

Dr inż. Lucyna Domagała
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych i Ochrony Budowli

Załącznik 2A

AUTOREFERAT

Opis dorobku i osiągnięć naukowych

1. Informacje ogólne

1.1. Wykształcenie

Jestem absolwentką Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Dyplom magistra inżyniera specjalności *Konstrukcje Budowlane* obroniłam z wynikiem bardzo dobrym w lipcu 1993 r. W październiku 1993 r. rozpoczęłam czteroletnie studia doktoranckie w specjalności *Konstrukcje i Materiały Budowlane* na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Pracę doktorską pt. *Kształtowanie właściwości lekkich betonów wysokiej wytrzymałości z kruszyw ze spiekanych popiołów lotnych*, realizowaną pod kierunkiem dr hab. inż. Janusza Mierzwy, prof. PK, obroniłam z wyróżnieniem w październiku 2001 r.

1.2. Przebieg dotychczasowego zatrudnienia oraz pełnione funkcje

Od października 1997 r. jestem zatrudniona na Politechnice Krakowskiej w Instytucie materiałów i Konstrukcji Budowlanych, gdzie do czerwca 2002 r. pracowałam na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w Zakładzie Technologii Betonu, a następnie na stanowisku adiunkta. Z uwagi na zmiany struktury Instytutu Materiałów Budowlanych i Konstrukcji Budowlanych dokonane w 2007 r., obecnie pracuję jako adiunkt w Katedrze Technologii Materiałów i Ochrony Budowli.

Od września 2013 r. pełnię funkcję zastępcy dyrektora Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych ds. Dydaktyki. Od października 2013 r. jestem członkiem Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia.

1.3. Doświadczenie dydaktyczne

Moja działalność dydaktyczna obejmuje prowadzenie zajęć w języku polskim i angielskim z następujących przedmiotów: *Technologia betonu* (ćwiczenia, laboratoria); *Concrete technology* (wykłady, ćwiczenia, laboratoria); *Technology of concrete - advanced course* (wykłady, ćwiczenia, laboratoria); *Technologia prefabrykacji betonowej* (ćwiczenia, projekty, laboratoria); *Budownictwo ogólne* (wykłady, ćwiczenia, projekty/laboratoria); *Zaawansowane materiały konstrukcyjne* (ćwiczenia, laboratoria); *Advanced structural materials* (laboratoria); *Fakultet: Drobnowymiarowe elementy betonowe i kompozytowe* (wykłady); *Fakultet: Produkcja prefabrykatów betonowych* (wykłady); *Fakultet: Betony wysokiej wytrzymałości* (wykłady) oraz Seminarium dyplomowe w j. polskim i angielskim.

1.4. Charakterystyka dorobku naukowego

Mój dorobek publikacyjny dotyczący działalności naukowo-badawczej łącznie obejmuje 61 prac naukowych, w tym: jedną monografię, stanowiącą podstawę postępowania habilitacyjnego, 25 artykułów w czasopismach oraz 35 referatów, opublikowanych w materiałach konferencyjnych. 45 publikacji przygotowałam samodzielnie, a 16 w ramach współpracy z innymi autorami. Wygłosiłam 31 referatów na różnych konferencjach krajowych i zagranicznych.

Podsumowanie dorobku publikacyjnego

| <i>Rodzaj publikacji</i> | <i>Przed doktoratem</i> | <i>Po doktoracie</i> |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Monografie | - | 1 |
| Artykuły w czasopismach o zasięgu międzynarodowym (w tym z listy filadelfijskiej) | - - | 5 (3) |
| Artykuły w czasopismach o zasięgu krajowym | 1 | 19 |
| Referaty na konferencjach o zasięgu międzynarodowym (w tym wygłoszonych przeze mnie) | 2 (2) | 9 (8) |
| Referaty na konferencjach o zasięgu krajowym (w tym wygłoszonych przeze mnie) | 2 (2) | 22 + 6* (19) |
| Łącznie | 5 | 56 |
| <i>Cytowania publikacji</i> | <i>Przed doktoratem</i> | <i>Po doktoracie</i> |
| w czasopismach zagranicznych wg WoS i Scopus | - | 10 |
| w czasopismach zagranicznych wg Google Scholar / PoP | - | 12 |
| w czasopismach krajowych wg Google Scholar / PoP | - | 2 |
| w czasopismach krajowych wg BazTech | - | 8 |
| Łącznie | - | 20** |
| Impact Factor wg JCR | - | 2,699 |
| Indeks Hirscha wg WoS (wg PoP) | - | 1 (2) |

* 6 referatów zostało opublikowanych jako artykuły w czasopismach, w tym 2 o zasięgu międzynarodowym, a 4 o zasięgu krajowym

** Wykazane cytowania **nie uwzględniają autocytań** oraz cytowań w materiałach konferencyjnych i innych publikacjach, nie objętych dostępnymi bazami indeksów cytowań.

Szczegółowe zestawienia opublikowanych prac naukowych wraz z opisem udziału w pracach współautorskich oraz informacje o osiągnięciach dydaktycznych, otrzymanych nagrodach i wyróżnieniach, współpracy z instytucjami i organizacjami naukowymi oraz działalności popularyzującej naukę znajdują się w Załączniku 3. Informacje podane w Załączniku 3 odpowiadają kryteriom oceny w zakresie osiągnięć naukowo-badawczych osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w obszarze nauk technicznych, zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r.*

2. Działalność naukowo – badawcza

2.1. Główny nurt związany z technologią lekkich betonów kruszywowych

Moja działalność naukowo – badawcza związana jest przede wszystkim z technologią betonu. Programy badawcze, które realizowałam w mojej pracy naukowej ukierunkowane były na możliwości modyfikacji właściwości betonów konstrukcyjnych za pomocą nowoczesnych dodatków i domieszek oraz odpowiedniej technologii ich produkcji. Początkowo zajmowałam się zagadnieniem betonów wysokowartościowych, a w szczególności wpływem rodzaju i zawartości pyłu krzemionkowego na kształtowanie ich wytrzymałości. Zagadnienie to było wówczas dość popularne w kręgach badawczych w Polsce i zagranicą, w rezultacie czego możliwości rozwoju oryginalnych prac badawczych w tym obszarze były już mocno ograniczone.

W związku z faktem, że w 1995 r. uruchomiono w Gdańsku produkcję nowej generacji kruszywa popiołoporytowego Pollytag, w 1996 r. rozpoczęłam badania nad możliwością wytworzenia betonów lekkich wysokiej wytrzymałości z zastosowaniem tego kruszywa. Na świecie, w szczególności w krajach, w których produkowano spiekane kruszywa lekkie wyższych wytrzymałości, tego typu betony z powodzeniem od dekady były już stosowane nie tylko w badaniach laboratoryjnych, ale i do realizacji bardzo wielu odpowiedzialnych inwestycji budowlanych. Tymczasem w kraju produkowane kruszywa lekkie najczęściej stosowane były do betonów izolacyjnych lub izolacyjno - konstrukcyjnych. Lekkie betony konstrukcyjne stosowano rzadko, a ich wytrzymałość z reguły nie przekraczała 20 – 30 MPa. Ograniczenie wytrzymałości tych betonów związane było przede wszystkim z niską wytrzymałością stosowanych dotychczas kruszyw. Celem podjętych wówczas przeze mnie badań była ocena właściwości kruszywa Pollytag na tle innych kruszyw lekkich dostępnych w kraju i zagranicą oraz porównanie możliwości, jakie kruszywa te dawały w zakresie kształtowania właściwości betonów wysokich wytrzymałości. Przeprowadzone wówczas badania wstępne popiołoporytobetonów zapoczątkowały moje kilkunastoletnie kompleksowe badania i studia nad konstrukcyjnymi betonami lekkimi, które stały się głównym obiektem moich zainteresowań naukowo-badawczych. Wymagania stawiane współczesnym konstrukcyjnym betonom lekkim nie przystawały bowiem do znanej z podręczników i norm technologii betonów lekkich, której podstawy powstawały w latach 50 – 60 ubiegłego wieku. Kolejne zatem etapy i kierunki podejmowanych przeze mnie badań wskazywały na konieczność weryfikacji wielu stereotypowych poglądów dotyczących betonów lekkich, przeprowadzenia bardziej szczegółowych lub bardziej zaawansowanych badań, modyfikacji metod projektowania betonów lekkich czy modyfikacji ich składów i technologii wykonania.

W latach 1996 – 1998 przeprowadziłam kompleksowe badania normowych i nienormowych właściwości wszystkich produkowanych w kraju kruszyw lekkich oraz kilku rodzajów produkowanych zagranicą. Badania te obejmowały różne frakcje i rodzaje kruszyw ze spiekanych popiołów lotnych, kruszyw ze spiekanych glin pęczniących oraz kruszyw z utwardzonych popiołów lotnych. Z badań tych jednoznacznie wynikało, że w porównaniu do innych kruszyw krajowych nowy rodzaj produkowanego kruszywa charakteryzuje się zdecydowanie bardziej korzystnymi właściwościami mechanicznymi: większą sztywnością oraz kilkukrotnie wyższą wytrzymałością, porównywalną jak dla kruszyw zagranicznych stosowanych do betonów konstrukcyjnych wyższych wytrzymałości. W badaniach wykazałam również, że wpływ wielkości ziaren kruszyw spiekanych związany jest nie tylko z efektem skali, ale i różnicami strukturalnymi. Zmniejszenie bowiem rozmiaru ziaren kruszyw spiekanych z reguły

oznacza większy udział objętościowy zwartej powłoki. W rezultacie jednym z czynników decydujących o wytrzymałości betonu lekkiego z danym rodzajem kruszywa może być dobór jego maksymalnego rozmiaru. Tezę tę potwierdziłam w późniejszych badaniach betonów, wykazując, że nawet nieznaczne zmniejszenie średniej średnicy ziaren popiołoporytu może prowadzić do wyraźnego wzrostu wytrzymałości betonu lekkiego.

W dalszych badaniach, realizowanych w latach 1998 – 2003, skupiłam się na ocenie możliwości uzyskania betonów wysokiej wytrzymałości z kruszywem popiołoporytowym oraz rozpoznaniu podstawowych mechanizmów odpowiedzialnych za uzyskany poziom wytrzymałości betonów lekkich. Stosując kruszywo popiołoporytowe wstępnie nawilżone uzyskałam betony o wytrzymałości z zakresu ok. 35 - 70 MPa. Późniejsze badania pokazały, że ograniczając poziom wstępnej wilgotności kruszywa popiołoporytowego można uzyskać betony o wytrzymałości do 85 MPa. Analiza wytrzymałości ponad 150 wykonanych betonów lekkich o zróżnicowanych składach wykazała, że wpływ różnych czynników na ich wytrzymałość jest znacznie bardziej złożony niż w przypadku betonów zwykłych, a czynniki decydujące o jej poziomie są bardziej liczne i oddziałują w sposób synergiczny. W przeciwieństwie do betonów zwykłych, spośród czynników materiałowych zasadniczy wpływ na wytrzymałość betonu lekkiego ma nie tylko wytrzymałość matrycy cementowej, ale przede wszystkim wytrzymałość kruszywa, stanowiącego z reguły najsłabsze ogniwo wytrzymałościowe betonu lekkiego, oraz udział objętościowy obu tych składników w betonie. Natomiast, wobec dobrej przyczepności zaczynu do porowatych powłok kruszyw lekkich, istnieje możliwość pominięcia negatywnego wpływu strefy stykowej na wytrzymałość betonu. W badaniach realizowanych w późniejszych latach wykazałam, że zależność wytrzymałości betonów lekkich od zawartości kruszywa ma złożony charakter i nie można jednoznacznie stwierdzić, że wzrost udziału słabszego kruszywa w betonie prowadzi do spadku jego wytrzymałości. Tak zaskakujący wynik obserwacji, pozornie stojący w sprzeczności z kompozytowym charakterem materiału, spowodowany może być efektem zdolności kruszywa lekkiego do absorbowania wody z mieszanki betonowej. Wnioski dotyczące badań i analiz w tym zakresie zaprezentowałam w publikacjach w *Inżynierii i Budownictwie* (2003/12) [II.B)2] i *Cement–Wapno–Beton* (2003/2) [II.A)1] oraz na *Konferencji Krynickiej* w 2002 r. [II.G)15], międzynarodowej konferencji *Ibausil* w Weimarze w 2006 r. [II.G)6] i konferencji *Dni Betonu* w 2012 r. [II.G)31]. Numeracja publikacji w nawiasach kwadratowych odpowiada numeracji stosowanej w wykazie opublikowanych prac naukowych, zamieszczonych w Załączniku 3.

Kompleksowe badania betonów lekkich, uwzględniające znaczną zmienność różnych parametrów materiałowych, umożliwiły przegląd dotychczasowych metod projektowania konstrukcyjnych betonów lekkich. Ich weryfikacja wskazała, że aktualnie żadnej z dotychczas opublikowanych metod analitycznego projektowania lekkich betonów konstrukcyjnych nie można uznać za uniwersalną i zaadaptować do projektowania współczesnych konstrukcyjnych betonów lekkich. Metody te bowiem często nie uwzględniają możliwości stosowania innych niż przyjęto w założeniach składników, o zupełnie odmiennych charakterystykach materiałowych (nowych rodzajów kruszyw lekkich, cementów wyższych wytrzymałości, nowej generacji dodatków i domieszek). Ponadto, w procedurach projektowania analitycznego pomija się często uwzględnienie wielu czynników, istotnie wpływających na właściwości dojrzałych betonów lekkich. W zasadzie żadna z istniejących metod nie uwzględnia wpływu, tak istotnej w przypadku betonów lekkich, technologii ich wykonania. Analizując wpływ czynników materiałowych i technologicznych na właściwości wytrzymałościowe betonów lekkich, oraz uniwersalne modele wytrzymałościowe betonów lekkich, uwzględniające wpływ tych

czynników, wykazałam również, że stworzenie uniwersalnej metody analitycznego projektowania jest praktycznie niemożliwe. Metoda taka wymagałaby bowiem uwzględnienia bardzo wielu zmiennych oraz ustalenia doświadczalnego ogromnej liczby stałych, niekiedy z zastosowaniem skomplikowanych, nienormowych procedur badawczych. Co najwyżej możliwe jest opracowanie metod analitycznych projektowania lekkich betonów z konkretnym rodzajem kruszywa przy ograniczonych możliwościach doboru pozostałych składników i technologii wykonania betonu. Tego typu metodę opracowałam dla konstrukcyjnych betonów lekkich z kruszywem popiołoporytowym i piaskiem naturalnym. Podstawy tej czterokryterialnej metody projektowania przedstawiłam w artykule opublikowanym w *Cement-Wapno-Beton* (2003/5) [II.A)2]. W przeciwieństwie do innych metod projektowania betonów lekkich, zarówno analitycznych jak i doświadczalnych, wytrzymałość betonu lekkiego nie stanowiła tu jedyne kryterium projektowania betonu. Dodatkowo jako kryteria przyjęto gęstość betonu lekkiego, maksymalną zawartość cementu oraz koszt jednostki objętości betonu. W badaniach doświadczalnych wykazałam bowiem, że osiągnięcie określonego poziomu wytrzymałości betonu z danym rodzajem kruszywa lekkiego, możliwe jest przy znacząco różnej jego gęstości, różnej zawartości cementu i różnym koszcie. Tymczasem większość metod projektowania zakłada, że parametry te są jednoznacznie zdeterminowane poziomem przyjętej wytrzymałości.

Kolejny etap podjętych przeze mnie prac badawczych związanych z konstrukcyjnymi betonami lekkimi dotyczył optymalizacji technologii ich wykonania. Do najistotniejszych problemów technologicznych, jakie napotyka się podczas wykonywania betonów lekkich, należy przede wszystkim zwiększone ryzyko utraty urabialności mieszanki betonowej oraz segregacji składników przy podawaniu i układaniu mieszanki oraz podczas jej zagęszczania. W przypadku produkcji prefabrykowanych elementów z betonów lekkich umiarkowanych wytrzymałości (do 30 MPa) odpowiednia technologia przygotowania wstępnego kruszywa (np. nasycanie w wodzie, impregnacja itd.) oraz stosowanie odpowiednich metod zagęszczania (np. wibroprasowanie, wibracja z dociskiem pasywnym) umożliwia dosyć łatwe zminimalizowanie występowania tych negatywnych efektów. Wykonywanie jednak in situ konstrukcji z betonu lekkiego wyższej wytrzymałości wymaga już gruntownej wiedzy z zakresu technologii betonów lekkich oraz znacznego doświadczenia w tej kwestii. Problemy z utratą urabialności i segregacją składników szczególnie uwidaczniają się przy stosowaniu transportu pompowego, który dodatkowo obciążony jest ryzykiem zablokowania pompy w wyniku wtłoczenia pod ciśnieniem znacznych ilości wody zarobowej w porowate kruszywo. W rezultacie, w praktyce w przypadku wielu przedsięwzięć budowlanych, w których projektach pierwotnie przewidziano zastosowanie betonów lekkich, po nieudanych próbach betonowania rezygnowano z zastosowania tego materiału. Problemy związane z wykonywaniem konstrukcyjnych betonów lekkich omówiłam w publikacji *Przeglądu Budowlanego* (2005/12) [II.B)6]. Prace badawcze, które podjęłam w celu optymalizacji technologii wykonywania betonów lekkich obejmowały trzy kierunki działań: 1) opracowanie technologii wykonywania lekkich betonów samozagęszczalnych; 2) opracowanie optymalnych, ze względu na właściwości reologiczne mieszanki oraz właściwości materiału dojrzałego, procedur dozowania, mieszania i zagęszczania; 3) określenie wpływu poziomu wstępnego nawilżenia kruszywa na właściwości betonów lekkich, zarówno w stadium mieszanki jak i materiału dojrzałego.

Zagadaniem betonów lekkich samozagęszczalnych zajmowałam się w latach 2003 – 2004, kiedy to przykładów stosowania betonów tego typu na świecie było bardzo niewiele, a w Polsce wcale. Po opracowaniu kilkunastu składów lekkich betonów samozagęszczalnych, podjęłam współpracę z dr inż. Maciejem Urbanem, specjalizującym się w ocenie i metodyce badań

(wówczas jeszcze nienormowych) samozagęszczalności betonów. Zrealizowane badania jednoznacznie wskazały, że uzyskanie samozagęszczalności betonów lekkich jest możliwe, a w przypadku betonów lekkich wyższych wytrzymałości jest nawet łatwiejsze i mniej kosztowne niż dla betonów z kruszywami zwykłymi. W przeciwieństwie do betonów zwykłych nie wymagają one bowiem stosowania tak restrykcyjnych ograniczeń dotyczących składu, a w konsekwencji nie jest konieczna tak złożona jego modyfikacja. W przypadku badanych betonów z wstępnie nawilżonym kruszywem popiołoporytowym jedynym warunkiem uzyskania ich samozagęszczalności było zastosowanie odpowiedniej dawki superplastyfikatora. Wyniki tych badań zaprezentowane zostały w *Czasopiśmie Technicznym NOT* (2003/98–10) [II.B)3] i *Przeglądzie Budowlanym* (2003/4) [II.B)4] oraz na międzynarodowej konferencji w Levočy w 2006 r. [II.G)8].

Do czynników technologicznych, które mogą wywierać znaczący wpływ nie tylko na właściwości mieszanki betonowej, ale i właściwości dojrzałego betonu lekkiego należy kolejność i czas dozowania składników. W różnych publikacjach oraz wytycznych jako optymalne podawane są różne procedury wykonywania betonów lekkich. Niektóre z nich są bardzo skomplikowane i czasochłonne, w szczególności te uwzględniające konieczność wielostopniowego dozowania, wtórnego mieszania składników czy rewibracji mieszanki betonowej. Inne zalecane metody z kolei niewiele różnią się od tych stosowanych w technologii betonów zwykłych. Wobec tak znacznych rozbieżności dotyczących technologii wykonywania betonów lekkich, podjęłam również badania, mające na celu weryfikację procedur ich wykonywania. Badania te wykazały, że w zależności od nasiąkliwości kruszywa oraz jej rozwoju w czasie, jako optymalne mogą być stosowane różne procedury wykonania betonów lekkich. Dobór procedury wykonania ma szczególnie istotny wpływ na właściwości betonów z kruszywami o nasiąkliwości nieustabilizowanej w czasie wykonywania mieszanki, np. z kruszywami keramzytowymi. Zagadnienia związane z wpływem technologii wykonywania betonów lekkich na ich właściwości były przedmiotem dwóch zamawianych referatów na sympozja naukowo – techniczne *Reologia w technologii betonu*, które odbyły się w Gliwicach w 2008 r. [II.G)27] i 2009 r. [II.G)29].

Wieloletnie doświadczenia oraz studia nad konstrukcyjnymi betonami lekkimi skłoniły mnie do podjęcia badań nad wpływem stanu i poziomu wstępnej wilgotności kruszyw lekkich na właściwości betonów. Zagadnienie to z reguły rozpatrywano wyłącznie w kontekście wpływu na urabialność mieszanki betonowej i jej stabilność w czasie, zupełnie pomijając jego wpływ na właściwości dojrzałego kompozytu. Większość wytycznych wykonawczych oraz wiele publikacji naukowych wskazuje na konieczność wstępnego nasycania kruszyw lekkich lub zwiększania ilości wody zarobowej o ilość wynikającą z nasiąkliwości w wodzie po 1 h do 24 h, a nawet 48 h. Rzeczywiście takie podejście w większości przypadków eliminuje ryzyko utraty urabialności mieszanki betonowej oraz może wpłynąć na ograniczenie zużycia cementu czy domieszek upłynniających, niemniej jednak powoduje również szereg negatywnych konsekwencji, w praktyce rzadko branych pod uwagę. Liczne badania własne prowadzone nad wpływem poziomu wstępnej wilgotności różnych rodzajów kruszyw lekkich na właściwości betonów wskazują, że jego ograniczenie sprzyja powstaniu korzystnego efektu doszczelnienia i wzmocnienia matrycy cementowej w całej objętości betonu. Efekt ten w niektórych przypadkach szczególnie widoczny jest w strefie przejściowej, w której zaczyn może wykazywać nawet większą szczelność i wytrzymałość niż w pewnej odległości od powierzchni kruszywa. Ograniczenie wstępnej wilgotności kruszywa dodatkowo wpływa na doszczelnienie powłok kruszyw porowatych w betonie, a w przypadku niektórych rodzajów kruszyw lekkich, w tym popiołoporytów, na ich

wzmocnienie i zwiększenie sztywności. Bezpośrednim dowodem tak silnego wpływu poziomu wstępnej wilgotności na mikrostrukturę betonów lekkich były wyniki analiz przeprowadzonych pod mikroskopem skaningowym, które wykazały korzystniejszą budowę strefy przejściowej betonów lekkich z kruszywami o ograniczonej wstępnej wilgotności w stosunku do betonów zwykłych. Udowodniłam, że strefa ta dla większości betonów lekkich charakteryzuje się mniejszą lub porównywalną porowatością w odniesieniu do zaczynu spoza strefy oraz mniejszą zawartością portlandytu. W badaniach tych ponadto wykazałam, że ograniczenie przyczepności matrycy cementowej do kruszyw lekkich wstępnie nasyconych wodą nie wynika z braku penetracji zaczynu w głąb struktury porów kruszywa, a spowodowane jest występowaniem zwiększonej ilości ettryngitu w strefie przejściowej i towarzyszącym mu mikrorysom. Równocześnie udowodniłam, wbrew opiniom wielu badaczy, że migracja zaczynu w głąb struktury kruszywa i jej doszczelnienie może mieć miejsce nawet w przypadku wstępnego nasycenia kruszywa wodą. Wyniki mikrostrukturalnych badań betonów lekkich, ze szczególnym uwzględnieniem budowy strefy przejściowej zostały zaprezentowane w *Cement–Wapno–Beton* (2011/2) [II.A)5]. Wnioski dotyczące wpływu wstępnej wilgotności kruszyw lekkich, do których doprowadziły przeprowadzone badania mikrostrukturalne, zostały potwierdzone w badaniach betonów w skali makro. Wykazały one, że w konsekwencji mechanizmu absorpcyjnego kruszyw porowatych w mieszance betonowej, poprawie mogą ulec charakterystyki mechaniczne dojrzałych betonów lekkich. Wyniki tych badań, obejmujące badania odseparowanych z mieszanki kruszyw i zaczynów, badania reologiczne mieszanek betonów lekkich, badania wytrzymałościowe, badania modułu sprężystości oraz zależności naprężnie – odkształcenie w próbie ściskania, były prezentowane na międzynarodowej konferencji w Levočy w 2003 r. [II.G)3], w Jadwisinie w 2004 r. [II.G)17], *Dniach Betonu 2010* [II.G)32] oraz w *Magazynie Autostrady* (2012/1-2) [II.B)13].

Wnioski wynikające z badań wpływu poziomu wstępnej wilgotności kruszyw porowatych, skłoniły mnie do podjęcia badań nad trwałością betonów lekkich. Powszechnie panujący pogląd o większej przepuszczalności tych betonów dla cieczy i gazu, sugeruje obniżoną ich trwałość. Tymczasem, jak wykazały prowadzone przeze mnie w latach 2008 – 2014 badania, pomimo większej nasiąkliwości w stosunku do betonów zwykłych, betony lekkie kruszywowe mogą wykazywać porównywalną gazoprzepuszczalność oraz lepszą wodoszczelność, mrozoodporność i odporność na działanie wysokiej temperatury. Warunkiem korzystniejszej trwałości betonów lekkich w stosunku do betonów zwykłych porównywalnych wytrzymałości, a nawet do betonów zwykłych o podobnych składach objętościowych, jest odpowiednie ograniczenie wstępnej wilgotności kruszywa, dostosowane do jego nasiąkliwości. Natomiast powszechnie stosowane wstępne nasycanie kruszyw lekkich wodą lub dozowanie zwiększonej o nasiąkliwość ilości wody zarobowej, może prowadzić do radykalnego spadku trwałości betonów lekkich, niewspółmiernego do spadku ich wytrzymałości. Wyjątek w tej kwestii stanowi odporność betonów lekkich na działanie wysokiej temperatury. Jak wykazały badania realizowane wspólnie z dr Izabelą Hager, specjalistką z dziedziny ognioodporności materiałów budowlanych, odporność betonów lekkich na działanie wysokiej temperatury jest większa niż w przypadku betonów zwykłych tej samej klasy, nawet pomimo zastosowania wstępnego nasycenia kruszywa. Zagadnienie trwałości betonów lekkich było przeze mnie prezentowane na konferencjach *Kontra 2010* [II.G)31], *2012* [II.G)36, II.G)37] i *2014* [II.G)40, II.G)41], *Matbud 2011* [II.G)34] oraz w publikacjach w *Cement–Wapno–Beton* (2010/3 [II.A)4] ; 2012/3 [II.A)7]), *Materiałach Budowlanych* (2012/5) [II.B)12] oraz *Przeglądzie Budowlanym* (2014/5) [II.B)17, II.B)18].

Oprócz omówionych powyżej problemów związanych z projektowaniem i wykonywaniem betonów lekkich, inną przyczyną niechęci środowisk inżynierskich do ich stosowania jako materiału konstrukcyjnego jest powszechne przekonanie o obniżonych charakterystykach mechanicznych tych betonów w stosunku do betonów zwykłych porównywalnej klasy wytrzymałości. Zrealizowane przeze mnie w latach 2008 – 2010 badania weryfikacyjne, obejmujące badania zarówno betonów lekkich jak i zwykłych oraz wchodzących w ich skład zapraw cementowych i kruszyw, pokazały że przy zastosowaniu odpowiedniej technologii wykonywania betonów lekkich, ich wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu oraz zginaniu bynajmniej nie jest mniejsza niż dla betonów z kruszywami zwykłymi tej samej klasy. Badania modułu sprężystości wskazały natomiast, że jego wartość dla betonów lekkich może być zdecydowanie większa niż przyjmuje się w wytycznych do ich projektowania. Zatem w przypadku projektowania konstrukcji z betonów lekkich korzystniejsze może być przyjmowanie wartości modułu wyznaczonego doświadczalnie, a nie szacowanego normowo. Wykazałam również, że zależności naprężenie-odkształcenie w próbie ściskania betonów lekkich zasadniczo odbiegają od zakładanego przy projektowaniu kształtu parabolicznego, paraboliczno-prostokątnego czy bilinearnego. Fakt, że zależności te z reguły mają przebieg prostoliniowy w zakresie do ok. 85 – 90 % wyężenia, świadczy o możliwości pracy betonu lekkiego w konstrukcji w stanie niezarysowanym. Taki stan betonu lekkiego w pracującej konstrukcji dodatkowo sprzyja poprawie jej trwałości. Wyniki badań dotyczących porównania właściwości mechanicznych betonów lekkich i zwykłych były przedmiotem referatu na *Konferencji Krynickiej* w 2011 r. [II.G)33] oraz publikacji w *Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej* (z.58/2011/3) [II.B)9] i *Magazynie Autostrady* (2011/11) [II.B)11].

Zastosowanie kruszywa lekkiego zamiast zwykłego zasadniczo wpływa również na odkształcalność betonów nieobciążonych. W szczególności obawy wśród projektantów i wykonawców konstrukcji z betonów lekkich budzi znaczący ich skurcz. Prowadzone przeze mnie długoterminowe badania zmian objętościowych, rzeczywiście potwierdziły większe wartości skurczu końcowego badanych betonów lekkich w porównaniu z betonami zwykłymi. Niemniej jednak wartości te okazały się być mniejsze niż normowo przyjmowane przy projektowaniu. Co istotne, w badaniach wykazano, że w początkowym okresie dojrzewania betony lekkie wykazywały nie skurcz, a pęcznienie, a w późniejszym okresie (nawet do 50 dni) dzięki wewnętrznej pielęgnacji odkształcenia skurczowe betonów lekkich były nawet mniejsze niż w przypadku betonów zwykłych. Oprócz większej jednorodności materiałowej betonów lekkich, jest to dodatkowy czynnik wpływający na mniejsze ryzyko zarysowania tych betonów w stosunku do betonów zwykłych. Zagadnienie zmian objętościowych nieobciążonych betonów lekkich kompleksowo omówiono w obszernej publikacji w *Czasopiśmie Technicznym Politechniki Krakowskiej* (2008/1-B) [II.B)8].

Z uwagi na fakt, iż badania omawiane w publikacjach dotyczących konstrukcyjnych betonów lekkich wykonywane są w oparciu o rozmaite wytyczne i normy, ilościowe porównywanie wyników różnych badań niekiedy bywa bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. W szczególności różnice te dotyczą kształtu i rozmiaru próbek do badań oraz warunków badań. Wobec braku dostępnych publikacji dotyczących ilościowej oceny efektu skali w przypadku badań wytrzymałościowych betonów lekkich, za zasadne uznałam zatem podjęcie takiego tematu badawczego. Obszerne program zrealizowanych przeze mnie w latach 2004 – 2006 badań obejmował zarówno badanie próbek formowanych sześciennych, walcowych, pryzmatycznych, jak i rdzeniowych próbek wycinanych, wykonanych z betonów lekkich z różnymi kruszywami. Badanie te potwierdziły powszechnie znaną tezę o mniejszym wpływie geometrii próbek

betonów lekkich na wynik pomiaru wytrzymałości. W przypadku jednak betonów o różnym poziomie wytrzymałości oraz wykonanych z różnych kruszyw lekkich, efekt skali był bardzo zróżnicowany, od praktycznie nieobserwowalnego do znaczącego. W badaniach wykazano, że im większa różnica pomiędzy wytrzymałościami/sztynnościami matrycy cementowej i kruszywa, oraz im lepsza przyczepność obu składników betonu, tym wielkość i kształt próbek do badania ma mniejszy wpływ na pomiar wytrzymałości. Ponadto, analiza ilościowa efektu skali w przypadku normowych próbek formowanych wskazała, że ocena klasy wytrzymałości betonów lekkich w oparciu o próbki sześciennie, a nie walcowe może prowadzić do zaniżenia klasy wytrzymałości. Część wyników badań nad efektem skali betonów lekkich zaprezentowano w *Czasopiśmie Technicznym Politechniki Krakowskiej* (2004/14-B) [II.B)5] oraz na konferencji w Żylinie w 2005 r [II.G)5] i konferencji *Matbud 2007* [II.G)24]. Wyniki badań niepublikowanych w tym zakresie stanowią przedmiot opracowania, przygotowywanego obecnie do publikacji w czasopiśmie z listy filadelfijskiej.

Odrębnym zagadnieniem wartym rozpatrzenia był moim zdaniem wpływ wilgotności próbek do badania na uzyskiwane wyniki badań. Stopień rozpoznania tego problemu w przypadku betonów lekkich jest dużo mniejszy niż dla betonów zwykłych. Badania własne prowadzone w tym zakresie wykazały, że wpływ wilgotności próbek na wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie oraz moduł sprężystości jest bardzo znaczący, zwłaszcza wobec z reguły większej wilgotności tych betonów, dłuższego ich czasu wysychania oraz bardziej zróżnicowanego jej rozkładu w objętości materiału. W rezultacie różnice wyników badań próbek tych samych betonów lekkich, ale o różnej wilgotności, mogą być nawet większe niż te spowodowane zasadniczymi zmianami składu betonu. Uzyskane wyniki mają szczególne znaczenie ze względu na fakt, że często czas od wyjęcia poszczególnych próbek z komory klimatyzacyjnej do badań wytrzymałościowych może się na tyle różnić, że wpłynie na zmiany ich wilgotności, a w konsekwencji i wynik pomiaru wytrzymałości. Natomiast w przypadku modułu sprężystości wytyczne i normy często w ogóle nie precyzują stanu wilgotności, w jakim powinny być badane próbki. Problem wpływu wilgotności próbek betonów lekkich na wyniki badań właściwości mechanicznych był prezentowany w ramach różnych cytowanych w autoreferacie publikacji, dotyczących tych właściwości. Referat przedstawiony na międzynarodowej konferencji w Żylinie w 2009 r. [II.G)11] był natomiast poświęcony wyłącznie tej tematyce.

W latach 2006 – 2010 moje zainteresowania naukowo-badawcze skupiły się również na możliwościach modyfikacji właściwości konstrukcyjnych betonów lekkich za pomocą zbrojenia rozproszonego. Przeprowadzone badania miały na celu jakościowe i ilościowe rozpoznanie wpływu dodatku włókien stalowych i polipropylenowych na właściwości mieszanki betonowej oraz betonów stwardniałych. Wykazałam, że dodatek włókien stalowych może wpłynąć bardziej efektywnie na poprawę charakterystyk mechanicznych betonów lekkich w porównaniu do betonów zwykłych. Obserwowano nie tylko wyraźny wzrost wytrzymałości betonów lekkich na rozciąganie przy rozłupywaniu i zginaniu oraz zwiększenie ich zdolności do przenoszenia naprężeń w fazie pokrywyczej, ale w pewnych przypadkach widoczna była nawet poprawa wytrzymałości na ściskanie. Wpływ zastosowanych włókien polipropylenowych w porównaniu do stalowych okazał się mieć mniejsze znaczenie w modyfikacji właściwości mechanicznych, ale był bardziej znaczący w redukcji skurczu. Na szczególną uwagę zasługuje obserwacja, że zbrojenie rozproszone może ograniczyć efekt wewnętrznej pielęgnacji. W efekcie, we wczesnym okresie skurcz betonów zawierających włókna może być nawet większy niż betonów bez fazy włóknistej. Wykazałam również, wbrew licznym doniesieniom literaturowym, że zastosowane

włókna nie wywierają wpływu na moduł sprężystości badanych betonów lekkich, co należy tłumaczyć ich niezarysowanym stanem podczas cyklicznego obciążania i odciążania. Ze względu na wysoką jednorodność strukturalną betonów z kruszyw lekkich wpływ zbrojenia rozproszonego na przebieg zależności naprężenia – odkształcenie w części przedkrytycznej ujawnia się co najwyżej tuż przed osiągnięciem przez beton jego wytrzymałości. Wyniki i analizy bardzo obszernych i długoterminowych badań dotyczących modyfikacji właściwości betonów lekkich za pomocą dodatków włóknistych zostały zaprezentowane na licznych konferencjach, w tym: na międzynarodowej w Levočy w 2006 r. [II.G)8], w Jadwisinie w 2006 r. [II.G)19, II.G)21], na *Dniach Betonu* w 2006 r. [II.G)23] i 2008 r. [II.G)28], na konferencji *Matbud 2007* [II.G)25, II.G)26], międzynarodowych konferencjach w Brnie *LC2008* [II.G)9] i w Pradze *FC2009* [II.G)10] oraz *Konferencji Krynickiej* w 2009 r. [II.G)30]. Zagadnienia te były również przedmiotem publikacji w *Cement-Wapno-Beton* (2007/5) [II.A)3] oraz *Journal of Civil Engineering and Management* (2011/1) [II.A)6]. Ta ostatnia publikacja doczekała się licznych cytowań w artykułach zagranicznych (10 wg WoS, 12 wg PoP). Wielokrotnie (aż 15 razy) powoływano się na nią w przekrojowym artykule *Mahmoud Hassanpour, Payam Shafigh, Hilmi Bin Mahmud: Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement – A review* opublikowanym w *Construction and Building Materials* (2012/37), który stanowił podsumowanie dotychczasowej światowej wiedzy z zakresu lekkich betonów kruszywowych zbrojonych włóknami.

Realizacja wszystkich badań, związanych z tematyką konstrukcyjnych betonów lekkich, podejmowanych przeze mnie w latach 1996 – 2010, możliwa była dzięki przyznanemu przez Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej finansowaniu tych prac w ramach moich badań własnych (BW) i działalności statutowej (DS), wyszczególnionych w punkcie II.H) Załącznika 3.

2.2. Charakterystyka innych elementów działalności naukowo-badawczej

Pomimo, iż problematyka dotycząca konstrukcyjnych betonów lekkich zdominowała moją działalność naukowo-badawczą, w obszarze moich zainteresowań znajduje się również wiele innych zagadnień z dziedziny budownictwa, a w szczególności związanych z kontrolą jakości betonu, technologią prefabrykacji, normalizacją oraz rewaloryzacją obiektów zabytkowych.

Brałam udział w zespołach badawczych realizujących kontrolę jakości betonu wbudowanego w wiele obiektów na terenie Krakowa. W przypadku dużych przedsięwzięć budowlanych (np. Philip Morris, Galeria Krakowska, Szybki Tramwaj), obejmujących wykonanie wielu obiektów, prowadzona kontrola jakości miała charakter długoterminowy, nawet trzyletni. Uczestniczyłam również w ekspertyzach oceny stanu technicznego obiektów betonowych. W ramach umów z przemysłem prowadziłam kompleksowe badania kruszyw naturalnych oraz badania typu różnych elementów prefabrykowanych. Zajmowałam się również opracowaniem receptur lekkich betonów z kruszyw ze spiekanych glin pęczniejących, produkowanych na Ukrainie, pod kątem produkcji pustaków wibroprasowanych. Brałam również udział w badaniach mających na celu opracowanie technologii produkcji tych pustaków. Tematyce prefabrykacji poświęciłam też dwa referaty na konferencji w Jadwisinie w 2006 r. [II.G)20, II.G)22]. Zestawienie opublikowanych opracowań w ramach umów z przemysłem, w których brałam udział, znajduje się w Załączniku 3 (II.J)

Ponadto, od 2001 r. uczestniczę jako tłumacz w pracach Normalizacyjnej Komisji Problemowej ds. Betonu Polskiego Komitetu Normalizacyjnego nad wdrażaniem norm europejskich, a od 2009 r. jestem pełnoprawnym członkiem Komitetu Technicznego ds. Betonu (KT 274). Łącznie przetłumaczyłam 17 Norm Europejskich, w tym najważniejszą w zakresie technologii betonu *EN 206*. Pozostałe normy tłumaczone przeze mnie dotyczyły badań mieszanki betonowej oraz betonu stwardniałego, oceny jakości betonu wbudowanego w konstrukcję oraz wykonywania konstrukcji z betonu. W ramach swojej działalności w PKN, oprócz tłumaczeń norm, zajmuję się również ich weryfikacją oraz pracami redakcyjnymi.

Doświadczenie, jakie zdobyłam w trakcie prac normalizacyjnych i zrealizowanych badań własnych oraz badań na zlecenie przemysłu, umożliwia mi prowadzenie nie tylko zajęć dydaktycznych na Politechnice Krakowskiej, ale również popularyzację nauki w ramach mojej działalności w PZITB. Na szkoleniach zorganizowanych przez Małopolski Oddział PZITB w Krakowie prezentowałam wykłady nt. *Projektowania i oceny właściwości betonów samozagęszczalnych (SCC)* (2008 r.); *Konstrukcyjnych betonów lekkich* (2010 r.) oraz cykl wykładów dotyczących *Betonów nowej generacji: cz.1. Fibrobetony, cz.2. Betony lekkie; cz.3. Betony fotokatalityczne; cz.4. Betony samonaprawialne; cz.5. Betony transparentne* (2011 r.).

Mając na celu podnoszenie swoich kompetencji zawodowych, oprócz udziału w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych, na których łącznie zaprezentowałam 41 referatów (Załącznik 3, II.G), biorę również udział w różnych szkoleniach i konferencjach organizowanych przez PZITB, w tym w cyklicznych *Warsztatach pracy projektanta konstrukcji* oraz cyklicznej konferencji *Rew-Inż* dotyczącej *Inżynierskich problemów odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych*. Uczestniczę również w organizacji niektórych z tych konferencji (Załącznik 3, III.B).

3. Podstawa wystąpienia z wnioskiem o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym (art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki - Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.), które przedstawiam jako podstawę wystąpienia z wnioskiem o wszczęcie postępowania habilitacyjnego jest monografia mojego autorstwa pt. *Konstrukcyjne lekkie betony kruszywowe*, opublikowana w 2014 r. przez Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej jako monografia nr 462 serii *Inżynieria Lądowa* [I].

Celem przygotowanej przeze mnie monografii jak wyżej było kompleksowe omówienie zagadnienia współczesnych konstrukcyjnych lekkich betonów kruszywowych w oparciu o analizę aktualnego stanu wiedzy. Uznałam, że taka publikacja, zamiast monografii poświęconej szczegółowej analizie jednego z jednostkowych zagadnień z zakresu betonów lekkich jakimi się zajmowałam, będzie ze względów zarówno poznawczych jak i praktycznych, pozycją bardziej przydatną dla środowisk naukowych i inżynierskich. Monografia ta stanowi zatem nie tylko podsumowanie mojego dorobku naukowo-badawczego z zakresu konstrukcyjnych betonów lekkich, ale prezentuje również światowe osiągnięcia w tej dziedzinie.

Należy nadmienić, że ostatnia książka wydana w Polsce, dotycząca zagadnienia betonów lekkich kruszywowych (*Roszak W., Kubiczek F.: Betony z kruszyw lekkich, Arkady, Warszawa*) była opublikowana w 1989 r. Od tamtej pory zmienił się i poszerzył nie tylko rynek stosowanych do betonów lekkich cementów, dodatków i domieszek, ale przede wszystkim zasadniczym

zmianom uległ asortyment dostępnych kruszyw lekkich. Wymagania stawiane współczesnym betonom konstrukcyjnym wymusiły również stosowanie innych klasyfikacji, innych kryteriów oceny ich właściwości, metod badań, technologii wykonywania oraz innych, wielokryterialnych, metod projektowania.

Monografia została przygotowana głównie w oparciu o wyniki badań własnych omówionych w pkt.2.1. W jej tekście starałam się podkreślać ich udział. Uwzględniła ona równocześnie dostępną literaturę tematyczną. Studium literatury obejmowało łącznie 273 publikacje, w tym 33 własne.

Praca, opublikowana na 253 stronach druku, składa się z 9 głównych rozdziałów oraz bibliografii i streszczeń.

W publikacji kolejno scharakteryzowano właściwości kruszyw lekkich z uwzględnieniem dostępnego współcześnie ich szerokiego asortymentu. Wykazano, że ze względu na korzystne właściwości, najbardziej odpowiednie do betonów konstrukcyjnych są kruszywa ze spiekanych glin i łupków pęczniących oraz spiekanych popiołów lotnych.

Ponieważ u podstaw zrozumienia mechanizmów kształtowania właściwości materiału leży rozpoznanie jego budowy, w pracy opisano również mikrostrukturę betonów lekkich w aspekcie budowy różnych rodzajów kruszyw lekkich, matryc cementowych oraz strefy przejściowej pomiędzy nimi. Udowodniono, że w ogólnym przypadku betony lekkie charakteryzują się większą jednorodnością strukturalną w porównaniu do betonów zwykłych. Decyduje o tym nie tylko większa kompatybilność modułów sprężystości kruszywa porowatego i matrycy cementowej, ale i bardzo dobra ich wzajemna przyczepność, mechanizm absorpcyjny kruszywa lekkiego w mieszance betonowej, wpływający na redukcję porowatości matrycy cementowej, potencjalna reaktywność pucolanowa kruszywa lekkiego oraz możliwość długoterminowej wewnętrznej pielęgnacji.

Zasadniczą część monografii stanowi omówienie właściwości konstrukcyjnych betonów lekkich przy uwzględnieniu złożonych mechanizmów odpowiedzialnych za ich kształtowanie. Wykazano, że w porównaniu do betonów zwykłych liczba czynników materiałowych determinujących właściwości betonów lekkich jest większa, a czynniki technologiczne mają zdecydowanie silniejszy wpływ o charakterze sprzężonym z czynnikami materiałowymi. Właściwości betonów lekkich, z uwagi na znaczne zróżnicowanie charakterystyk stosowanych kruszyw porowatych oraz większe możliwości technologicznego kształtowania, różnią się w zdecydowanie szerszym zakresie w porównaniu do betonów zwykłych. Jedynie nieliczne z nich można jednoznacznie ocenić w odniesieniu do betonów z kruszywami zwykłymi. Takimi właściwościami są: mniejsza gęstość, mniejsze współczynniki przewodzenia ciepła i rozszerzalności termicznej, lepsza dźwiękochłonność, mniejszy moduł sprężystości, większa kruchość, większa odporność na obciążenia dynamiczne oraz większy skurcz końcowy. Pozostałe właściwości konstrukcyjnych betonów lekkich, zależnie od ich składu i zastosowanej technologii produkcji, mogą okazać się mniej korzystne, porównywalne lub bardziej korzystne w stosunku do betonów zwykłych tej samej klasy wytrzymałości.

W pracy omówiono również możliwości modyfikacji właściwości betonów lekkich za pomocą domieszek chemicznych, dodatków mineralnych, polimerów oraz zbrojenia rozproszonego.

Jeden z ostatnich rozdziałów monografii poświęcono omówieniu stosowanych metod projektowania oraz weryfikacji ich założeń. Wykazano, że złożony sposób kształtowania

właściwości betonów lekkich znacznie utrudnia prognozowanie ich wartości i praktycznie uniemożliwia stworzenie uniwersalnych analitycznych metod projektowania ich składu. Zaproponowano zatem metodę doświadczalnego projektowania tych betonów z uwzględnieniem wpływu różnych czynników materiałowych i technologicznych na ich właściwości.

Przedstawiona w monografii analiza aktualnego stanu wiedzy z zakresu lekkich betonów kruszywowych wskazuje, że betony te, z uwagi na liczne zalety oraz znaczne możliwości modyfikacji ich właściwości zarówno w stadium mieszanki betonowej jak i betonu stwardniałego, mogą stanowić nowoczesny materiał konstrukcyjny, będący korzystną alternatywą dla betonów na kruszywach zwykłych. W pracy wykazano również, że dostępne obecnie na rynku krajowym materiały, umożliwiają produkcję betonów lekkich, które mogą być stosowane przy użyciu nowoczesnych technologii ich transportu i betonowania, a których właściwości nie ustępują betonom wbudowywanym nawet w najbardziej imponujące budowle z betonów lekkich realizowane na świecie.

