceniane deskryptory	Przydatność w skali obserwacji
Odrywania	$f_b$ - przyczepność przy odrywaniu	I, II
Skanowania laserowego 3D	$Sku$ - kurtoza powierzchni, $Str$ - wydłużenie struktury powierzchni, $Sa$ - średnia wysokość powierzchni, $Sdr$ - rozwinięty stosunek pola międzyfazowego powierzchni, $Sq$ - średniokwadratowa wysokość powierzchni, $Ssk$ - skośność powierzchni, $Vmp$ - objętość piku materiału.	I, II
Odpowiedzi na impuls	$K_d$ - sztywność dynamiczna, $M_p/N$ - tempo przyrostu dynamiki drgań, $N_{av}$ - średnia zmienność dynamiki drgań, $v$ - współczynnik wadliwości.	I, II
Młoteczkowa	$A$ - amplituda impulsu nadawczego, $f_T$ - częstotliwość fali ultradźwiękowej odbitej od dna.	I, II
Mikroskopia optyczna	$A_A$ - udział odsłoniętego kruszywa na powierzchni podkładu	II, III
Rentgenowska mikrotomografia komputerowa	$\mu$ - materiałowy współczynnik pochłaniania promieni rentgenowskich	III
Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) z mikroanalizatorem składu chemicznego EDS	$w_i$ - udział procentowy tlenków i atomów pierwiastków.	III, IV

W wyniku dotychczas przeprowadzonych badań i dyskusji naukowych zaproponowałem opracowaną skuteczną metodykę badań poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych, pokazaną na rys. 13. Została ona szczegółowo opisana w pracy [5 w Zał. 3a], podsumowującej cykl publikacji powiązanych tematycznie.



Rys. 13. Propozycja skutecznej metodyki badań poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym (na podstawie artykułu [5 w Zał. 3a])

Pracą podsumowującą cykl publikacji powiązanych tematycznie jest artykuł [5 w Zał. 3a] opublikowany w 2017 roku w czasopiśmie *Applied Sciences* znajdującym się w bazie JCR. **Moim wkładem w rozwój dyscypliny budownictwo jest opracowanie skutecznej metodyki badań poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym, w tym wskazanie przydatnych do tego celu metod badawczych i deskryptorów.**

#### d) Podsumowanie

Za najważniejsze osiągnięcia naukowe prezentowanego cyklu publikacji powiązanych tematycznie pt.: **Identyfikacja poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym**, stanowiące mój wkład w rozwój dyscypliny budownictwo, uważam:

- wykazanie, że sztuczna inteligencja w postaci samoorganizujących się map cech (SOFM) z algorytmem genetycznym oraz SSN z algorytmem współzawodnictwa i algorytmem Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno są przydatne do wiarygodnej oceny poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie parametrów ocenianych metodami nieniszczącymi,
- opracowanie metodyki wiarygodnej identyfikacji poziomu zespolenia w nowo budowanych układach warstwowych o dowolnej grubości warstwy wierzchniej oraz w istniejących układach warstwowych z kompozytów cementowych na podstawie badań nieniszczących, z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych,
- wykazanie, że im większe jest rozwinięcie powierzchni podkładu i im wyższy stopień odsłonięcia na tej powierzchni kruszywa, tym korzystniej kształtuje się poziom zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych,
- wykazanie, że do poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych mogą być przydatne parametry morfologii powierzchni podkładu, pozyskane w skali mezo, takie jak przestrzenny  $Str$  (wydłużenie struktury powierzchni), hybrydowy  $Sdr$  (rozwinięty stosunek pola międzyfazowego powierzchni) i objętościowy  $Vmp$  (objętość piklu materiału),
- wykazanie, że struktura porów powietrznych w strefie zespolenia oraz grubość strefy, w obrębie której następuje migracja tlenków, mają wpływ na poziom zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych,
- opracowanie skutecznej metodyki badań poziomu zespolenia układów warstwowych z kompozytów cementowych w ujęciu wieloskalowym, w tym wskazanie przydatnych do tego celu metod badawczych i deskryptorów.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Moje zainteresowania naukowo-badawcze po uzyskaniu stopnia doktora (poza tematyką przedstawioną w cyklu publikacji powiązanych tematycznie) były skoncentrowane na:

1. Diagnostyce konstrukcji z betonu nieniszczącymi metodami akustycznymi.
2. Zastosowaniach sztucznej inteligencji w budownictwie.
3. Ocenie wpływu dodatków mineralnych pochodzących z odpadów przemysłowych na wybrane cechy kompozytów cementowych.

**Ad. 1.** Brałem udział w badaniach imperfekcji dostępnych jednostronnie konstrukcji z betonu nieniszczącymi metodami akustycznymi odpowiedzi na impuls i tomografii ultradźwiękowej. Współuczestniczyłem wspólnie z prof. Jerzym Hołą, dr hab. Krzysztofem Schabowiczem i dr Tomaszem Gorzelańczykiem w udanej próbie nieniszczącej identyfikacji rys w dostępnych jednostronnie masywnych betonowych ścianach na przykładzie elektrowni wodnej metodami akustycznymi odpowiedzi na impuls i tomografii ultradźwiękowej. Na tamtą chwilę brak było opisanych przypadków lokalizacji i identyfikacji rys w dostępnych jednostronnie masywnych betonowych ścianach, z wykorzystaniem skompilowanych ze sobą tych nieniszczących metod badawczych. Współuczestniczyłem w opracowaniu i przedstawieniu metodyki nieniszczącej lokalizacji i identyfikacji rys w masywnych betonowych ścianach dostępnych jednostronnie, z wykorzystaniem nieniszczących metod akustycznych odpowiedzi na impuls i tomografii ultradźwiękowej, opublikowanej w pracy [1 w Zał. 4] w czasopiśmie *Archives of Civil and Mechanical Engineering* znajdującym się bazie JCR.

Następnie współuczestniczyłem w pracach zespołu, w skład którego weszli prof. Jerzy Hoła, prof. Jan Bień i dr hab. Krzysztof Schabowicz, opracowującego klasyfikację metod nieniszczących i seminieniszczących i deskryptorów możliwych do oceny tymi metodami na użytek oceny trwałości konstrukcji betonowych. Klasyfikację tą przedstawiłem i poddałem dyskusji w 2013 roku na konferencji *NDE in Canada* w Calgary w Kanadzie oraz w 2015 roku podczas wykładu wygłoszonego przeze mnie w *University of Porto* w Portugalii na zaproszenie prof. Joao Pedro Pego. W wyniku tych prac powstał artykuł p. t.: *Non-destructive and semi-destructive diagnostics of concrete structures in assessment of their durability* opublikowany w roku 2015 [2 w Zał. 4] w czasopiśmie *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences* znajdującym się bazie JCR. Na chwilę obecną ma on 16 cytowań w bazie Web of Science.

**Ad. 2.** Zainteresowałem się również zastosowaniem sztucznej inteligencji w budownictwie.

W pierwszej kolejności zająłem się zastosowaniem sztucznej inteligencji do oceny stopnia korozji stali zbrojeniowej w betonie. Do analiz wykorzystałem własną bazę danych składającą się z rezultatów badań nieniszczących modelowego elementu płytowego. W skład bazy danych weszły parametry charakteryzujące oporność betonu uzyskane metodą Wennera na powierzchni elementu. W celu ich skojarzenia wykorzystane zostały SSN z algorytmem uczenia ICA. Tak jak poprzednio w zakresie wykonania analiz numerycznych z wykorzystaniem ICA współpracowałem z Mehdim Nikoo z *Azad University* w Iranie. Przeprowadzone analizy wykazały, że zastosowanie ICA umożliwia wiarygodną ocenę stopnia korozji stali zbrojeniowej w betonie na podstawie parametrów charakteryzujących oporność betonu uzyskanych metodą Wennera na powierzchni elementu. Potwierdzają to bardzo wysokie wartości  $R$ : odpowiednio 0,8019 i 0,9045 dla uczenia i testowania. Wyniki tych badań przedstawiłem w artykule [3 w Zał. 4] opublikowanym w 2014 roku w czasopiśmie *Neural Computing and Applications* znajdującym się w bazie JCR. Na chwilę obecną ma on 12 cytowań w bazie Web of Science. Następnie wykorzystując posiadane rezultaty badań doświadczalnych przeprowadziłem kolejne analizy w poszukiwaniu narzędzia sztucznej inteligencji, które mogłoby pozwolić uzyskać wyższą wartość  $R$ . Postanowiłem wykorzystać do tego celu SOFM. W zakresie wykonania analiz numerycznych z wykorzystaniem SOFM nawiązałem współpracę z Mehdim i Mohammadem Nikoo z *Azad University* w Iranie. Przeprowadzone analizy wykazały, że zastosowanie SOFM pozwala wiarygodniej oceniać stopień korozji stali zbrojeniowej w betonie niż ICA. Objawia się to uzyskanymi dla SOFM wyższymi niż w przypadku ICA wartościami  $R$ : odpowiednio 0,9333 i 0,9786 dla uczenia i testowania. Wyniki tych analiz zostały opublikowane w 2017 roku w artykule [4 w Zał. 4] w czasopiśmie *Coatings* znajdującym się w bazie JCR.

Następnie zająłem się zastosowaniem sztucznej inteligencji do predykcji wytrzymałości na ściskanie betonu. W tym celu została wykorzystana obca baza danych składająca się z parametrów charakteryzujących skład betonu, takich jak współczynnik wodno-cementowy, masa cementu, piasku i kruszywa użytych do wykonania mieszanek betonowych. W celu ich skojarzenia wykorzystałem SSN z algorytmem uczenia GA. W zakresie wykonania analiz numerycznych z wykorzystaniem GA współpracowałem z Mehdim Nikoo z *Azad University* w Iranie oraz Farshidem Moghadamem z *Iowa State University* w Stanach Zjednoczonych. Przeprowadzone analizy wykazały, że zastosowanie GA umożliwia wiarygodną predykcję wytrzymałości na ściskanie betonu na podstawie parametrów charakteryzujących jego skład. Potwierdzają to bardzo wysokie wartości  $R$ : odpowiednio 0,9100 i 0,9350 dla uczenia i testowania. Wyniki zostały zawarte w artykule [5 w Zał. 4] opublikowanym w 2015 roku w czasopiśmie *Advances in Materials Science and Engineering* znajdującym się w bazie JCR. Na chwilę obecną ma on 5 cytowań w bazie Web of Science.

Mam udział w analizach dotyczących identyfikacji wilgotności zasolonej cegły ceramicznej na podstawie parametrów ocenianych metodami nieniszczącymi. W tym celu wykorzystałem przygotowaną przez dr Adelajdę Goetzke-Pala bazę danych składającą się z parametrów bezwymiarowych ocenianych metodami dielektryczną, opornościową i mikrofalową oraz parametrów charakteryzujących stężenie soli w cegle w postaci azotanów, chlorków i siarczanów. Przeprowadzone analizy wykazały, że jest możliwa wiarygodna identyfikacja wilgotności zasolonej cegły ceramicznej, na podstawie parametrów ocenianych metodami nieniszczącymi z wykorzystaniem SSN z algorytmem uczenia BFGS. Objawia się to uzyskanymi dla tej sieci wysokimi wartościami  $R$ : odpowiednio 0,9834 i 0,9830 dla uczenia i testowania. Wyniki zostały zawarte w artykule [6 w Zał. 4] opublikowanym w 2016 roku w czasopiśmie *Construction and Building Materials* znajdującym się w bazie JCR. Na chwilę obecną artykuł ten był cytowany 2 razy w bazie Web of Science.

**Ad. 3.** Podjąłem również badania dotyczące oceny wpływu dodatków mineralnych pochodzących z odpadów przemysłowych na wybrane cechy fizyczne i mechaniczne kompozytów betonowych. Na zrealizowanie tych prac uzyskałem 2 projekty badawcze na finansowanie działalności polegającej na prowadzeniu badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich na moim *Wydziale*. W tym celu wykorzystałem mączki mineralne będące materiałem odpadowym z produkcji kruszyw łamanych w budownictwie. Współuczestniczyłem w badaniach wybranych cech fizycznych (nasiąkliwość, szczelność, porowatość) oraz mechanicznych (wytrzymałość na ściskanie oraz rozciąganie, odporność na ścieranie) przy użyciu trzech mączek kamiennych: kwarcowej, skaleniowo-kwarcowej, bazaltowej. Badania te wykazały, że gęstość objętościowa betonu z dodatkiem mączki kwarcowej była wyższa niż dla betonu bez dodatków. Z kolei beton z dodatkiem mączki bazaltowej i kwarcowo-skaleniowej charakteryzował się gęstością objętościową jak beton bez dodatków. Wyższa gęstość betonu z dodatkiem mączki kwarcowej miała wpływ na jego wyższą szczelność, niższą nasiąkliwość i porowatość. Wyniki badań własności fizycznych opublikowane zostały w pracy [7 w Zał. 4]. Na chwilę obecną praca ta była cytowana 1 raz w bazie Web of Science. Na podstawie przeprowadzonych badań zauważyłem, że zastosowanie odpadowych mączek kamiennych w betonie powoduje spadek jego wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie, spadek przyczepności przy odrywaniu i wzrost wytrzymałości na ścieranie. Wyniki tych badań przedstawiłem i poddałem dyskusji w 2016 roku na konferencji *International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques (MBMS)* w Wilnie oraz na *XIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym* w Częstochowie, a następnie opublikowane zostały w pracach [8, 9 i 10 w Zał. 4].



## **6. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych po uzyskaniu stopnia doktora**

Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych po uzyskaniu stopnia doktora przedstawiłem zgodnie z kolejnością kryteriów zawartych w § 3-4 *Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego* (Dz. U. nr 196).

### **6.1. Osiągnięcia naukowo-badawcze w obszarze nauk technicznych**

#### **a) Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JCR**

Jestem autorem lub współautorem **26** artykułów (w tym **4** samodzielnych) opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora w czasopismach znajdujących się w bazie JCR, w tym:

- 7 artykułów w czasopiśmie *Construction and Building Materials* (Elsevier)
- 2 artykuły w czasopiśmie *Automation in Construction* (Elsevier),
- 2 artykuły w czasopiśmie *Archives of Civil and Mechanical Engineering* (Elsevier),
- 2 artykuły w czasopiśmie *Applied Sciences* (MDPI),
- 2 artykuły w czasopiśmie *Coatings* (MDPI),
- oraz po 1 artykule w takich czasopismach jak *Journal of Adhesion Science and Technology* (Taylor & Francis), *Journal of Civil Engineering and Management* (Taylor and Francis), *Applied Surface Science* (Elsevier), *International Journal of Adhesion and Adhesives* (Elsevier), *Metrology and Measurement Systems* (De Gruyter), *Applied Computational Intelligence and Soft Computing* (Hindawi), *Advances in Engineering Software* (Elsevier), *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences* (De Gruyter), *Advances in Materials Science and Engineering* (Hindawi), *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences* (Nisclair), *Neural Computing & Applications* (Springer).

Spośród tych 26 opublikowanych artykułów 12 wchodzi w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie, a 14 artykułów nie wchodzi w skład osiągnięcia naukowego. Z tych 26 publikacji 25 ma przypisany IF, w tym 12 wchodzących w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie. Spośród tych 26 opublikowanych artykułów 4 są samodzielne, w 17 zespołowych jestem pierwszym autorem, a w 25 byłem autorem do korespondencji.

#### **b) Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego**

Nie ma

#### **c) Udzielone patenty międzynarodowe lub krajowe**

Jestem współautorem 1 udzielonego patentu krajowego nr 219454 p.t.: *Wiertło koronowe do wykonywania odwiertów w betonie* przyznanego dnia 10.04.2015 na podstawie

zgłoszenia nr 398785 z 10.04.2012 [11 w Zał. 4]. Został on w 2016 i w 2017 roku skomercjalizowany przez GASTEL PREFABRYKACJA S. A. [10 i 11 w Zał. 5]. W 2017 roku patent ten został wystawiony i promowany podczas dziesiątej edycji Międzynarodowych Targów Wynalazków i Innowacji INTARG 2017 w Katowicach, gdzie został dwukrotnie wyróżniony w postaci srebrnego medalu [8 w Zał. 5] oraz Pucharu Urzędu Patentowego Republiki Czeskiej, a także został wystawiony w roku 2017 na XI Międzynarodowej Warszawskiej Wystawie Wynalazków (IWIS), gdzie uzyskał brązowy medal [9 w Zał. 5].

**d) Wzory użytkowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych targach**

Jestem współautorem 1 wzoru użytkowego p.t.: *Platforma jezdna urządzenia do badania morfologii płaskich powierzchni zwłaszcza betonowych* na podstawie zgłoszenia nr BA-III.W.126268.3.iskow z 11.04.2017 [12 w Zał. 4]. W 2017 roku zgłoszenie to zostało wystawione podczas XXIII Międzynarodowych Targów Budownictwa Drogowego AUTOSTRADA-POLSKA w Kielcach, X edycji Międzynarodowych Targów Wynalazków i Innowacji INTARG 2017 w Katowicach, gdzie uzyskało brązowy medal [8 w Zał. 5], oraz na XI Międzynarodowej Warszawskiej Wystawie Wynalazków (IWIS), gdzie również uzyskało brązowy medal [9 w Zał. 5].

**6.2. Osiągnięcia naukowo-badawcze we wszystkich obszarach wiedzy**

**1) Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR**

Jestem autorem lub współautorem 13 artykułów w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, nie umieszczonych w bazie JCR, w tym:

- 5 artykułów w czasopiśmie *Key Engineering Materials* (Trans Tech Publications),
- 3 artykuły w czasopiśmie *Procedia Engineering* (Elsevier),
- 3 artykuły w czasopiśmie *e-Journal of Nondestructive Testing & Ultrasonics* (ndt.net),
- 1 artykuł w czasopiśmie *Applied Mechanics and Materials* (Trans Tech Publications),
- 1 artykuł w czasopiśmie *Management and Production Engineering Review* (De Gruyter).

Jestem autorem lub współautorem 10 artykułów w czasopismach o zasięgu krajowym, w tym:

- 7 artykułów w czasopiśmie *Materiały Budowlane* (SIGMA-NOT Sp. z o.o.),
- 1 artykuł w czasopiśmie *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym* (Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej),
- 1 artykuł w czasopiśmie *Przegląd Spawalnictwa* (Agenda Wydawnicza SIMP),
- 1 artykuł w czasopiśmie *Izolacje* (Grupa MEDIUM).

## **2) Dokumentacje prac badawczych i ekspertyz**

Jestem współautorem **6** prac niepublikowanych. Wszystkie te prace zawierały elementy badawcze i zostały udokumentowane w bazie DONA PWr jako raporty SPR. Tematyka tych prac dotyczyła m. in.: innowacyjnych metody badań infrastruktury transportowej, badań wytrzymałościowych posadzek jastrychowych w budynku Szpitalnego Oddziału Ratunkowego w Lubinie, stanu technicznego budynku przy ul. Bohaterów Getta 18 w Nowej Rudzie, stanu technicznego cementowych wylewek jastrychowych w budynku Szpitalnego Oddziału Ratunkowego w Lubinie oraz nadzoru naukowego nad robotami betonowymi przy odbudowie zapory na rzece Witka w Niedowie.

## **3) Sumaryczny impact factor publikacji naukowych według listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania**

Sumaryczny impact factor publikacji naukowych według listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **47,960**, w tym za publikacje wchodzące w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie **31,527**, za pozostałe publikacje poza cyklem **16,433**. Średnia wartość impact factor na publikacje wynosi **1,84**, w tym za publikacje wchodzące w skład cyklu publikacji powiązanych tematycznie **2,63**, za pozostałe publikacje poza cyklem **1,03**.

## **4) Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)**

Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS) wynosi **188** (bez autocytowań). Liczba cytowanych prac wynosi 35 [patrz Zał. 1f]. Prace były cytowane między innymi przez naukowców z *University of Tokyo* w Japonii, *KU Leuven* w Belgii, *The University of Manchester* w Wielkiej Brytanii, *Ohio State University* oraz *Purdue University* w USA, sklasyfikowanych w pierwszej setce rankingu najlepszych szkół wyższych na świecie (tzw. *Listy Szanghajskiej*) w sporządzonym w 2017 roku rankingu *Academic Ranking of World Universities* (ARWU). Część prac była cytowana przez naukowców i inżynierów z prywatnych instytutów badawczych, takich jak *General Electric Global Research Center* w USA oraz *Hyundai Engineering & Construction* w Korei.

## **5) Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WoS)**

Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS) wynosi **12** [patrz Zał. 1f].

## **6) Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach**

Jestem kierownikiem projektu badawczego krajowego nr. 2014/15/D/ST8/00550 p.t.: *Ocena zespolenia warstw betonowych o zmiennej grubości na podstawie badań nieniszczących z wykorzystaniem sztucznej inteligencji* finansowanego w ramach konkursu SONATA 8 ze środków Narodowe Centrum Nauki w Krakowie (2015 – 2018) [1 w Zał. 5].

#### **7) Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność odpowiednio naukową albo artystyczną**

Za osiągnięcie naukowe stanowiące cykl prac opublikowanych w latach 2013-2015 otrzymałem w roku 2015 medal Wrocławskiego Oddziału Polskiej Akademii Nauk w konkursie *Iuvenes Wratislaviae*.

W latach 2013, 2014, 2015, 2016 i 2017 otrzymałem nagrodę JM Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność Uczelni, w tym za działalność naukową (w 2013 roku za rozprawę doktorską).

#### **8) Wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych**

Po uzyskaniu stopnia doktora wygłosiłem **13** referatów na konferencjach międzynarodowych, w tym:

- 1 referat na *2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures - EAC2* w 2017 roku w Brukseli (Belgia),
- 1 referat na *World Conference on Non-Destructive Testing (WCNDT)* w 2016 roku w Monachium (Niemcy),
- 2 referaty na *International conference on structural adhesive bonding AB* w 2015 i 2017 roku w Porto (Portugalia),
- 2 referaty na *International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques (MBMS)* w 2013 i 2016 roku w Wilnie (Litwa),
- 2 referaty na konferencji *International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing (Civil-Comp)* w 2013 i 2016 roku w Pradze (Republika Czeska) i w Cagliari (Włochy),
- 1 referat na *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)* w 2015 roku w Berlinie (Niemcy),
- 1 referat na *ICCE-22: twenty second Annual International Conference on Composites/Nano Engineering* w 2014 roku w Saint Julian's (Malta),
- 1 referat na *European Conference on NDT (ECNDT)* w 2014 roku w Pradze (Republika Czeska),

- 1 referat na 4th *International Conference on Surface Metrology* w 2014 roku w Hamburgu (Niemcy),
- 1 referat na *NDE in Canada* w 2013 roku w Calgary (Kanada).

Posiadam w swoim dorobku również 7 referatów wygłoszonych na konferencjach krajowych, w tym:

- 1 referat na międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej *Współczesne Problemy Budownictwa* w 2017 roku w Częstochowie,
- 1 referat na XIII międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym* w 2016 roku w Częstochowie,
- 1 referat na krajowej konferencji badań radiograficznych *Stary Młyn 2016* w 2016 roku w Bolesławcu,
- 1 referat na konferencji *Warsztat pracy rzeczoznawcy* w 2016 roku w Kielcach-Cedzynie,
- 1 referat na VIII sympozjum *Budownictwo ogólne* w 2015 roku w Toruniu,
- 1 referat na IV International Scientific-Technical Conference Manufacturing w 2014 roku w Poznaniu,
- 1 referat na 43 *Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących* w 2014 roku w Kudowie Zdrój.

Szczegółowy wykaz wszystkich prac zamieszczony jest w załączniku nr 1d. W tabeli 2 zestawilem podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych.

Tab. 2. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych

Rodzaj osiągnięcia	Ogółem	Opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora
<b>Publikacje naukowe</b>	<b>96</b>	<b>71</b>
Artykuły w czasopismach znajdujących się w bazie JCR	32	26
Artykuły w czasopismach międzynarodowych innych niż znajdujące się w bazie JCR	16	13
Artykuły w czasopismach krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR	12	10
Udzielone patenty krajowe	1	1*
Wzory użytkowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych targach	1	1
Referaty na międzynarodowych konferencjach	21	13
Referaty na krajowych konferencjach	13	7
<b>Podsumowanie dorobku publikacyjnego</b>		
Sumaryczny IF publikacji naukowych według listy JCR	59,841	47,960
Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science	189	188
Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science	12	12

\*Wynalazek zgłoszono w Urzędzie Patentowym RP pod nr P 398785 dnia 18.04.2012. Na ten wynalazek uzyskano patent nr 219454 opublikowany dnia 30.04.2015 [11 w Zał. 4].

## **7. Omówienie działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej oraz współpracy międzynarodowej po uzyskaniu stopnia doktora**

Omówienie działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej oraz współpracy międzynarodowej po uzyskaniu stopnia doktora uszeregowałem zgodnie z kolejnością kryteriów zawartych w § 5 *Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego* (Dz. U. nr 196).

### **1) Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych**

Uczestniczyłem w 2 programach europejskich. W roku 2014 w ramach programu Lifelong Learning Programme-Erasmus odbyłem kilkudniowy wyjazd szkoleniowy do Ecole Centrale de Lyon we Francji [3 w Zał. 5], a w roku 2015 w ramach programu Erasmus+ odbyłem kilkudniowy wyjazd dydaktyczny do University of Porto w Portugalii [2 w Zał. 5].

### **2) Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji**

W roku 2016 uczestniczyłem w dziewiętnastej światowej konferencji badań nieniszczących *World Conference on Non-Destructive Testing* (WCNDT) w Monachium, natomiast w roku 2014 w jedenastej europejskiej konferencji badań nieniszczących *European Conference on Non-Destructive Testing* (ECNDT 2014) w Pradze. Podczas ECNDT 2014 w Pradze współprowadziłem sesję p.t.: *NDT in Civil Engineering and Concrete Structures* [4 w Zał. 5]. W roku 2017 brałem udział w piętnastej konferencji badań nieniszczących *Asia Pacific Conference for Non-Destructive Testing* (APCNDT) w Singapurze.

W roku 2014 (w Hamburgu) i w roku 2016 (w Poznaniu) uczestniczyłem w cyklicznej konferencji *International Conference on Surface Metrology* (ICSM), która poświęcona jest metrologii powierzchni. W roku 2016 zostałem członkiem Komitetu Sterującego oraz współprowadziłem sesję naukową p.t.: *Manufacturing 5* podczas piątej edycji ICSM w Poznaniu [6 w Zał. 5].

Z kolei w latach 2015 i 2017 uczestniczyłem w konferencji *International Conference on Structural Adhesive Bonding* (AB) w Porto. Natomiast w roku 2013 uczestniczyłem w konferencji *International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing* (Civil-Comp) w Cagliari. Z kolei w latach 2013 i 2016 uczestniczyłem w cyklicznej konferencji *International Conference on Modern Building Materials Structures and Techniques* (MBMST) w Wilnie (jedenasta i dwunasta edycja). Podczas dwunastej edycji tej konferencji w roku 2016 współprowadziłem sesję naukową p.t.: *Building Materials* [5 w Zał.

5]. W roku 2017 uczestniczyłem w drugiej konferencji *International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures (EAC2)* w Brukseli.

W latach 2014 i 2016 brałem udział w konferencji *Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego* odbywającej się w Kielcach – Cedzynie. W roku 2016 współuczestniczyłem w wygłoszeniu na tej konferencji referatu zamawianego p.t.: *Diagnozowanie, metodami nieniszczącymi, zespolenia warstw w elementach betonowych*. W roku 2016 brałem udział w *Krajowej Konferencji Badań Radiograficznych Stary Młyn 2016* w Bolesławcu, gdzie wygłosiłem referat zamawiany p.t.: *Wykorzystanie rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej do oceny wybranych cech mikrostruktury betonu*.

W 2013 roku zostałem członkiem Komitetu Naukowego piątej edycji konferencji *Wpływ Młodych Naukowców na Osiągnięcia Polskiej Nauki* we Wrocławiu [7 w Zał. 5].

W sumie brałem aktywny udział w 15 międzynarodowych oraz 9 krajowych konferencjach naukowych.

### **3) Otrzymane nagrody i wyróżnienia**

W 2016 roku uzyskałem nagrodę (w postaci certyfikatu) przyznaną przez Edytorów czasopisma *Archives of Civil and Mechanical Engineering* za najczęściej cytowany artykuł opublikowany w roku 2013 (cytowania liczone do czerwca 2016 na podstawie danych z bazy Scopus) [12 w Zał. 5].

### **4) Udział w konsorcjach i sieciach badawczych**

Od roku 2016 uczestniczę w międzynarodowej sieci badawczej COST Action TU1404 p.t.: *Towards the next generation of standards for service life of cement-based materials and structures (www.tu1404.eu)* [13 w Zał. 5].

### **5) Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych, a w przypadku badań stosowanych we współpracy z przedsiębiorcami**

W ramach współpracy z przemysłem, od roku 2012 kierowałem jednym projektem realizowanym we współpracy z Centrum Posadzek *Zaremba* z siedzibą w Słotwinie w ramach projektu Dolnośląski Bon na Innowację.

### **6) Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism**

W roku 2016 pełniłem funkcje Asystenta Edytora w czasopiśmie *Open Engineering* wydawnictwa De Gruyter [14 w Zał. 5]. W roku 2017 zostałem zaproszony do Rady Naukowej czasopisma *International Journal of Structural Glass and Advanced Materials Research* wydawnictwa Science Publications [15 w Zał. 5].

**7) Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych**

Nie ma.

**8) Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki**

Prowadzę lub prowadziłem zajęcia dydaktyczne z następujących kursów: Budownictwo Ogólne 1 i 2 (ćwiczenia projektowe), Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje budowlane (wykład, ćwiczenia projektowe), Prawo budowlane (wykład, seminarium), Budownictwo mieszkaniowe (laboratorium), Utrzymanie i diagnostyka obiektów budowlanych (laboratorium).

Prowadziłem wykłady popularno-naukowe w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki (DFN) [16 w Zał. 5].. Podczas osiemnastej edycji DFN w roku 2015 przedstawiłem na *Wydziale Inżynieryjno-Technicznym Politechniki Wrocławskiej w Wałbrzychu* wykład p.t.: *Nieniszcząca diagnostyka zespolenia warstw betonowych na przykładzie posadzek*. Z kolei podczas dziewiętnastej edycji tego festiwalu przedstawiłem w *Zespole Szkół nr 5 im. Maksymiliana Tytusa Hubera w Wałbrzychu* wykład p.t.: *Trójwymiarowa morfologia powierzchni betonu*.

Ponadto aktywnie zajmuję się popularyzacją nauki w serwisach społecznościowych. Mój profil w serwisie *ResearchGate* ([https://www.researchgate.net/profile/Lukasz\\_Sadowski2](https://www.researchgate.net/profile/Lukasz_Sadowski2)) obserwuje na dzień dzisiejszy ponad 200 użytkowników a liczba pobrań udostępnianych treści przekroczyła 6000. Z kolei prowadzona przeze mnie w serwisie *Facebook* strona popularno-naukowa p.t. *NDT & Concrete morphology* ([https://www.facebook.com/DrLukasz.m.p.sadowski.wroclaw/?ref=aymt\\_homepage\\_panel](https://www.facebook.com/DrLukasz.m.p.sadowski.wroclaw/?ref=aymt_homepage_panel)) jest obserwowana i regularnie czytana przez ponad 80 użytkowników, w większości nie będących naukowcami.

Byłem opiekunem 29 prac dyplomowych, w tym 14 prac inżynierskich, 15 prac magisterskich (w tym 2 zagranicznych z *University of Porto* w Portugalii). Wykonałem około 25 recenzji takich prac.

W roku 2016 praca inżynierska Klaudii Mąkosy pt. *Projekt niskiego budynku mieszkalno – handlowego*, której byłem opiekunem, uzyskała wyróżnienie Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa (PZiTb) w konkursie na najlepszą inżynierską pracę dyplomową realizowaną na moim *Wydziale*.

**9) Opieka naukowa nad studentami**

Sprawuję lub sprawowałem opiekę naukową nad studentami, m. in.: Jackiem Szymanowskim (w roku 2015), Mateuszem Popkiem (w roku 2016) i Szymonem Karczewskim (w roku 2017 studentem studiów inżynierskich). W efekcie tej opieki powstało



7 publikacji w postaci: 1 artykułu w czasopiśmie znajdującym się w bazie JCR [13 w Zał. 4], 5 artykułów w czasopismach międzynarodowych innych niż znajdujące się w bazie JCR [7, 8, 9, 14 i 15 w Zał. 4] oraz 1 artykuł w czasopismach krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR [16 w Zał. 4].

**10) Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego**

Jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim Sławomira Czarneckiego, p.t.: *Nieniszcząca ocena zespolenia betonowej warstwy naprawczej o zmiennej grubości z warstwą podkładową* otwartym na moim Wydziale dnia 08.07.2015 (Promotor w przewodzie: prof. Jerzy Hoła) [17 w Zał. 5].

**11) Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich**

Odbyłem w roku akademickim 2015/2016 miesięczny staż naukowy w ramach programu Erasmus Mundus w La Trobe University w Melbourne w Australii [18 w Zał. 5].

**12) Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców**

Współuczestniczyłem w wykonaniu opinii technicznej dotyczącej klasy betonu w konstrukcji śluzy Rędzin I we Wrocławiu, ocenę techniczną przyczepności wylewek betonowych do betonu zasadniczego w skośnych kanałach wentylacyjnych szybów kopalni w Rudnej, orzeczenie dotyczące stanu technicznego budynku przy ul. Bohaterów Getta 18 w Nowej Rudzie oraz ocenę stanu technicznego cementowych wylewek jastrychowych w budynku Szpitalnego Oddziału Ratunkowego w Lubinie.

**13) Udział w zespołach eksperckich**

Od 2016 roku jestem członkiem Zespołu ds. Rozwoju Międzynarodowej Współpracy Naukowo-Badawczej przy Dziale Współpracy Międzynarodowej Politechniki Wrocławskiej [19 w Zał. 5].

**14) Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych**

Posiadam w dorobku 1 recenzję projektu międzynarodowego przewidzianego do realizacji w ramach funduszy wewnętrznych King Fahd University of Petroleum & Minerals w Arabii Saudyjskiej.

Posiadam w dorobku 67 recenzji publikacji w 34 czasopismach międzynarodowych z listy JCR (takich jak między innymi: *Cement and Concrete Composites*, *Journal of Cleaner Production*, *Construction and Building Materials*, *Neural Computing and Applications*, *KSCE*

*Journal of Civil Engineering, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Engineering with Computers, Sensors, Automation in Construction, Journal of Adhesion Science and Technology, Composites Part B: Engineering, Molecules, Materials, Coatings, Nanomaterials, European Journal of Environmental and Civil Engineering, Geomechanics and Engineering, Scanning, Computers and Concrete, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Journal of Civil Engineering and Management, Nuclear Engineering and Design, Journal of Applied Geophysics, Journal of Alloys and Compounds, Structural and Multidisciplinary Optimization).*

Posiadam w dorobku **6** recenzji publikacji w czasopismach krajowych (*Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Czasopismo Techniczne, Builder*).

Aktualna lista zrecenzowanych prac jest dostępna w profilu *Publons* pod poniższym adresem internetowym:

<https://publons.com/author/871543/ukasz-sadowski#profile>

#### **15) Inne osiągnięcia**

W roku 2014 uzyskałem stypendium naukowo-badawcze nr 82/PD/2014 dla młodego doktora w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki p.t.: *Młoda kadra 2015 plus. Wzbogacenie oferty dydaktycznej Politechniki Wrocławskiej w zakresie ogólnouczeniowych przedmiotów wybieralnych oraz wdrożenie nowych Interdyscyplinarnych Studiów Doktoranckich*.

W 2015 roku uzyskałem stypendium dla wybitnych młodych uczonych START Fundacji na rzecz Nauki Polskiej [20 w Zał. 5].

W roku 2015 uzyskałem stypendium Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w X edycji konkursu dla wybitnych młodych naukowców [21 w Zał. 5].

W roku 2016 w kategorii badawczej uzyskałem stypendium z własnego funduszu stypendialnego Politechniki Wrocławskiej.

W latach 2015-2017 realizowałem na moim *Wydziale* 3 projekty badawcze na finansowanie działalności polegającej na prowadzeniu badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców.

Od roku 2012 posiadam uprawnienia do projektowania i kierowania robotami budowlanymi w specjalności konstrukcyjno-budowlanej.

Informacja w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej po uzyskaniu stopnia doktora zostały zawarte w załączniku nr 1e.

