

Załącznik nr 4

Gabriela Monika Rutkowska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Instytut Inżynierii Lądowej

Katedra Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych

Autoreferat

Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	4
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, rok ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	4
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.....	5
4. Omówienie osiągnięć naukowych, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy	5
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	5
4.2. Omówienie celu naukowego i wyników prac stanowiących osiągnięcie naukowe zgłoszone do postępowania habilitacyjnego.....	7
4.2.1. Tło problemu.....	7
4.2.2. Omówienie wyników prac stanowiących osiągnięcie naukowe.....	11
4.2.3. Podsumowanie osiągnięcia naukowego.....	23
4.3. Osiągnięcia w zakresie kierunku badań.....	28
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	29
5.1. Działalność naukowo-badawcza i dydaktyczna przed uzyskaniem stopnia doktora (1995–2000).....	29
5.2. Działalność naukowo-badawcza i dydaktyczna po uzyskaniu stopnia doktora (od 2000).....	30
5.2.1. Zakres działalności naukowo- badawczej.....	30
5.2.2. Dorobek publikacyjny.....	35
5.2.3. Udział w konferencjach naukowych	35
5.2.4. Projekty badawcze.....	38
5.2.5. Pozostałe działania naukowe.....	39
5.2.6. Najważniejsze wyróżnienia.....	39
5.2.7. Staże zawodowe i naukowe, współpraca międzynarodowa i recenzje.....	41
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	42

6.1. Działalność dydaktyczna po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (2000–2020).....	42
6.2. Działalność organizacyjna po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (2000–2020).....	44

1. Imię i nazwisko

Gabriela Monika Rutkowska

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- **1990 r. – uzyskanie tytułu technika geodety** w Policealnym Studium Geodezji i Kartografii w Warszawie.
- **1995 r. – uzyskanie tytułu magistra inżyniera inżynierii środowiska**, z wynikiem bardzo dobrym na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Tytuł pracy: *Wpływ technologii produkcji na kształtowanie zagrody wiejskiej.*

Promotor pracy: prof. dr inż. Wiesław Wieczorkiewicz

- **2000 r. – uzyskanie stopnia doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska** na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Kształtowanie zabudowy współczesnych zagród rolniczych.*

Promotor pracy: dr hab. inż. arch. Hanka Zaniewska, prof. nadzw. SGGW.

Recenzenci: prof. dr hab. inż. arch. Zuzanna Borcz
prof. dr hab. inż. arch. Miriam Wiśniewska

- **2015 r. – dyplom ukończenia Studiów Podyplomowych** w zakresie Urządzenia i Systemy Energetyki Odnawialnej, z wynikiem bardzo dobrym na Wydziale Inżynierii Produkcji Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Tytuł pracy: *Beton zwykły jako materiał konstrukcyjny do akumulacji ciepła w budownictwie energooszczędnym.*

Promotor pracy: dr inż. Ryszard Wnuk

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

Asystent – od 1 października 1995 r. do 30 września 2001 r. – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej.

Adiunkt – od 1 października 2001 r. – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska, od 2019 roku – Instytut Inżynierii Lądowej, Katedra Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych.

Od 1 października 2019 r. do chwili obecnej – Kierownik Katedry Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych.

4. Omówienie osiągnięć naukowych, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Tytuł osiągnięcia naukowego: *Modyfikacja betonu zwykłego.*

Jako osiągnięcie naukowe do oceny w postępowaniu habilitacyjnym w dziedzinie Nauk Inżynierjno-Technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport przedstawiam dzieło opublikowane w całości w formie książki: *Wpływ dodatku popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych na wybrane właściwości betonu zwykłego – m1*, ISBN: 978-83-8237-182-6 (wersja papierowa) i 978-83-8237-183-3 (wersja elektroniczna), Warszawa 2023, Wydawnictwo SGGW,

recenzenci wydawniczy:

- Prof. dr hab. inż. Jerzy Hoła, Politechnika Wrocławska,
- Prof. dr hab. inż. Wiesław Buczkowski, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,

oraz następujący cykl jednotematycznych publikacji: *Wpływ wybranych dodatków na właściwości betonu zwykłego.*

p.1. Rutkowska Gabriela, Małuszyńska Ilona, Miciak Tomasz, *Badania właściwości betonu z dodatkiem odpadowej ceramiki czerwonej, zastępującej część kruszywa*. Cement Wapno Beton, 5, 2018, s. 407–413, IF: 0,476. Mój udział w pracy szacuję na 80%.

p.2. Rutkowska Gabriela, Wichowski Piotr, Lipiński Rafał, *Wpływ rozdrobnionych odpadów szklanych na wybrane właściwości betonów sporządzonych z ich udziałem*. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 27 (4), 82, 2018, s. 463–475, DOI:10.22630/PNIKS.2018.27.4.44. Mój udział w pracy szacuję na 80%.

p.3. Rutkowska Gabriela, Wiśniewski Krzysztof, Chalecki Marek, Górecka Mirosława, Miłosek Kamil, *Influence of fly-ashes on properties of ordinary concretes*. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation, 48 (1), 2016, s. 79–94. Mój udział w pracy szacuję na 75%.

p.4. Rutkowska Gabriela, Wichowski Piotr, Mroczkowska Aneta, *Kształtowanie właściwości betonu zwykłego na bazie cementów z dodatkiem włókien stalowych i popiołu lotnego*. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 15 (3), 2016, s. 71–80. Mój udział w pracy szacuję na 80%.

p.5. Rutkowska Gabriela, Małuszyńska Ilona, Rosa Marcin, *Badania właściwości betonu wyprodukowanego z dodatkiem popiołu lotnego*. Inżynieria Ekologiczna, 36, 2014, s. 53–64. Mój udział w pracy szacuję na 80%.

p.6. Rutkowska Gabriela, Sobczak Mateusz, *Beton modyfikowany pyłami krzemionkowymi*. Acta Scientiarum Polonorum. Technica Agraria, 13 (1/2), 2014, s. 3–18. Mój udział w pracy szacuję na 90%.

p.7. Rutkowska Gabriela, Pieńkosz Karolina, *Wpływ metakaolinitu, jako częściowego zamiennika cementu, na wybrane właściwości betonu (ASTRA MK40)*. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 13 (4), 2014, s. 31–42. Mój udział w pracy szacuję na 90%.

Monografię oraz spis jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe (m.1, p.1 – p.7) z uwzględnieniem punktacji MNiSW i impact factor (IF) przedstawiono w załączniku nr 5. Cykl wydrukowanych jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe zamieszczona w załączniku nr 6. Od wszystkich współautorów publikacji uzyskałam oświadczenia potwierdzające zakres prac prowadzonych w ramach każdej z nich. Znajdują się one w załączniku nr 7.

4.2 Omówienie celu naukowego i wyników prac stanowiących osiągnięcie naukowe zgłoszone do postępowania habilitacyjnego

4.2.1. Tło problemu

W ostatnich dziesięcioleciach rozwijająca się wiedza na temat właściwości mieszanki betonowej i dojrzałego betonu przyczyniła się do znacznego postępu w tej dziedzinie. Jednym z obszarów, który przyciąga szczególną uwagę badaczy, jest wpływ różnych dodatków na właściwości mieszanki i betonu. Dodatki, takie jak popiół lotny ze spalania węgla, metakaolinit, odpady szklane, z ceramiki czerwonej, mączka szklana, pył krzemionkowy czy włókna stalowe, stanowią część składu betonu, a ich właściwości i ilość mogą znacząco wpłynąć na ostateczne cechy materiału.

Celem wszystkich moich badań eksperymentalnych było zrozumienie i zoptymalizowanie wpływu różnych dodatków na mieszankę betonową oraz dojrzały beton. Badania koncentrowały się na identyfikacji optymalnych proporcji dodatków, które mogą zapewnić poprawę wytrzymałości na ściskanie, mrozoodporności, głębokości penetracji wody pod ciśnieniem, odporności na wysokie temperatury, działanie dwutlenku węgla oraz inne istotne właściwości betonu. W świetle wzrostu zapotrzebowania na bardziej zrównoważone i innowacyjne rozwiązania w budownictwie, przeprowadzone badania miały na celu dostarczenie naukowych wskazówek, które przyczynić się mogą do doskonalenia technologii betonu. Wyniki tych badań są nie tylko istotne dla inżynierów budownictwa, ale także mają znaczenie w kontekście zrównoważonego rozwoju, ponieważ pozwalają na zmniejszenie zużycia surowców i energii w procesie produkcji betonu, wydłużenie jego cyklu życia oraz mogą przyczynić się do zmniejszenia wpływu betonu na środowisko naturalne.

Obecnie w Polsce i Europie szerokie zastosowanie w technologii betonu mają popioły lotne krzemionkowe pochodzące ze spalania węgla kamiennego. O ich szerokim zastosowaniu decyduje głównie ich duża miakłość, zbliżona do cementu, skład chemiczny i fazowy, a w szczególności aktywność pucolanowa. Wykorzystanie popiołów lotnych krzemionkowych do produkcji betonu jest możliwe jedynie, gdy spełnione są wymagania określone w normie PN-EN 450-1:2012. O ile popioły lotne ze spalania węgla mają szerokie zastosowanie, o tyle dużym problemem jest zagospodarowanie popiołów lotnych pochodzących z osadów ściekowych.

Rozwój gospodarczy, industrializacja i urbanizacja oraz szybki wzrost światowej populacji wymagają dynamicznego rozwoju sieci kanalizacyjnych oraz oczyszczalni ścieków komunalnych. W każdym zakątku świata każdego dnia powstają znaczne ilości odpadów komunalnych. Wg danych Banku Światowego, z 2018 r., każdy mieszkaniec Ziemi generuje dziennie około 800 g śmieci, a np. w całym 2022 r. świat wyprodukował ich 1,6 mld t. Drugim istotnym problemem w tym zakresie jest powstawanie coraz większych ilości osadów ściekowych. Zaawansowane procesy oczyszczania ścieków bytowych prowadzą bowiem do znaczącego wzrostu ilości osadu ściekowego wymagającego dalszego zagospodarowania.

Obecnie sposób ich zagospodarowania podlega Ustawie z dnia 14 grudnia 2012 r. *o odpadach* (Dz.U. 2013, poz. 21) oraz rozporządzeniom wykonawczym i ustawom specyficznym dla ich sposobu powstawania, przeróbki i oddziaływania na środowisko naturalne. Biorąc pod uwagę wprowadzony zakaz możliwości składowania osadów ściekowych od 1 stycznia 2016 r., ich zagospodarowanie stało się problemem nie tylko technicznym, ekonomicznym, ale również i ekologicznym. Dotąd powstające osady ściekowe trafiały na składowiska lub po wstępnej stabilizacji (tlenowej, beztlenowej, wapnem) były wprowadzane do środowiska, np. jako nawozy czy do robót ziemnych. Jednak ze względu na niebezpieczeństwo sanitarne, dużą masę i uwodnienie, zawsze stanowiły problem techniczny. Biorąc pod uwagę występowanie substancji toksycznych i metali ciężkich, ograniczające możliwość ich wykorzystania w rolnictwie, najwłaściwszym sposobem utylizacji osadów ściekowych są więc metody termiczne. W wyniku tego procesu następuje redukcja objętości odpadu (osadu) oraz uzysk energii cieplnej lub elektrycznej, a także ograniczenie zawartości związków siarki i azotu w spalinach. Materiałem odpadowym, wtórnym powstającym w instalacjach termicznego przekształcania osadów ściekowych, są odpady (popioły lotne) o kodzie 19 01 14, które także wymagają odpowiedniego zagospodarowania. Ze względu na swoje pochodzenie, popioły te charakteryzują się specyficznymi właściwościami (duża zawartość fosforu), niespotykanymi w ubocznych produktach spalania węgla. W myśl idei gospodarki o obiegu zamkniętym (*Circular Economy*), gospodarki blisko-zero emisyjnej, popioły z osadów ściekowych powinno się traktować jako potencjalny produkt. Od 2000 r. do 2021 r. ilość osadów ściekowych wytworzonych w komunalnych oczyszczalniach ścieków wzrosła o ok. 63%. Pozytywnym trendem jest coraz częstsze stosowanie utylizacji termicznej osadów z oczyszczalni komunalnych.

Odpad będący przedmiotem opracowania monografii jest jedynie określony ogólnym kodem, ale nie jest zdefiniowany w żadnym źródle prawa poza przypisami zawartymi w katalogu

odpadów. Zgodnie z obowiązującym w Polsce rozporządzeniem Ministra Rozwoju z 2016 roku, które w zakresie swej regulacji wdraża dyrektywę 2010/75/UE, popioły powstające ze spalania osadów ściekowych po spełnieniu określonych wymogów mogą być wykorzystane do sporządzania mieszanek betonowych na potrzeby budownictwa, z wyłączeniem budynków przeznaczonych do stałego przebywania ludzi lub zwierząt oraz do produkcji lub magazynowania żywności (2010/75/UE).

Jak dotąd nie opracowano wytycznych odnośnie wykorzystania popiołów ze spalania osadu ściekowego jako surowca mineralnego do produkcji materiałów budowlanych na bazie cementu. Ze względu na zbyt mało zastosowań praktycznych i doświadczeń eksploatacyjnych z użyciem tego rodzaju popiołów, uzyskanie dodatkowych informacji o możliwościach ich zagospodarowania wydaje się więc być w pełni uzasadnione. Skład chemiczny, aktywność pucolanowa oraz uziarnienie popiołu istotnie wpływają na konsystencję i urabialność mieszanki betonowej, a także na proces wiązania i twardnienia kompozytów cementowych.

Kierując się zasadą podobieństwa poszczególnych cech do innych materiałów drobnoziarnistych wykorzystywanych w budownictwie, przeprowadzono analizę kierunków wykorzystania popiołów lotnych, powstających z osadów ściekowych. Pod uwagę brano przede wszystkim analogię do wykorzystywanych popiołów ze spalania węgla, dla których obowiązują normy i liczne opracowania wskazujące na zasadność stosowania (Dz.U.2014 poz.1923).

Po przeanalizowaniu dostępnej literatury związanej z wykorzystaniem popiołów lotnych będących rezultatem spalania osadów ściekowych jako dodatku do betonu sformułowano następujące cele.

- ocena składu fizyko-chemicznego popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych zgodnie z wymaganiami PN-EN 450-1:2012 oraz dodatkowo z ASTM-C618-03 i ASTM C379-65T, a tym samym określenie ich zmienności związanej z różnorodnością komunalnych osadów ściekowych, dostarczanych do oczyszczalni ścieków,
- ocena wpływu popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych na środowisko naturalne i zdrowie człowieka,
- ocena na drodze badawczej możliwości wykorzystania popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych w technologii betonu, w tym ustalenie, przy jakiej procentowej ilości tego dodatku beton osiągnie najkorzystniejsze właściwości,
- ocena wpływu dodatku popiołu lotnego ze spalania osadów na mikrostrukturę betonów,

- ocena wpływu wysokiej temperatury na właściwości wytrzymałościowe wytworzonych betonów oraz opracowanie modelu opisującego wpływ wysokiej temperatury na beton z dodatkiem popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych,
- ocena wpływu dwutlenku węgla na karbonatyzację betonów z dodatkiem popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych oraz opracowanie modelu opisującego przebieg karbonatyzacji w warunkach przyspieszonych dla badanych betonów.

Zakres pracy przedstawiał się następująco:

a) badania popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych obejmujące:

- analizę właściwości fizykochemicznych popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych,
- ocenę zmienności popiołów lotnych,
- ocenę wskaźnika aktywności pucolanowej popiołów lotnych,
- ocenę oddziaływania popiołów lotnych na środowisko naturalne, w tym wymywalność metali ciężkich, stężenie aktywności izotopów gamma promieniotwórczych,
- ocena czasu wiązania mieszanek z popiołem lotnym ze spalania osadów ściekowych,

b) badania właściwości betonów obejmujące:

- analizę i ocenę wpływu dodatku popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych na wytrzymałość na ściskanie, gęstość, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, mrozoodporność,
- ocenę mikrostruktury betonów,
- ocenę wpływu wysokiej temperatury na wytrzymałość betonów na ściskanie,
- ocenę wpływu dwutlenku węgla na przebieg procesu karbonatyzacji betonu,

c) opracowanie modeli:

- opisującego wpływ wysokiej temperatury na beton wytworzony z popiołem lotnym ze spalania osadów ściekowych,
- opisującego przebieg karbonatyzacji w warunkach przyspieszonych.

Natomiast po przeanalizowaniu dostępnej literatury związanej z wykorzystaniem różnych dodatków do betonu sformułowano następujący cel:

- ocena wpływu mączki szklanej, stłuczki szklanej, ceramiki czerwonej, pyłu krzemionkowego, włókien stalowych na właściwości mieszanki betonowej i wybrane właściwości dojrzalego betonu.

Zakres pracy dotyczył badań właściwości betonów, obejmujących:

- analizę i ocenę wpływu dodatków na wytrzymałość na ściskanie, gęstość, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, mrozoodporność.

4.2.2. Omówienie wyników prac stanowiących osiągnięcie naukowe

W celu wyjaśnienia wpływu modyfikacji betonu popiołem lotnym ze spalania osadów ściekowych opracowano program badań eksperymentalnych. Do badań eksperymentalnych pobrano oddzielne partie materiału w okresie ciągłej eksploatacji popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych w technologii fluidalnej z trzech oczyszczalni ścieków Warszawy (WA), Krakowa (KR) i Łodzi (LO). Na początku zbadano właściwości popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych wykorzystanych do produkcji betonów, mianowicie gęstość objętościową, gęstość nasypową, stopień porowatości, powierzchnię właściwą, skład chemiczny, rozkład uziarnienia, skład fazowy, aktywność pucolanową.

Z badań wynika, że gęstość nasypowa badanych popiołów zawiera się w przedziale od 780 kg/m³ dla popiołu z Warszawy do 820 kg/m³ dla popiołu z Krakowa i Łodzi. Dla porównania gęstość nasypowa popiołów ze spalania węgla zawiera się na ogół w przedziale 400–1200 kg/m³. Zakres wyników uzyskanych dla popiołów z osadów ściekowych jest jednorodny. Dla porównania piasek normowy 0–2 mm posiada gęstość nasypową równą 1670 kg/m³. Obliczony na podstawie gęstości stopień porowatości w przypadku popiołów 19 01 14 waha się od 66 do 71%. Porównując stopień porowatości zaobserwowano, że popioły z osadów ściekowych mają porowatość niższą od dolnej wartości porowatości popiołów ze spalania węgla brunatnego (74,37–76,39%) oraz kamiennego (73,42–81,34%) i bliską wartościom dla popiołów ze spalania osadów ściekowych, przedstawionym przez innych badaczy. Wartość powierzchni właściwej dla popiołu z Krakowa wyniosła 3,58 m²/g, dla popiołu z Łodzi 6,07 m²/g a dla popiołu z Warszawy 5,57 m²/g. Uzyskane wartości wskazują na niejednorodność materiału. Trudno je również porównać z wynikami badań innych autorów, ponieważ nie przedstawiają oni podziału popiołów ze spalania osadów ściekowych w zależności od sposobu i etapu ich pozyskiwania. Zmienność zawartości wolnego CaO w popiele lotnym była mała (popiół z Krakowa – 0,08% masy, Łodzi – 0,12% masy, Warszawy – 0,09% masy). Wszystkie próbki spełniały wymagania PN-EN 450-1:2012 – wartość graniczna dla pojedynczego wyniku wynosi 1,6%. Zmienność zawartości całkowitej tlenku wapnia można uznać za dużą (KR – 11,90% masy, LO – 22,02%

masy, WA – 18,64% masy). Wymagania dotyczące reaktywnego tlenku wapnia (wartość graniczna dla pojedynczego wyniku mniejsza od 11% masy), wpływające na tworzenie fazy C-S-H, zostały spełnione dla popiołu z Krakowa (10,89% masy) i Łodzi (10,92% masy). Popiół z Warszawy przekroczył dopuszczalną wartość o 3,74% masy. Większa zawartość reaktywnego tlenku wapnia wpływa na właściwości hydrauliczne popiołu. Żadna z badanych partii popiołu z osadów ściekowych (KR – 15,24% masy, LO – 16,14% masy, WA – 13,32% masy) nie spełnia wymagania normy dotyczącego ilości reaktywnego dwutlenku krzemu (dolna granica wynosi 25% masy). Wyniki oznaczają zmienność na poziomie 88%. Zawartość całkowitego SiO_2 wynosiła odpowiednio dla popiołu KR – 32,21% masy, LO – 20,34% masy, WA – 23,76% masy co daje zmienność w granicy 58%.

Biorąc pod uwagę fakt, że podstawowe tlenki, z których zbudowany jest klinkier cementu, to CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , wymagania związane z sumą zawartości trzech tlenków (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) nie zostały spełnione dla żadnej z partii. Badane próbki popiołów ze spalania osadów ściekowych charakteryzowały się rozrzutem wyników na poziomie 59% (KR – 57,71% masy, LO – 36,37% masy, WA – 46,14% masy). Biorąc pod uwagę normę ASTM-C618-03, popiół pochodzący z oczyszczalni ścieków z Krakowa spełnia wymagania sumy tlenków (SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$). Dzięki małemu stosunkowi $\text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ (KR – 0,29%, LO – 0,34% masy, WA – 0,19%) dodatek w postaci popiołów lotnych z termicznego przekształcania osadów ściekowych nie wpłynie negatywnie na pęcznienie betonu w wyniku tworzenia się ettringitu. Popiół lotny z Warszawy i Krakowa spełniał wymagania normowe dotyczące zawartości tlenku magnezu (dopuszczalna zawartość do 4,0% masy), popiół z Łodzi nieznacznie (o 0,93%) przekroczył dopuszczalną wartość. Mała zawartość tlenku magnezu, który w wolnej postaci uwalnia się wolniej niż CaO , prawdopodobnie nie będzie powodował zmiany objętości przy dojrzewaniu betonu wyprodukowanego na bazie badanego popiołu lotnego. Całkowita zawartości alkaliów (wartość graniczna dla pojedynczego wyniku maksymalnie 5%) została spełniona dla wszystkich próbek popiołu. Badane popioły charakteryzowały się niskim rozrzutem wyników (KR – 0,80% masy, LO – 0,68% masy, WA – 0,77% masy).

Strata przy prażeniu wyrażająca zawartość niespalonego węgla w próbce popiołu lotnego ze spalania osadów, była wyraźnie niższa w stosunku do popiołu krzemionkowego. Wynika to z technologii spalania w piecu fluidalnym oraz wyższej temperatury spalania, przekraczającej 850°C . Popioły z osadów ściekowych uzyskały stratę prażenia odpowiednio: KR – 0,7% masy, LO – 0,5%, WA – 0,5% masy. Według normy PN-EN 450-1:2012 wartości te odpowiadają

kategorii A. Niska zmienność uzyskanych wyników wskazuje na stabilność technologii spalania komunalnych osadów ściekowych w piecach. Cechą charakterystyczną popiołów ze spalania osadów ściekowych jest duża zawartość fosforanów, przekraczająca wartości graniczne dla pojedynczych wyników (mniej niż 5,5% masy) trzy i pięciokrotnie. Ilość fosforanów wyniosła: KR – 18,91% masy, LO – 27,37% masy, WA – 23,09% masy. Wynika to z usuwania fosforu ze ścieków i kumulowaniu go w osadzie ściekowym. Niewątpliwie zawartość fosforu uzależniona jest od charakteru ścieków dostarczanych do oczyszczalni. Przypuszcza się, że obecność jonów fosforanowych może wpływać na powolne narastanie wytrzymałości betonów zawierających popiół ze współspalania ze względu na opóźnienie procesu hydratacji cementu.

Rozkład uziarnienia badanych popiołów lotnych jest monomodalny, z maksimum dla wartości 65 μm (Kraków), 125 μm (Łódź) oraz 85 μm (Warszawa). Ziarna o średnicy od 2 do 250 μm stanowią ponad 91% objętości we wszystkich partiach badanego popiołu. Jednoznacznie można stwierdzić, że badane popioły należy sklasyfikować w grupie materiałów o uziarnieniu grubym. W próbkach popiołów lotnych przeważają ziarna nieregularne o zmiennej wielkości i silnie rozwiniętej powierzchni, w tym popiele nie ma fazy szklistej oraz ziaren o pokroju sferycznym. Popiół ze spalania osadów ściekowych nie spełnia wymagań definicji popiołu lotnego określonej w PN-EN 450-1:2012. Przez analogię do fluidalnego spalania pyłu węglowego można stwierdzić, iż ziarna tego rodzaju popiołu lotnego charakteryzują się dużą zawartością ziaren (konglomeratów ziaren) o dużej porowatości otwartej, co przekłada się na wysoką wodożądność. Analizy chemiczne w mikroobszarze (SEM-EDS) wykazały zróżnicowanie składu pierwiastkowego. Dominowały ziarna o składzie chemicznym: krzem, glin, fosfor i żelazo, obok których występowały ziarna zawierające wapń.

Na podstawie przeprowadzonych badań aktywności pucolanowej ustalono, że sumaryczna zawartość reaktywnego tlenku krzemu i glinu w popiele lotnym z oczyszczalni ścieków z Krakowa wyniosła 21,49% i była największa, z Łodzi wyniosła 20,94%, natomiast z Warszawy wyniosła 20,41% i była tym samym najmniejszą wartością. Biorąc pod uwagę wymagania zawarte w ASTM C379-65T zostały przez badany popiół z osadów spełnione. Aktywność popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych nie spełnia wymagania normy PN-EN 450-1:2012 po 28 i 90 dniach dojrzewania (odpowiednio powyżej 75% i powyżej 85%). Wskaźnik aktywności po 28 dniach dojrzewania dla popiołu z Krakowa wyniósł 71,7%, dla Warszawy 68,5%, a dla Łodzi jedynie 61,2%, natomiast po 90 dniach 84,1% dla popiołu KR, 79,3% dla WA

i 70,7% dla LO. Wskaźnik aktywności przekroczył wymagane wartości (85%) po 180 dniach dojrzewania, co pozwala zakwalifikować je do aktywnych dodatków mineralnych.

We wszystkich badanych próbkach popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych sumaryczne stężenia metali ciężkich w przeliczeniu na masę pierwiastków nie przekraczały wartości dopuszczalnej. Poziomy wymywalności metali ciężkich z próbek betonowych zawierających popioły lotne ze spalania osadów ściekowych dla Cr, Cu, Ba były większe niż z próbek z samego popiołu. Najmniejszą wymywalność metali ciężkich zaobserwowano dla popiołu lotnego pochodzącego z oczyszczalni ścieków z Krakowa.

Wskaźnik I stężenia promieniotwórczego izotopów promieniotwórczych informujący o narażeniu całego ciała na promieniowanie gamma pochodzące od radionuklidów naturalnych, tj. potasu, radu i toru, mieści się w zakresie 0,19–0,92 Bq/kg. Najwyższą wartość uzyskano dla próbek popiołu lotnego z Łodzi, a najniższą dla próbek betonu zwykłego. Dla żadnej z badanych próbek nie zaobserwowano przekroczenia wartości granicznej równej 1,0 Bq/kg.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najszybciej rozpoczęła wiązanie mieszanina wykonana z popiołem lotnym z oczyszczalni ścieków z Krakowa. Początek wiązania nastąpił po 6 godzinach, a koniec po 11 godzinach. Dla mieszaniny z popiołem z Łodzi uzyskano najmniej korzystne wyniki. Początek wiązania nastąpił po 9 godzinach, a koniec po 14 godzinach. Dla popiołu z Warszawy początek wiązania zaobserwowano po 7 godzinach, a koniec po 12,5 godzinach. Znacząca zawartość fosforu w popiołach z osadów ściekowych oraz ilość CaO (powyżej 10%) mogą powodować opóźnienie wiązania poprzez tworzenie się nierozpuszczalnego fosforanu (V) wapnia.

Na podstawie przeglądu literatury przedmiotu, związanej z tematem monografii, stwierdzono nieliczne wyniki badań eksperymentalnych betonów modyfikowanych popiołem lotnym ze spalania osadów ściekowych. Prace badawcze nie wyjaśniają, jaki wpływ na właściwości mieszanki betonowej i dojrzałego betonu – wytrzymałości na ściskanie, mrozoodporność, głębokości penetracji wody pod ciśnieniem, mikrostrukturę, głębokość karbonatyzacji betonu wywiera dodatek tego rodzaju popiołów lotnych.

W celu przeprowadzenia zaplanowanych badań eksperymentalnych przygotowano mieszanki betonowe z różną ilością popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych –2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 17,5 i 20,0% w stosunku do cementu oraz mieszankę betonu referencyjnego.

Mieszkankę referencyjną zmodyfikowano popiołem lotnym pochodzącym z oczyszczalni ścieków w Krakowie, w Łodzi i w Warszawie.

Badania mieszanek betonowych obejmowały: badanie konsystencji, badania gęstości oraz badania zawartości powietrza. Badania betonu obejmowały określenie wytrzymałości na ściskanie, gęstość, głębokości penetracji wody pod ciśnieniem, mrozoodporności, mikrostruktury, wpływu wysokiej temperatury na wytrzymałość na ściskanie oraz wpływu oddziaływania dwutlenku węgla na głębokość karbonatyzacji betonu z dodatkiem popiołów ze spalania osadów ściekowych. Uzupełnieniem prac eksperymentalnych były badania wymywalności metali ciężkich oraz stężenie aktywności izotopów gamma promieniotwórczych betonu. Do zaplanowanych badań przygotowano mieszanki betonowe betonu zwykłego zawierające popiół lotny ze spalania osadów ściekowych, pochodzący z trzech oczyszczalni ścieków z Krakowa, z Łodzi i z Warszawy w ilości 2,5–20% masy cementu oraz mieszkankę referencyjną w celach porównawczych.

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych na mieszankach betonowych stwierdzono, że popiół lotny ze spalania osadów ściekowych uzyskany z trzech różnych oczyszczalni ścieków wpływa na jej poszczególne parametry – konsystencję, zawartość powietrza oraz gęstość. Wyniki badań konsystencji są spójne dla poszczególnych popiołów lotnych i ich zawartości. Mieszanki betonowe zawierające w swoim składzie 2,5 i 5,0% popiołu uzyskały konsystencję S3, a dla zawartości 7,5; 10, 12,5 i 15,0% konsystencję S2, natomiast dla zawartości 17,5 i 20,0% konsystencję S1. Ewidentnie widać, iż stosowany dodatek charakteryzuje się wysoką wodożądnością i negatywnie wpływa na konsystencję mieszanki betonowej – mieszanka jest nieurabialna po krótkim czasie. Popioły lotne ze spalania osadów ściekowych charakteryzują się znaczną porowatością, która powoduje intensywne wchłanianie wody. Gęstość świeżej mieszanki betonowej uzyskała wartości od 2316 do 2387 kg/m³ dla popiołu z Krakowa, dla popiołu z Łodzi od 2242 do 2371 kg/m³, a dla popiołu z Warszawy od 2261 do 2399 kg/m³. Zawartość powietrza w mieszankach betonowych zależała od ilości wprowadzonego dodatku zamiast cementu i rosła ona wraz z większą zawartością popiołu lotnego. Najmniejszą zawartość powietrza, równą 1,7%, uzyskano dla próbek BZ, natomiast największą zawartość powietrza zanotowano w mieszankach betonowych, w których zastąpiono cement w ilości 20%: dla popiołu z Krakowa równą 2,9%, dla popiołu z Łodzi 2,4% oraz dla popiołu z Warszawy 3,8%.

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałości na ściskanie dla trzech popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych stwierdzono, że zamiana cementu na popiół lotny ze

spalania osadów ściekowych z Krakowa w ilości większej niż 10% wpłynęła na wzrost wytrzymałości na ściskanie w porównaniu do betonu porównawczego bez dodatku. W kontekście wyników dla popiołów z Łodzi i Warszawy można wskazać, że optymalna zawartość popiołów lotnych wynosi 15%. Zgodnie z informacjami podanymi przez innych autorów, optymalna zawartość popiołu ze spalania osadu ściekowego w materiałach cementowych wynosi od 5% do 20%. Wyniki wskazują na ogólny trend wzrostu wytrzymałości na ściskanie w miarę zwiększania zawartości popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych, podobnie jak we wcześniejszych okresach dojrzewania. Wytrzymałość betonu rośnie wraz z upływem czasu, co sugeruje proces dalszej hydratacji cementu i rozwijania struktury betonu. Warto zaznaczyć, że wpływ popiołu lotnego na wytrzymałość jest bardziej zauważalny po dłuższym okresie dojrzewania.

Popiół lotny ze spalania osadów ściekowych ma znacznie mniejszą gęstość w porównaniu do cementu, dlatego wykorzystanie go w mieszankach betonowych może zmniejszyć gęstość betonu. Analiza wyników wskazuje, że dodatek popiołu lotnego spowodował spadek gęstości betonu wraz z większą zawartością popiołu lotnego. Gęstość wahała się w przedziale od 2410 do 2278 kg/m³ dla popiołu z Krakowa, od 2365 do 2210 kg/m³ dla popiołu z Łodzi oraz od 2375 do 2200 kg/m³ dla popiołu z Warszawy. Wszystkie betony można zakwalifikować do betonów zwykłych, których gęstość mieści się w przedziale od 2000 do 2600 kg/m³.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla betonów w których zamieniono cement na popiół lotny w ilości 2,5% uzyskano największe głębokości penetracji wody. I tak, próbki betonu z popiołem lotnym ze spalania osadów ściekowych z Krakowa uzyskały wynik równy 22,0 cm, z Łodzi wynik równy 25,1 cm, a z Warszawy wynik równy 23,0 cm. Próbkę betonów, w których zamieniono spoiwo na dodatek w ilości 20,0% odznaczały się najmniejszą głębokością penetracji wody pod ciśnieniem. Najbardziej szczelnym okazał się beton modyfikowany 20% dodatkiem popiołów lotnych. Mniejsza głębokość penetracji wody pod ciśnieniem w betonie jest pożądana, ponieważ oznacza większą odporność na uszkodzenia spowodowane wodą.

Próbki poddane 150 cyklom zamrażania i odmrażania, w których zamieniono cement na popiół lotny ze spalania osadów ściekowych z Krakowa w ilości do 15%, z Łodzi w ilości do 7,5% oraz z Warszawy w ilości do 10%, są mrozo odporne – F150.

Mikrostruktura analizowanego betonu referencyjnego była zwarta i szczelna bez nadmiernej ilości pustek powietrznych, czy regularnych, sferycznych porów powietrznych. Obecne

były liczne relikty klinkieru. Nie stwierdzono istotnej zawartości innych składników drugorzędnych cementu, co potwierdza wykorzystanie cementu CEM I do przygotowania próbek betonu. Faza C-S-H była prawidłowo wykształcona o strukturze zwartej i szczelnej. Strefa kontaktowa pomiędzy ziarnami kruszywa, a zaczynem cementowym w większości przypadków była szczelna i prawidłowo wykształcona. Natomiast mikrostruktura betonu z dodatkiem 15% popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych wykazywała liczne obszary zaczynu zawierającego fazę C-S-H o zwiększonej porowatości. Widoczne były obszary zaczynu zawierające pory powietrzne o średnicy głównie rzędu kilkudziesięciu mikrometrów. Obecność porów może wynikać ze zwiększonej wodożądności mieszanki i utrudnionym zagęszczaniem próbek lub samego popiołu. Analizując strefę kontaktową kruszywo-zaczyn zaobserwowano, że jest ona różna w różnych obszarach. W niektórych fragmentach jest ona szczelna i prawidłowo rozwinięta, a w innych jest bardziej porowata i rozluźniona. Obecność rozluźnionej formy strefy kontaktowej ma związek prawdopodobnie z obecnymi w jej pobliżu ziarnami popiołu. Ziarna te są źródłem związków fosforu, które mogą negatywnie wpływać na rozwój mikrostruktury powodując jej rozluźnienie. Związki fosforu obecne w popiele mogą wpływać na zwiększenie porowatości fazy C-S-H w strefie kontaktowej kruszywo-zaczyn, co może implikować obniżenie wytrzymałości na ściskanie kompozytu przy większej zawartości popiołu lotnego.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono wpływ wysokiej temperatury na wytrzymałość na ściskanie poszczególnych rodzajów próbek betonu wytworzonych z udziałem popiołu ze spalania osadów ściekowych. W miarę wzrostu temperatury oraz zawartości popiołu lotnego wytrzymałość na ściskanie malała.

Badania wpływu dwutlenku węgla na beton z udziałem popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych wykazały różną dynamikę zwiększania głębokości karbonatyzacji. Betony z wyższą zawartością popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych (PIII 17,5%, PIII 20,0%) mają tendencję do wykazywania wyższych wartości głębokości karbonatyzacji w porównaniu do próbek betonu z niższymi zawartościami popiołów (PIII 2,5%, PIII 5,0%). W miarę zwiększania czasu działania na próbki dwutlenku węgla, różnice głębokości karbonatyzacji między poszczególnymi próbkami są bardziej widoczne. Dodatkowo zaobserwowano, że głębokość karbonatyzacji dla betonów z dodatkiem popiołu w ilości do 12,5% wzrastała uzyskując wartość maksymalną równą 15,2 mm po 180 dniach, natomiast po zwiększeniu zawartości tego dodatku głębokość karbonatyzacji zaczęła spadać. Wprowadzony do mieszanki

betonowej popiół lotny ze spalania osadów ściekowych z jednej strony przyspiesza proces karbonatyzacji przesuwając w głąb betonu front karbonatyzacji z drugiej strony powstaje bardziej zwarta mikrostruktura. Dochodzi do zmniejszenia dyfuzyjności i ograniczenia szybkości karbonatyzacji. Wyznaczone współczynniki regresji modeli hiperbolicznych wskazują na właściwe dopasowanie przyjętego modelu do uzyskanych wyników badań laboratoryjnych w warunkach przyspieszonej karbonatyzacji ($R^2 = 0,85\text{--}0,99$), niezależnie od zawartości popiołu lotnego z osadów ściekowych w próbkach betonu zwykłego. Intensywny przyrost głębokości karbonatyzacji obserwuje się w okresach od 28 do 56 dni. Dalszy przebieg zjawiska jest już powolniejszy, a wartości zmierzone po 180 dniach zbliżają się do wartości asymptoty. Zgodnie z literaturą przedmiotu wielkości głębokości karbonatyzacji wyznaczone w warunkach przyspieszonej karbonatyzacji są zasadniczo większe niż wartości uzyskane dla tego samego betonu w warunkach naturalnej karbonatyzacji.

W badaniach zawartych w publikacji (p1), wykorzystując cement portlandzki CEM I 42,5R, a także kruszywo z ceramiki czerwonej dwóch frakcji 4–8 mm oraz 8–16 mm, zaprojektowano beton zwykły klasy C20/25 o konsystencji K2 z domieszką w ilości 0,5% masy cementu. Zastąpiono tylko frakcje grube kruszywa naturalnego, ponieważ zastosowanie rozdrobnionych cegieł drobniejszych frakcji kruszywa wtórnego wiąże się ze wzrostem wodożądności tak wykonanego betonu. Porównano wytrzymałość na ściskanie, zginanie oraz wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu. Największą wytrzymałość na ściskanie uzyskał beton referencyjny. Średnia wytrzymałość tych próbek była wyższa od pozostałych próbek w granicach od 12 do 20%. W badaniach wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wyniki wykazały, że kruszywo z ceramiki wpływa na wzrost tych wytrzymałości. Największą wytrzymałość zaobserwowano dla próbek betonu z dodatkiem 20% odpadów ceramicznych frakcji 8–16 mm. Biorąc pod uwagę wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu największą wytrzymałość uzyskano dla próbek z 10% dodatkiem kruszywa z ceramiki frakcji 4–8 mm i 8–16 mm. Przeprowadzone badania nasiąkliwości, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem oraz gęstości objętościowej wykazały, że beton na kruszywie z ceramiki posiada szereg korzystnych cech materiałowych. Uzyskane wyniki nie przekraczają wartości normowych.

Użycie odpadów przemysłowych w składzie betonu wpływa na zmniejszenie ilości użytego klinkieru cementowego oraz naturalnych kruszyw do jego wytwarzania. Ponadto ich wy-

korzystanie może poprawić mikrostrukturę oraz właściwości dojrzałego. Problem wykorzystania odpadów szklanych podjęto w pracy (p2), w której przeprowadzono badania wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na zginanie a także mrozoodporności betonów wytworzonych z udziałem mączki szklanej w ilości 5, 9, 12% oraz z udziałem stłuczki szklanej w ilości 5, 9, 12%. Po przeprowadzeniu badań na świeżych mieszankach betonowych stwierdzono, że wzrost ilości mączki szklanej wpłynął na zmniejszenie gęstości i opadu stożka oraz na zwiększenie zawartości powietrza. Natomiast wzrost stłuczki szklanej spowodował zwiększenie gęstości i zawartości powietrza oraz zmniejszenie opadu stożka. Wykorzystanie odpadów szklanych w analizowanym zakresie wpłynęło nieznacznie na pogorszenie wytrzymałości na ściskanie analizowanych próbek. Po 28 i 56 dniach dojrzewania obserwuje się znacznie mniejszy wpływ odpadów szklanych na pogorszenie wytrzymałości betonów w stosunku do 14-dniowego okresu dojrzewania. Świadczy to o intensyfikacji reaktywności pucolanowej odpadów szklanych z czasem. Betony zawierające mączkę szklaną wykazały się nieco lepszą wytrzymałością na zginanie w stosunku do betonu porównawczego, a betony zawierające stłuczkę szklaną charakteryzowały się porównywalną wytrzymałością w odniesieniu do betonu referencyjnego. Przeprowadzone badania wykazały, że analizowane betony są mrozoodporne. Betony zawierające mączkę w ilości 5 i 9% oraz stłuczkę w ilościach 5 i 12% uzyskały lepsze parametry wytrzymałościowe po 150 cyklach zamrażania i odmrażania niż beton referencyjny.

Dbłość o środowisko zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju wprowadza możliwość i potrzebę recyklingu odpadów. Przemysł budowlany i materiałów budowlanych ma największy potencjał ponownego wykorzystania odpadów. W pracy p3 przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości (konsystencja, nasiąkliwość wody, wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie po 28 i 56 dniach utwardzania, głębokość penetracji) betonów zwykłych i betonów zawierających popiół lotny – wapienny z elektrociepłowni w Bełchatowie i krzemionkowy z elektrociepłowni Siekierki w ilości 15, 20 i 30% masy cementu. Do wykonania próbek betonu C20/25 wykorzystano cement portlandzki CEM I 42,5 R oraz kruszywo naturalne o uziarnieniu 0–16 mm. Badania wytrzymałości na ściskanie wykazały, że rosnąca zawartość popiołu negatywnie wpływa na wytrzymałość – im wyższa zawartość popiołu, tym mniejsza wytrzymałość na ściskanie. W testach wytrzymałości na ściskanie przeprowadzonych po 28 i 56 dniach zaobserwowano wzrost wytrzymałości wraz z czasem utwardzania betonu dla wszystkich próbek. Wytrzymałość z dodatkiem popiołu krzemionkowego była niższa niż z popiołu wapiennego. Dla każdego przypadku uzyskane wartości były wyższe niż te przyjęte podczas obliczeń mieszania. Wytrzymałość na zginanie bez dodatku również osiągnęła najwyższe wartości. Wraz ze

wzrostem zawartości popiołu zmniejszyły się wartości wytrzymałości. Wytrzymałość próbek z popiołem wapiennym na zginanie była znacznie wyższa niż próbek z dodatkiem popiołu krzemionkowego i prawie równa wytrzymałości próbek referencyjnych. Przeprowadzono również testy wytrzymałości na rozciąganie. Próbkę betonu bez popiołów lotnych charakteryzowały się istotnie wyższymi wartościami od próbek betonowych z udziałem popiołów lotnych. Próbkę betonu z dodatkiem popiołu krzemionkowego były zbliżone do siebie, a także wyższe niż dla próbek z dodatkiem popiołu wapiennego. Badania nasiąkliwości betonu wykazały, że w każdym przypadku beton może być bezpośrednio narażony na działanie warunków atmosferycznych, ponieważ wartość nasiąkliwości przekroczyła 4%. Najwyższe wartości osiągnęły o zawartości popiołu wapiennego 20 i 30%, nieco niższe były wartości dla betonu z 15% zawartością popiołu wapiennego. W przypadku bez domieszek i z popiołem krzemionkowym uzyskane wyniki były znacznie niższe. Wyniki badań średniej głębokości penetracji wody pod ciśnieniem oceniają jako wodoodporne dla każdego badanego betonu. Wraz ze wzrostem zawartości popiołu głębokość penetracji wody nieznacznie spadły, a najniższą uzyskano dla próbek o zawartości popiołu wapiennego 20%.

W publikacji P4 do badań eksperymentalnych wykorzystano cement CEMI o trzech klasach wytrzymałości 32,5R, 42,5R oraz 52,5R, włókna stalowe długości 60mm, średnicy 0,75 mm oraz popiół lotny pochodzący z termicznego przekształcania osadów ścieków oczyszczalni „Czajka”. Do badań przygotowano trzy rodzaje próbek: próbki z betonu referencyjnego, próbki z betonu z dodatkiem włókien stalowych w ilości 0,7% masy cementu, próbki z betonu z dodatkiem włókien stalowych w ilości 0,7% i popiołu lotnego w ilości 5% masy cementu. Na podstawie wyników badań wytrzymałości na ściskanie betonu bez dodatków stwierdzono, że im wyższej klasy użyty został cement, tym większa była wytrzymałość na ściskanie betonu. Beton z dodatkiem włókien stalowych wykazywał wzrost wytrzymałości wraz ze wzrostem klasy cementu, natomiast w porównaniu do betonu referencyjnego zaobserwowano spadek wytrzymałości na poziomie 2–3%. Wykorzystanie cementu wyższej klasy spowodowało wzrost wytrzymałości na ściskanie betonu z dodatkiem włókien i popiołu. W porównaniu do betonu referencyjnego zanotowano spadek wytrzymałości. W przeciwieństwie do wytrzymałości na ściskanie wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu zwiększyła się dzięki zastosowaniu poszczególnych dodatków. Wytrzymałość na zginanie w porównaniu do betonu bez dodatków dla CEM I 32,5 wzrost wytrzymałości wyniósł 11,7%, dla CEM I 42,5 – 18,5%, a dla CEM I 52,5 – 19,0%. Najmniejszą wytrzymałość na rozciąganie

uzyskał beton referencyjny na bazie CEM I 32,5, natomiast największą beton z CEM I 52,5 z dodatkiem włókien stalowych i popiołów lotnych.

W publikacji p5 celem badań było poznanie wpływu dodania popiołów lotnych w czasie sporządzania mieszanki betonowej betonu zwykłego na jego właściwości techniczne. Do badań wykorzystano popiół lotny ze spalania węgla kamiennego w elektrociepłowni Siekierki. Przygotowano dwa rodzaje próbek – bez dodatku oraz z dodatkiem. Z przeprowadzonych badań wynika, iż zastosowanie dodatku popiołów lotnych zmniejsza jego nasiąkliwość. Popiół lotny zmniejsza ilość wolnych porów w gotowych betonach, dzięki czemu betony popiołowe w mniejszym stopniu chłoną wodę. Głębokość penetracji wody po 28 dniach dla próbek betonowych bez dodatków wyniosła 4,31 cm, natomiast dla próbek z dodatkami popiołów lotnych 2,53 cm. Wszystkie próbki spełniły wymagania normy odnośnie głębokości penetracji wody ustalonej na poziomie 5cm. Obydwa rodzaje betonów można zatem uznać za spełniające kryterium wodoszczelności. Stwierdzono, że betony z zawartością popiołów lotnych charakteryzuje mniejsza penetracja wody, co najprawdopodobniej jest spowodowane uszczelnieniem betonu przez popioły. Popiół wypełnił wolne pory w betonie, zwiększając jego wodoszczelność. Wytrzymałość na ściskanie betonu zwykłego po 28 dniach dojrzewania była średnio o 20% wyższa niż betonu popiołowego. Wytrzymałość betonów popiołowych wraz z upływem czasu zwiększa się bardziej niż betonów zwykłych. Mieszanki betonów popiołowych charakteryzowała lepsza mieszalność oraz większe upłynnienie w porównaniu do betonów zwykłych, mimo tej samej grupy konsystencji. Beton z popiołem lotnym charakteryzuje również dłuższy czas wiązania, co jest pożądane w niektórych sytuacjach, np. podczas tworzenia konstrukcji silnie zbrojonych.

Pył krzemionkowy (mikrokrzemionka), to produkt uboczny w produkcji stopów żelazo-krzemowych i krzemu metalicznego w piecach łukowych. Mikrokrzemionka składa się z bardzo drobnych sferycznych cząsteczek, średnio 100-krotnie mniejszych od przeciętnego ziarna cementu i mających powierzchnię właściwą ok. $20 \text{ m}^2/\text{g}$ oraz gęstość ok. $2,2 \text{ g/cm}^3$. Stanowi ona jeden z ważniejszych komponentów betonu z bardzo wysokimi parametrami eksploatacji, co pozwala na pozytywne kształtowanie właściwości betonu.

Przedmiotem badań publikacji p6 był wpływ dodania pyłu krzemionkowego na właściwości betonów zwykłych. Określono możliwości wykonania dobrej jakości betonu bez dodatków oraz betonów z dodatkiem pyłu krzemionkowego. Próbki wykonano z cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R o gęstości $3,1 \text{ kg/dm}^3$ oraz pyłu krzemionko-

wego z huty Łaziska o gęstości $2,2 \text{ g/cm}^3$. Badania polegały na porównaniu właściwości betonów zwykłych wytworzonych w tradycyjny sposób oraz betonów zawierających w swoim składzie odpad przemysłu hutniczego – pył krzemionkowy. Przygotowano dwa rodzaje próbek betonu: bez żadnych dodatków i z dodatkiem 5, 10 i 15% pyłu krzemionkowego. Wykazano wyraźny wpływ zawartości mikrokrzemionki w mieszance na jej właściwości technologiczne, a także na wytrzymałość betonu i inne badane cechy fizyczne. Mikrokrzemionka znacznie wpłynęła na właściwości mieszanki betonowej. Dodatek 5 i 15% pyłu krzemionkowego zauważalnie obniżył gęstość mieszanki betonowej. Najmniejszą gęstość miała mieszanka zawierająca 10% mikrokrzemionki. Zawartość powietrza w dużym stopniu ulegała zmianom. Najmniej zawierała go mieszanka bez dodatków i niewiele więcej mieszanka zawierająca 5% pyłu krzemionkowego. Zawartość dodatku w wysokości 10 i 15% znacznie podniosła zawartość powietrza, osiągając wartości 3,9 i 4%. Dodatek mikrokrzemionki wpłynął na zmianę konsystencji. Mieszanka betonowa niezawierająca mikrokrzemionki, badana metodą opadu stożka, uzyskała konsystencję S2, natomiast już 5% obecność pyłu krzemionkowego spowodowała zmianę konsystencji mieszanki na S1. Wytrzymałość na ściskanie betonu zawierającego mikrokrzemionkę okazała się po 28 dniach większa od wytrzymałości betonu bez dodatków. Największą wytrzymałość odnotowano dla betonu zawierającego 5% dodatku. Betony zawierające 10 i 15% mikrokrzemionki uzyskały taką samą wartość średnią wytrzymałości, większą od betonu bez dodatku i mniejszą od betonu z 5% dodatkiem pyłu krzemionkowego. Wytrzymałość na zginanie również jest większa dla próbek z dodatkiem mikrokrzemionki. Zawartość 5 i 10% dodatku odznaczała się największą wartością średnią wytrzymałości równą 6,1 MPa. Beton zawierający 15% pyłu krzemionkowego osiągnął wytrzymałość nieco mniejszą niż beton z dodatkiem 5 i 10%, ale nadal znacznie większą od betonu bez dodatków. Nasiąkliwość betonu bez dodatku wyniosła 4,5%, co oznacza, że może on być bezpośrednio narażony na działanie czynników atmosferycznych. Wraz ze zwiększającą się zawartością mikrokrzemionki nasiąkliwość betonu maleje. Dla betonu z 15% dodatkiem nasiąkliwość wynosi tylko 2,1%, czyli ponad dwa razy mniej niż betonu bez dodatku. Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem w betonie bez dodatku jest największa i wynosi 6,4 i 6,5 cm. Beton z dodatkiem 5% mikrokrzemionki miał nieco mniejszą głębokość penetracji wody. Betonu bez dodatków i betonu z dodatkiem 5% mikrokrzemionki nie można zakwalifikować do betonów wodoszczelnych (beton uznaje się za wodoszczelny, gdy głębokość penetracji wody pod ciśnieniem dla każdej próbki jest mniejsza niż 5 cm). Do tej grupy możemy zaliczyć betony z 10 i 15% zawartością mikrokrzemionki. Im większa zawartość dodatku pyłu krzemionkowego, tym mniejsza głębokość penetracji wody

pod ciśnieniem. Wymagana mrozoodporność betonu osiągnięta jest po spełnieniu następujących warunków: brak pęknięć, łączna masa ubytków nie przekracza 5% próbek betonowych niepoddanych mrożeniu, spadek wytrzymałości na ściskanie do 20% w stosunku do niezamrażanych próbek. Mikrokrzemionka jako dodatek obniżyła znacznie wytrzymałość na ściskanie po cyklu mrożenia próbek. Beton zawierający 15% pyłu krzemionkowego nie osiągnął stopnia mrozoodporności, gdyż spadek wytrzymałości przekroczył 20%. Reszta projektowanych betonów osiągnęła wymagany stopień mrozoodporności. Najmniejszy ubytek wytrzymałości na ściskanie miały próbki bez zawartości dodatku mikrokrzemionki.

Celem przeprowadzonych badań przedstawionych w publikacji p7 było poznanie wpływu dodania metakaolinitu w czasie sporządzania mieszanki betonowej betonu zwykłego na jego wybrane właściwości techniczne. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie wytrzymałości badanego materiału przy różnej zawartości metakaolinitu i ocenienie jego roli jako dodatku do betonu. Do przygotowania próbek betonu referencyjnego i z dodatkiem w ilości 5, 10, 15% wykorzystano kruszywo naturalne o uziarnieniu 0,125–16 mm oraz cement CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R. Dodatek metakaolinitu powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie i zginanie w 28 dniu dojrzewania betonu. Beton zawierający 15% metakaolinitu charakteryzuje się najmniejszą gęstością mieszanki betonowej, najmniejszym opadem stożka, najmniejszą nasiąkliwością oraz największą wytrzymałością na ściskanie i zginanie w 28 dniu dojrzewania betonu. Beton z dodatkiem 5% metakaolinitu charakteryzuje się najmniejszą wytrzymałością na ściskanie i zginanie w 28 dniu dojrzewania betonu, a największą wytrzymałość na ściskanie uzyskuje w 90 dniu. Wzrost wytrzymałości wyniósł 51,6%. Niestety przy badaniu mrozoodporności wytrzymałość spadła o 32,3%, co świadczy o braku odporności betonu na działanie mrozu. Może to być spowodowane tym, że cement, który użyty był do wykonania betonu, już w swoim składzie zawierał od 21 do 35% popiołów lotnych oraz wapieni i dodanie metakaolinitu spowodowało jeszcze większy udział dodatków w stosunku do czystego klinkieru, co mogło osłabić strukturę betonu.

4.2.3. Podsumowanie osiągnięcia naukowego

Oryginalność pracy habilitacyjnej dotyczy wykorzystania różnych dodatków, a przede wszystkim popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych jako modyfikatora w technologii betonu oraz wpływu dodatków na wybrane właściwości dojrzałego betonu Przygotowana monografia (m1) oraz prace (p.1 – p.7) mają użytkowe znaczenie dla gospodarki kraju oraz

ochrony środowiska naturalnego. Na podstawie wyników uzyskanych w toku realizacji osiągnięcia naukowego można zaproponować następujące wnioski:

1. Zmienność składu chemicznego i właściwości fizycznych popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych ocenia się jako nieznaczną.
2. Popioły ze spalania osadów ściekowych wykazały odmienny skład chemiczny. Największy udział procentowy w próbkach popiołu z osadów ściekowych stanowiły tlenki krzemionki, wapnia, fosforu i glinu. Suma zawartości dwutlenku krzemu (SiO_2), tlenku glinu (Al_2O_3) i tlenku żelaza (Fe_2O_3) nie spełniała wymagań zawartych w normie PN-EN 450-1+A1:2012.
3. Aktywność popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych nie spełnia wymagania normy PN-EN 450-1:2012 po 28 i 90 dniach dojrzewania (odpowiednio powyżej 75% i powyżej 85%). Wskaźnik aktywności po 28 dniach dojrzewania dla popiołu z Krakowa wyniósł 71,7%, dla Warszawy 68,5%, a dla Łodzi jedynie 61,2%, natomiast po 90 dniach 84,1% dla popiołu z Krakowa, 79,3% dla popiołu z Warszawy i 70,7% dla popiołu z Łodzi. Tym samym innowacyjne popioły pochodzące ze spalania osadów wykazały mniejszą aktywność pucolanową niż popiół lotny pochodzący ze spalania węgla. Jednakże osiągnęły one wymagane wartości wskaźników (85%) po dłuższym okresie dojrzewania, co pozwala zakwalifikować je do aktywnych dodatków mineralnych.
4. Popiół pochodzący ze spalania osadów ściekowych jest bogaty w związki fosforu. Powolne narastanie wytrzymałości betonów zawierających popiół może być spowodowane obecnością jonów fosforanowych, które opóźniają proces hydratacji cementu.
5. Wymywalność metali ciężkich z próbki betonowej z dodatkiem popiołu lotnego ze spalania osadów ściekowych była wyższa niż z samego popiołu, ale nie przekraczała wartości granicznych przyjętych dla odpadów obojętnych. Wymywalność metali ciężkich z próbek z zawartością popiołów lotnych jest porównywalna lub mniejsza w porównaniu do betonu bez dodatku popiołów lotnych. Migracja metali ciężkich do środowiska wodnego jest nieznaczna. Celowe jest jednak prowadzenie dalszych badań dla różnych klas i rodzajów betonu oraz zróżnicowanych warunków wymywania.
6. W żadnym z badanych popiołów lotnych nie stwierdzono przekroczenia granicznej wartości wskaźnika stężenia promieniotwórczego izotopów promieniotwórczych potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{232}Th , wynoszącej 1,0 Bq/kg. Najmniej bezpieczny pod kątem ochrony

radiologicznej okazał się popiół lotny pochodzący z oczyszczalni ścieków z Łodzi, ponieważ charakteryzował się najwyższą wartością wskaźnika I równą 0,92 Bq/kg.

7. Wykorzystane do badań popioły lotne ze spalania osadów ściekowych pochodzące z trzech różnych oczyszczalni ścieków są bezpieczne pod kątem radiologicznym i mogą być stosowane w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i zwierząt.
8. Badania czasu wiązania mieszanin wykonanych z popiołem lotnym z osadów ściekowych wykazały, że najszybciej po 6 godzinach rozpoczęła wiązanie mieszanina z popiołem z Krakowa, w drugiej kolejności po 7 godzinach z popiołem z Warszawy. Dla mieszanin z popiołem z Łodzi uzyskano najmniej korzystne wyniki – wiązanie rozpoczęło się po 9 godzinach. Całkowity czas wiązania mieszanin wyniósł dla popiołu z Krakowa i Łodzi 5 godzin, natomiast dla popiołu z Warszawy 5,5 godzin.
9. Popiół lotny ze spalania osadów ściekowych wpływa na właściwości mieszanki betonowej. Wyniki badań konsystencji są spójne dla poszczególnych popiołów lotnych i ich zawartości. Mieszanki betonowe zawierające w swoim składzie 2,5 i 5,0% popiołu uzyskały konsystencję S3, przy zawartości 7,5; 10, 12,5 i 15,0% konsystencję S2, natomiast przy zawartości 17,5 i 20,0% konsystencję S1. Ewidentnie widać, iż stosowany dodatek charakteryzuje się wysoką wodożądnością i negatywnie wpływa na konsystencję mieszanki betonowej – mieszanka jest nieurabialna po krótkim czasie.
10. Gęstość świeżej mieszanki betonowej uzyskała wartości od 2316 do 2387 kg/m³ dla popiołu z Krakowa, od 2242 do 2371 kg/m³ dla popiołu z Łodzi, od 2261 do 2399 kg/m³ dla popiołu z Warszawy. Zawartość powietrza w mieszankach betonowych zależała od ilości wprowadzonego dodatku zamiast cementu i rosła ona wraz z większą zawartością popiołu lotnego.
11. Najmniejszą zawartość powietrza uzyskano dla próbek BZ równą 1,7%, natomiast największą zawartość powietrza zanotowano w mieszankach betonowych, w których zastąpiono cement w ilości 20%: 2,9% dla popiołu z Krakowa, 2,4% dla popiołu z Łodzi oraz 3,8% dla popiołu z Warszawy.
12. Badania wytrzymałości na ściskanie betonów po 28, 56, 90 oraz 365 dniach dojrzewania wykazały, że betony z popiołem lotnym pochodzącym z oczyszczalni ścieków w Krakowie charakteryzują się szybszą dynamiką wzrostu (od betonów z pozostałymi dwoma typami popiołów). Beton zawierający w swoim składzie popiół lotny z osadów ściekowych jako

zamiennik cementu w ilości powyżej 10% charakteryzował się większą wytrzymałością na ściskanie w stosunku do betonu porównawczego bez dodatku. Średnią wytrzymałość na ściskanie dla betonu zawierającego popiół z Krakowa ustalono na poziomie 50,1 MPa, 50,6 MPa, 50,8 MPa oraz 61,9 MPa odpowiednio po 28, 56, 90 i 365 dniach dojrzewania. W przypadku wykorzystania popiołu lotnego z Łodzi i Warszawy zauważono, że przy wymianie cementu na popiół w ilości powyżej 15% wytrzymałość na ściskanie malała.

13. Biorąc pod uwagę skład fizyko-chemiczny oraz właściwości pucolanowe zastosowanych popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych pochodzących z różnych oczyszczalni ścieków zauważono, że większe stężenie SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 (Kraków – 57,71%, Łódź – 36,29%, Warszawa – 46,14%) oraz mniejsze P_2O_5 , CaO (Kraków – 30,81%, Łódź – 49,39%, Warszawa – 41,73%) wpływa pozytywnie na wzrost wytrzymałości na ściskanie wytworzonych betonów. Największą wytrzymałość na ściskanie równą 50,1 MPa po 28 dniach dojrzewania uzyskały próbki betonu, w których cement zastąpiono popiołem lotnym z Krakowa w ilości 20%, natomiast najmniejszą wytrzymałość na ściskanie, równą 32,4 MPa – próbki, w których 2,5% cementu wymieniono na popiół pochodzący z oczyszczalni ścieków z Łodzi. W porównaniu do próbek betonu referencyjnego wzrost wytrzymałości wyniósł 18,7%, natomiast spadek 23,2%.
14. W przypadku wykorzystania popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych zaobserwowano, że przy zamianie cementu na popiół w ilości powyżej 15% wytrzymałość na ściskanie maleje, co należy uznać, że optymalna ilość popiołu lotnego w betonie wynosi 5–15%.
15. Popiół lotny ze spalania osadów ściekowych pochodzący z trzech oczyszczalni ścieków spowodował spadek gęstości betonu wraz z większą zawartością popiołu lotnego. Gęstość wahała się w przedziale od 2410 do 2278 kg/m^3 dla popiołu z Krakowa, od 2365 do 2210 kg/m^3 dla popiołu z Łodzi oraz od 2375 do 2200 kg/m^3 dla popiołu z Warszawy. Wszystkie betony można zakwalifikować do betonów zwykłych, których gęstość mieści się w przedziale od 2000 do 2600 kg/m^3 .
16. Dodatek popiołu lotnego z osadów ściekowych wpływa na zmniejszenie głębokości penetracji wody pod ciśnieniem. Dla wszystkich wykorzystanych popiołów zaobserwowano zmniejszenie głębokości wraz ze wzrostem udziału procentowego dodatku.

17. Beton zawierający popiół z osadów ściekowych uzyskał zadowalające parametry wytrzymałościowe po 150 cyklach zamrażania i odmrażania. Betony wytworzone z udziałem popiołu w ilości 5–15% są mrozoodporne. Zaobserwowano wtedy mniejsze spadki wytrzymałości na ściskanie wraz ze wzrostem zawartości popiołów lotnych z komunalnych osadów ściekowych w betonie.
18. Obecne w popiele związki fosforu wpływają niekorzystnie na rozwój szczelnej mikrostruktury zaczynu, przyczyniając się do powstawania porowatej formy fazy C-S-H w otoczeniu ziaren popiołu.
19. Strefa kontaktowa pomiędzy ziarnami kruszywa i zaczynem cementowym w niektórych fragmentach ma charakter porowaty i nieciągły, co może być związane z obecnością w bliskim otoczeniu ziaren popiołu, które poprzez wydzielanie związków fosforu mogą wpływać na osłabienie mikrostruktury.
20. Zaczyn cementowy w próbce betonu zawierającej dodatek popiołu odznaczał się większą zawartością porów powietrznych, wynikającą prawdopodobnie ze zwiększonej wodożądności mieszanki i utrudnionym zagęszczaniem próbek lub działaniem napowietrzającym zastosowanych domieszek lub samego popiołu.
21. Wpływ dodatku popiołu na miejscowe rozluźnienie mikrostruktury fazy C-S-H i zwiększenie porowatości strefy kontaktowej kruszywo-zaczyn oraz zwiększone napowietrzenie mieszanki może być bezpośrednią przyczyną obserwowanych spadków wytrzymałości betonów z dodatkiem popiołu.
22. Wzrost temperatury osłabia strukturę materiału. Na powierzchni próbki po badaniu widoczne były powierzchniowe spękania i rysy. Efekt wzmocnienia widoczny jest dla betonów nagrzewanych do 300°C dla próbek, w których wymieniono cement na popiół lotny z osadów w ilości 5 i 10%. Duże wartości współczynnika determinacji R^2 (powyżej 0,9823 dla popiołu z Krakowa, powyżej 0,9838 dla popiołu z Łodzi oraz powyżej 0,9717 dla popiołu z Warszawy) wskazuje na prawidłowe dopasowanie modeli do przyjętych danych eksperymentalnych.
23. Wprowadzony do mieszanki betonowej dodatek popiołu z jednej strony przyspiesza proces karbonatyzacji, przesuując w głąb betonu front karbonatyzacji, a z drugiej strony powstaje bardziej zwarta mikrostruktura. Dochodzi do zmniejszenia dyfuzyjności i ograniczenia szybkości karbonatyzacji.

24. Dbłość o środowisko zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju wprowadza możliwość i potrzebę recyklingu odpadów w technologii betonu. Wykorzystanie powstających odpadów wpływa na właściwości mieszanki betonowej oraz na wybrane właściwości dojrzałego betonu.

4.3. Osiągnięcia w zakresie kierunku badań

Za moje osobiste osiągnięcia, które przyczyniają się do rozwoju dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, uważam:

- (1) oryginalne badania naukowe wraz z porównawczymi analizami wpływu popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych na wybrane właściwości betonu zwykłego, w wyniku których usystematyzowano wiedzę na temat odpadu określonego jedynie ogólnym kodem, ale niezdefiniowanego w żadnym prawie, poza przypisami zawartymi w katalogu odpadów,
- (2) określenie, na podstawie badań naukowych, właściwości fizyko-chemicznych popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych, mających istotny wpływ na wybrane właściwości mieszanki betonowej i dojrzałego betonu,
- (3) analizę naukową zmienności właściwości popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych, która jest związana z różnorodnością dostarczonych komunalnych osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków,
- (4) opracowanie, na podstawie naukowych badań i analiz, autorskich modeli karbonatyzacji,
- (5) analizę naukową wpływu popiołów lotnych na środowisko naturalne i mikrostrukturę betonu, wpływu wysokiej temperatury na właściwości wytrzymałościowe oraz wpływu dwutlenku węgla na proces karbonatyzacji betonów modyfikowanych popiołem ze spalania osadów.
- (6) analizę naukową wpływu różnych dodatków na właściwości mieszanki betonowej oraz wybrane właściwości dojrzałego betonu – wytrzymałość na ściskanie, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, mrozoodporność.

Wykorzystanie odpadowych produktów oczyszczalni ścieków – popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych – zmniejsza ich ilości, a jednocześnie umożliwia uzyskanie dodatku do produkcji betonu. Betony wyprodukowane na bazie popiołów lotnych ze spalania osadów

ściekowych nie wpływają negatywnie na środowisko naturalne, ograniczają wymywanie metali ciężkich oraz emisyjność izotopów promieniotwórczych.

Zatem:

popiół lotny ze spalania osadów ściekowych jest wartościowym i bezpiecznym modyfikatorem betonów – wpływa pozytywnie na wybrane właściwości betonu, nie wpływa negatywnie na środowisko naturalne – jest bezpieczny pod kątem radiologicznym i może być stosowany do wylewania chodników, małych dróg lokalnych, parkingów, do wznoszenia ogrodzeń, murków oporowych oraz do tworzenia różnych elementów małej architektury.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

5.1 Działalność naukowo-badawcza i dydaktyczna przed uzyskaniem stopnia doktora (1995–2000)

W 1995 roku ukończyłam studia magisterskie na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska (obecnie Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska), Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Od 1 października 1995 roku rozpoczęłam pracę na stanowisku asystenta w Zakładzie Budownictwa Wiejskiego oraz studia doktoranckie. Moja działalność dydaktyczna w tamtym okresie obejmowała prowadzenie zajęć ze studentami studiów stacjonarnych i niestacjonarnych I stopnia, zarówno na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska, jak i Inżynierii Produkcji. Zakres przedmiotów obejmował budownictwo rolnicze, budownictwo ogólne i materiały budowlane. W tym czasie aktywnie włączałam się w prace organizacyjne zakładu. Miałam swój udział w unowocześnianiu bazy aparaturowej oraz modernizacji wybranych stanowisk badawczych w Laboratorium Budowlanym. Brałam czynny udział w pracach naukowo-badawczych Zakładu Budownictwa Wiejskiego oraz prowadziłam badania własne związanych z tematyką mojej pracy doktorskiej – *Kształtowanie zabudowy współczesnych zagród rolniczych*. Badania terenowe realizowane były w gospodarstwach wiejskich ukierunkowanych na hodowlę bydła mlecznego w dawnym woj. radomskim. Kształtowanie zabudowy współczesnych zagród rolniczych jest istotnym aspektem rolnictwa, który ma wpływ na efektywność produkcji rolniczej, jakość życia rolników oraz ochronę środowiska. Istotne jest umiejscowienie budynków gospodarskich, takich jak stodoły, obory, magazyny i maszynownie,

w sposób funkcjonalny. Warto zaplanować je tak, aby były one łatwo dostępne dla maszyn rolniczych i zwierząt, a także zapewnić odpowiednią izolację od obszarów mieszkalnych. Ważne jest, aby maksymalnie wykorzystać dostępną ziemię rolniczą, jednocześnie dbając o jej ochronę przed erozją, degradacją i utratą żyzności. Można to osiągnąć poprzez stosowanie odpowiednich praktyk rolniczych, takich jak uprawy zbiorowe i rotacja upraw. Planując zabudowę zagród rolniczych, należy uwzględnić przestrzeń na pola uprawne, pastwiska, a także obszary rekreacyjne i odpoczynkowe dla rolników. Optymalne wykorzystanie przestrzeni pozwala na efektywne zarządzanie gospodarstwem rolnym. Przy projektowaniu zabudowy zagród rolniczych należy zwrócić uwagę na ergonomię i bezpieczeństwo pracy. Budynki i infrastruktura powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby ułatwiać codzienne prace rolnicze i minimalizować ryzyko wypadków. Zabudowa zagród rolniczych powinna być elastyczna i dostosowana do ewentualnych zmian w produkcji lub rozwoju gospodarstwa.

W 2000 roku uzyskałam stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie Kształtowanie Środowiska na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

W tym okresie opublikowałam dwie oryginalne prace naukowe:

Pisarski Marcin, Górecka (**Rutkowska**) **Gabriela**, *Badania zabudowy gospodarstw rolnych w środkowej Polsce*. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 1996.

Pisarski Marcin, Górecka (**Rutkowska**) **Gabriela**, *Bloczki z betonu komórkowego wysokiej jakości*. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 1997.

5.2. Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora (od 2000)

5.2.1. Zakres działalności naukowo-badawczej

Moja działalność naukowo-badawcza, poza pracami związanymi z tematem monografii i z cyklem publikacji opisanym w punkcie 4, dotyczyła również innych ważnych zagadnień. Po obronie pracy doktorskiej kontynuowałam jej temat w ramach pracy statutowej. Dzięki współpracy z Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie zakres powyższych badań został w znacznym stopniu rozszerzony. Właściwe ukształtowanie programu przemian w strukturze i funkcji gospodarstw w Polsce, jak również nakreślenie tempa i kolejności podejmowania działań było kluczem do wielkiego przedsięwzięcia, jakim było przygotowanie do wejścia Polski do UE. Ocena i analiza potrzeb w zakresie powierzchni zabudowy budynków produkcyjnych i pomocniczych w indywidualnych gospodarstwach rolnych, ukierunkowanych na chów bydła

mlecznego z własną reprodukcją stada, posłużyły do opracowania modeli zabudowy zagród rolniczych. Efektem prowadzonych badań terenowych, obliczeń i analiz wyników w tym okresie były publikacje artykułów **57 - 60 (zał. 4)**.

Kolejnym obszarem moich zainteresowań naukowych były badania dotyczące rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych domów jednorodzinnych, w tym wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii. Badania te miały na celu poprawę efektywności energetycznej i ekonomiczności domów przy jednoczesnym zmniejszeniu ich wpływu na środowisko. Niezależnie od epoki, w jakiej żyje człowiek, zawsze dąży on do zapewnienia sobie i swojej rodzinie własnego bezpiecznego schronienia. Z historii budownictwa widać, że na jego rozwój miały wpływ i nadal mają materiały budowlane. Zależy od nich konstrukcja budowli, wymiary, bryła i forma architektoniczna budynku oraz jego wygląd estetyczny. To dzięki prawidłowo dobranym materiałom budowlanym, dom jednorodzinny może zapewnić właściwe warunki ochrony człowieka przed wpływami atmosferycznymi, ochrony przed czynnikami pochodzącymi od zewnątrz i wewnątrz budynku, izolacyjności cieplnej, sztywności i stateczności budynku itp. Celem prowadzonych badań była analiza istniejących rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych stosowanych na terenach wiejskich, a tym samym ocena jakości przegród budowlanych. Prowadzone w tym zakresie badania pozwoliły na określenie współczynnika przenikania ciepła (U), określenie granicy ocieplania istniejących budynków jednorodzinnych, wykonanie analizy możliwości wykorzystania ekologicznych materiałów budowlanych oraz określeniu wpływu poszczególnych materiałów budowlanych na mikrośrodowisko wewnątrz budynku. Obliczenia opłacalności ocieplania zostały przeprowadzone na możliwie największej liczbie porównywalnych założeń o jednakowym poziomie dla wszystkich budynków. Badaniom poddane zostały przegrody zewnętrzne budynków z lat 1958–2006. Analiza badań wykazała, że ściany zewnętrzne i dachy są najbardziej newralgicznymi częściami budynku pod względem utraty ciepła, a wskaźnik opłacalności NPV, mimo bardziej skomplikowanych procedur obliczania, ze względu na dokładność i możliwość dodatkowego szacowania wyników, powinien być traktowany w dokumentach prawnych na równi z powszechnie używanym w celu określenia wariantów termomodernizacyjnych wskaźnikiem SPBT. Ponadto, największą opłacalność wykazują inwestycje z dodatkową izolacją cieplną w budynkach z lat 1958–1979. Zastosowanie izolacji ze styropianu o optymalnej grubości na ścianach, a z wełny mineralnej na dachach budynków we wszystkich przypadkach gwarantuje spełnienie obecnych wymagań normowych dotyczących izolacyjności cieplnej przegród budynków. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w publikacjach **42-44, 46-51 (zał. 4)**.

W celu poszerzenia opisanych zagadnień w ramach pracy badawczej statutowej, prowadziłam także badania możliwości docieplania istniejących budynków jednorodzinnych w aspekcie wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii. Ilość energii wyprodukowanej przez zaprojektowane instalacje obliczona została dzięki ogólnodostępnym, programom komputerowym „Kolektorek v1.0”, „Wiatrak v1.1” oraz „AKWADUKT thermo”. Parametry niektórych instalacji grzewczych wyznaczano na podstawie danych przez uzyskiwanych od producentów systemu. Symulacje komputerowe pozwoliły na dokładną analizę funkcjonowania zaproponowanych rozwiązań instalacyjnych, wykorzystujących niekonwencjonalne źródła energii. W pracy badawczej wybierano optymalne rozwiązania zastosowania niekonwencjonalnych źródeł ciepła do celów grzewczych. Przy sprawdzaniu poprawności przyjętych założeń wykorzystywano programy komputerowe. Celem prowadzonych badań było także ustalenie parametrów pracy solankowej pompy ciepła (SPC), wytwarzającej energię cieplną na potrzeby ogrzewania oraz przygotowywania ciepłej wody użytkowej (CWU) w budynku mieszkalnym. Przyjęto wykorzystanie dolnego źródła ciepła w postaci poziomych kolektorów gruntowych usytuowanych w gruntach gliniastych wilgotnych lub piaszczystych suchych. Analizę przeprowadzono przy wykorzystaniu komputerowego programu symulacyjnego Vito-WP firmy Viessmann. Dla przyjętych powierzchni absorbera wyznaczono czas pracy pomp oraz ilość uzyskiwanej energii cieplnej i współczynnik efektywności pompy. Efektem tych badań są przede wszystkim prace **39-40 (zał. 4)**.

Uzupełnieniem omawianych badań są prace dotyczące oceny właściwości cegły pełnej po kilkudziesięcioletniej eksploatacji. Z przeprowadzonych badań wynika, że stan budynków „cegłanych” jest zróżnicowany – od budowli w zadowalającym stanie technicznym do obiektów zagrażających bezpieczeństwu. Przyczyny niszczenia badanych obiektów wynikają przede wszystkim z właściwości samych cegieł i użytych zapraw, jak również z usytuowania budynków w terenie, klimatu czy dbałości eksploatacyjnej. Efektem tych badań jest publikacja **45 (zał. 4)**.

Rosnące wymagania prawne, dotyczące ograniczania strat energii, oraz rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa i szeroko pojęty rozwój technologiczny skłoniły mnie do wykonania badań izolacji termicznej wybranych budynków. Prowadzone w tym zakresie badania pozwoliły na dokonanie analizy i oceny występowania błędów w wykonawstwie izolacji termicznej w budynkach jednorodzinnych na podstawie badań kamerą termowizyjną. Wyniki badań opublikowano w pracy **26 i 42 (zał. 4)**.

W wyniku realizacji pracy badawczej w ramach działalności statutowej i współpracy z Zakładem Wodociągów i Kanalizacji oraz National University of Water and Environmental Engineering (Równe, Ukraina), prowadziłam badanie wielkości i zmienności zużycia wody na terenie Kampusu SGGW w latach 2012–16 (**21, zał. 4**). Na podstawie zarejestrowanych wskazań wodomierza przedstawiono badanie wielkości i zmienności zużycia wody na terenie Kampusu SGGW w latach akademickich 2012/16. Średnie jednostkowe zużycie wody w czasie realizacji zajęć wyniosło $26,6 \text{ dm}^3/\text{student}/\text{dobę}$ dla studenta studiów stacjonarnych i $19,7 \text{ dm}^3/\text{student}/\text{dobę}$ dla studenta studiów niestacjonarnych. W okresie wakacyjnym wskaźniki są niższe i wynoszą odpowiednio $18,4$ i $11,8 \text{ dm}^3/\text{student}/\text{dobę}$. Wskaźniki te zostały określone bez uwzględnienia zużycia wody w akademikach. Współczynnik szczytu dobowego wyniósł $1,36$, a współczynnik szczytu godzinowego $1,71$. W cyklu tygodniowym największe zużycie wody obserwowano we wtorki, a najmniejsze w niedziele. Szczytowe zużycie wody występuje w ciągu dnia między $11:00$ a $13:00$, a także $23:00$ a $1:00$ w nocy. Struktura godzinowa dystrybucji wody na terenie Kampusu SGGW jest podobna do weekendowej struktury dystrybucji wody w budynkach wielorodzinnych i budynkach mieszkalnych, z wyjątkiem późniejszego wystąpienia wieczornego szczytu.

W ramach tej współpracy prowadzone były również badania (**18, 33 zał. 4**) mające na celu określenie wartości wymywania wybranych metali ciężkich z betonów zwykłych klasy C16/20, zawierających 15% popiołów lotnych pochodzących z termicznego przekształcania osadów ściekowych (w stosunku do obliczonej ilości cementu). Próbkę betonów rozdrobniono na frakcje poniżej 4 i poniżej 1 mm , które następnie poddano wymywaniu, a w powstałym eluacie oznaczano zawartość metali ciężkich: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As, Sb oraz Se. Stwierdzone stężenia metali są znacznie poniżej wartości maksymalnych, określonych w wymogach prawnych, które należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi i które definiują substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego, a także od granicznych wartości wymywania, wymaganych przy dopuszczaniu odpadów obojętnych do składowania. Na tej podstawie stwierdzono, że migracja metali ciężkich z betonów z dodatkiem popiołów do środowiska wodnego jest nieznaczna i nie powinna stanowić istotnego problemu przy zastosowaniu w budownictwie. Badania wymagają jednak kontynuacji dla różnych klas i rodzajów betonu oraz zróżnicowanych warunków wymywania.

Wspólnie przeprowadzono również analizę porównawczą wybranych metod stosowanych do obliczania instalacji wodociągowych. W tym celu porównano metodykę obliczania

instalacji wodociągowych według norm PN-B-01706:1992 oraz PN-EN 806-3:2006. Na zasilaniu standardowo wyposażonego mieszkania uzyskujemy przepływ obliczeniowy o około 16% wyższy, stosując normę europejską. Dodatkowo przepływy obliczeniowe na zasilaniu budynków wielorodzinnych porównano z formułami podawanymi w literaturze oraz wynikami badań własnych. Przepływy pomierzone średnio są dwu-, trzykrotnie niższe od wartości obliczeniowych ustalanych według norm. Jednocześnie są one porównywalne lub nieznacznie wyższe od tych ustalanych według modeli podawanych w literaturze (32, zał. 4).

Ostatnim z kierunków badań, który obecnie jest głównym nurtem moich zainteresowań naukowych, są zagadnienia związane z wykorzystaniem różnych dodatków jako zamiennik cementu lub kruszywa do betonów zwykłych oraz zapraw cementowych. Rozwijając współpracę ze środowiskiem naukowym Politechniki Lubelskiej, Szkołą Główną Służby Pożarniczej w Warszawie, Faculty of Engineering at Artvin Coruh University (Turcja) oraz Institute of Construction and Architecture at National University of Water and Environmental Engineering (Równe, Ukraina), od roku 2015 zajmuję się badaniami dotyczącymi możliwości racjonalnego wykorzystania popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych pochodzących z oczyszczalni ścieków w Warszawie w technologii betonu zwykłego. Efektem tych badań i współpracy są publikacje (3-5, 9, 11-13, 15-17, 19-20, 22-25, 29-31, 34, 36-38, zał.4).

Popioły lotne mogą być wykorzystane w technologii betonu, gdy spełnione zostaną wymagania zawarte w normie PN-EN 450-1:2012 – łączna zawartość Al_2O_3 , Fe_2O_3 oraz SiO_2 powinna wynosić min. 65% wagowych, w tym zawartość reaktywnego SiO_2 co najmniej 25% s.m. Całkowita zawartość alkaliów obliczana jako zawartość Na_2O (równoważnik) nie powinna być większa niż 5% s.m., natomiast zawartość reaktywnego CaO nie powinna przekraczać 10%, MgO : 4%, a rozpuszczalnego fosforanu (P_2O_5): 100 mg/kg. Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenie, głównym celem przeprowadzonych prac badawczych była analiza i ocena właściwości fizyko-chemicznych popiołów lotnych z termicznego przekształcania osadów ściekowych i wskaźnika aktywności pucolanowej. Drugim ważnym celem było zbadanie wpływu tego dodatku na właściwości mieszanki betonowej (konsystencję, zawartość powietrza, gęstość) i dojrzałego betonu (wytrzymałość na ściskanie w różnych okresach dojrzewania, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, gęstość, mrozoodporność). Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość zagospodarowania odpadów w postaci popiołu lotnego jako substytutu cementu do produkcji betonu. Dodatkowo badania wykazały, że powstały beton na bazie popiołu z osadu jest materiałem ekologicznym i nie zagraża środowisku naturalnemu.

W 2019 roku poszerzyłam swój zakres zainteresowań badawczych o badania zmienności popiołów lotnych ze spalania osadów ściekowych pochodzących z trzech oczyszczalni ścieków z Krakowa, z Łodzi i z Warszawy, wpływu wysokiej temperatury i dwutlenku węgla na beton wytworzony na bazie tych dodatków. Wyniki badań w tym zakresie można znaleźć w mojej monografii wydanej w 2023 roku, stanowiącej osiągnięcie naukowe zgłoszone do postępowania habilitacyjnego.

5.2.2. Dorobek publikacyjny

Mój całkowity dorobek publikacyjny obejmuje łącznie 66 prac naukowych opublikowanych w punktowanych czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Jestem współautorem 27 artykułów w czasopismach ze współczynnikiem *Impact Factor* w tym 23 w bazie *Web of Science*. W zakresie moich osiągnięć publikacyjnych znajdują dwie monografie i rozdziały w monografiach w języku polskim oraz referaty wygłoszone na konferencjach.

Sumaryczna liczba punktów MNiSW opisująca mój dorobek naukowy od 2000 roku wg listy czasopism punktowanych MNiSW zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **2492**.

Sumaryczny *Impact Factor* opublikowanych przeze mnie artykułów wynosi **57,248**. **Liczba cytowań według bazy *Web of Science* wynosi 122, a indeks Hirscha 6. Liczba cytowań według bazy Scopus wynosi 139, a indeks Hirscha 6. Liczba cytowań według bazy Google Scholar wynosi 299, a indeks Hirscha 8.** Wykaz wskaźników oceny dorobku naukowego z punktacją stanowiący osiągnięcie naukowe, opism zestawiono w załączniku 4.

5.2.3. Udział w konferencjach naukowych

W okresie dotychczasowej pracy zawodowej uczestniczyłam biernie lub aktywnie w kilkudziesięciu konferencjach naukowych, wygłaszałam referaty, prezentowałam postery i zgłaszałam artykuły do materiałów konferencyjnych, m.in.:

1. IX Konferencja Naukowa – Wieś Polska w Nowym Stuleciu. Kierunki planowania przestrzennego i architektury współczesnej wsi Białystok-Wigry, 19–21 maja 2000.

Rutkowska Gabriela. *Kształtowanie zabudowy siedliska rolniczych w dostosowaniu do wymogów produkcji rolnej.*

2. Konferencja Naukowo-Techniczna „Inżynierskie i przestrzenne aspekty zabudowy obszarów nieurbanizowanych”, Warszawa-Rogów, listopad 2002.

Rutkowska Gabriela, *Kształtowanie form budynków jednorodzinnych na wsi w technologii Sunday system.*

3. Konferencja Naukowa *Inżynieria i Kształtowanie Środowiska Obszarów Niezurbanizowanych – Woda w Inżynierii Krajobrazu*, Warszawa 2002.

Rutkowska Gabriela, *Technical and social infrastructure of the commune of Wyszaków in comparison with UE requirements.*

4. Konferencja Naukowa *Inżynieria i Kształtowanie Środowiska Obszarów Niezurbanizowanych – Woda w Inżynierii Krajobrazu*, Warszawa, 2002.

Rutkowska Gabriela, *Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne domów jednorodzinnych na przykładzie Gminy Kościan.*

5. Konferencja Naukowa „*Gospodarka przestrzenna Polskich miast i wsi*”, Białystok, 2002.

Rutkowska Gabriela, *Modelowa zabudowa współczesnych zagród rolniczych w dostosowaniu do produkcji rolnej.*

6. XI Konferencja „*Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska*”, Politechnika Koszalińska, Darłowo, 23–26 maja 2013.

Rutkowska Gabriela, Klepak Olga, Podawca Konrad, *Problemy strat ciepła w istniejących budynkach jednorodzinnych w kontekście błędów wykonawczych.*

7. XI Konferencja „*Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska*”, Politechnika Koszalińska, Darłowo, 23–26 maja 2013.

Podawca Konrad, **Rutkowska Gabriela**, *Analiza przestrzennego rozkładu typów zanieczyszczeń powietrza w układzie dzielnic m.st. Warszawy.*

8. Konferencja Naukowa „*Techniczne i przyrodnicze aspekty w budownictwie i inżynierii środowiska*”, Warszawa, 16–17 czerwca 2016.

Rutkowska Gabriela, Wichowski Piotr, Mroczkowska Aneta, *Kształtowanie właściwości betonu zwykłego na bazie cementów z dodatkiem włókien stalowych i popiołu lotnego.*

9. Konferencja naukowa „*Techniczne i przyrodnicze aspekty w budownictwie i inżynierii środowiska*”, Warszawa, 16–17 czerwca 2016.

Wichowski Piotr, **Rutkowska Gabriela**, *Analiza porównawcza instalacji wodociągowej zaprojektowanej w świetle zmiennych zaleceń projektowych.*

10. XXVI Międzynarodowa Konferencja naukowa pod patronatem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 16 września 2020. *Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska, standardów UE i produkcji energii alternatywnej, w tym biogazu.*

Rutkowska Gabriela, Wiśniewski Krzysztof, Kanarek Adrian. *Wpływ środowiska pielęgnacji betonu zwykłego wykorzystywanego w budowie wsi na wybrane właściwości fizyczne.*

11. 1st International Conference *Strategies toward Green Deal Implementation – Water and Raw Materials (ICGreenDeal2020)*, 14–16 December 2020, IGSME PAN. Kraków.
Rutkowska Gabriela, Chalecki Marek, *Fly ash from thermal conversion of sludge as a cement substitute in concrete manufacturing.* Referat on-line.

12. 2st International Conference *Strategies toward Green Deal Implementation – Water and Raw Materials (ICGreenDeal2020)*, 8–10 December 2021, IGSME PAN. Kraków.
Wiśniewski Krzysztof, **Rutkowska Gabriela**, Jeleniewicz Katarzyna, Dąbkowski Norbert, Wójt Jarosław, *The impact of fly ashes from thermal conversion of sewage sludge on properties of natural building materials on the example of clay.* Referat on-line.

13. *Dni Betonu 2021*, 11–13 październik 2021, Wisła.

Rutkowska Gabriela. *Ocena i analiza wpływu właściwości popiołu lotnego z termicznego przekształcania osadów ściekowych na wytrzymałość betonu wyprodukowanego z jego udziałem.*

14. 7th International Conference on Water Resource and Environment (WRE 2021).

Rutkowska Gabriela, Chalecki Marek, *Assessment and analysis of effect of properties of various fly ashes from thermal conversion of sewage sludge on strength parameters of concretes manufactured with their addition.* Referat on-line.

15. 3rd International Conference *Strategies toward Green Deal Implementation – Water and Raw Materials (ICGreenDeal2020)*, 5–7 December 2022, IGSME PAN. Kraków.

Wiśniewski Krzysztof, **Rutkowska Gabriela**, Jeleniewicz Katarzyna, Dąbkowski Norbert, Wójt Jarosław, *Ekologiczne materiały budowlane na przykładzie kompozytu glinowo-popiołowego jako dobre zagospodarowanie popiołów lotnych z termicznej konwersji osadów.*

16. XII Konferencja Naukowa *INFOGLOB 2022*, 7–9 czerwca 2022:.

Jeleniewicz Katarzyna, **Rutkowska Gabriela**, Żółtowski Mariusz, Kula Dorota, *Ground waste glass addition influence on the concrete prepared with their participation properties*

17. XII Koferencja Naukowa INFOGLOB 2022, 7–9 czerwca 2022.

Rutkowska Gabriela, Żółtowski Mariusz, *Fly ash from thermal transformation of sewage sludge as an alternative additive to concrete resistant to environmental influences.*

18. XIII Konferencja Naukowa INFOGLOB 2023, 23–26 maja 2023.

Rutkowska Gabriela, Żółtowski Mariusz, Ogrodnik Paweł, *Popiół lotny z osadów ściekowych jako składnik mieszanki betonowej odporny na wpływ środowiska.*

19. Dni betonu 2023, 9–11 października 2023, Wisła.

Rutkowska Gabriela, *Popiół lotny z osadów ściekowych jako dodatek do betonu w ujęciu obowiązujących norm.*

5.2.4. Projekty badawcze

W roku 2019 uzyskałam finansowanie projektu badawczego pt.: „**Popiół lotny z termicznego przekształcania osadów ściekowych jako modyfikator betonów**”, którego byłam Kierownikiem (Umowa nr MNISW/2019/174/DIR z dnia 13 czerwca 2019 r. dotycząca przyznania dofinansowania w konkursie: „Inkubator Innowacyjności 2.0”, realizowanym w ramach działania pn. „Wsparcie zarządzania badaniami naukowymi i komercjalizacja wyników prac B+R w jednostkach naukowych i przedsiębiorstwach” w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020 – Działanie 4.4).

W roku 2022 brałam udział w pracach naukowo-badawczych dotyczących rozwoju technologii efektywnego energetycznie i procesowo budownictwa senioralnego pod nazwą "BIO-PAN components" – kierownik projektu w SGGW: Łukasz Mazur. W ramach realizacji prac przygotowałam raport: *Recykling materiałów budowlanych. Analiza śladu węglowego i recyklingu materiałów budowlanych dla domu senioralnego.*

5.2.5. Pozostała działalność naukowa

Miarą moich pozostałych osiągnięć naukowych jest zgłoszenie patentowe P.437589 – Beton o poprawionej wytrzymałości i mrozoodporności. Przedmiotem wynalazku jest wysokojaściowy i trwały beton zawierający popiół lotny pochodzący z termicznego przekształcania osadów ściekowych.

Uczestniczyłam w Komitecie organizacyjnym XII Konferencji Naukowej INFOGLOB organizowanej w roku 2023. Głównym organizatorem wydarzenia była Katedra Transportu i Handlu Morskiego Wydziału Ekonomicznego Uniwersytetu Gdańskiego wraz ze współorganizatorami, w tym Szkołą Główną Służby Pożarniczej oraz Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Celem konferencji była integracja środowisk naukowych i praktyków biznesu, wymiana poglądów i prezentacja wyników badań oraz praktycznych doświadczeń związanych z zakresem tematycznym konferencji, a także wskazanie możliwości do dalszych badań.

Za pozytywną część mojej działalności naukowej uważam powierzenie mi przez redaktorów czasopism zagranicznych i polskich prac naukowych do zaopiniowania. Recenzowałam prace dla *Materials*, *Crystals*, *Buildings*, *Energies*, *Polymers*, *Sustainability*, *Magnetochemistry*, *Applied Science*, *Sensors*, *Minerals*, *Journal of Testing and Evaluation*, *Journal of Ecological Engineering*, *Structural Concrete*, *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, *ACTA Scientiarum Polonorum*. *Architectura*. W sumie byłam recenzentem 46 prac naukowych.

Byłam także recenzentem poradników Ministerstwa Edukacji i Nauki dla nauczycieli i uczniów z zakresu budownictwa ogólnego, krycia dachów dachówką ceramiczną, cementową, płytami dachowymi oraz wykonywania obróbek blacharskich dachowych i elewacyjnych.

Pełniłam również funkcję redaktora gościnnego w wydaniu specjalnym – *Reinforced Concrete: Engineering Structure and Mechanical Behavior. A special issue of Materials* (ISSN 1996-1944). To wydanie należy do sekcji "Construction and Building Materials", 2023.

5.2.6. Najważniejsze wyróżnienia

W dotychczasowej pracy zawodowej zostałam wyróżniona przez JM Rektora SGGW nagrodami:

- Nagroda Zespołowa II stopnia JM Rektora za osiągnięcia naukowe, 2023 r.
- Nagroda Zespołowa III stopnia JM Rektora za osiągnięcia naukowe, 2022 r.
- Nagroda Zespołowa III stopnia JM Rektora za osiągnięcia naukowe, 2021 r.
- Nagroda Zespołowa III stopnia JM Rektora za osiągnięcia naukowe, 2019 r.
- Nagroda Zespołowa II stopnia JM Rektora za osiągnięcia organizacyjne, 2016 r.

oraz nagrodami za promotorstwo wyróżnionych prac magisterskich, ufundowanymi przez Przewodniczącego Oddziału Warszawskiego PZITB, Przewodniczącego Rady MOIIB oraz Przewodniczącego Oddziału Warszawskiego SITWM NOT:

- w konkursie na najlepsze prace magisterskie obronione na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w roku akademickim 2017/18 na kierunku Budownictwo, pt.: *Kształtowanie mrozoodporności betonów zwykłych na bazie cementów z dodatkiem popiołu lotnego*, absolwent Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska na kierunku Budownictwo.
- w konkursie na najlepsze prace magisterskie obronione na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w roku akademickim 2018/19 na kierunku Budownictwo, pt.: *Ocena wpływu zeolitu i popiołu lotnego na wytrzymałość w wybranych okresach dojrzewania betonu zwykłego*, absolwent Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska na kierunku Budownictwo.
- w konkursie na najlepsze prace magisterskie obronione na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w roku akademickim 2019/20 na kierunku Budownictwo, pt.: *Ocena modyfikacji kompozytów cementowych polimerami*, absolwent Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska na kierunku Budownictwo.

W 2016 roku dostałam Odznaczenie Prezydenta RP – Medal Srebrny za Długoletnią Służbę.

W Polsce od 23 lat organizowany jest Konkurs „Polski Produkt Przyszłości” (PPP). Celem Konkursu PPP jest wyłonienie i wypromowanie opracowanych w Polsce innowacyjnych produktów i technologii, które mają potencjał, by zaistnieć nie tylko na rynku krajowym, ale również światowym. W październiku 2020 roku złożyłam wniosek do XXIII edycji:

Wniosek konkursowy: Program Operacyjny Inteligentny Rozwój, Oś priorytetowa 2 – Wsparcie otoczenia i potencjału przedsiębiorstw do prowadzenia działalności B+R+I działanie 2.4 Współpraca w ramach krajowego systemu innowacji poddziałanie 2.4.1 Centrum Analiz i Pilotaży Nowych Instrumentów inno_LAB Polski Produkt Przyszłości XXIII edycja – ***innoBET-kos – Beton zwykły na bazie popiołu lotnego z termicznego przekształcania osadów ściekowych.***

Złożenie wniosku patentowego: *Beton o poprawionej wytrzymałości i mrozoodporności*. P. 437589.

5.2.7. Staże zawodowe i naukowe, współpraca międzynarodowa i recenzje

Od 2010 roku moje zainteresowania naukowe dotyczą obszaru badań związanego z technologią produkcji betonu – modyfikacją betonu zwykłego innowacyjnymi dodatkami.

Od 2015 roku współpracuję z dużym przedsiębiorstwem BUDOKRUSZ S.A. przy projektach badawczych związanych z zastosowaniem odpadów z termicznego przekształcania osadów ciekowych do produkcji mieszanek betonowych. W ramach staży – współpracy z przedsiębiorstwem, przygotowywałam i wykonywałam badania dotyczące dwóch projektów:

- POIR.04.01.02-00-0091/16. *Badanie możliwości komercyjnego wykorzystania odpadów z termicznego przekształcania osadów ściekowych do produkcji betonów popiołowych.*
- POIR.04.01.02-00-0036/17. *Badanie możliwości wykorzystania odpadów z termicznego przekształcania osadów ściekowych do produkcji betonów popiołowych.*

W ramach współpracy od 2021 roku z przemysłem wdrożyłam z sukcesem w zakładzie prefabrykacji betonowej PEKABEX S.A. w Mszczonowie technologię produkcji innowacyjnych wielkogabarytowych prefabrykowanych elementów konstrukcji budowlanych z betonu lekkiego wysokich wytrzymałości. W pierwszym etapie wdrożenia prowadziłam prace projektowe, badawcze i laboratoryjne. Opracowane zostały autorskie receptury betonu lekkiego, charakteryzującego się bardzo wysoką wytrzymałością końcową a także wysoką wytrzymałością wczesną oraz szeregiem pozostałych parametrów wymaganych przy produkcji prefabrykatów żelbetowych. W kolejnym etapie opracowane wcześniej receptury wdrożono w masowej produkcji w zakładzie prefabrykacji, opracowano technologie produkcji mieszanki betonu lekkiego na węźle betoniarskim, a także zdefiniowano metody betonowania oraz pielęgnacji.

W okresie od 1 czerwca do 2 września 2019 roku odbyłam 3-miesięczny staż naukowy w zakresie technologii materiałów budowlanych na *National University of Water and Environmental Engineering in the Institute of Building and Architecture (Równe, Ukraina)*. Staż został zrealizowany w ramach umowy o stałej współpracy między NUWEE i SGGW, obejmującej działalność badawczą i dydaktyczną (umowa o podwójnym dyplomowaniu). W ramach stażu zapoznałam się z projektami badawczymi prowadzonymi przez pracowników NUWEE, prowadziłam wykłady i seminaria dla studentów i pracowników Instytutu – dotyczące wpływu popiołu lotnego z termicznego przekształcania osadów ściekowych na parametry

betonu zwykłego. Przeprowadziłam również badania w laboratorium konstrukcyjnym technologii betonu z dodatkami popiołu lotnego. W ramach powstałej współpracy został opublikowany artykuł:

Rutkowska G., Fronczyk J., Filipchuk S. Wpływ właściwości popiołu lotnego z termicznego przekształcenia osadów ściekowych na parametry betonu zwykłego. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*. 2020, nr 19 (3), s. 43–54.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Działalność dydaktyczna po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (2000–2023)

Działalność dydaktyczna, którą obecnie prowadzę, jest ściśle związana z moimi zainteresowaniami naukowymi oraz kierunkiem prowadzonych badań. Po uzyskaniu stopnia doktora jako asystent, a po roku jako adiunkt kontynuowałam pracę w Katedrze Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych.

W ramach pracy dydaktycznej w Katedrze Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych zaktualizowałam szereg instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych, m. in.: Badanie gęstości nasypowej i jamistości kruszyw, Badanie składu ziarnowego kruszywa, Badanie czasu wiązania zaprawy gipsowej, Badanie nasiąkliwości materiałów budowlanych, Dobór kruszywa do mieszanki betonowej metodą kolejnych przybliżeń, Badanie właściwości mieszanki betonowej – konsystencji, zawartości powietrza, gęstości, Badanie właściwości dojrzałego betonu – gęstości, wytrzymałości na ściskanie, zginanie, ścieranie, mrozoodporności, głębokości penetracji wody pod ciśnieniem. Przeprowadziłam również modernizację wybranych stanowisk do badań laboratoryjnych. W ramach pracy dydaktycznej opracowałam autorskie programy zajęć dydaktycznych – wykłady i ćwiczenia m.in.: *Materiały budowlane w budownictwie energooszczędnym*, *Rolnicze budowle kubaturowe*, *Materiały budowlane i technologia betonu I*, *Materiały budowlane i technologia betonu II*, *Materiały budowlane*, *Technologia betonu*, *Budowle przetwórstwa rolno-spożywczego*. Obecnie prowadzę zajęcia z przedmiotów:

- technologia betonu (studia I stopnia, stacjonarne i niestacjonarne) – wykład, ćwiczenia laboratoryjne, ćwiczenia projektowe,
- materiały budowlane i technologia betonu II (studia I stopnia, stacjonarne i niestacjonarne) – wykład, ćwiczenia laboratoryjne, ćwiczenia projektowe,

- materiały budowlane (studia I stopnia, stacjonarne) wykład, ćwiczenia laboratoryjne, ćwiczenia projektowe.

Na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego prowadziłam również przedmioty:

- Budownictwo ogólne i materiały budowlane, kierunek Budownictwo, studia stacjonarne,
- Podstawy budownictwa, kierunek Budownictwo, studia stacjonarne,
- Materiały budowlane i technologia betonu, kierunek Budownictwo, studia stacjonarne,
- Unieszkodliwianie ścieków i osadów,
- Rolnicze budowle kubaturowe, kierunek Budownictwo, studia stacjonarne,
- Materiały budowlane w budownictwie energooszczędnym, kierunek Budownictwo, studia stacjonarne,

Na Wydziale Nauk o Zwierzętach Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego prowadziłam przedmiot: Budownictwo inwentarskie, a na Międzywydziałowym Studium Gospodarki Przestrzennej ćwiczenia terenowe: Środowiskowe podstawy gospodarki przestrzennej.

W ramach umowy dydaktycznej między NUWEE i SGGW opiekowałam się również studentami z Ukrainy, realizującymi prace magisterskie z zakresu budownictwa w Katedrze Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych. Prowadzę seminaRIA dyplomowe dla kierunku budownictwo – studia I stopnia stacjonarne. Od 2001 roku dnia dzisiejszego byłam promotorem 181 prac dyplomowych na studiach I i II stopnia na kierunku Budownictwo i promotorem na studiach I stopnia na kierunku Inżynieria I Gospodarka Wodna na wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska, a także recenzentem około 40 prac.

Moja działalność dydaktyczna była wielokrotnie doceniana przez studentów wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska w Warszawie. Miało to odzwierciedlenie w wykonywanych cyklicznie ankietach oceniających jakość kształcenia, w których prowadzone przeze mnie zajęcia były dobrze oceniane. Za swoją działalność dydaktyczną zostałam w 2023 roku odznaczona dyplomem Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska.

6.2. Działalność organizacyjna po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (2000–2020)

Będąc adiunktem, oprócz pracy naukowej i dydaktycznej, brałam aktywny udział w działalności organizacyjnej i promocyjnej Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska,

a od 2019 roku Instytutu Inżynierii Lądowej. W 2013 roku decyzją Rektora zostałam powołana na członka Komisji Inwentaryzacyjnej. Podstawowym zadaniem Komisji było przeprowadzanie inwentaryzacji drogą spisu z natury oraz przedstawianie wniosków, w szczególności dotyczących sposobu rozliczania różnic inwentaryzacyjnych oraz protokołów likwidacyjnych. Prace w Komisji zakończyłam w październiku 2020 r.

Od 2000 r. biorę aktywny udział w corocznych majowych Dniach SGGW w Warszawie. Byłam odpowiedzialna między innymi za przygotowanie stanowiska Katedry Inżynierii Budowlanej a obecnie Katedry Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych.

W dniu 1.10.2019 r. Rektor Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie mianował mnie na stanowisko Kierownika Katedry Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych, które piastuję do dnia dzisiejszego. Pełnienie funkcji Kierownika jest dla mnie dużym zaszczytem, a przede wszystkim wyzwaniem, gdyż Katedra ma już kilkudziesięcioletnią historię funkcjonowania w strukturze Wydziału. W Katedrze obecnie jest zatrudnionych 25 nauczycieli akademickich w tym: 1 profesor, 3 doktorów habilitowanych na stanowisku profesora SGGW, 2 doktorów habilitowanych na stanowisku adiunkta, 8 doktorów inżynierów na stanowisku adiunkta, 2 doktorów na stanowisku adiunkta, 2 doktorów inżynierów na stanowisku asystenta, 5 magistrów inżynierów na stanowisku asystenta, 2 magistrów na stanowisku asystenta. Jestem odpowiedzialna za organizację pracy dydaktycznej i naukowo-badawczej realizowanej w Katedrze, a także za utrzymanie stanu technicznego pracowni – Laboratorium Budowlanego.

Od początku pełnienia funkcji Kierownika Katedry moim celem było i jest rozwój kadry naukowo-badawczej oraz zwiększenie potencjału badawczego Laboratorium Budowlanego. W Katedrze Mechaniki i Konstrukcji Budowlanych w celu rozwoju kadry naukowo-badawczej, rozpisywane są konkursy na stanowiska asystentów i adiunktów badawczo-dydaktycznych w zakresie konstrukcji budowlanych i zakresie mechaniki teoretycznej. Biorę udział jako członek w Komisji Konkursowej dla wyboru odpowiedniego kandydata. W 2020 roku zatrudnione zostały 4 osoby z politechnik oraz doktor z Białorusi. Ponadto, każdego roku zajęcia realizowane przez Katedrę w języku angielskim prowadzi dwóch profesorów z zagranicy w ramach programu Visiting Professors.

Działając na podstawie Statutu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Dziekan Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska powołał mnie do zespołu Rady Programowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport na kadencję 2019–2020 oraz 2020–2024. Jest to dla mnie duże wyróżnienie. Zadania Rady Programowej, w tym moje, obejmują:

- 1) wspieranie dziekana w procesie nadzoru nad zapewnianiem jakości kształcenia w ramach kierunków studiów przyporządkowanych danej dyscyplinie, w moim przypadku dotyczy to kierunków: Budownictwo oraz Inżynieria i Gospodarka Wodna;
- 2) wyrażanie opinii w sprawach związanych z kształceniem w danej dyscyplinie lub innych sprawach przedłożonych przez dziekana;
- 3) opracowywanie i modyfikowanie projektów programów i planów studiów;
- 4) analiza wyników ewaluacji zajęć dydaktycznych i formułowanie rekomendacji w tym zakresie;
- 5) ewaluacja i doskonalenie programów i planów studiów, w tym sylabusów;
- 6) wykonywanie innych zadań związanych z zapewnianiem jakości kształcenia, określonych przez Rektora lub dziekana.

Od roku 2015 jestem członkiem Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa Oddział Warszawski oraz członkiem NSZZ „Solidarność”.

Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.

- Polski Komitet Normalizacyjny – obecnie pełniona funkcja – Członek Komitetów Technicznych od 28 września 2022 r. z prawem do głosowania.
KT 214 ds. Wyrobów Bitumicznych i Polimerowych do Izolacji Wodochronnych w Budownictwie.
KT 234 ds. Elementów do Pokryć Dachowych.
- Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa PZITB, okres członkostwa: od 2015 – obecnie, pełniona funkcja – Członek Towarzystwa.
- Niezależny Samorządny Związek Zawodowy „Solidarność”, okres członkostwa: od 2015 – obecnie, pełniona funkcja: Członek.

