

# AUTOREFERAT

dr inż. Justyna Zapała-Sławeta

Wydział Budownictwa i Architektury  
Politechnika Świętokrzyska

dr inż. Justyna Zapala-Slaweta  
Politechnika Świętokrzyska  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa

## AUTOREFERAT

### 1. Imię i Nazwisko

Justyna Zapala-Slaweta

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Stopień doktora	Rok uzyskania: 2015 Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury Dyscyplina: Budownictwo Tytuł pracy doktorskiej: Wpływ związków litu na przebieg reakcji alkaliów z kruszywem w betonie Rozprawa obroniona z wyróżnieniem nadanym przez Radę Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej Promotor: dr hab. inż. Zdzisława Owsiak, prof. PŚk Recenzenci: prof. dr hab. inż. Wiesława Nocuń – Wczelik dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk, prof. PŚk – Nagroda im Profesora Zbigniewa Engela za rozprawę doktorską, nagroda II stopnia, 2018 r.
Tytuł inżyniera	Rok uzyskania: 2010 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Tytuł magistra	Rok uzyskania: 2009 Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2013-2015	asystent, Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej,
2015-obecnie	adiunkt, Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej

### 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. nr 65, poz. 595 ze zm.)

#### A. Tytuł osiągnięcia naukowego

Monografia pt.: „Wybrane aspekty zapobiegania skutkom reakcji alkalia-krzemionka w betonie”

B. autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy

Podstawą ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo jest monografia (100% udziału):

**Justyna Zapala-Sławeta: „Wybrane aspekty zapobiegania skutkom reakcji alkalia-krzemionka w betonie” Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2019 ISBN 978-83-65719-58-4**

**Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Wiesława Nocuń-Wczelik,**

**dr hab. inż. Maria Fiertak, prof. PK**

### **C. Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

Przedstawiona do oceny monografia pt. „Wybrane aspekty zapobiegania skutkom reakcji alkalia-krzemionka w betonie” dotyczy analizy wpływu i skuteczności działania domieszek chemicznych i dodatków mineralnych, stosowanych do betonu w ograniczeniu negatywnych skutków reakcji kruszyw krzemionkowych z alkaliami. Podjęcie tego tematu wynikało z potrzeby poszerzenia wiedzy o działaniu potencjalnych inhibitorów korozji oraz ustalenia czynników determinujących ich skuteczność.

Praca obejmuje analizę efektywności azotanu litu, metakaolinu oraz równoczesnego zastosowania azotanu litu i metakaolinu w zmniejszaniu destrukcji wywołanej reaktywnością stosowanego kruszywa krzemionkowego. Podjęta tematyka dotyczy zarówno podstaw naukowych zachodzących reakcji oraz zawiera aspekt praktyczny, skupiony wokół możliwości zastosowania ww. domieszki chemicznej i dodatku mineralnego w celu zwiększenia trwałości betonu wykonanego z kruszywa reaktywnego. W monografii przedstawiono wyniki badań modelowych zapraw przygotowanych z cementu o stałej zawartości alkaliów, azotanu litu i różnej zawartości dodatku metakaolinu, prowadząc badania na zaprawach z reaktywnym kruszywem opalowym. Składnikami kruszywa opalowego są opal krystobalito-trydymitowy – opal CT (65% obj.) oraz chalcedon (30% obj.). Badania laboratoryjne zostały poprzedzone wnikliwą analizą dostępnych danych literaturowych w zakresie hipotez dotyczących: mechanizmu reakcji alkaliów z kruszywem, mechanizmu działania domieszek chemicznych w postaci związków litu, mechanizmu działania dodatków mineralnych oraz równoczesnego oddziaływania domieszek chemicznych i dodatków mineralnych na przebieg procesów korozyjnych. W pracy przedstawiono również zagadnienie równoczesnego występowania reakcji alkaliów z krzemionką i opóźnionego powstawania ettringitu.

Przedkładana monografia zawiera także studium literatury, systematyzujące aktualny stan wiedzy o reakcji kruszywa z alkaliami, sposobach ograniczania jej negatywnych skutków oraz metodach badań reaktywności kruszyw i postępu procesów korozyjnych. Monografia przedstawia nowe spojrzenie na mechanizmy procesów korozyjnych ze szczególnym uwzględnieniem analizy mikrostruktury, lokalizacji i składu produktów reakcji. Podkreślono konieczność analizy czynników determinujących rozpuszczalność krzemionki, analizy właściwości reologicznych żeli jako istotnych z uwarunkowań korozji alkalicznej.

Podjęty temat reaktywności kruszyw krzemionkowych i metod jej ograniczania mimo licznych badań jest zagadnieniem nadal aktualnym, o czym świadczą liczne prace przedstawiane w ramach konferencji (ICAAR) oraz prowadzonych projektów i programów badawczych. Wynika on z potrzeby poprawy trwałości betonu, będącego najważniejszą jego właściwością użytkową. Znaczenie trwałości betonu wzrosło w wyniku wprowadzenia zasady zrównoważonego rozwoju. Niedostateczna trwałość, określana w nowej normie PN-EN 206:2013+A1:2016 klasami ekspozycji dotyczy jedynie oddziaływania środowiska zewnętrznego, nie przewidując zniszczenia betonu wywołanego czynnikami wewnętrznymi.

Zagadnienia związane z pogorszeniem trwałości betonu na skutek reakcji pewnych rodzajów kruszyw z wodorotlenkami sodu i potasu są złożonym i trudnym obszarem badawczym na gruncie zachodzących reakcji chemicznych i procesów fizycznych. Powstałe w wyniku reakcji produkty wykazują silną zdolność do absorpcji wody, a pęczniąc generują naprężenia powodujące spękania zarówno ziarna jak i matrycy cementowej. W obrazie makroskopowym obserwuje się charakterystyczną siatkę spękań, wycieki produktów reakcji na powierzchnię betonu, odpryski ziaren. Dochodzi do poważnych uszkodzeń konstrukcji inżynierskich i/lub nawierzchni drogowych. Istnieje zatem konieczność poprawy trwałości betonów narażonych na korozję alkaliczną.

Problem reaktywności kruszyw stosowanych do betonu w warunkach krajowych został dostrzeżony całkiem niedawno o czym świadczy uruchomiony w 2016 r. projekt badawczy „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw”. Ma on na celu opracowanie kryteriów oceny reaktywności kruszyw z różnych regionów kraju oraz wytycznych technicznych do projektowania betonów o dużej trwałości, ze szczególnym uwzględnieniem zabezpieczenia przed wystąpieniem uszkodzeń spowodowanych reakcją alkaliów z kruszywem.

Znanych jest kilka metod zapobiegania reakcji kruszywa z alkaliami w betonie, wśród których można wymienić stosowanie kruszyw niezawierających reaktywnych minerałów; stosowanie cementów o małej zawartości sodu i potasu; produkcję betonu o małym stosunku w/c. Przytoczone metody posiadają pewne ograniczenia, wśród których najistotniejsze to: sytuacje w których brak dostępu do kruszyw niereaktywnych w danym regionie, rozbieżności w ocenie reaktywności kruszywa różnymi metodami badawczymi; zewnątrz źródła alkaliów tj. sole odladzające, woda morska; wzrost stężenia sodu i potasu w fazie ciekłej przy małym stosunku w/c.

Podjęte przeze mnie prace badawcze skupione były wokół pozostałych metod zapobiegania reakcji alkaliów z kruszywem: stosowania dodatków mineralnych do cementu oraz domieszki litowej. Badania nad poprawą trwałości betonu do którego produkcji zastosowano kruszywo reaktywne rozpatrzyłam na dwóch równoległych płaszczyznach – przebiegu reakcji i jej skutków w układach odniesienia i z potencjalnymi inhibitorami korozji. W celu zrozumienia i wyjaśnienia zachodzących zjawisk prowadziłam systematyczne badania o charakterze modelowym, głównie z uwzględnieniem analizy mikrostrukturalnej (mikroskopia skaningowa SEM-EDS). Badania mikrostruktury są kluczowym narzędziem oceny postępu procesów korozyjnych ponieważ obniżenie trwałości betonu spowodowane

reakcją alkaliów z kruszywem wynika właśnie ze zmian zachodzących w mikrostrukturze. Dlatego też w programie badań własnych założyłam, że wyniki uzyskane na próbkach zapraw mogą być zastosowane bezpośrednio do betonów.

Stosowanie związków litu, głównie azotanu litu wg wielu źródeł literaturowych oraz doświadczeń inżynierów pozwala na wyeliminowanie negatywnych skutków reaktywności kruszywa. Badania nad efektywnością  $\text{LiNO}_3$  prowadzone są głównie w Stanach Zjednoczonych w ramach programów badawczych Federal Highway Administration, będącym Departamentem Transportu Stanów Zjednoczonych. Azotan litu uznano za związek bezpieczny, nie wywołujący tzw. efektu pessimum czyli wzrostu ekspansji. Należy zaznaczyć, że związki litu nie są skuteczne w zmniejszaniu ekspansji betonów wykonanych z niektórych kruszyw [M poz. 213] a dużą rolę odgrywa tekstura kruszywa [M poz. 318]. Najnowsze doniesienia literaturowe przypisują również znaczącą rolę jonom glinu, które prowadzą do zmniejszenia rozpuszczalności krzemionki reaktywnej oraz właściwościom reologicznym produktów reakcji – uwodnionym żelom krzemianów sodowo-potasowo-wapniowych. Nadal aktualnym zagadnieniem pozostaje rola jonów wapnia w przebiegu samej reakcji, jej kinetyce oraz kształtowaniu właściwości pęczniących produktów reakcji.

Prowadzone w ramach pracy doktorskiej badania nad wpływem związków litu: azotanu litu i polikrzemianu litu na reakcję kruszywa żwirowego i opalowego wskazały na ich różną skuteczność [M poz. 311]. Azotan litu zmniejszył ekspansję zapraw z reaktywnego kruszywa żwirowego, natomiast nie ograniczył destrukcyjnej reakcji kruszywa opalowego. Nawet przy zwiększeniu zawartości azotanu litu do wartości stosunku molowego  $[\text{Li}]/[\text{Na}+\text{K}]$  wynoszącego 1,0 azotan litu ujawnił negatywne oddziaływanie. Uzyskane wyniki badań stały się przesłanką do rozszerzenia zakresu analiz. **Przeprowadzone badania własne, przedstawione w opracowanej monografii miały na celu próbę wyjaśnienia przyczyn niedostatecznej skuteczności azotanu litu, stosowanego jako potencjalny inhibitor korozji, stanowiąc jeden z czterech celów naukowych pracy.**

Azotan litu został wprowadzony do zapraw w rekomendowanej ilości wynoszącej 0,74  $[\text{Li}]/[\text{Na}+\text{K}]$ , przy zawartości alkaliów w cemencie wynoszącej 0,78%  $\text{Na}_2\text{O}_e$ . Krzywa ekspansji zapraw z kruszywem opalowym wskazała na ok. 37% ograniczenie rozszerzalności beleczek, gdy próbki badano zgodnie ze zmodyfikowaną metodą przedstawioną w normie ASTM C1260 – w roztworze immersyjnym zachowano ten sam co w zaprawach stosunek molowy  $\text{Li}/(\text{Na}+\text{K})$ ,  $T = 80^\circ\text{C}$ . Negatywny wpływ domieszki litowej odnotowano, gdy reakcja przebiegała w warunkach określonych normą ASTM C227, przy wilgotności względnej powyżej 95% i temperaturze  $38\pm 2^\circ\text{C}$ . Istotnym jest wystąpienie zjawiska znacznego zwiększenia liniowych zmian beleczek, przekraczających rozszerzalność zapraw bez azotanu litu ok. 2,5 razy. **Podobny przebieg krzywej ekspansji zapraw z reaktywnym kruszywem nie był do tej pory odnotowany przez innych badaczy w literaturze przedmiotu.** Znane są jedynie wyniki badań wskazujące na ograniczoną skuteczność azotanu litu w zmniejszaniu ekspansji betonów z kruszywem reaktywnym [M. poz. 213, 318], bez przekroczenia wartości ekspansji próbek bez domieszki litowej. **W wyjaśnieniu tak zaskakującego zjawiska pomocna była anali-**



za zmian zachodzących w mikrostrukturze, umiejscowieniu i składzie powstałych produktów reakcji wraz z czasem dojrzewania zapraw, będących efektem zmian w kinetyce reakcji i składzie fazy ciekłej zapraw. Prowadzone badania modelowe reakcji alkaliów z krzemionką w obecności azotanu litu pozwoliły mi na zaproponowanie własnego poglądu na zachodzące procesy korozyjne.

Z przedstawionych w monografii wyników badań (rozdział 9.2) oraz ich analizy wynika, że zaprawy z bardzo reaktywnym kruszywem opalowym o uziarnieniu 0,5-1 mm, analizowane w teście przyspieszonym i długoterminowym ulegają procesom korozyjnym w różnym stopniu. W wyższej temperaturze (80°C) oraz obecności w roztworze, w którym przechowywano beleczy zapraw azotanu litu dochodzi do wzmożonego procesu rozpuszczania krzemionki. Produkty reakcji w większym stopniu niż w zaprawach bez azotanu litu dyfundują do matrycy zaczynu cementowego, głównie wypełniając powstałe spękania. Świadczy to o dużym zaawansowaniu reakcji. Według opinii autorki przyczyną zjawiska może być późniejsze tworzenie nieprzepuszczalnej otoczki reakcyjnej wokół ziarna, utworzonej z produktów reakcji lub zmian w jej składzie. Zmniejszona zawartość litu w wytworzonych wokół ziarna reaktywnego otoczkach może wpływać na ich zwiększoną przepuszczalność dla jonów agresywnych. Badania za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego wyposażonego w analityzator rentgenowski nie mogą jednak wykryć litu, który jest pierwiastkiem zbyt lekkim, niewykrywalnym tą metodą.

W warunkach testu długoterminowego ekspansja zapraw z kruszywem opalowym jest ograniczona aż do ok. 90 dnia dojrzewania -- w niewielkim stopniu przekracza granicę reaktywności kruszywa wynoszącą 0,05%. W obrazie mikrostruktury zapraw po 90 dniu dojrzewania obserwowano ciemne obszary w ziarnach kruszywa opalowego, wskazujące na ich większą rozpuszczalność. Według autorki w tym okresie następuje pierwszy etap reakcji -- wodorotlenki sodu i potasu dyfundują do ziarna reagując z krzemionką. Ubytek jonów hydroksylowych powoduje przesunięcie równowagi w roztworze w porach i prowadzi do przechodzenia jonów wapnia do roztworu. Należy zaznaczyć, że stopień dyfuzji krzemionki kontrolują jony wapnia [M. 15, 16, 21]. Z przeprowadzonych analiz wynika, że udział jonów wapnia w otoczce reakcyjnej jest mniejszy niż w produktach reakcji powstałych w zaprawach bez jonów litu (analiza po 90 dniu reakcji), dyfuzja krzemionki na zewnątrz ziarna reaktywnego jest zatem ułatwiona.

Po 360 dniu reakcji w matrycy zaczynu cementowego obserwowano duże ilości ciekłych żeli krzemianów potasowo-sodowo-wapniowych, częściowo wypełniających powstałe spękania. Żele przyjmowały postać tzw. „rzek”. Istotnym jest, że żełe zlokalizowane w matrycy zaczynu cementowego odznaczały się dużą różnorodnością składu. Wraz ze wzrostem zawartości krzemionki zmniejszał się udział CaO i wzrastała zawartość Na<sub>2</sub>O i K<sub>2</sub>O, natomiast spadek zawartości sodu i potasu wiązał się ze wzrostem udziału wapnia.

Według autorki dalszy wzrost ekspansji mógł wynikać ze:

- zmiany właściwości pęczniejących żeli krzemianów potasowo-sodowo-wapniowych, wynikających z niewystarczającej ilości litu i włączenia w strukturę jonów wapnia. Możliwym jest, że decydujące znaczenie mają tutaj właściwości reologiczne produktów reakcji takie, jak: lepkość, granica plastyczności. Zagadnienie to wymaga wykonania dodatkowych badań i analiz,
- odtwarzania wodorotlenku sodu i potasu, które prowadzi do dalszej reakcji krzemionki reaktywnej, aż do wyczerpania reaktywnych faz w ziarnie kruszywa lub zmniejszenia stężenia alkaliów w fazie ciekłej do poziomu bezpiecznego. W literaturze przedmiotu znane jest zjawisko wymiany jonów sodu i potasu przez jony wapnia w żelach alkalicznych [M poz. 94]. Wymiana ta następuje podczas przemieszczania się żelu od ziaren kruszywa do matrycy zaczynu cementowego bogatego w wapń. Skutkiem zachodzących procesów jest ponowne uwolnienie sodu i potasu do fazy ciekłej oraz możliwość reakcji kationów z nieprzereagowaną krzemionką.

Nie można natomiast jednoznacznie stwierdzić, czy żele wypełniające spękania w matrycy zaczynu cementowego są bezpośrednią przyczyną dużego wzrostu ekspansji. Teoretycznie, przemieszczanie się żeli o dużej ciekłości od ziarna do zaczynu cementowego powinno wiązać się ze zmniejszeniem naprężeń, wynikającym z rozproszenia produktów reakcji.

Zaproponowany powyżej schemat przebiegu procesów korozyjnych w obecności azotanu litu jest istotny zarówno z punktu widzenia naukowego jak i aplikacyjnego. Wskazuje, że nawet w przypadku kruszyw, w których dostęp do krzemionki reaktywnej nie jest utrudniony, nie powstaje na powierzchni ziarna warstwa produktów, która chroniłaby je przed reakcją, jak postulował Feng [M. poz. 202]. Należy podkreślić, że w obecności azotanu litu reakcja kruszywa opalowego z alkaliami jest zaawansowana, a za jej intensyfikację odpowiada zwiększona rozpuszczalność krzemionki. Najważniejszym i oryginalnym osiągnięciem w tym zakresie jest stwierdzenie, że azotan litu może wzmacniać procesy korozyjne w zaprawach z kruszywem reaktywnym takim jak kruszywo opalowe, co prawdopodobnie wynika ze zmian w składzie i właściwościach pęczniejących żeli, związanych z włączaniem wapnia w strukturę krzemianów o zwiększonej zawartości potasu i sodu. Odtwarzanie alkaliów pozwala na kontynuację reakcji prawdopodobnie aż do momentu przereagowania krzemionki reaktywnej lub zmniejszenia zawartości alkaliów do poziomu bezpiecznego.

Zwiększenie odporności betonu z kruszywem reaktywnym możliwe jest również poprzez zastosowanie dodatków mineralnych. Ostatnie doniesienia literaturowe wskazują na większą efektywność dodatków mineralnych zawierających duże ilości  $Al_2O_3$  w porównaniu np. z pyłem krzemionkowym. Glin może ulegać adsorpcji na powierzchni krzemionki, zmniejszając w ten sposób jej rozpuszczalność. Postuluje się również, że wpływa na strukturę żeli, zmniejszając ich zdolność do pęcznienia [M. poz. 154, 174]. Niewyjaśnioną pozostaje również rola jonów wapnia – wskazano, bowiem, że dodatek  $Ca(OH)_2$  do zapraw lub betonów z cementu z dodatkami mineralnymi skutkowało wzrostem ekspansji [M. poz. 142]. Można zatem przypuszczać, że tylko przy określonym udziale wapnia w że-

lach wykazują one właściwości pęczniące. **Przytoczone informacje stały się podstawą do podjęcia przeze mnie badań skuteczności metakaolinu w ograniczaniu negatywnych skutków reaktywności kruszywa opalowego i przybliżeniu mechanizmu zachodzącej reakcji, stanowiąc drugi z celów badawczych.**

Przeprowadzone badania pozwoliły na ilościowe określenie zawartości metakaolinu eliminującego następstwa reakcji alkaliów z kruszywem. Na podstawie badań ekspansji zapraw wykazano, że zastąpienie cementu metakaolinem w ilości od 10% do 20% ogranicza rozszerzalność zapraw, wywołaną reakcją kruszywa z alkaliami do poziomu bezpiecznego, nie wywołującego destrukcji. Szczegółowe badania mikrostruktury i składu produktów reakcji pozwoliły na wyjaśnienie mechanizmów odpowiedzialnych za skuteczność dodatku mineralnego.

**Wzrost trwałości zapraw jest efektem synergii czterech zasadniczych mechanizmów:**

- **zmniejszenia zawartości wodorotlenku wapnia w zaprawach z metakaolinem.** Ograniczony dostęp jonów wapnia do reakcji z krzemionką reaktywną wynika z jego zużycia w reakcji pucolanowej. W związku z powyższym nie tworzą się skupiska portlandytu w strefie kontaktu kruszywo – zaczyn co utrudnia lub hamuje proces tworzenia wokół ziarna reaktywnego otoczek reakcyjnych. Wyznaczony stosunek dostępnego wodorotlenku wapnia do aktywnej krzemionki wskazuje, że wraz ze wzrostem zawartości metakaolinu w zaczynie stosunek  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  : krzemionki reaktywnej ulega obniżeniu. Wskazana przez Jonsa et. al. [M. poz. 326] wartość tego stosunku -  $\leq 1,7$ , świadcząca o ograniczeniu ekspansji, w badanych przeze mnie zaczynach została osiągnięta dla 15% i 20% zawartości metakaolinu, potwierdzając w ten sposób słuszność tej metody.
- **zwiększenia adsorpcji sodu i potasu przez powstałą w wyniku reakcji pucolanowej fazę C-S-H i C-A-S-H o obniżonym stosunku Ca/Si.** Wykazano, że w zaprawach z metakaolinem ziarna kruszywa opalowego ulegają procesom korozyjnym - powstają produkty reakcji o zbliżonych zawartościach alkaliów i obniżonej wapnia oraz w mniejszych ilościach niż ma to miejsce w zaprawach odniesienia. Z przedstawionych obrazów mikrostruktury zapraw z większym (20%) udziałem metakaolinu wynika, że ziarna kruszywa opalowego ulegały reakcji w ograniczonym stopniu.
- **zwiększenia stężenia glinu w roztworze w porach.** Wykazano, że wraz ze wzrostem zawartości metakaolinu w spoiwie zwiększa się stopień wymywania glinu, osiągając największe wartości do 28 dnia hydrolizy spoiwa. Po 28 dniach stężenie glinu zmniejsza się, jednak nie spada do zera. Z obserwacji mikrostruktury zapraw i powstałych żeli wynika, że jony glinianowe mogą ograniczać rozpuszczalność krzemionki i zmniejszać szybkość powstawania produktów reakcji. Wykazano, że pomimo zwiększonej koncentracji glinu w produktach na powierzchni ziarna kruszywa opalowego zachodzi reakcja prowadząca do destrukcji. **W tym zakresie, za oryginalne uważam stwierdzenie, że jony glinu wpływają jedynie na opóźnienie reakcji kruszywa z alkaliami, nie stanowiąc trwałej ochrony ziarna przed reakcją.**



– modyfikacji mikrostruktury zapraw, związanej z powstawaniem dodatkowych ilości faz krzemianów wapnia w wyniku reakcji pucolanowej metakaolinu. Reakcja pucolanowa powoduje wzrost udziału drobnych porów i przerwanie ciągłości porów kapilarnych, na skutek wzrostu zawartości C-S-H w zaczynie [M. poz. 46]. Skutkuje to ograniczeniem dyfuzji jonów agresywnych do ziarna.

Na przebieg reakcji kruszywa z alkaliarnymi znaczący wpływ ma skład fazy ciekłej, głównie stężenie jonów hydroksylowych, sodu, potasu, wapnia oraz jonów glinu i litu. Stosowanie dodatku mineralnego w postaci metakaolinu i domieszki azotanu litu zmienia skład fazy ciekłej zaczynów w stosunku do zaczynów z cementu portlandzkiego. Ponieważ zarówno jony glinianowe i kationy litu powinny ograniczać reakcję wodorotlenków sodu i potasu z krzemionką aktywną, obiecującym rozwiązaniem może okazać się równoczesne stosowanie dodatków mineralnych i domieszek chemicznych. Stosowanie domieszki litowej może wpływać na wzrost stężenia glinu w fazie ciekłej – jony litu mogą podstawiać atomy w strukturze mineralów, będące w koordynacji oktaedrycznej, tj. glin, żelazo, chrom, wanad i skand [M. poz. 217]. Natomiast dodatki mineralne zmniejszają zawartość wapnia w fazie ciekłej zaczynu na skutek reakcji pucolanowej. **Zdaniem autorki połączenie działania azotanu litu i metakaolinu może okazać się skuteczne w ograniczeniu postępu procesów korozyjnych w zaprawach z reaktywnym kruszywem opalowym. W związku z tym podjęto badania mające na celu określenie skuteczności równoczesnego stosowania metakaolinu i litu w zmniejszaniu ekspansji wywołanej reakcją krzemionka-alkalia oraz przybliżenie mechanizmu zachodzących procesów, co stanowi trzeci ze zrealizowanych celów badawczych.**

W treści pracy przedstawiono zmiany ekspansji zapraw z reaktywnym kruszywem opalowym, porównując efekt działania metakaolinu i azotanu litu oraz ich równoczesnego stosowania. Wykazano, że efekt synergii, a więc większy spadek ekspansji zapraw zawierających łącznie metakaolin i azotan litu w stosunku do zapraw z tylko jednym potencjalnym inhibitorem korozji jest widoczny jedynie przy większych zawartościach metakaolinu (10-20%) i zależy od zastosowanej metodyki badawczej. Na podstawie wykonanych badań wskazano również, że przy mniejszych zawartościach metakaolinu w spoiwie (5%) dominujący efekt wykazuje domieszka litowa. Metakaolin w tym przypadku jedynie opóźnia ekspansję, nie wpływając w znaczący sposób na poprawę efektywności domieszki litowej. Obserwując mikrostrukturę zapraw pod elektronowym mikroskopem skaningowym stwierdzono znaczną intensyfikację procesów korozyjnych. Charakterystycznym objawem reakcji kruszywa opalowego z alkaliarnymi w obecności azotanu litu i 5% udziału metakaolinu jest zwiększona rozpuszczalność krzemionki i ciekłość żeli krzemianów potasowo-sodowo-wapniowych. Żele krzemianów alkaliarnych o teksturze ziarnistej lub gąbczastej pokrywają powierzchnię ziarna reaktywnego. W obecności inhibitorów korozji obserwowano osłabienie strefy kontaktu kruszywa z zaczynem cementowym. Na podstawie analizy składu produktów reakcji stwierdzono, że w zaprawach z metakaolinem i azotanem litu powstają żele krzemianów potasowo-sodowo-wapniowych o obniżonym stosunku Ca/Si. Wraz ze

wzrostem zawartości metakaolinu ziarna kruszywa opalowego w mniejszym stopniu ulegały reakcji a ilość produktów reakcji była zmniejszona. Obserwowano ograniczenie procesów korozyjnych, o czym świadczą nieliczne spękania zarówno ziaren reaktywnych, jak i strefy kontaktu kruszywa z matrycą cementową.

Azotan litu zwiększał stężenie glinu w fazie ciekłej zaczynów z dodatkiem metakaolinu. Istotnym jest zmniejszenie stopnia adsorpcji sodu i potasu przez fazy C-S-H i C-A-S-H, tym samym zwiększenie ich stężenia w fazie ciekłej w stosunku do zaczynów z samym dodatkiem metakaolinu. Wykazano, że stopień adsorpcji litu przez produkty hydrolizy spoiwa zwiększa się wraz ze wzrostem udziału dodatku mineralnego, jednakże w zaczynach z metakaolinem stosunek  $Li/(Na+K)$  jest większy niż w fazie ciekłej zaczynów jedynie z domieszką litową. Przyczyną wzrostu stosunku  $Li/(Na+K)$  jest mniejsza zawartość jonów sodu i potasu w fazie ciekłej zaczynów z dodatkiem metakaolinu w porównaniu do zaczynów jedynie z domieszką litową. Na podstawie wykonanych analiz wyników badań wskazano, że dodatek metakaolinu zwiększa efektywność azotanu litu jako inhibitora procesów korozyjnych. **Zwiększenie skuteczności równoczesnego stosowania metakaolinu i azotanu litu upatruję w synergii następujących mechanizmów:**

- zmniejszenia dostępu jonów wapnia dla reakcji kruszywa z alkaliami, wynikającego z wiązania wodorotlenku wapnia w reakcji pucolanowej metakaolinu,
- zwiększenia stężenia glinu w fazie ciekłej zaczynów, zintensyfikowanego w obecności azotanu litu
- zwiększenia stosunku  $Li/(Na+K)$  w roztworze w porach.

Reakcje alkaliów z kruszywem może towarzyszyć zjawisko opóźnionego powstawania ettringitu, powodując przedłużenie oraz zwiększenie ekspansji betonu w późniejszym okresie. Jak wskazała Owsiak [M. poz. 227, 229] rekrytalizacja ettringitu, niezależnie od przyczyn zwiększa ekspansję zapraw, będącą efektem reakcji kruszywa z alkaliami. Opóźnione powstawanie ettringitu w betonach z kruszywem reaktywnym występuje po ekspansji wywołanej reakcją kruszywa z alkaliami. Ettringit krystalizuje w mikrospękaniach i rysach powstałych na skutek korozji alkalicznej. Dodatkowo reakcja alkaliów z kruszywem sprzyja opóźnionemu powstawaniu ettringitu ze względu na zmniejszenie stężenia alkaliów w fazie ciekłej. Rekrytalizacja ettringitu w mikrospękaniach wypełnionych żelem może przyczynić się do znacznej rozszerzalności zapraw i zniszczenia ich mikrostruktury.

Dane literaturowe dotyczące wpływu azotanu litu jednocześnie na korozję alkaliczną i opóźnione powstawanie ettringitu są nieliczne i nie w pełni wyjaśnione. Postuluje się, że w betonach z kruszywem reaktywnym i azotanem litu, które poddane były obróbce cieplnej (naparzeniu) powstaje ettringit nieekspansywny, w którym jony wapnia prawdopodobnie ulegają wymianie z jonami litu [M. poz. 231]. Ze względu na obserwowany brak zmniejszenia ekspansji zapraw z kruszywem opalowym, które dojrzewały w warunkach określonych w normie ASTM C227 (38°C, wilgotność względna >95%) przeprowadzono badania mające na celu wykazanie, czy azotan litu zabezpiecza za-

prawy przed ekspansją wywołaną zjawiskiem opóźnionego powstawania ettringitu, co stanowiło czwarty ze zrealizowanych celów badawczych. Należy zaznaczyć, że zjawiska rekrystalizacji ekspansywnego ettringitu nie obserwowano w zaprawie/betonie nie poddanym procesowi naparzenia.

W monografii przedstawiono wyniki badań modelowych zapraw wykonanych z reaktywnego kruszywa opalowego, cementu o małej zawartości alkaliów (0,66%  $\text{Na}_2\text{O}_e$ ) oraz azotanu litu, który wprowadzono w ilości odpowiadającej stosunkowi molowemu  $\text{Li}/(\text{Na}+\text{K}) = 1,0$ . Wprowadzona ilość domieszki litowej była wystarczająca do zmniejszenia ekspansji zapraw analizowanych w warunkach testu przyspieszonego (według ASTM C1260), natomiast okazała się nieskuteczna gdy zaprawy badano zgodnie z procedurą długoterminową (według ASTM C227). Pomiaru liniowego wydłużenia próbek zapraw z domieszką litową wskazują, że po 420 dniu zaawansowanej reakcji następuje ponowny skok ekspansji. Odnotowany przebieg krzywej liniowego wydłużenia zapraw nie jest charakterystyczny jedynie dla reakcji alkaliów z kruszywem. Wyróżniono cztery fazy przebiegu procesów korozyjnych o zróżnicowanej szybkości reakcji. Pierwsza faza, której odpowiada nieznaczny wzrost ekspansji związana jest z ograniczeniem przebiegu procesów korozyjnych; druga faza jest główną fazą reakcji alkaliów z kruszywem po której następuje trzecia faza o niewielkim przyroście ekspansji. Ostatnia czwarta faza reakcji o stopniu rozszerzalności większym niż w fazie drugiej odpowiada rekrystalizacji ettringitu. Obserwacje mikrostruktury potwierdziły, że oprócz żelu krzemianów potasowo-sodowo-wapniowych w strefie kontaktu kruszywa z zaczynem cementowym, pustkach powietrznych oraz spękaniach w matrycy występuje masywny ettringit. Kryształy ettringitu są dobrze wykształcone i ukierunkowane prostopadle do powierzchni kruszywa, co jest charakterystyczne w przypadku opóźnionego powstawania ettringitu. W zaprawach bez domieszki litowej również występował ettringit, jednak w znacznie mniejszych ilościach i słabiej wykształcony. Wykazano, że ettringit powstały w zaprawach bez domieszki litowej i w obecności azotanu litu nie różni się składem, który mógłby odpowiadać za właściwości ekspansywne jednych form ettringitu i wykluczać potencjalnie destrukcyjny innych form (M. rys. 6.1, str. 77 oraz rys. 10.6 str. 168). Przeprowadzone analizy pozwoliły na uzyskanie ważnych i oryginalnych z naukowego punktu widzenia rezultatów. Wykazano, że azotan litu nie ogranicza rekrystalizacji ettringitu w przypadku zapraw dojrzewających w warunkach normalnych. Ettringit towarzyszący żelom krzemianów potasowo-sodowo-wapniowych odpowiada za wzrost ekspansji zapraw w późniejszym okresie dojrzewania. Według autorki duży stopień zaawansowania procesów korozyjnych, udokumentowany obrazami mikrostruktury zapraw i szybkością przyrostu ekspansji wskazują, że azotan litu intensyfikuje reakcję kruszywa z alkaliami, stwarzając korzystne warunki dla zarodkowania i wzrostu kryształów ettringitu poprzez:

- zmniejszenie zasadowości fazy ciekłej w zaprawach, o czym świadczy powstawanie dużych ilości żeli krzemionkowych wzbogaconych w potas i sól,
- znaczne spękanie matrycy cementowej, stanowiące miejsce do rekrystalizacji ettringitu.



Podsumowując uzyskane i zaprezentowane w monografii wyniki badań sformułowano wnioski końcowe o charakterze naukowym i utylitarnym.

1. Azotan litu może wzmacniać procesy korozyjne w zaprawach z bardzo reaktywnym kruszywem krzemionkowym, a efekty negatywnego działania widoczne są po dłuższym czasie dojrzewania zapraw. Skutkiem makroskopowym reakcji zachodzącej w warunkach tzw. testu długoterminowego (wg ASTM C227) jest duży, ok. 2,5-krotny wzrost rozszerzalności zapraw z azotanem litu w porównaniu do zapraw bez domieszki litowej. Tak zaskakujący efekt działania azotanu litu nie był do tej pory odnotowany w literaturze przedmiotu i jest osiągnięciem oryginalnym. Przyczyny tego zjawiska są efektem synergii kilku mechanizmów, takich jak zwiększonej rozpuszczalności kruszywa reaktywnego w matrycy zaczynu cementowego, opóźnienia procesu tworzenia otoczki reakcyjnej wokół ziarna reaktywnego w początkowych okresach dojrzewania lub zmiany w jej składzie – głównie zawartości jonów litu i wapnia, ułatwionej dyfuzji rozpuszczonej krzemionki do matrycy zaczynu cementowego i odtwarzaniu wodorotlenków sodu i potasu, umożliwiających dalszy przebieg reakcji aktywnej krzemionki. Zwiększona ciekłość żeli krzemianów sodowo-potasowo-wapniowych o zmiennym składzie, przyjmujących postać tzw. „rzek” licznie występujących w matrycy zaczynu cementowego dowodzi, że azotan litu modyfikuje właściwości reologiczne produktów reakcji, a stwierdzone zniszczenie mikrostruktury świadczy o wpływie jonów litu na zdolność żeli do pęcznienia.

2. Metakaolin jako częściowy substytut cementu wywiera korzystny wpływ na ekspansję zapraw z kruszywem reaktywnym. Zastosowany w ilości od 10% do 20% masy cementu skutecznie zmniejsza ekspansję do poziomu bezpiecznego, nie wywołującego destrukcji. Wzrost odporności zapraw następuje na skutek synergii kilku mechanizmów, w tym zmniejszenia zawartości portlandytu, wzrostu udziału uwodnionych faz krzemianów wapnia oraz wzbogaconych w glin (fazy C-S-H i C-A-S-H), wpływających na zmianę mikrostruktury zapraw i zmniejszenia stężenia sodu i potasu w fazie ciekłej. Duży wpływ na kinetykę reakcji wywierają jony glinianowe, będące produktem hydrolizy metakaolinu, których wzrost stężenia w fazie ciekłej opóźnia reakcję kruszywa z alkaliami ale nie stanowi trwałej ochrony przed destrukcją. Metakaolin ogranicza reakcję kruszywa z alkaliami oraz powstawanie produktów pęczniących.

3. Równoczesne zastosowanie metakaolinu i azotanu litu wykazuje efekt synergii w postaci zmniejszenia rozszerzalności liniowej zapraw w porównaniu do działania jedynie metakaolinu lub azotanu litu. Efekt ten widoczny jest głównie dla procesów zachodzących w podwyższonej temperaturze (80°C). Gdy reakcja przebiega w temperaturze 38°C metakaolin osłabia negatywne działanie azotanu litu, a efekt wzmocnienia nie jest silny. Odnotowany wzrost skuteczności równoczesnego stosowania metakaolinu i azotanu litu jest efektem zmian zachodzących w fazie ciekłej zapraw, w tym zmniejsze-



nia dostępu jonów wapnia do reakcji z kruszywem, wzrostu stężenia glinu oraz wzrostu stosunku molowego  $[Li]/[Na+K]$  w fazie ciekłej, skutkujących mniejszym zaawansowaniem procesów korozyjnych.

4. Długoletnie pomiary wydłużenia próbek zapraw z kruszywem opalowym i azotanem litu wykazały, że rekrytalizacja ettringitu zwiększa ich ekspansję. Uzyskane wyniki wskazują, że zaawansowana reakcja kruszywa z alkaliami sprzyja rekrytalizacji ettringitu poprzez zmniejszenie pH fazy ciekłej oraz poprzez wcześniejsze powstawanie rys.

Moim osiągnięciem naukowym są zaprezentowane w monografii wyniki badań własnych dowodzące, że szkodliwej reakcji kruszyw zawierających reaktywną krzemionkę opalową z wodorotlenkami sodu i potasu w największym stopniu przeciwdziała dodatek metakaolinu, natomiast w najmniejszym domieszka litowa. Równoczesne zastosowanie metakaolinu i azotanu litu wykazuje mały efekt wzmocnienia w aspekcie zwiększenia trwałości zapraw. Przedstawione w monografii wyniki badań rzucają nowe światło na skuteczność i mechanizm działania potencjalnych inhibitorów korozji alkalicznej. Stanowią uzupełnienie wiedzy w zakresie roli jonów litu, wapnia i glinu w reakcji alkaliów z kruszywem. Uzyskane wyniki dają wskazania dla prognozowania trwałości betonu wykonanego z kruszywa reaktywnego, dodatku metakaolinu i domieszki chemicznej w postaci azotanu litu co stanowi istotną wartość dodaną w aspekcie aplikacyjnym. Ponadto, oryginalnym osiągnięciem w przedstawionym obszarze badawczym jest wykazanie, że azotan litu nie ogranicza zjawiska rekrytalizacji ettringitu stanowiąc zaprzeczenie doniesień literaturowych. Obniżenie trwałości betonu w obecności azotanu litu jest sumą dwóch procesów korozyjnych: zaawansowanej reakcji kruszywa z alkaliami i opóźnionego powstawania ettringitu.

Wyniki badań ekspansji zapraw z potencjalnymi inhibitorami korozji, uzupełnione o liczne badania mikrostruktury, składu i umiejscowienia produktów reakcji mogą posłużyć za punkt odniesienia w podobnych badaniach. Z pracy wynikają również wskazania praktyczne dla badaczy reakcji alkalia-krzemionka dotyczące konieczności szerszego rozpatrzenia wpływu składu fazy ciekłej, w tym siły jonowej na rozpuszczalność krzemionki reaktywnej. Niezmiernie ważnym aspektem jest analiza wpływu jonów litu na właściwości reologiczne żeli krzemianów sodowo-potasowo-wapniowych.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### Przebieg pracy naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora

Jestem absolwentką studiów magisterskich jednolitych Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego na kierunku Chemia (2009 r.) oraz studiów inżynierskich Wydziału Inżynierii Materiałowej

i Ceramiki na kierunku Technologia Chemiczna (2010 r.). W ramach studiów magisterskich prowadziłam badania w Zakładzie chemii analitycznej, w zakresie analiz toksykologicznych i farmaceutycznych. Temat mojej pracy magisterskiej brzmiał: „Opracowanie metody oznaczania citalopramu i jego enancjomerów w materiale biologicznym”. W ramach studiów inżynierskich zajmowałam się tematyką korozyjności betonu, czego efektem była praca dyplomowa inżynierska o tytule: „Zaczyn cementowy a świat organizmów żywych” wykonana w Katedrze Technologii Materiałów Budowlanych.

W 2010 roku podjęłam studia doktoranckie na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej. W 2012 roku na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska otworzyłam przewód doktorski, który w 2015 roku zakończył się obroną rozprawy doktorskiej pt. „Wpływ związków litu na przebieg reakcji alkaliów z kruszywem w betonie”. Rozprawę doktorską obroniłam z wyróżnieniem nadanym uchwałą Rady Wydziału Budownictwa i Architektury z dnia 25 maja 2015 r. Za uzyskanie stopnia naukowego doktora otrzymałam nagrodę Rektora Politechniki Świętokrzyskiej (2016 r.) natomiast za pracę doktorską i dorobek naukowy Nagrodę im Profesora Zbigniewa Engela (nagroda II stopnia, 2018 r.).

Moje zainteresowania naukowe i badawcze były związane z diagnozowaniem przyczyn reakcji kruszywa z alkaliami (zał. 4, pkt. II E poz. 2.8) z cementu oraz metodami zmniejszania negatywnych skutków korozji wywołanej reaktywnością kruszywa poprzez zastosowanie domieszek chemicznych. W pierwszej kolejności podjęłam próbę identyfikacji stopnia reaktywności dwóch kruszyw krajowych: kruszywa żwirowego, pochodzącego z północno-wschodnich rejonów Polski oraz kruszywa opalowego, będącego kruszywem modelowym, pochodzącego z południowo-zachodniej Polski. W swoich analizach zastosowałam metodykę norm amerykańskich ASTM i polskich, a informacje o dostępnych metodach badań ze wskazaniem ich wad i zalet przedstawiłam w publikacjach w czasopiśmie krajowych i konferencjach zagranicznych (zał. 4, pkt. II E poz. 2.23, 2.32). Wykonana analiza petrograficzna pozwoliła na identyfikację składników reaktywnych badanych kruszyw (wg ASTM C295), metoda chemiczna (wg ASTM C289) umożliwiła określenie zawartości krzemionki rozpuszczonej i redukcji stopnia alkaliczności, stanowiąc podstawę do zaklasyfikowania kruszyw do potencjalnie reaktywnych i reaktywnych. Zastosowana metoda badań wg normy PN-92/B-06714-46 umożliwiła określenie reaktywności kruszywa, głównie żwirowego w zależności od jego stopnia rozdrobnienia. Stopień reaktywności kruszyw został również określony metodami badań ekspansji, prowadzonych na próbkach zapraw wg ASTM C1260 oraz ASTM C227. Na podstawie wykonanych analiz wskazano prawdopodobny mechanizm przebiegu reakcji kruszywa żwirowego z wodorotlenkami sodu i potasu. Wyniki prac zostały opublikowane w czasopiśmie krajowych (zał. 4, pkt. II A poz. 2.11, II E poz. 2.21) oraz na konferencjach naukowych (zał. 4, pkt. II E poz. 2.31).

Po ustaleniu stopnia reaktywności stosowanych kruszyw w dalszych swoich pracach badawczych skupiłam się nad skutecznością związków litu w ograniczeniu niszczącej ekspansji betonów z kruszywem żwirowym i kruszywem opalowym. Związki litu, głównie azotan litu uznawane są za inhibitory korozji alkalicznej o dużej efektywności. Wprowadzając domieszki litowe w stosunku do zawartości

alkaliów w cemencie wykazałam związek pomiędzy ich efektywnością a poziomem zawartości alkaliów (od 0,66%  $\text{Na}_2\text{O}_e$  do 1,1%  $\text{Na}_2\text{O}_e$ ). Wykazałam, że zastosowane sole litu skutecznie zmniejszają ekspansję na skutek reakcji z alkaliarni kruszywa żwirowego, jednakże nie ograniczają powstawania wycieków i odprysków na powierzchni kompozytu cementowego (zał. 4, pkt. IIE poz. 2.25).

W swoich badaniach stosowałam metodyki analizy zmian składu fazowego oraz mikrostruktury metodami analizy rentgenostrukturalnej, termicznej analizy różnicowej, mikroskopii elektronowej oraz metody analiz chemicznych. **Oryginalnym osiągnięciem była implementacja rzadko stosowanej w literaturze przedmiotu metody spektroskopii w podczerwieni (IR) w celu wykazania zmian struktury krzemionki reaktywnej i powstałych produktów reakcji.** Wyniki badań przedstawiłam w rozprawie doktorskiej i opublikowałam w czasopiśmie o zasięgu krajowym (zał. 4, pkt. II A poz. 2.9) i międzynarodowym (zał. 4, pkt II A poz. 2.10) oraz na konferencjach naukowych krajowych (zał. 4, pkt. II E poz. 2.27, 2.28, 2.30). Artykuł opublikowany w czasopiśmie Cement Wapno Beton (zał. 4, pkt. II A poz. 2.9) według mojej wiedzy jest jedyną pracą opublikowaną w polskim czasopiśmie, która podejmuje tematykę wpływu domieszki chemicznej w postaci azotanu litu na reakcję lokalnego kruszywa z alkaliarni.

Uważa się, że skuteczność litu w zapobieganiu destrukcyjnej korozji alkalicznej nie jest zależna od stopnia reaktywności kruszywa, a w dużej mierze zależy od tekstury skały, w tym dostępności minerałów reaktywnych do reakcji z fazą ciekłą betonu. Prowadzone przeze mnie badania z zastosowaniem kruszywa opalowego zaprzeczyły tej teorii. Azotan litu tylko przy dostępie zewnętrznego źródła jonów litu zwiększał trwałość zapraw z kruszywem opalowym (zał. 4, pkt. IIE poz. 2.22, 2.28). Pomimo wprowadzenia większych ilości domieszek litowych (stosunek molowy  $\text{Li}/(\text{Na}+\text{K})$  na poziomie 1,0 zamiast ilości rekomendowanej 0,74) nie udało się ograniczyć rozszerzalności zapraw z kruszywem opalowym, gdy zaprawy analizowano zgodnie z wymogami normy ASTM C227. Obserwacje mikrostruktury ujawniły duży stopień degradacji kruszywa, strefy kontaktu i zaczynu cementowego.

W dalszej pracy badawczej, prowadzonej po uzyskaniu stopnia naukowego doktora moje działania skupiły się na próbie wyjaśnienia zachodzących procesów, z wykorzystaniem głównie analiz mikrostruktury zarówno zapraw z kruszywem opalowym jak i kruszywem żwirowym. Poczynione obserwacje i zaskakujące wyniki stały się podstawą do prowadzenia dalszych prac badawczych w zakresie wpływu azotanu litu na reakcję kruszywa opalowego z alkaliarni, których wyniki zawarto w przedstawionej monografii.

#### Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora

Główną motywacją do dalszej pracy badawczo – rozwojowej po uzyskaniu stopnia naukowego doktora była próba wyjaśnienia niedostatecznej skuteczności soli litu w ograniczeniu ekspansji na skutek reakcji wodorotlenków sodu i potasu z kruszywem opalowym oraz wystarczająca w przypadku zastosowania kruszywa żwirowego. Dodatkową zachętę do badania zachodzących procesów stanowiły



wyniki badań opublikowane w pracy Tremblaya i innych [M. poz. 187, 213], w których wykazano ograniczoną skuteczność litu w przypadku niektórych kruszyw, nie podając ściśle przyczyn tego zjawiska.

Prowadziłam obserwacje mikrostruktury pod elektronowym mikroskopem skaningowym zapraw wykonanych z kruszywa żwirowego, w których azotan litu okazał się skutecznym inhibitorem procesów korozyjnych. Żele w zaprawach z litem nie przyjmowały form zwartych, na co wskazywałyby doniesienia Leemanna [M. poz. 204] a częściowo wypełniały nieliczne spękania w ziarnie reaktywnym. Przyczynę ograniczenia ekspansji zapraw z azotanem litu upatruję w zmniejszonej ilości wytworzonych produktów reakcji. Wskazałam również na powstawanie produktów reakcji w postaci żeli krzemianów sodowo-potasowo-wapniowych o mniejszej niż w zaprawach odniesienia koncentracji sodu, potasu i wapnia. Wyniki badań zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (zał. 4., pkt. II A poz. 2.4, pkt. II E poz. 2.20). Praca (pkt. II A poz. 2.4) spotkała się z dużym zainteresowaniem ze strony nauki i praktyki, o czym świadczy wyróżnienie przez kanadyjską platformę naukową *Advances in Engineering* i zaliczenie jej w poczet znaczących prac, przyczyniających się do poszerzenia stanu wiedzy o korozji alkalicznej w betonie (zał. 4., pkt. III D).

Prowadząc badania nad efektywnością azotanu litu w reakcji kruszywa opalowego z alkaliami w ramach rozprawy doktorskiej wskazałam na różnice w poziomach wydłużenia zapraw analizowanych różnymi metodami badawczymi (ASTM C1260 oraz ASTM C227). Badania rozszerzyłam w dalszej działalności naukowej, analizując próbki zapraw po długim okresie dojrzewania (720 dni). Na podstawie obserwacji przelamów próbek wskazałam, że w zaprawach z azotanem litu ( $[Li]/[Na+K] = 1,0$ ), analizowanych wg ASTM C227 powstają produkty reakcji o zwiększonej ciekłości, zakumulowane zarówno w strefie kontaktu kruszywa opalowego z zaczynem jak i licznie w porach powietrznych. W zaprawach badanych testem przyspieszonym nie odnotowano powstawania pęczniących produktów. Mimo, że w obu przypadkach próbki wykonano z cementu o małej zawartości alkaliów (0,66%  $Na_2O_e$ ) stopień zaawansowania reakcji był znaczny. Wskazałam również na obecność ettringitu w zaprawach odniesienia i nielicznie w zaprawach z azotanem litu (zał. 4., pkt. II E poz. 2.19). Rozszerzenie powyższych badań o dłuższy okres czasowy zostało przedstawione w monografii.

Na podstawie powyższych badań i przeglądu literatury w obszarze współwystępowania reakcji kruszywa z alkaliami i opóźnionego powstawania ettringitu dokonałam analizy przebiegu obu destrukcyjnych procesów w zaprawach wykonanych z cementu o zwiększonej zawartości alkaliów (1,1%  $Na_2O_e$ ) i w obecności azotanu litu. Na podstawie zdobytego doświadczenia badawczego i studium literatury założyłam, że przy większej zawartości alkaliów w fazie ciekłej procesy korozyjne ulegają zaostreniu – zwiększa się ilość powstałych produktów reakcji o dużej koncentracji alkaliów oraz ilość spękań głównie w strefie kontaktu i w matrycy zaczynu cementowego, mogąc stanowić siłę napędową do rekrytalizacji ettringitu. Badania opublikowane w pracy (zał. 4., pkt. II A poz. 2.2) potwierdziły postawioną hipotezę. Zarówno w obecności azotanu litu oraz przy braku domieszki ob-



serwowano dobrze wykształcony ettringit. W obu przypadkach obserwowano wzrost ekspansji zapraw w późniejszym okresie dojrzewania (po ok. 950 dniach), za który prawdopodobnie odpowiedzialny jest rekrystalizujący głównie w spękaniach i strefie kontaktu ettringit.

Potrzeba wnikliwej analizy skuteczności litu w zwiększaniu trwałości betonu z kruszywem reaktywnym jest zagadnieniem ważnym, o czym świadczą wspomniane liczne projekty prowadzone przez Federal Highway Administration (FHWA) USA, stanowiące kolebkę badań nad przyczynami reaktywności kruszyw i metodami ograniczania reakcji. Szczególnie w przypadku obiektów infrastruktury drogowej, narażonych na działanie soli odladzających, a więc zewnętrznego źródła alkaliów istnieje zwiększone ryzyko wystąpienia korozji. Ograniczenie przebiegu procesów korozyjnych i dalsze zmniejszenie destrukcji możliwe jest poprzez wprowadzanie do struktury betonu związków litu lub ograniczanie zawilgocenia elementu. W publikowanych pracach przedstawiłam zagadnienie ograniczenia postępu procesów korozyjnych, które zostały zapoczątkowane w betonie i są procesami czynnymi (zał. 4., pkt. II E poz. 2.15, 2.26).

Prowadząc badania nad możliwością stosowania domieszki azotanu litu do betonu podjęłam również prace mające na celu wykazanie wpływu soli litu na właściwości fizyczne cementu. Na podstawie wykonanych badań wykazałam, że azotan litu stosowany w tzw. ilości rekomendowanej (stosunek molowy  $Li/(Na+K)=0,74$  określany jako 100%) oraz w ilości zwiększonej dwukrotnie wpływa na właściwości fizyczne cementu, tj. wytrzymałość na ściskanie i zginanie (spadek wytrzymałości wraz ze wzrostem ilości wprowadzonej domieszki chemicznej), czas wiązania (przyspieszenie początku i końca czasu wiązania). Azotan litu zmienia kinetykę hydratacji cementu przyspieszając hydratację fazy  $C_3A$ . Wyniki analiz zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych (zał. 4. pkt. II E. poz. 2.14).

W dalszej swojej działalności badawczej podjęłam próbę określenia efektywności dodatków mineralnych o zwiększonej zawartości glinu. Prowadziłam badania w kierunku możliwości wykorzystania kalcynowanego haloizytu do ograniczenia reakcji kruszywa opalowego z alkaliami. Haloizyt jest materiałem z grupy kaolinitów, a Polskie zasoby złoża tego minerału należą do jednych z największych na świecie. Jest to minerał o innej strukturze niż kaolinit, większej powierzchni właściwej i porowatości. Na podstawie wykonanych badań wykazałam, że kalcynowany haloizyt wykazuje właściwości pucolanowe i może być stosowany jako dodatek do betonu w celu zmniejszenia ekspansji wywołanej reakcją krzemionka-alkalia. Zastąpienie cementu metahaloizytem w ilości 15%-20% zwiększa trwałość betonów z kruszywem o dużej reaktywności. Wykazałam również, że ilość potrzebnego do zmniejszenia ekspansji dodatku metahaloizytu jest większa niż w przypadku metakaolinitu (10%-20%). Wyniki badań zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (zał. 4., pkt. II A poz. 2.3), a możliwość zastosowania metahaloizytu jako dodatku do betonu, zwiększającego jego trwałość zgłoszono do ochrony patentowej (zał. 4., pkt. II C). Streszczenie artykułu zostało zamieszczone na stronie kanadyjskiej platformy naukowej Advances in Engineering a podjęta tematyka uzna-

na za znaczącą (zał. 4., pkt. III D). Prace dotyczące efektywności metakaolinu przedstawiono i opublikowano w ramach konferencji międzynarodowej (zał. 4., pkt. II E poz. 2.18). Badania rozszerzone, dotyczące efektywności metakaolinu zostały przedstawione w monografii.

Jako promotor pomocniczy pracy mgr inż. Agnieszki Mazur, wraz z doktorantką pracowałam nad możliwością zastosowania mączki chalcedonitowej do betonu, a uzyskane wyniki badań zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu krajowym (zał. 4., pkt II E poz. 2.13). Z przeprowadzonych badań wynika, że mączka chalcedonitowa o uziarnieniu poniżej 50µm skutecznie zapobiega nadmiernej ekspansji zapraw z kruszywem opalowym, a zastąpienie masy cementu w ilości  $\geq 20\%$  jest wystarczające, by nie wystąpiła niszcząca korozja.

Prowadzone przeze mnie badania z zastosowaniem powszechnym metod oceny reaktywności, z dostrzeżeniem zarówno ich zalet ale także i wad, między innymi wyników oznaczeń zależnych od doświadczenia badacza (analiza petrograficzna) czy stopnia zaawansowania reakcji (stopień ekspansji), co zostało szerzej przedstawione w monografii, stały się przyczyną analizy innych metod, szczególnie nieniszczących. Potrzeba opracowania skutecznych i wiarygodnych metod oceny reaktywności kruszywa oraz stopnia zaawansowania procesów korozyjnych podyktowana jest zarówno względami trwałościowymi jak i ekonomicznymi, związanymi z dużymi kosztami naprawy lub wymiany betonu, w którym doszło do niszczącej ekspansji. W konstrukcjach rzeczywistych określenie skutków reakcji kruszywa z alkaliomii możliwe jest głównie poprzez ocenę wizualną stopnia zniszczenia betonu, stanowiąc metodą subiektywną, czasochłonną oraz uzależnioną od umiejętności i doświadczenia inspektora. Ocena stopnia zaawansowania reakcji kruszywa z alkaliomii wymaga okresowej kontroli i pobrania próbek odwiertów, które następnie poddawane są badaniom petrograficznym oraz badaniom ekspansji resztkowej. Wśród metod nieniszczących, wykorzystywanych do analizy stopnia spękania betonu wymienia się metody termograficzne, pomiary oporności elektrycznej, metody akustyki liniowej i nieliniowej. Wady i zalety tych metod zostały szerzej przedstawione w monografii w rozdziale 7.4 – Metody nieniszczące badania reaktywności kruszyw z alkaliomii. Właściwa diagnostyka korozji alkalicznej wymaga zastosowania metod pozwalających na ciągle monitorowanie konstrukcji oraz powinna umożliwić lokalizację spękań.

W swojej dalszej działalności badawczej do analizy przebiegu procesów korozyjnych, we współpracy z G. Świttem wykorzystywałam metodę emisji akustycznej (EA). Pozwala ona na rejestrację efektów fizycznych, które samoistnie powstają w badanym materiale. Procesy korozyjne zachodzące w betonie prowadzą do obniżenia energii wewnętrznej i są źródłem sygnału (fali sprężystej), który dociera do sensora a następnie analizatora EA w postaci zmian napięcia elektrycznego. Pomiary aktywności akustycznej zapraw z kruszywem reaktywnym oraz analiza tzw. deskryptorów, czyli parametrów sygnałów emisji akustycznej pozwoliła na określenie stopnia zaawansowania procesów korozyjnych wraz z czasem dojrzewania próbek zapraw. Wyniki pomiarów aktywności akustycznej próbek z reaktywnym kruszywem opalowym oraz zapraw z kruszywem niereaktywnym skonfrontowałam z obserwacjami mikrostruktury pod elektronowym mikroskopem skaningowym oraz pomiarami stop-

nia ekspansji. Wykazałam, że metoda emisji akustycznej pozwala na szybszą detekcję procesów korozyjnych od tradycyjnych metod pomiaru zmian liniowych. Wyniki analiz zostały przedstawione w pracy (zał. 4., pkt. II A poz. 2.5). Analizie poddałam również zaprawy wykonane z kruszywa reaktywnego, do których został wprowadzony azotan litu, jako potencjalny inhibitor korozji. Na podstawie wykonanych badań wskazałam, że metoda emisji akustycznej znajduje zastosowanie w ocenie skuteczności działania azotanu litu, a w połączeniu z obserwacjami mikrostruktury może dostarczać dodatkowych informacji o mechanizmie zachodzących procesów. Dotychczasowe analizy, prowadzone w początkowych dniach dojrzewania zapraw (przez pierwszych 14 dni) wskazały, że spękania powstają głównie w ziarnie reaktywnym, w niewielkim zakresie propagując do matrycy zaczynu cementowego. Potwierdzeniem wyników badań są obserwacje mikrostruktury zapraw pod elektronowym mikroskopem skaningowym. Wyniki badań zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (zał. 4., pkt. II A poz. 2.1). Wysłane na podstawie uzyskanych wyników badań wnioski mają duże znaczenie praktyczne – potwierdzają, że metoda emisji akustycznej może być cennym narzędziem stosowanym w ocenie stopnia zaawansowania reakcji, w tym również monitorowania skuteczności stosowanych metod zapobiegania niszczącej ekspansji. Monitorowanie in-situ zniszczeń betonu metodą emisji akustycznej może być alternatywą dla innych metod badawczych.

Wykorzystując zdobyte doświadczenie w zakresie badań mikrostruktury i składu betonu prowadziłam badania pozwalające na prognozowanie jego trwałości w konstrukcji. W ramach współpracy z innymi zespołami badawczymi analizowałam przebieg korozji chlorkowej, zachodzącej w elementach żelbetowych. W wykonanych badaniach wskazano na znaczący wpływ napowietrzenia betonu poddanego korozji chlorkowej na jego trwałość (analiza obrazów mikrostruktury). Analiza składu fazowego, wykonana w kierunku powstawania soli Friedla pozwoliła na wykazanie znaczenia stosowania w elementach żelbetowych cementów hutniczych. Wyniki badań zostały opublikowane na konferencjach o zasięgu międzynarodowym i krajowym (zał. 4., pkt II E 2.12; 2.16).

W ramach realizacji projektu badawczego „Udoskonalenie metodyki odzysku fosforu zaproponowanej w zgłoszeniu patentowym nrP409965 poprzez zastosowanie między innymi chelatu magnezowo-potasowego jako ekstrahenta” (zał. 4., pkt. II J poz. 5) wykonałam charakterystykę składu fazowego popiołów pozyskanych przez termiczną obróbkę osadów z oczyszczalni ścieków. Informacje o składzie popiołów, obecności wybranych faz krystalicznych wniosły wkład do dalszych badań i pozwoliły głównym autorom pracy na zaproponowanie metod odzysku fosforu. Moja współpraca z zespołem z Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki jest nadal kontynuowana. Dotychczasowe efekty mojej działalności w tym zakresie zostały opublikowane w materiałach konferencji międzynarodowej (zał. 4., pkt. II E poz. 2.17).

Uczestniczyłam w roli wykonawcy w projekcie „Innowacyjna technologia wykorzystująca optymalizację środka wiążącego przeznaczonego do recyklingu głębokiego na zimno konstrukcji nawierzchni zapewniająca jej trwałość eksploatacyjną” (TECHMATSTRATEG1/349326/9/NCBR/2017) w ramach przedsięwzięcia Strategiczny program badań naukowych i prac rozwojowych „Nowoczesne



Technologie Materiałowe” TECHMATSTRATEG I finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (zał. 4., pkt. II J poz. 6). Prowadzone działania dotyczyły możliwości zastosowania ubocznych cementowych produktów pylistych do spoiw drogowych. Wykonano badania mające na celu charakterystykę stosowanych pyłów. Zaprogramowane badania skupione były głównie wokół kinetyki hydratacji, właściwości fizycznych i mikrostruktury hydraulicznych spoiw drogowych, uzyskanych ze zmieszania bazowych składników: cementu portlandzkiego CEM I 32,5R, wapna sucho gaszonego i ubocznych cementowych produktów pylistych (CKD). Wyniki uzyskanych badań przedstawiono w pracach (zał. 4., pkt. IIA poz. 2.6; 2.7).

W swojej działalności naukowo-badawczej czynnie angażując się w prace na rzecz przemysłu, również w zakresie transferu wiedzy oraz poszerzenia własnej wiedzy i umiejętności. W ramach projektu Inwencja II – Transfer wiedzy, technologii i innowacji wsparciem dla kluczowych specjalizacji świętokrzyskiej gospodarki i konkurencyjności przedsiębiorstw w 2014 roku odbyłam pięciomiesięczny staż w Przedsiębiorstwie Elementów Budowlanych Fabet S.A. W ramach współpracy prowadziłam badania mające na celu: opracowanie sposobu wytwarzania innowacyjnego materiału prefabrykowanego z żywicą nakładaną na świeży beton (zadanie I) oraz możliwości zastosowania paździerzy konopnej jako surowca naturalnego i ekologicznego do wytwarzania inteligentnego materiału wapienno-cementowego (zadanie II). Efektem końcowym realizacji zadania pierwszego było opracowanie w skali laboratoryjnej materiału będącego kompozytem cementowo-polimerowym i określenie najbardziej korzystnej metody jego wytwarzania, natomiast w pracach nad możliwością zastosowania paździerza konopnego uzyskano materiał wapienno-cementowy zdolny do autoregulacji wody (zał.4., pkt. III A, III F).

W ramach współpracy z przemysłem wykonałam wiele opracowań, dotyczących m.in. reaktywności kruszyw i możliwości ich zastosowania do betonu, właściwości fizycznych i składu chemicznego materiałów budowlanych, diagnostyki procesów korozyjnych (zał. 4., pkt. III M).

Stale podnoszę swoje kwalifikacje badawcze i dydaktyczne, uczestnicząc w licznych szkoleniach, warsztatach, seminariach naukowych. W 2012-2013 r. brałam udział w organizowanych przez Sekcję Inżynierii Materiałów Budowlanych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk warsztatach dla doktorantów i młodych pracowników nauki pt: „Wybrane zagadnienia z fizykochemii tworzyw cementowych”. Uczestniczyłam również w dwudniowym szkoleniu z projektowania betonu o zadanych parametrach fizycznych i użytkowych przeprowadzonym w Dziale Technologii Betonu cementowni Dyckerhoff w Nowinach. Swoją wiedzę poszerzam uczestnicząc w licznych szkoleniach zewnętrznych i wewnętrznych z obsługi aparatury badawczej m.in.: dyfraktometru rentgenowskiego, spektrometru dyfrakcji rentgenowskiej, analizatora termicznego, reaktora chemicznego oraz obsługi oprogramowania i analizy wyników. Do szczególnie ważnych zaliczam udział w szkoleniach organizowanych przez firmę PANalytical B.V oraz odbycie stażu w Zakładzie Badań Kontrolnych, Laboratorium Badań Chemicznych Oddziału Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Krakowie (zał. 4., pkt. III I, poz. 12).



Brałam czynny udział w licznych konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym a także wygłaszałam referaty na seminariach naukowych. W dniu 8 kwietnia 2014 na posiedzeniu Sekcji Inżynierii Materiałów Budowlanych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN wygłosiłam referat pt. „Rola związków litu w ograniczeniu skutków reakcji alkalia-kruszywo”. Od 2017 roku uczestniczę regularnie w zebraniach Komitetu Trwałości Budowli Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa, a na posiedzeniu Komitetu w dniu 30 listopada 2017 r. wygłosiłam referat pt. „Efektywność azotanu litu w ograniczaniu reakcji alkaliów z kruszywem”. W 2018 roku zostałam przyjęta w poczet członków Komitetu Trwałości i Ochrony Budowli.

Moja działalność naukowo-badawcza została nagrodzona dwukrotnie nagrodą Rektora Politechniki Świętokrzyskiej III stopnia w 2016 i 2018 roku. Za znaczące uważam również wyróżnienie dwóch z opublikowanych referatów w czasopismach o zasięgu międzynarodowym (zał. 4., pkt. III D) przez kanadyjską platformę naukową Advances Enginnering i uznanie ich za prace o dużym znaczeniu naukowym i praktycznym. Streszczenia artykułów zamieszczono na stronie internetowej platformy Advances Engineering.

W latach 2015-2019 byłam recenzentem artykułów w czasopismach krajowych i zagranicznych, w tym: dwóch artykułów do czasopisma Construction and Building Materials, jednego artykułu do czasopisma Materials Characterization, trzech artykułów do czasopisma Structure and Environment. Od 2018 roku pełnię funkcję członka Rady Redakcyjnej czasopisma Advances in Materials (AM).

#### **Podsumowanie dorobku publikacyjnego**

Mój dorobek publikacyjny obejmuje 32 prace w czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym, w tym 18 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora oraz zgłoszenie jednego wynalazku. Jestem autorem lub współautorem 8 artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach wymienionych na liście A, określonej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i indeksowanych w bazach Journal Citation Reports (JCR), w tym 4 opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora. Trzy artykuły obecnie znajdują się w recenzjach. Sumaryczny impact factor zgodnie z rokiem opublikowania wszystkich publikacji wynosi 11,686 (prac naukowych po uzyskaniu stopnia naukowego doktora - 9,268). W moim dorobku znajduje się także: 5 artykułów dotyczących tematyki korozji wewnętrznej betonu, przedstawionych na konferencjach krajowych i zagranicznych, opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science, 3 artykuły indeksowane w bazie Web of Science, dotyczące tematyki korozji chlorkowej konstrukcji żelbetowych oraz wykorzystania i właściwości popiołów powstałych po spalaniu osadów ściekowych, 4 publikacje w czasopismach z listy B MNiSW, 2 rozdziały w monografii oraz jedna monografia jednoautorska. Pozostałe 7 referatów powiązanych tematycznie zostało opublikowanych w materiałach ze znaczących konferencji krajowych i międzynarodowych.

Liczba wszystkich cytowań według bazy WoS wynosi 37, bazy Sopus – 43, bazy Google Scholar - 63 (cytowane prace autorstwa J. Zapaly-Sławety oraz J. Zapaly). Indeks Hirsha opublikowanych prac według bazy WoS, bazy Scopus wynosi 5, bazy Google Scholar wynosi 6.

Tabelaryczne zestawienie dorobku przedstawiono w tabelach 1-3 i w załączniku 4.

Tabela 1. Zestawienie dorobku publikacyjnego po 25 maja 2015 r. (po uzyskaniu stopnia doktora) wraz z punktacją czasopism

Lp.	Czasopismo	Rok wydania	Punktacja MNiSW w roku wydania
1.	Materials	2019	35 <sup>(2018)</sup>
2.	Conf. Series: Materials Science and Engineering (WoS)	2019	15
3.	Structure and Environment	2018	9
4.	Conf. Series: Materials Science and Engineering (WoS)	2018	15
5.	Web of Conferences (WoS), Vol. 163	2018	15
6.	Web of Conferences (WoS), Vol. 163	2018	15
7.	Web of Conferences (WoS), Vol. 44	2018	15
8.	Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences	2017	20
9.	Materials and Structures	2017	35
10.	Conf. Series: Materials Science and Engineering (WoS)	2017	15
11.	Conf. Series: Materials Science and Engineering (WoS)	2017	15
12.	Construction and Building Materials	2016	40
13.	Rozdział w Monografii	2015	5
	<b>Suma</b>		<b>249</b>

Tabela 2. Sumaryczny impact factor, liczba cytowań i indeks Hirsha publikacji naukowych (stan na 25.04.2019 r.)

Sumaryczny IF dla artykułów w bazie Journal Citation Reports zgodnie z rokiem opublikowania	11,686
Sumaryczna liczba cytowań opublikowanych artykułów według bazy Web of Science	37*
Sumaryczna liczba cytowań opublikowanych artykułów według bazy Scopus	43*
Sumaryczna liczba cytowań opublikowanych artykułów według bazy Google Scholar	63
Indeks Hirsha według bazy Web of Science (All Databases)	5*
Indeks Hirsha według bazy Scopus	5*
Indeks Hirsha według Google Scholar	6
* Indeks Hirsha według wymienionych baz został zwiększony o nieuwzględnione cytowania artykułu: Z. Owsiak, J. Zapala. P. Czapik: „Sources of the gravel aggregate reaction with alkalis in concrete” – Cement Wapno Beton, vol. 17, nr 3, 2012, s. 149-153.	

Tabela 3. Zestawienie osiągnięć naukowo-badawczych (stan na 25.04.2019 r.)

Rodzaj osiągnięcia	Całkowita liczba osiągnięć	Liczba prac po uzyskaniu stopnia doktora	Liczba prac przed uzyskaniem stopnia doktora
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	8 (+3 w recenzji)	4 (+3 w recenzji)	4
Monografia	1	1	
Rozdziały w monografiach w języku polskim	2	1	1
Publikacje naukowe w czasopismach z listy B MNiSW	4	1	3
Publikacje indeksowane w bazie WoS	8	7	1
Publikacje i streszczenia w wydawnictwach konferencji krajowych	7	1	6
<b>Publikacje ogółem</b>	<b>32</b>	<b>18</b>	<b>14</b>
<b>Wygłoszone referaty</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>10</b>
Referaty na międzynarodowych konferencjach	8	3	5
Referaty na krajowych konferencjach	7	3	4
Referaty na Sekcjach Naukowych	2	1	1
<b>Sumaryczna liczba punktów MNiSW (wg listy w roku publikacji, z uwzględnieniem monografii)</b>	<b>434</b>	<b>329</b>	<b>105</b>
Zgłoszenia patentowe	1	1	
Zrealizowane prace badawcze lub inne opracowania zlecone	11	6	5
Udział w projektach badawczych	10	6	4
Ilość przygotowanych i złożonych wniosków grantowych:			
– kierownik	2	2	
– wykonawca	2	2	
Otrzymane nagrody i wyróżnienia	7	4	3
Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych	1	1	
Członkostwo w Radach Redakcyjnych Czasopism	1	1	
Stáže krajowe i zagraniczne	3	1	2
Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki:			
–liczba wypromowanych inżynierów	11	11	
–liczba wypromowanych magistrów	11	11	
–opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego	2	2	
–opieka nad Kołem Naukowym	1	1	1
Recenzowanie artykułów:			
– dla czasopism znajdujących się w bazie JCR	3	3	
– dla innych czasopism	3	3	

## 6. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

W ramach pracy dydaktycznej prowadzę zajęcia na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych I i II stopnia na kierunku budownictwo (zał. 4., pkt. III I). Jestem koordynatorem zajęć z przedmiotu Trwałość Budowli. Jako koordynator przedmiotu w 2017 roku byłam odpowiedzialna za aktualizację karty modułu. Działalność dydaktyczną prowadziłam również w zagranicznych ośrodkach academic-



kich. W 2018 roku uczestniczyłam w programie Erasmus+ w ramach którego prowadziłam wykłady z zakresu korozji materiałów budowlanych i projektowania betonu z uwzględnieniem trwałości.

Jestem zaliczana do minimum kadrowego studiów pierwszego i drugiego stopnia na kierunku budownictwo, prowadzonym na Wydziale Budownictwa i Architektury.

Jestem promotorem prac inżynierskich i magisterskich realizowanych na studiach stacjonarnych na kierunku budownictwo i obronionych. Liczba wypromowanych w latach 2016-2018 dyplomantów wynosi: 11 (stopień inżyniera) i 11 (stopień magistra).

Decyzją Rady Wydziału Budownictwa i Architektury zostałam powołana do pełnienia funkcji promotora pomocniczego w dwóch przewodach doktorskich:

- mgr inż. Agnieszki Mazur. Temat pracy doktorskiej: „Rola naturalnych mączek krzemionkowych w reakcji alkaliów z kruszywem w betonie”,
- mgr inż. Pawła Sobczyńskiego. Temat pracy doktorskiej: „Modyfikacja spoiwa wapiennego w zaprawach konserwatorskich”.

Od 2017 roku pełnię funkcję opiekuna praktyk zawodowych studentów I i II stopnia kierunku budownictwo na studiach stacjonarnych. Do moich zadań należy nadzorowanie przebiegu praktyk zawodowych oraz współpraca z opiekunem z ramienia zakładu pracy.

Od 2015 roku pełnię funkcję członka Wydziałowej Komisji do spraw studiów doktoranckich, opiniującej wnioski w sprawie przedłużania okresu odbywania studiów doktoranckich i przedłużania terminów wszczęcia przewodu doktorskiego.

Od 2018 roku pełnię funkcję kierownika dwóch Pracowni w Laboratorium Inżynierii Materiałowej: Pracowni Badań Mikrostruktury oraz Pracowni Syntezy Materiałów Silikatowych. W zakresie moich obowiązków znajduje się zarówno wykonywanie badań na potrzeby instytucji zewnętrznych jak i jednostek Wydziału Budownictwa i Architektury. Prowadzone przeze mnie badania wykorzystywane są przy realizacji prac inżynierskich, magisterskich oraz doktorskich a także w procesie dydaktycznym studentów w ramach laboratorium z przedmiotów „Ocena jakości betonu w konstrukcji”, „Materiały kompozytowe”.

Ważnym punktem w mojej działalności dydaktycznej jest opieka nad kołem naukowym BETONIC, działającym na Wydziale Budownictwa i Architektury (do 2012 r. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska). Od 2018 roku pełnię funkcję opiekuna koordynatora. Członkowie koła naukowego prowadzą badania w zakresie właściwości fizycznych i użytkowych materiałów budowlanych, głównie zapraw i betonów, oceny trwałości betonu w konstrukcjach oraz prace projektowe w zakresie technologii betonu. Wyniki dotychczasowych badań zostały zaprezentowane na licznych konferencjach naukowych, sesjach kół naukowych oraz seminariach naukowych, w tym organizowanych na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej (zał. 4, pkt. III J). Niektóre z prezentowanych prac zostały wyróżnione przez Komisje Konkursowe.

W ramach działalności Koła Naukowego prowadzone są wyjazdy studyjne do cementowni Dyckerhoff w Nowinach.



Biorę czynny udział w zakresie popularyzacji nauki i promocji Wydziału Budownictwa i Architektury wśród młodzieży szkół średnich, przedstawiając podczas spotkań organizowanych przez Biuro Promocji i Komunikacji Politechniki Świętokrzyskiej działalność Laboratorium Inżynierii Materiałowej oraz prowadząc wykłady/seminaria z metod badań materiałów budowlanych. Popularyzuję naukę również wśród najmłodszych, w ramach wydarzeń Politechnika Świętokrzyska dzieciom prowadząc pokazy naukowe.

W ramach działalności organizacyjnej wielokrotnie pełniłam funkcję członka komisji egzaminów dyplomowych inżynierskich i magisterskich na kierunku budownictwo, sprawowałam kontrolę nad przebiegiem egzaminów z rysunku odręcznego dla kandydatów na kierunek „architektura i urbanistyka”, brałam udział w promocji Wydziału Budownictwa i Architektury w ramach Ogólnopolskich Targów Materiałów Budownictwa Mieszkaniowego i Wyposażenia Wnętrz DOM organizowanych w Targach Kielce przedstawiając ofertę edukacyjną.

Do ważniejszych wypełnianych przeze mnie funkcji w zakresie organizacyjnym należy uczestnictwo w powołanej Komisji do przygotowania Raportu Samooceny dla Komisji Akredytacyjnej (PKA) (2017 r.) w związku z akredytacją kierunku budownictwo. Jestem również odpowiedzialna za aktualizację danych w systemie POLON w zakresie Działań upowszechniających naukę (Konferencje naukowe, Nagrody i wyróżnienia) oraz Laboratoriów i aparatury na Wydziale Budownictwa i Architektury.

Justyna Lepuła - Stanisła