

**dr inż. Jarosław Strzałkowski**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

al. Piastów 17, 70-310 Szczecin

## **AUTOREFERAT**

### **„Wpływ wybranych dodatków na właściwości cieplne i mikrostrukturę kompozytów cementowych”**

Szczecin, 29 listopada 2024 r.

## Spis treści

1	IMIĘ I NAZWISKO .....	3
2	POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE .....	3
3	INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH .....	4
4	OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 USTAWY Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (DZ. U. Z 2021 R. POZ. 478 Z PÓŹN. ZM.). .....	4
4.1	Tytuł osiągnięcia naukowego:.....	4
4.2	Spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego .....	4
4.3	Omówienie celu naukowego prowadzonych badań oraz osiągniętych wyników .....	7
4.3.1	Wprowadzenie .....	7
4.3.2	Cel naukowy i charakterystyka cyklu publikacji .....	10
4.3.3	Aerożele jako dodatki do betonów lekkich.....	11
4.3.4	Zastosowanie cenosfer i innych sposobów na zwiększenie porowatości kompozytów cementowych.....	20
4.3.5	Symulacje cieplne budynków z zastosowaniem przegród wykonanych na bazie betonów lekkich.....	24
4.3.6	Aktualnie realizowane prace badawcze .....	29
4.3.7	Podsumowanie .....	32
4.4	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych .....	33
4.5	Podsumowanie najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych .....	35
5	INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ .....	36
6	INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ .....	37
6.1	Działalność dydaktyczna, na rzecz rozwoju kadry naukowej i popularyzująca naukę .....	37
6.2	Działalność organizacyjna i inżynierska .....	39
7	DODATKOWE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ .....	40
7.1	Uzyskane nagrody i wyróżnienia .....	40
8	ZAŁĄCZNIKI .....	41

## 1 IMIĘ I NAZWISKO

Jarosław Strzałkowski

## 2 POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

2010 r. **Dyplom inżyniera budownictwa**  
Specjalność: **konstrukcje budowlane i inżynierskie**  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Kierunek: Budownictwo  
Studia stacjonarne pierwszego stopnia – inżynierskie

2012 r. **Dyplom magistra inżyniera budownictwa**  
Specjalność: **konstrukcje budowlane i inżynierskie**  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Kierunek: Budownictwo  
Studia stacjonarne drugiego stopnia – magisterskie

Praca magisterska:

Temat pracy: *Ocena przydatności wybranych kompozytów betonowych do wykonywania ścian zewnętrznych.*

Promotor pracy magisterskiej: prof. dr inż. Halina Garbalińska

Nagrody:

**Wyróżnienie** w konkursie „na najlepszą pracę magisterską” dla absolwentów Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, organizowanym przez Polski Związek Techników i Inżynierów Budownictwa/Oddział w Szczecinie, Zachodniopomorską Okręgową Izbę Inżynierów Budownictwa i Wydział Budownictwa i Architektury, Szczecin, 2013 r. (kopia dyplomu – pkt. 8.5).

2019 r. **Stopień doktora nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport**, nadany uchwałą z dnia 30.09.2019 r. oraz **wyróżnienie rozprawy doktorskiej** nadane uchwałą nr 263/2018/2019 Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 30.09.2019 r.

Rozprawa doktorska:

Tytuł: *Modyfikacja kompozytów betonowych pod względem izolacyjności i akumulacyjności cieplnej oraz wytrzymałości.*

Promotor w przewodzie doktorskim:

- prof. dr hab. inż. Halina Garbalińska, ZUT w Szczecinie.

Recenzenci rozprawy doktorskiej:

- prof. dr hab. inż. Henryk Nowak, Politechnika Wroclawska,

- dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. PŁ, Politechnika Łódzka.

Rozprawa doktorska realizowana była w ramach grantu badawczego **PRELUDIUM 7** finansowanego przez **Narodowe Centrum Nauki**.

Nagrody:

**Nagroda Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii** za wyróżniającą się pracę doktorską w edycji 2021 r. (potwierdzenie - pkt. 8.2).

### 3 INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Od 10.2013 r. do chwili obecnej:

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

(do 01.10.2020 r. Wydział Budownictwa i Architektury)

Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych

16.10.2013 r. – 29.09.2019 r.: stanowisko: **asystent badawczo-dydaktyczny**,

30.09.2019 r. – 31.10.2019 r.: stanowisko: **asystent z dr. badawczo-dydaktyczny**,

01.11.2019 r. – obecnie: stanowisko: **adiunkt badawczo-dydaktyczny**.

### 4 OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 USTAWY Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (DZ. U. Z 2021 R. POZ. 478 Z PÓŹN. ZM.).

#### 4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego:

Cykl powiązanych tematycznie publikacji pt.:  
**Wpływ wybranych dodatków na właściwości cieplne  
i mikrostrukturę kompozytów cementowych**

#### 4.2 Spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego zostały uporządkowane w kolejności chronologicznej. Pełne teksty publikacji zamieszczono w załączniku nr 4. Pod opisem bibliograficznym prac tworzących cykl, opisano mój udział merytoryczny dotyczący ich powstania. Brak opisu udziału merytorycznego oznacza, że praca została wykonana samodzielnie. Oświadczenia współautorów określające ich indywidualny wkład w danej publikacji zamieszczono w załączniku nr 7.

[A1] J. Strzałkowski\*, H. Garbalińska *Thermal and strength properties of lightweight concretes with addition of aerogel particles*. *Advances in Cement Research*, 28(9)/2016, s. 567–575, 10.1680/jadcr.16.00032

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 20 pkt (obecnie 70 pkt))

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzenckich; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A2] **J. Strzałkowski\***, H. Garbalińska *Porosimetric, thermal and strength test of aerated and nonaerated concretes*. Journal IOP: Materials Science and Engineering, 245/2017, s. 1-10(032017), 10.1088/1757-899X/245/3/032017

(Lista MNiSW: nie, punktacja MNiSW: 15 pkt (materiały konferencyjne indeksowane w Scopus i WoS))

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A3] H. Garbalińska, **J. Strzałkowski\*** *Thermal and strength properties of lightweight concretes with variable porosity structures*, Journal of Materials in Civil Engineering, 30(12)/2018, s. 1-9(04018326), 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.000254

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 30 pkt (obecnie 100 pkt))

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A4] **J. Strzałkowski\***, H. Garbalińska *Thermal simulation of building performance with different loadbearing materials*, Journal IOP: Materials Science and Engineering, 415/2018, s. 1-9(012014), 10.1088/1757-899X/415/1/012014

(Lista MNiSW: nie, punktacja MNiSW: 15 pkt (materiały konferencyjne indeksowane w Scopus))

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu analiz symulacyjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A5] **J. Strzałkowski\*** *Usefulness of mercury porosimetry to assess the porosity of cement composites with the addition of aerogel particles*, Proceedings of the 3rd RILEM Spring Convention and Conference (RSCC 2020): Volume 2: New Materials and Structures for Ultra-durability, Springer, ISBN: 9783030765514, s. 411-423, 2021, 10.1007/978-3-030-76551-4\_37

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 20 pkt, rozdział w tomie pokonferencyjnym indeksowanym w Scopus)

[A6] **J. Strzałkowski**, P. Sikora, S. Chung, M. Elrahman *Thermal performance of building envelopes with structural layers of the same density: lightweight aggregate concrete versus foamed concrete*, Building and Environment, 196/2021, s. 1-14(107799), 10.1016/j.buildenv.2021.107799

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 200 pkt)

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego; współudział w opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doborze przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzenckich; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A7] **J. Strzałkowski\***, A. Stolarska, D. Kożuch, J. Dmitruk *Wybrane parametry zapraw z dodatkiem cenosfer*, Inżynieria i Budownictwo, 9-10/2022, s. 422-425

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 40 pkt)

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego; współudział w opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doborze przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzenckich; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A8] **J. Strzałkowski\***, H. Garbalińska *The dynamic thermal properties of aerogel-incorporated concretes*, Construction and Building Materials, 340/2022, s. 1-15(127706), 10.1016/j.conbuildmat.2022.127706

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 140 pkt)

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego; współudział w opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzenckich; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A9] A. Ślosarczyk, H. Garbalińska, **J. Strzałkowski** *Lightweight alkali-activated composites containing sintered fly ash aggregate and various amounts of silica aerogel*, Journal of Building Engineering, 74/2023, s. 1-16(106879), 10.1016/j.job.2023.106879

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 140 pkt)

Udział merytoryczny: współudział w opracowaniu koncepcji badań; współudział w opracowaniu wyników pomiarów dotyczących właściwości cieplnych; współudział w analizie wyników i formułowaniu wniosków; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzenckich; pomoc w opracowaniu części graficznej.

[A10] **J. Strzałkowski\***, A. Stolarska, D. Kożuch, J. Dmitruk *Hygrothermal and strength properties of cement mortars containing cenospheres*, Cement and Concrete Research, 174/2023, s. 1-16(107325), 10.1016/j.cemconres.2023.107325

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 200 pkt)

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego; współudział w opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doborze przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzenckich; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A11] J. Strzałkowski\*, A. Stolarska *Preliminary Studies on a Lightweight Porous Cement-Based Composite – Gel Concrete*, Journal of Physics: Conference Series, 2654/2023, s. 1-8(012069), 10.1088/1742-6596/2654/1/012069

(Lista MNiSW: tak, punktacja MNiSW: 40 pkt)

Udział merytoryczny: sformułowanie problemu badawczego, opracowanie koncepcji badań i przeprowadzenie badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współredagowanie pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzenckich; opracowanie części graficznej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A12] J. Strzałkowski, zgłoszenie patentowe P.442259 – *Lekki kompozyt cementowy oraz sposób wytwarzania lekkiego kompozytu cementowego*, 13.09.2022

\* oznacza osobę pełniącą funkcję autora korespondencyjnego.

**Zgodnie z zaleceniami RDN:** „*W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez habilitanta oraz współautorów wskazujące na ich merytoryczny (a NIE procentowy) wkład w powstanie każdej pracy [np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (np. przeprowadzenie konkretnych doświadczeń, opracowanie i zebranie ankiet, itp.), wykonanie analizy wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, i inne]. Określenie wkładu danego autora, w tym habilitanta, powinno być na tyle precyzyjne, aby umożliwić dokładną ocenę jego udziału i roli w powstaniu każdej pracy.*”

## 4.3 Omówienie celu naukowego prowadzonych badań oraz osiągniętych wyników

### 4.3.1 Wprowadzenie

Odpowiedni dobór materiałów, przeznaczonych do wykonania poszczególnych elementów budynku, jest czynnikiem wpływającym w znaczący sposób na właściwości całego obiektu, w tym na jego szeroko pojętą energooszczędność. Jednym z najpowszechniej stosowanych materiałów konstrukcyjnych jest beton. Jego głównymi zaletami są: wysoka wytrzymałość mechaniczna, łatwość w kształtowaniu elementów budynku, trwałość oraz odporność na oddziaływania środowiska zewnętrznego. Jednak w odniesieniu do izolacyjności cieplnej materiał ten charakteryzuje się bardzo przeciętnymi parametrami. Dlatego też coraz częściej w budownictwie znajdują zastosowanie betony lekkie, które kosztem wytrzymałości mechanicznej oferują zdecydowanie lepsze parametry termoizolacyjne w porównaniu do betonu zwykłego.

Betony lekkie, których gęstość objętościowa jest mniejsza niż  $2,0 \text{ kg/dm}^3$ , dzieli się zasadniczo na dwie grupy: betony kruszywowe oraz betony mikrokruszywowe. W grupie betonów kruszywowych wyróżnia się: zwarte, w których wolne przestrzenie między ziarnami wypełnione są zaprawą w ilości nie mniejszej niż 85% ich objętości; półzwarte, w których w ogólnej ilości kruszywa zawartość frakcji poniżej 4 mm wynosi co najmniej 15% oraz nie jest spełniony warunek dla betonów zwartych oraz jamiste, wykonane

z kruszywa o uziarnieniu powyżej 4 mm, w których zaczyn cementowy tylko pokrywa ziarna kruszywa i spaja je ze sobą.

Obniżenie masy betonów jamistych otrzymuje się przez wytworzenie jam (przestrzeni między ziarnami kruszywa), uzyskanych dzięki odpowiedniemu doborowi wielkości ziaren kruszywa. Innym sposobem obniżenia masy, a tym samym zwiększenia porowatości betonów, jest zastąpienie kruszyw naturalnych lekkimi kruszywami sztucznymi, bądź też wypełniaczami organicznymi o niższej gęstości w stosunku do kruszyw naturalnych.

Do najczęściej stosowanych kruszyw sztucznych należą: keramzyt, łupkoporyt, glinoporyt, popiołoporyt, żużel granulowany i paleniskowy, perlitoporyt oraz wermikulitoporyt. Do kruszyw organicznych zaliczane są: wiórki drzewne, słoma, włókniny, strużka stolarniana, zrębki drzewne, polistyren spieniony w formie granulatu, rozdrobnione wyroby gumowe, trociny i mączka drzewna oraz inne materiały włókniste odpadowe pochodzenia organicznego. Zaletami betonów na bazie kruszyw organicznych jest ich łatwa obróbka mechaniczna, dość dobra mrozoodporność, obniżona przewodność cieplna oraz dobre parametry dźwiękochłonne.

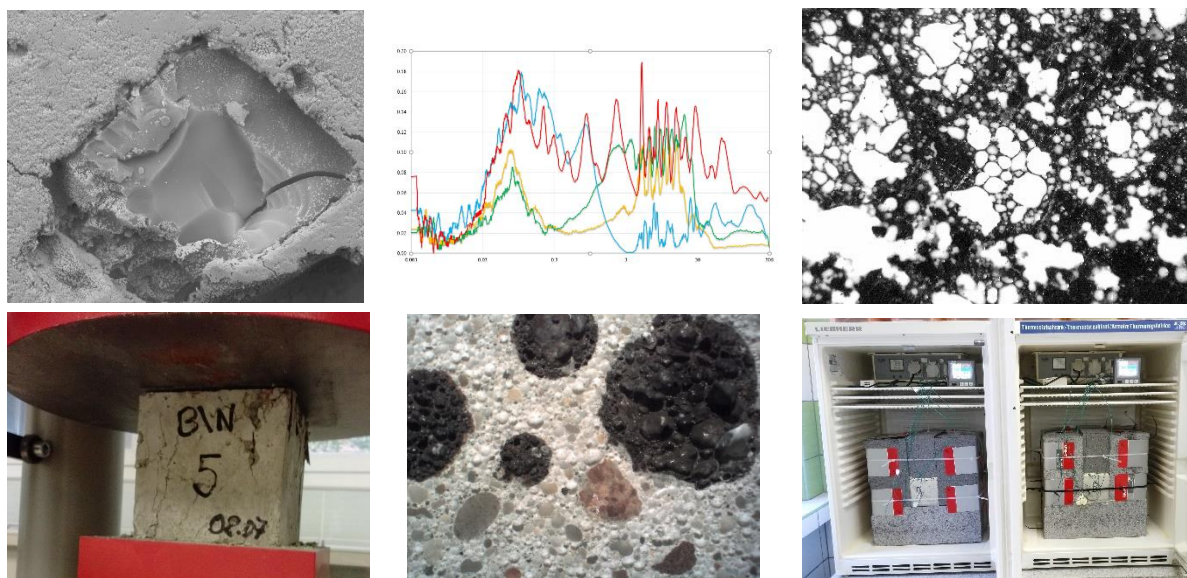
W grupie betonów mikrokruszywowych (komórkowych) wyróżnia się gazobetony oraz pianobetony i ich modyfikacje. W gazobetonach wielkość ziaren nie przekracza zwyczajowo 0,1 mm. Jako mikrokruszywo stosuje się popiół lotny, mielony żużel wielkopiecowy, mielony piasek i szlam piaskowy. Jako spoiwa używa się najczęściej cementu i wapna. Betony te w 60–80% składają się z porów powietrznych o regularnych, owalnych kształtach. Wyróżnia się gazobetony, których porowatość mieszanki otrzymuje się przez dodanie proszku glinu, co w reakcji z wodorotlenkiem wapnia wywołuje wydzielanie się wodoru powodującego wzrastanie objętościowe masy kompozytu.

W fazie dojrzewania gazobetonów istotne jest poddanie ich procesowi autoklawizacji, który znacznie poprawia właściwości mechaniczne gotowego wyrobu. Drugi typ betonów mikrokruszywowych to pianobetony. Materiał ten powstaje na skutek dodania środków powierzchniowo czynnych (pianotwórczych), które pod wpływem mieszania powodują powstawanie piany.

Oprócz wyżej wymienionych rodzajów betonów lekkich coraz częściej stosowane są także inne rozwiązania umożliwiające otrzymanie lekkich kompozytów cementowych charakteryzujących się zdecydowanie lepszymi właściwościami cieplnymi niż tradycyjny beton. Takimi dodatkami są między innymi granulaty powstałe z materiałów termoizolacyjnych np. granulaty styropianowy lub granulaty aerożelowy. Inne przykłady to wykorzystanie wypełniaczy mineralnych takich jak mikrosfery bądź szkło spienione, które charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi przy równoczesnym zachowaniu dość dobrych właściwości wytrzymałościowych.



Zakres moich badań obejmuje testy różnego rodzaju lekkich kompozytów cementowych modyfikowanych wybranymi dodatkami w celu poprawy właściwości termoizolacyjnych betonu. Na rysunku 4.1 przedstawiłem przykładowe zdjęcia z badań. W rozprawie doktorskiej skoncentrowałem się na pomiarze właściwości cieplnych, wytrzymałościowych oraz mikrostrukturalnych różnego rodzaju betonów na bazie naturalnego kruszywa oraz sztucznych kruszyw: popiołoporytowego i keramzytowego.



**Rysunek 4.1** Przykładowe zdjęcia z badań (zdjęcia autorskie)

Betony te były dodatkowo modyfikowane poprzez zwiększenie porowatości samej matrycy cementowej w wyniku zastosowania domieszki napowietrzającej, bądź proszku glinu. Badania te były finansowane w ramach projektu badawczego programu PRELUDIUM 7 Narodowego Centrum Nauki. Zrealizowany wieloetapowy eksperyment pozwolił na zgromadzenie szerokiej bazy danych na temat kompozytów cementowych o różnorodnej mikrostrukturze oddziałującej znacząco na ich właściwości cieplne i wytrzymałościowe.

Po uzyskaniu stopnia doktora rozszerzyłem badania dotyczące lekkich kompozytów cementowych zawierających wypełniacze w postaci granulatu aerożelowego oraz cenosfer. Wykonałem badania dotyczące wpływu wybranych rozwiązań materiałowych na efektywność energetyczną budynków. Przeprowadziłem wstępne badania nowego typu lekkich kompozytów cementowych – betonów żelowych. Po wykonaniu przeglądu literatury, określiłem zakres i kierunek dalszych badań, które umożliwiły mi opracowanie prac naukowych tworzących cykl powiązanych tematycznie publikacji [A1-A12]. Publikacje te przedstawiają ciągłość kierunku moich badań i mojego rozwoju naukowego tworzącego osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Badania naukowe, osiągnięcia publikacyjne i zgłoszenia patentowe umożliwiły mi w 2024 r. uzyskanie finansowania projektu badawczego SONATA 19 organizowanego przez Narodowe Centrum Nauki pt. „Kompleksowe badania struktury lekkich kompozytów cementowych o wysokiej

porowatości – beton żelowy”. Uzyskane i realizowane krajowe projekty naukowe utwierdziły mnie w przekonaniu, że podjęta tematyka badawcza oraz kierunki rozwoju naukowego mają bardzo szeroki potencjał naukowy i wdrożeniowy.

#### 4.3.2 Cel naukowy i charakterystyka cyklu publikacji

Zasadniczym celem naukowym zrealizowanych badań, których wyniki omówiono w publikacjach powiązanych tematycznie i stanowiących cykl, było poszerzenie wiedzy w zakresie wpływu wybranych dodatków na właściwości cieplne i mikrostrukturę kompozytów cementowych.

Przedstawione w publikacjach wyniki badań były zrealizowane w latach 2016-2023. Prowadzenie dogłębnej i systematycznej analizy literatury przedmiotu, wykonanie znacznej liczby recenzji artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach o wysokim Impact Factor oraz realizacja przedsięwzięć badawczych sprawiają, że posiadam aktualną wiedzę w obszarze podejmowanej tematyki badawczej. Umożliwiło mi to podejmowanie problematyki wcześniej nieopisanej w literaturze przedmiotu. Cykl publikacji stanowi kontynuację i jest naturalnym rozszerzeniem oraz uszczegółowieniem kierunków naukowych powstałych w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej pt. *Modyfikacja kompozytów betonowych pod względem izolacyjności i akumulacyjności cieplnej oraz wytrzymałości*. W rozprawie doktorskiej, skoncentrowałem się na pomiarze właściwości cieplnych, wytrzymałościowych oraz mikrostrukturalnych różnego rodzaju betonów na bazie naturalnego kruszywa oraz sztucznych kruszyw: popiołoporytowego i keramzytowego. Betony te były dodatkowo modyfikowane poprzez zwiększenie porowatości samej matrycy cementowej. Wiedza zdobyta podczas realizacji i po zakończeniu pracy doktorskiej dała mi podstawę do opracowania dalszego kierunku mojej działalności naukowej i wypracowania kreatywnych rozwiązań badawczych.

W prezentowanym cyklu wskazuję na badania i eksperymenty, które rozbudowują tematykę rozprawy doktorskiej lub wykorzystują zdobytą w niej wiedzę do stworzenia nowych koncepcji wytwarzania lekkich i ultralekkich kompozytów cementowych.

Cykl publikacji zawiera wyniki i analizy badań laboratoryjnych i symulacyjnych. Opracowałem i przetestowałem różnego rodzaju lekkie kompozyty cementowe charakteryzujące się wysoką porowatością, która znacząco wpływa na wszystkie podstawowe właściwości analizowanych betonów. Przebadałem kompozyty z dodatkiem granulatu aerożelowego użytego w lekkich betonach na bazie kruszyw sztucznych oraz w geopolimerach. Wykonałem także badania właściwości cieplnych, wytrzymałościowych i mikrostrukturalnych kompozytów z dodatkiem cenosfer. Przeprowadziłem ponadto analizy symulacyjne wpływu zastosowania wybranych rozwiązań materiałowych z grupy betonów lekkich na efektywność energetyczną budynków. Ponadto rozpocząłem badania podstawowe nad nowym typem ultra lekkiego betonu – betonu żelowego.

Przedmiotowy cykl składa się z jedenastu publikacji oraz jednego zgłoszenia patentowego, opracowanych przeze mnie w latach 2016-2023, z czego dwie to prace autorskie, a dziesięć to prace zespołowe, w których mój wkład był znaczący. Osiągnięcie naukowe złożone jest z dziesięciu publikacji angielskojęzycznych, jednej publikacji w języku polskim oraz jednego zgłoszenia patentowego w języku polskim. Sześć publikacji posiada określony Impact Factor i jest notowanych przez Journal Citation Reports, dwie publikacje zamieszczone są w materiałach konferencyjnych, jedna to rozdział w monografii z indeksacją w bazie Scopus oraz jedna publikacja została zamieszczona w czasopiśmie krajowym. Jedna pozycja stanowi zgłoszenie patentowe wysłane w 2022 r.

Prezentowany poniżej cykl publikacji został podzielony tematycznie na trzy zagadnienia:

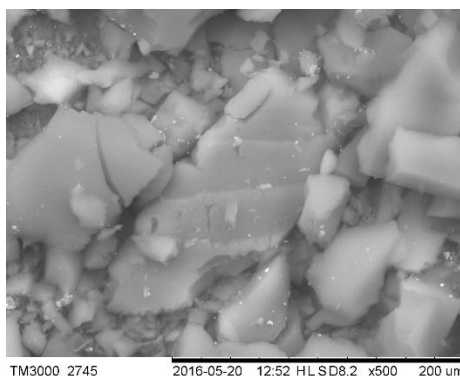
1. Aerozele jako dodatki do betonów lekkich,
2. Zastosowanie cenosfer i innych sposobów na zwiększenie porowatości kompozytów cementowych,
3. Symulacje cieplne budynków z zastosowaniem przegród wykonanych na bazie betonów lekkich.

Oprócz wyżej wymienionych zagadnień w niniejszym rozdziale przedstawię także aktualnie realizowany projekt badawczy, którego wstępne wyniki opisałem w [A11] oraz [A12].

Sumaryczny Impact Factor przedstawionego cyklu publikacji wynosi 34.8, a suma liczby punktów cyklu wynosi 780 + 65 (punktacja wg obowiązującej listy MNiSW + punktacja wg listy obowiązującej do końca roku 2018).

### 4.3.3 Aerozele jako dodatki do betonów lekkich

Materiał nazywany aerozelem został opracowany przez Samuela Kistlera w 1931 roku. Powstaje on z żelu na bazie krzemu, który suszy się w warunkach nadkrytycznych, dla których temperatura i ciśnienie są większe od ciśnienia i temperatury punktu krytycznego cieczy zawartej w porach żelu. Dzięki temu możliwe jest takie odparowanie rozpuszczalnika z żelu, aby w trakcie odparowywania nie doszło do skurczu w strukturze materiału. Umożliwia to otrzymanie bardzo porowatego materiału o jednorodnej strukturze składającego się wyłącznie z  $\text{SiO}_2$ . Przykładowe zdjęcie aerożelu krzemianowego przedstawiono na rysunku 4.2.



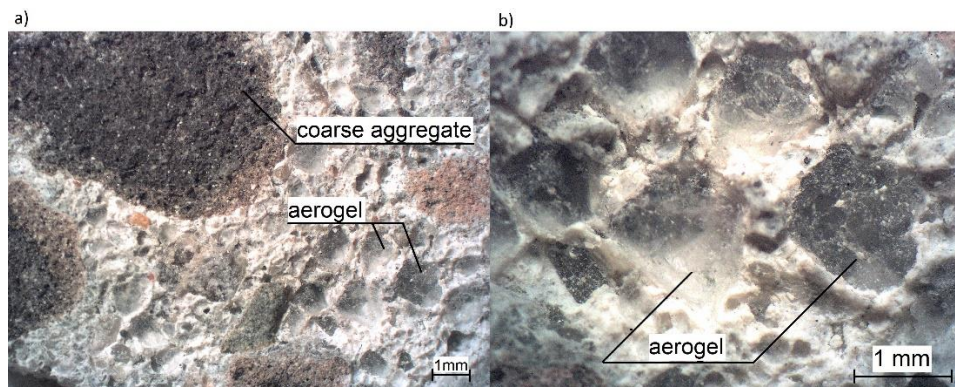
**Rysunek 4.2** Granulat aerożelowy w 500-krotnym powiększeniu (zdjęcie autorskie)

Aerożele charakteryzują się bardzo wysoką porowatością przekraczającą 90%. Pory w strukturze są dość jednorodne o dominującej średnicy ok. 20 nm. Gęstość objętościowa aerożelu mieści się w przedziale od 0,12 do 0,18 g/cm<sup>3</sup>. Materiał ten charakteryzuje się także bardzo niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła  $\lambda$ , który wynosi 0,009–0,018 W/(m·K).

W budownictwie jego zastosowanie jest dość ograniczone w głównej mierze z powodu bardzo wysokiej ceny. Najczęstszym zastosowaniem aerożeli są maty izolacyjne na bazie aerożelu charakteryzujące się 2–3 krotnie większym oporem cieplnym niż wyroby ze styropianu o takiej samej grubości. Wykonywane są także izolacje transparentne oraz izolacje stolarki okiennej, gdzie zamiast gazu szlachetnego stosowany jest aerożel. Oddzielną grupę materiałów stanowią kompozyty cementowe zawierające dodatek aerożelu. Podstawowym sposobem wykorzystania aerożelu w kompozytach cementowych jest częściowe zastąpienie kruszywa granulatem aerożelu.

Przeprowadzone przeze mnie testy tego typu materiałów rozpocząłem od prac dotyczących podstawowych właściwości kompozytów cementowych na bazie kruszywa popiołorytowego [A1]. Wykonałem receptury, w których wykorzystałem kruszywo lekkie w trzech różnych stanach nasycenia wodą: w stanie powietrzno-suchym (wilgotność 8%), w stanie nasycenia wodą (21%) oraz w stanie powietrzno-suchym, gdzie dodatkowo zwiększyłem ilość wody zarobowej w celu uzyskania odpowiedniej konsystencji świeżej mieszanki (8%+10%, próbki opisane w publikacji jako 18%). Testowane betony charakteryzowały się 20% objętościowym udziałem granulatu aerożelowego [A1].

Z uwagi na znaczną wodozadność samego granulatu przetestowałem dwa rozwiązania służące poprawie urabialności świeżej mieszanki: poprzez zastosowanie superplastyfikatora w ilości 2.0% masy cementu (oznaczenie próbek SP) lub domieszki napowietrzającej w ilości 1.1% masy cementu (oznaczenie próbek AA). Na rysunku 4.3 przedstawiłem przekrój przez przykładowy kompozyt na bazie kruszywa popiołoporytowego z dodatkiem aerożelu. W prezentowanej publikacji symbole próbek zawierają informację o procentowej zawartości wilgoci (8, 18 lub 21) oraz o rodzaju użytej domieszki: superplastyfikatora (SP) lub domieszki napowietrzającej (AA). Próbkę kontrolną bez aerożelu zostały opisane jako L\BL.

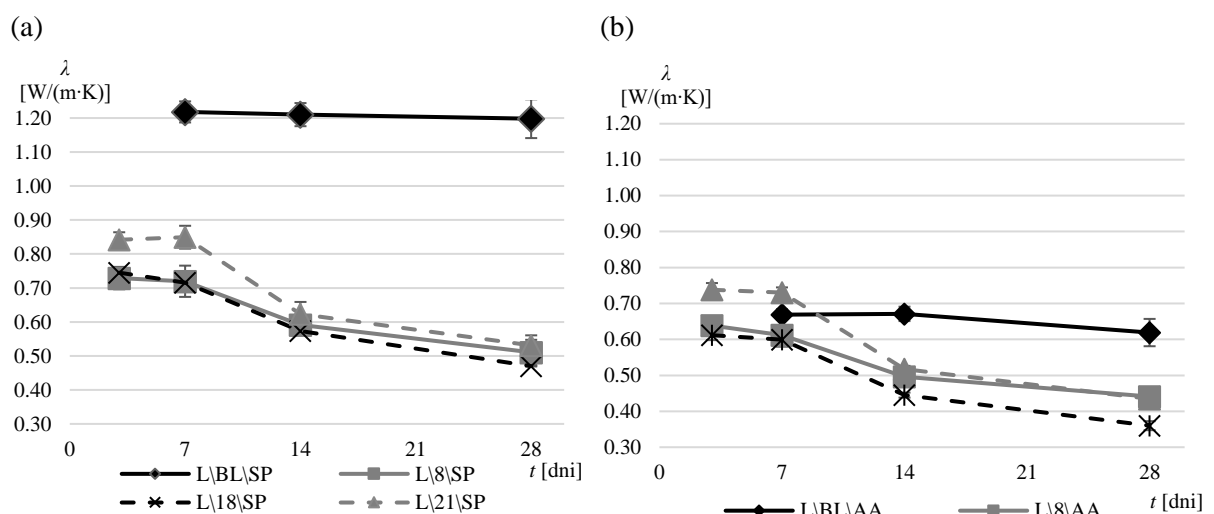


**Rysunek 4.3** Makrostruktura kompozytu cementowego z granulatem aerożelowym w 10-krotnym (a) i 25-krotnym powiększeniu (b), [A1]

W publikacji [A1] skupiłem się głównie na określeniu właściwości cieplnych i wytrzymałości na ściskanie tak przygotowanych kompozytów. Na rysunku 4.4 przedstawiłem zmianę przewodności cieplnej w pierwszych 28 dniach dojrzewania kompozytów. Betony były przechowywane w komorze klimatycznej o wysokiej wilgotności  $RH > 95\%$  przez pierwsze 7 dni, a następnie przechowywane w warunkach powietrzno-suchych o  $RH < 50\%$ . Badania parametrów termicznych zostały przeprowadzone za pomocą aparatu Isomet 2104, przy użyciu metody niestacjonarnej. Wyraźnie widoczna jest korelacja pomiędzy zawartością wody w pierwszych dniach dojrzewania kompozytu a wartością współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$ . Pomimo tego, w późniejszym okresie betony z dodatkową wodą zarobową (L\18\SP oraz L\18\AA) charakteryzowały się najniższą wartością współczynnika przewodności cieplnej. Próbkę z aerozelem wysychały znacznie szybciej w porównaniu do kompozytu z szczelną matrycą cementową bez aerozelu (L\BL\SP), dla którego współczynnik przewodności cieplnej zmieniał się nieznacznie w ciągu pierwszych 28 dni dojrzewania betonu.

Dodanie aerozelu spowodowało znaczną redukcję przewodności cieplnej. Po 28 dniach dojrzewania wartości współczynnika  $\lambda$  w odniesieniu do kompozytów z aerozelem były około dwukrotnie mniejsze w porównaniu do próbek kontrolnych.

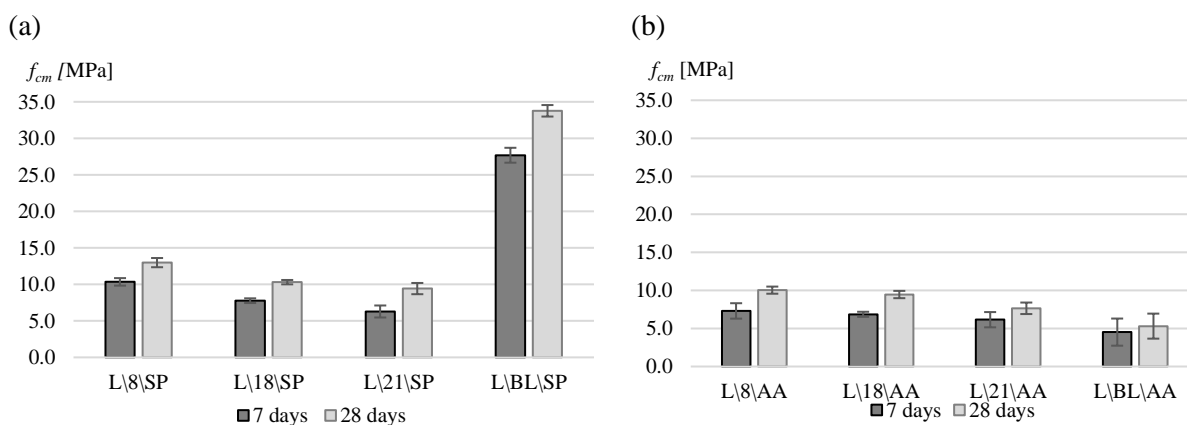
Materiały kompozytowe z matrycą cementową, napowietrzone za pomocą domieszki napowietrzającej (AA), wykazały jeszcze niższe wartości współczynnika przewodności cieplnej (rys. 4.4(b)). Podobnie jak w przypadku betonów z superplastyfikatorem (SP), wariant materiału z dodatkową wodą zarobową osiągnął najniższe wartości  $\lambda$ . Różnice w przewodności cieplnej między próbkami z aerozelem a próbkami kontrolnymi nie są jednak tak znaczące, jak w przypadku próbek z superplastyfikatorem. Jest to wynikiem bardzo wysokiego poziomu napowietrzenia, które znacznie zwiększyło porowatość samej matrycy cementowej, a tym samym jej przenikliwość porów. Niemniej jednak, betony z aerozelem wysychają znacznie szybciej.



**Rysunek 4.4** Zmiana współczynnika przewodzenia ciepła w pierwszych 28 dniach dojrzewania kompozytów (a) z superplastyfikatorem SP oraz (b) z domieszką napowietrzającą AA

Testy wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono po 7 i 28 dniach. Wyniki dotyczące kompozytów z superplastyfikatorem przedstawiono na rysunku 4.5(a). Wpływ dodatku aerożelu jest tutaj znaczący. Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek z aerożelem wynosi jedynie około 30 procent wytrzymałości próbek kontrolnych. Najwyższe wartości wytrzymałości spośród kompozytów z aerożelem zaobserwowano w betonach z kruszywem w stanie naturalnej wilgotności. Niestety, ze względu na nasiąkliwość kruszywa i wysoką wodorządność aerożelu, trudno byłoby wyprodukować większą ilość mieszanki betonowej według tej receptury, ponieważ kruszywo pochłania znaczne ilości wody zarobowej z zaczynu cementowego.

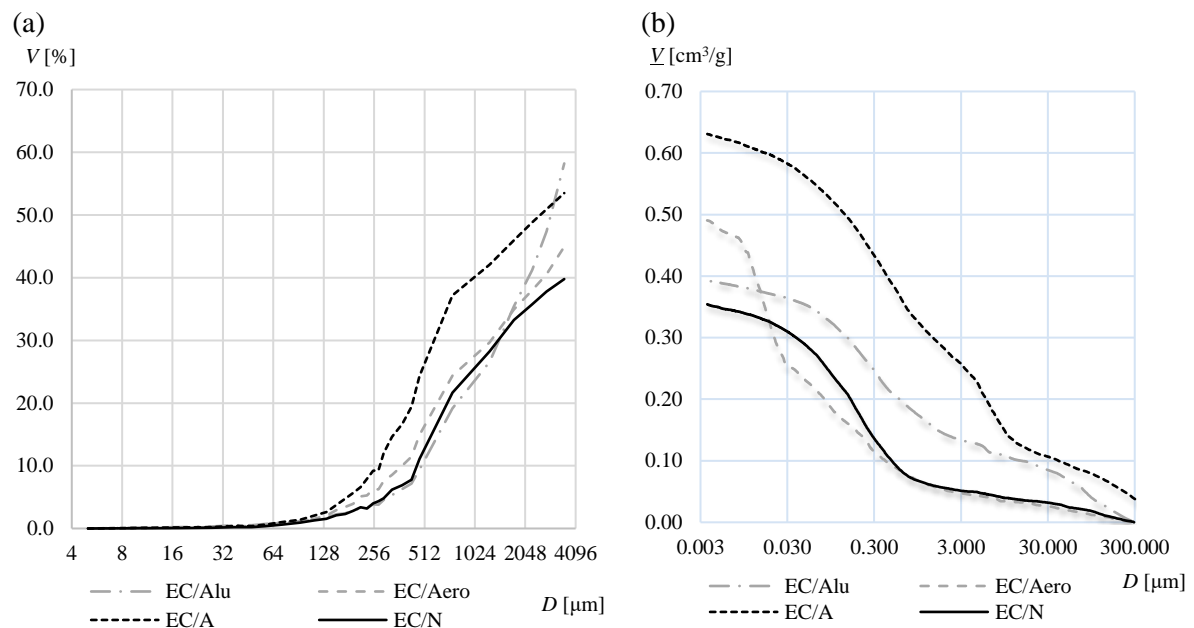
Zgodnie z oczekiwaniami, beton napowietrzony (AA) ma niższe wartości średniej wytrzymałości na ściskanie (rys. 4.5(b)). Podczas formowania próbek betonu L\8\AA zaobserwowano podobne problemy związane z absorpcją wody przez kruszywo. Ponadto, wyraźnie widoczny jest wpływ stosunku wody do cementu dodanego do mieszanki betonowej na wytrzymałość stwardniałego betonu, niezależnie od sposobu dostarczenia wody. Stwierdzono, że najlepsze rezultaty uzyskano dla betonów z dodatkową wodą, których urabialność i konsystencja były akceptowalne, a wytrzymałość była wyższa niż w przypadku betonów z uprzednio nawilżonym kruszywem. Wartości  $f_{cm}$  próbek z aerożelem są wyższe niż wyniki próbek referencyjnych betonu. Oznacza to, że granulat aerożelu wypełnia pory napowietrzanej struktury matrycy cementowej. Również odchylenia standardowe są znacznie mniejsze w porównaniu do próbki kontrolnej AA, co oznacza, że struktura kompozytów z aerożelem jest bardziej jednolita w porównaniu do kontrolnych próbek napowietrzonych.



**Rysunek 4.5** Wytrzymałość na ściskanie betonów po 7 i 28 dniach dojrzewania (a) z superplastyfikatorem SP oraz (b) z domieszką napowietrzającą AA, [A1]

Tematykę badań nad kompozytami z dodatkiem aerożelu kontynuowałem w pracy [A3]. W publikacji porównywałem podstawowe właściwości betonów lekkich na bazie kruszywa keramzytowego (oznaczonego na wykresach symbolami EC) oraz popiołoporytowego (oznaczanego jako FA) z dodatkiem aerożelu (Aero) z innymi rodzajami betonów lekkich napowietrzanych proszkiem aluminium (Alu) lub domieszką napowietrzającą (A). Próbkę referencyjną nienapowietrzaną oznaczono symbolem N.

W pracy [A3] porównałem m. in. właściwości mikrostrukturalne uzyskane z zastosowaniem porozymetrii rtęciowej oraz optycznej, co przedstawiłem na rysunku 4.6.



**Rysunek 4.6** Wykresy kumulacyjne porowatości uzyskane z zastosowaniem metody optycznej (a) oraz porozymetrii rtęciowej (b), [A3]

Kompozyty wykonane na kruszywie keramzytowym (EC) cechują się bardzo wysoką porowatością, w zakresie powyżej 300  $\mu\text{m}$ . Wynika to z obecności dużych porów w strukturze, które odgrywają dominującą rolę w porównaniu z porami w matrycy cementowej. W kompozycie EC/Alu, powyżej 1 mm, znajduje się wiele porów powstałych w wyniku wydzielania wodoru w reakcji napowietrzania mieszanki. W przypadku wykorzystania metody optycznej (rys. 4.6(a)) różnice w porowatości betonu z aerożelem EC/Aero w porównaniu do próbki referencyjnej EC/N są stosunkowo niewielkie. Wynika to z faktu, że metoda optyczna nie dość dobrze odwzorowuje pory zawarte w samym aerożelu. Zakres pomiarowy tej metody jest niewystarczający w odniesieniu do próbek z granulatem aerożelowym.

Rysunek 4.6(b) przedstawia wykresy rozkładu kumulacyjnego porów w przypadku kompozytów wykonanych na kruszywie keramzytowym, które uzyskano z zastosowaniem porozymetrii rtęciowej. Ponownie, najwyższą wartość kumulacyjnej objętości porów zaobserwowano w kompozycie z domieszką napowietrzającą (EC/A). Pory związane z domieszką mieszczą się w zakresie od 4 do 15  $\mu\text{m}$ . Wyraźnie widoczna jest znacząca liczba porów aerożelu w zakresie od 10 do 30 nm, co tworzy dominujący obszar porowatości w kompozycie EC/Aero. Rozkład porów w strukturze kompozytu EC/Alu jest podobny do betonu referencyjnego, jednak w zakresie od 30 do 300  $\mu\text{m}$  obserwuje się pewien wzrost.

Badania porowatości z zastosowaniem porozymetrii rtęciowej kompozytów zawierających granulaty aerożelowe okazały się zdecydowanie trudniejsze do prawidłowego przeprowadzenia. Wynika to

z faktu innej interakcji pomiędzy rtęcią a aerożelem, w porównaniu do zachowania rtęci w kontakcie z matrycą cementową. W przypadku aerożelu rtęć zamiast wypełniać pory materiału, wraz ze wzrostem podawanego ciśnienia, powoduje jego kompresję. Dlatego też należało zastosować równoległe dwa równania opisujące intruzję rtęci w badaniach porowatości. Proces ten przedstawiłem w publikacji [A5]. Badania omówiłem na przykładzie kompozytów wykonanych na bazie kruszywa popiołoporytowego (FA). Próbki referencyjne kompozytów bez aerożelu opisane są symbolem Ref, natomiast z aerożelem jako Aero. Dopisek „faulty” oznacza nieprawidłowy przebieg porowatości, a „fixed” wykres po odpowiednim przeliczeniu danych.

W przypadku materiału na bazie cementu możliwe do zastosowania jest równanie Washburna (1):

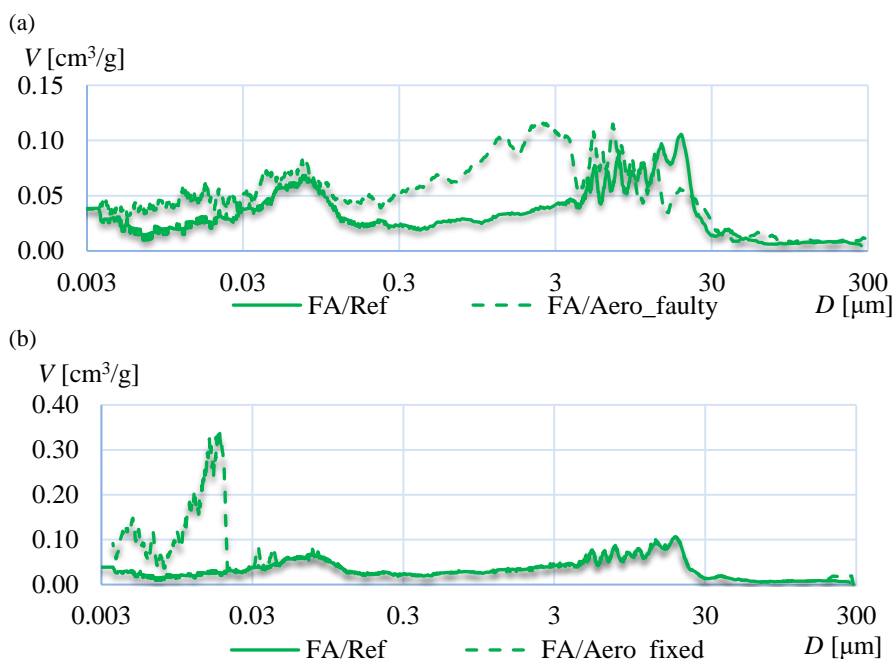
$$D = \frac{4\gamma\cos\theta}{P}, \quad (1)$$

które jednak błędnie opisuje zależność intruzji rtęci przy wzroście ciśnienia w materiałach hiperporowatych jak aerozele.

Aby opisać zachowanie aerożelu poddanego oddziaływaniu rtęci skorzystałem z zależności opracowanych przez Rene Pirarda wraz z zespołem [Blacher, S., Brouers, F., Pirard, J.P.]:

$$D = \frac{k_f}{p^{0,25}}. \quad (2)$$

Szczegółowy opis równań przedstawiłem w publikacji [A5]. Na rysunku 4.7(a) zestawilem porównanie wyników porowatości betonów z oraz bez aerożelu przy wykorzystaniu jedynie równania Washburna (1). Widoczny jest wzrost porowatości w zakresie od 0,3 do 30  $\mu\text{m}$  przy porównaniu betonu referencyjnego bez aerożelu i jego odpowiednika z aerożelem. Taki wzrost porowatości jest całkowicie niezgodny ze specyfiką mikrostruktury aerożelu, w którym dominują pory z zakresu od 5 do 30 nm.



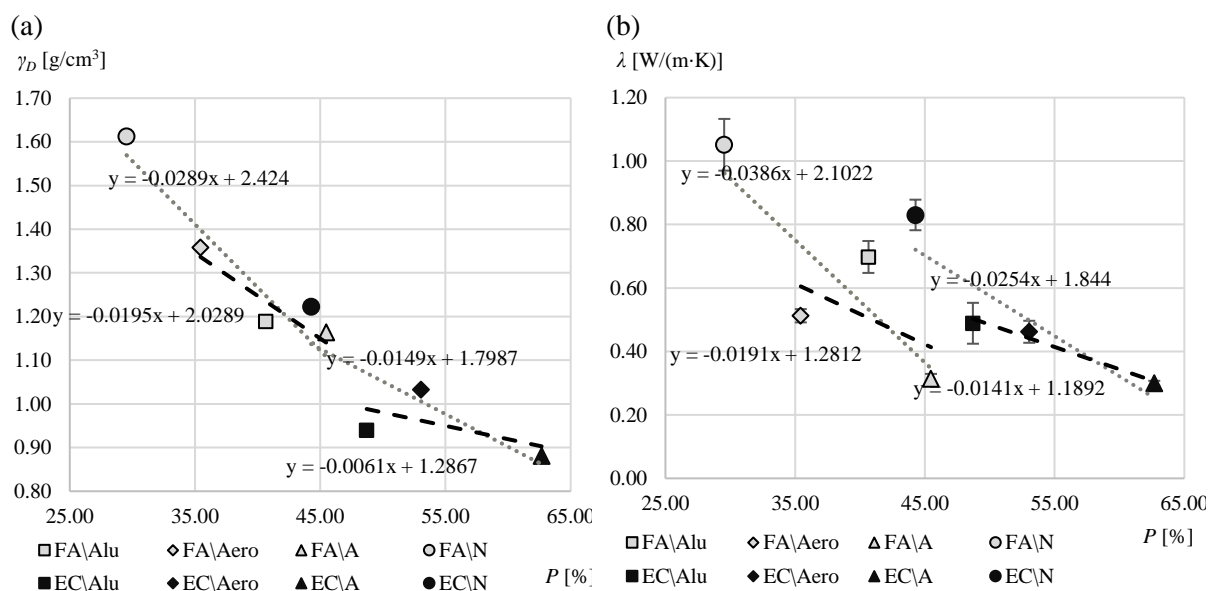
**Rysunek 4.7** Wykresy logarytmiczno-różniczkowe porowatości kompozytów na bazie kruszywa popiołoporytowego z dodatkiem aerożelu, [A5]



Dopiero wyodrębnienie wielkości intruzji rtęci odpowiadającej porom w samym granulacie aerożelowym i zastosowanie w odniesieniu do niej równania Pirarda (2) umożliwiło uzyskanie prawidłowej krzywej porowatości w kompozycie cementowym. Tak uzyskane wyniki zaprezentowano na wykresie 4.7(b). Poszczególne etapy przeliczeń przedstawiłem w [A5].

Kontynuując opis badań przedstawionych w publikacji [A3], zestawilem także wybrane zależności między poszczególnymi właściwościami analizowanych betonów lekkich. Rysunek 4.8(a) przedstawia zależność pomiędzy całkowitą porowatością analizowanych kompozytów a ich gęstością objętościową. Wzrost porowatości skutkowałam oczywistym spadkiem gęstości objętościowej. Dla całej próby relacja jest dość silna, a współczynnik determinacji  $R^2$  wyniósł 0,87.

Linie trendu dotyczące betonów napowietrzonych (z wyłączeniem FA/N oraz EC/N) mają mniejsze nachylenie, co wskazuje na inną strukturę porów w kruszywie i samej matrycy cementowej.



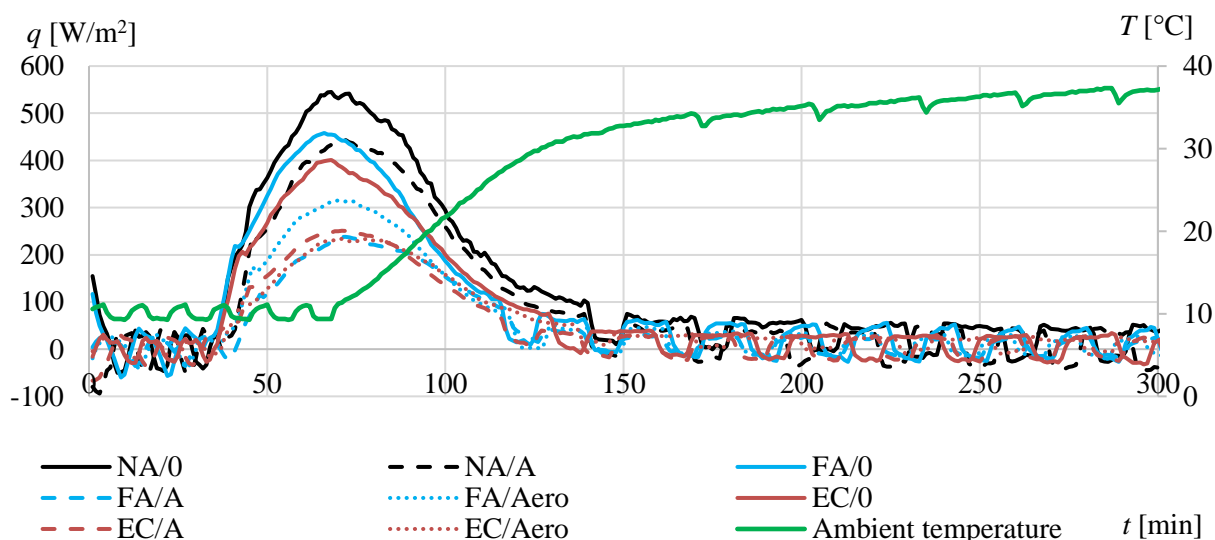
**Rysunek 4.8** Wykresy zależności między porowatością betonów lekkich a gęstością objętościową (a) oraz współczynnikiem przewodzenia ciepła (b), [A3]

Rysunek 4.8(b) pokazuje natomiast zależność między porowatością a przewodnością cieplną próbek. Zarówno w betonach na bazie popiołu lotnego (FA), jak i keramzytu (EC), obserwuje się wyraźne zmniejszenie przewodności cieplnej wraz ze wzrostem porowatości.

Podobne poziomy przewodności uzyskano przy znacznie niższej porowatości w betonach na bazie popiołu lotnego (FA\Aero vs EC\Aero i FA\A vs EC\A). Wskazuje to na dominującą rolę samej napowietrzanej matrycy cementowej w kształtowaniu właściwości termicznych, co oznacza, że porowatość grubego kruszywa ma drugorzędny wpływ na ogólne właściwości termiczne. Dodatkowe pory, które występują w keramzycie w porównaniu do kruszywa z popiołu lotnego, nie zmniejszają dodatkowo przewodności cieplnej całego kompozytu.

W przypadku betonów napowietrzonych reaktywnym proszkiem aluminiowym (Alu) różnice są znacznie większe. Jest to wynik masy grubego kruszywa. Im cięższe kruszywo, tym mniejszy wzrost objętości kompozytu podczas reakcji proszku aluminiowego z wodorotlenkiem wapnia. Nachylenie linii trendu maleje, gdy nie uwzględnia się betonów FA\N i EC\N. Jest to efekt występowania różnych typów porów w grubym kruszywie i w napowietrzanej matrycy cementowej.

Tematykę wykorzystania aerożeli w betonach kontynuowałem w publikacji [A8] opublikowanej w czasopiśmie *Construction and Building Materials*. W publikacji porównałem zachowanie się lekkich kompozytów z dodatkiem granulatu aerożelowego z innymi lekkimi betonami w warunkach niestacjonarnego przepływu ciepła. W pracy porównałem wartości dynamicznych charakterystyk cieplnych różnego typu betonów, w tym betonów z aerożelem. Natomiast zasadniczą częścią pracy były eksperymenty, w których próbki kompozytów poddawane były zmiennym warunkom temperaturowym. Przykładowy wykres zmiany wartości gęstości strumienia ciepła przedstawiłem na rysunku 4.9, gdzie pokazałem dane otrzymane w odniesieniu do betonów na kruszywie popiołoporytowym (FA), keramzytowym (EC) oraz zwykłym kruszywie kamiennym (NA). Próbki opisane symbolem „0” oznaczają betony referencyjne nienapowietrzane, symbolem „A” oznaczają betony napowietrzane domieszką napowietrzającą, natomiast „Aero” oznacza 20% zawartość objętościową dodatku aerożelu.



**Rysunek 4.9** Gęstość strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej badanej próbki przy ogrzewaniu betonów od 10 do 40°C, [A8]

Na podstawie analizy gęstości strumienia ciepła podczas procesu nagrzewania badanych kompozytów zaobserwowałem co następuje:

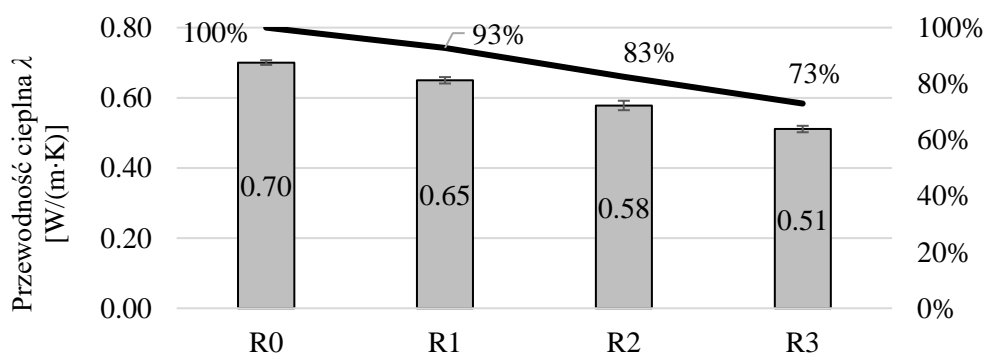
- W momencie rozpoczęcia nagrzewania nastąpił gwałtowny wzrost gęstości strumienia ciepła na nieizolowanych powierzchniach próbek. Ten początkowy wzrost przeszedł następnie w okres stabilizacji. Około 120 minut od rozpoczęcia nagrzewania wartości gęstości strumienia

ciepła zaczęły oscylować wokół  $0 \text{ W/m}^2$ , odzwierciedlając charakterystykę pracy komory termostatycznej.

- Porównując betony nienapowietrzane „0” z napowietrzonymi „A” oraz z kompozytami z aerozelem „Aero” najwyższe wartości gęstości strumienia ciepła uzyskano w przypadku betonów nienapowietrzonych. Natomiast betony napowietrzane i z dodatkiem aerozeli charakteryzowały się znacznie niższymi wartościami – prawie o połowę niższymi niż w przypadku betonów nienapowietrzanych. Oznacza to, że kompozyty napowietrzane i z dodatkiem aerozeli, zapewniają lepszą izolację termiczną i mniejszy transfer ciepła w porównaniu do materiałów referencyjnych. Co więcej, znacząco obniżają pik gęstości strumienia ciepła. Kompozyty aerozelowe odgrywają istotną rolę w redukcji gęstości strumienia ciepła, co w efekcie poprawia właściwości izolacyjne materiałów.

Wykonywałem także analizę właściwości cieplnych kompozytów geopolimerowych na bazie lekkich kruszyw. W kompozytach tych również dodano granulatu aerozelowego, aby poprawić właściwości cieplne takiego betonu. Wyniki prac zostały opublikowane w czasopiśmie Journal of Building Engineering [A9]. W publikacji próbki R0 oznaczają betony referencyjne bez aerozeli, natomiast R1, R2 oraz R3 zawierały odpowiednio 10%, 20%, oraz 30% objętościowej zawartości aerozelu w mieszance zastępującej użyte kruszywo Certyd.

Na rysunku 4.10 przedstawiłem współczynniki przewodzenia ciepła badanych geopolimerów na kruszywie ze spiekanych popiołów Certyd. Przewodność cieplna malała wraz ze wzrostem zawartości cząstek aerozelu. Porównując próbkę referencyjną R0 z kompozytem R3, spadek przewodności wyniósł 27%. Obniżona gęstość objętościowa próbek wpłynęła również na objętościową pojemność cieplną. Wynika to głównie z bardzo niskiej pojemności cieplnej cząstek aerozelu. Spadek wartości można zaobserwować między materiałem referencyjnym a próbką R3 i wynosi on około 9%. W przypadku kompozytów R1 i R2 różnice są raczej niewielkie.

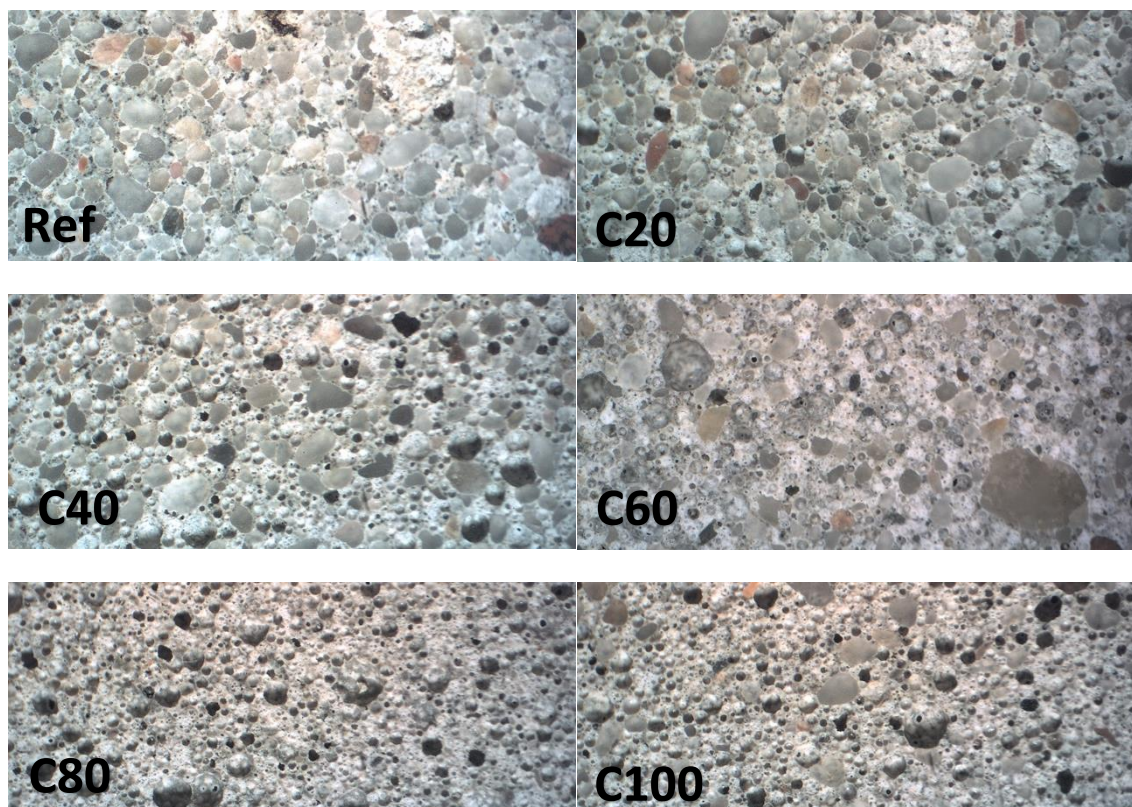


**Rysunek 4.10** Współczynniki przewodzenia ciepła geopolimerów z zawartością granulatu aerozelowego wynoszącą od 0 do 30% wyjściowej objętości kruszywa, [A9]

#### 4.3.4 Zastosowanie cenosfer i innych sposobów na zwiększenie porowatości kompozytów cementowych

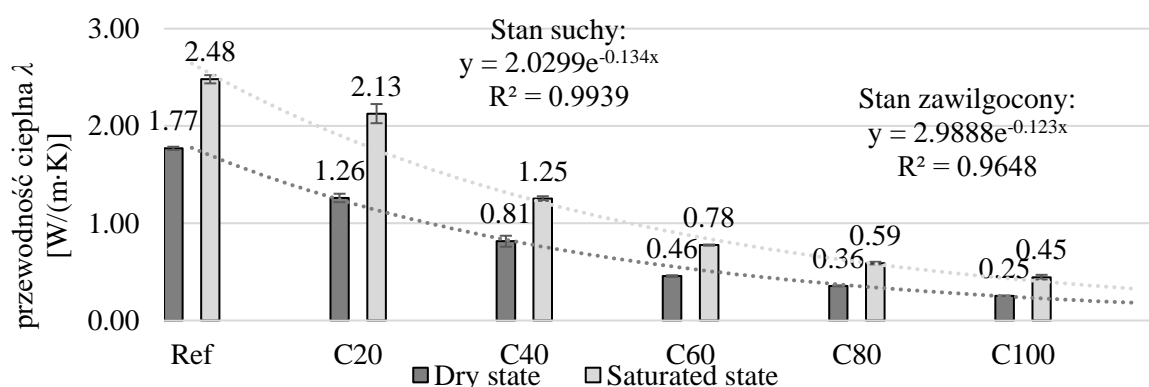
Cenosfery są składnikiem popiołu lotnego, produktu ubocznego powstałego podczas spalania węgla. Jest najbardziej osobliwą frakcją popiołu ze względu na swoje unikatowe właściwości, takie jak: stosunkowo niska gęstość przy równoczesnym zachowaniu dość wysokiej wytrzymałości na ściskanie, wysoka odporność na ścieranie, mniejsza nasiąkliwość i dobra izolacyjność termiczna. Sama nazwa cenosfer została zaproponowana w 1928 roku przez F. S. Sinnatts'a, który użył jej do opisu ubocznych produktów spalania węgla. Produkty te z łatwością przechodzą do fazy plastycznej tworząc sfery o pustym wnętrzu. Cenofery stosowane są jako zamiennik cementu/kruszywa w kompozytach cementowych między innymi ze względu na ich cechy charakterystyczne tj. małą wielkość i porowaty charakter. Podejmowane są coraz częstsze prace związane z wykorzystaniem tego materiału w kompozytach cementowych jako zamiennik cementu bądź drobnych kruszyw.

W publikacjach [A7] oraz [A10] przedmiotem badań były zaprawy cementowane na bazie cementu CEM I 45.5 R, w których częściowo zastąpiono zwykły piasek cenosferami. Na podstawie receptury normowej zaprawy, o proporcjach cementu wody i piasku wynoszących 1 : 0.5 : 3, wykonano sześć typów mieszanek. Poszczególne zaprawy różniły się zawartością cenosfer, które zastępowały naturalny piasek kwarcowy frakcji 0/2 mm. W recepturze referencyjnej (Ref) wykorzystano wyłącznie piasek. Każda kolejna mieszanka zawierała o 20% objętościowo więcej cenosfer, przy równoczesnej redukcji piasku w zaprawie (od C20 do C100). Dzięki temu możliwe było zachowanie stałej objętości poszczególnych mieszanek. Na rysunku 4.11 przedstawiono zdjęcia przekrojów testowanych kompozytów w 15-krotnym powiększeniu.



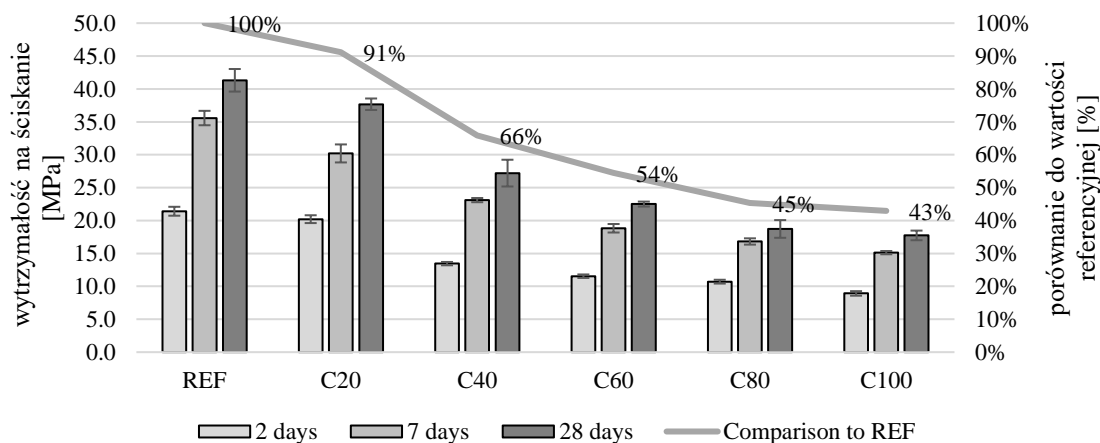
**Rysunek 4.11** Makrostruktura testowanych zapraw w 15-krotnym powiększeniu, [A7]

Rysunek 4.12 pokazuje zmienność współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$ , w zależności od rosnącej zawartości cenosfer w kompozytach w stanie suchym i całkowicie nasyconym wodą. Zgodnie z oczekiwaniami, najniższy współczynnik przewodności cieplnej uzyskano w kompozycie C100, w którym piasek został całkowicie zastąpiony przez cenosfery. W tym przypadku  $\lambda$  w stanie suchym wyniosła 0,25 W/(m·K). Biorąc pod uwagę przewodność zaprawy referencyjnej, jest to znaczące obniżenie tego parametru aż o 85,6%. Cenofery skutecznie poprawiły izolacyjność cieplną kompozytu cementowego. Podobną tendencję zaobserwowano w odniesieniu do próbek nasyconych wodą. W tym przypadku, w próbce C100, wartość  $\lambda$  była dalej stosunkowo niska, co dowodzi, że woda nie spenetrowała w pełni ziaren cenosfer.



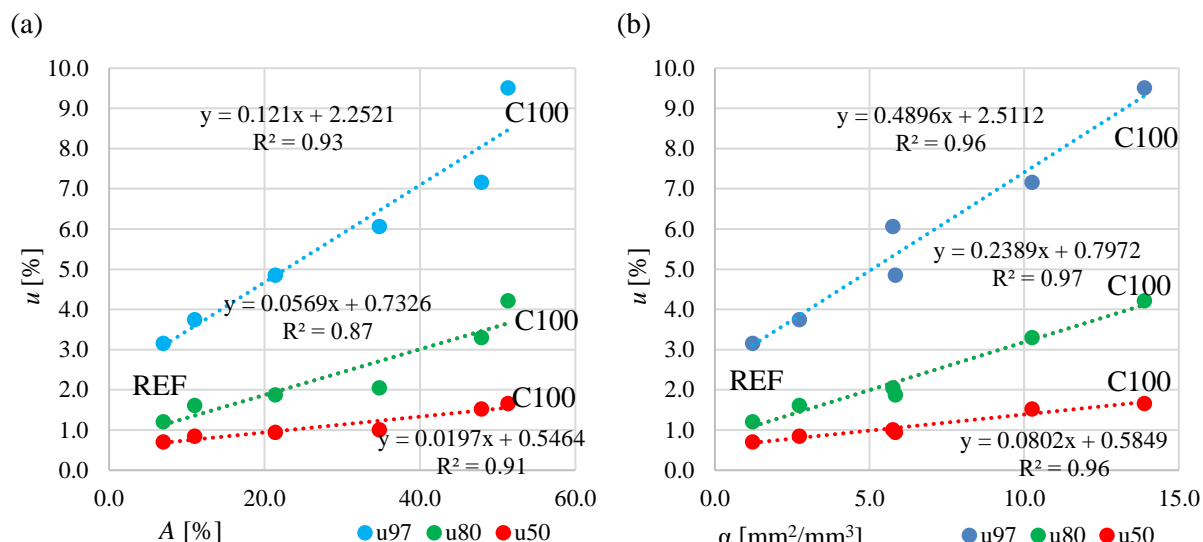
**Rysunek 4.12** Wartości średnie współczynnika przewodzenia ciepła kompozytów z dodatkiem cenosfer w stanie suchym oraz stanie nasycenia, [A10]

W przypadku testów wytrzymałości na ściskanie zależności były podobne do tych zaobserwowanych podczas badań wytrzymałości przy zginaniu. Zauważono analogiczną zależność między zawartością cenosfer a wytrzymałością materiału, która najsilniej ujawniła się w przypadku próbek z zawartością cenosfer na poziomie powyżej 60% całkowitej objętości kruszywa. W przypadku próbek o zawartości poniżej 60% średnie wytrzymałości na ściskanie wykazywały zbliżone wartości, jednak tendencja spadkowa się utrzymywała. Ponownie, największa różnica w wytrzymałości na ściskanie występowała między wartościami granicznymi. Materiał C100 wykazywał średnią wytrzymałość po 28 dniach wynoszącą 17,74 MPa, podczas gdy próbka REF uzyskała 41,32 MPa, co oznaczało redukcję o 57,07%. Natomiast porównując próbki C80 i C100, spadek wyniósł już tylko 2,92%. Najlepsze parametry spośród próbek z dodatkiem cenosfer uzyskano dla C20, której średnia wartość wynosiła 37,68 MPa, co oznaczało obniżenie jedynie o 8,8%. Różnice między próbkami pośrednimi (C40, C60 i C80) były podobne, a wartości zmniejszały się w sposób liniowy, pokazując spadek o około 10% względem siebie. Ustalone ilościowe zależności przedstawiono na Rysunku 4.13.



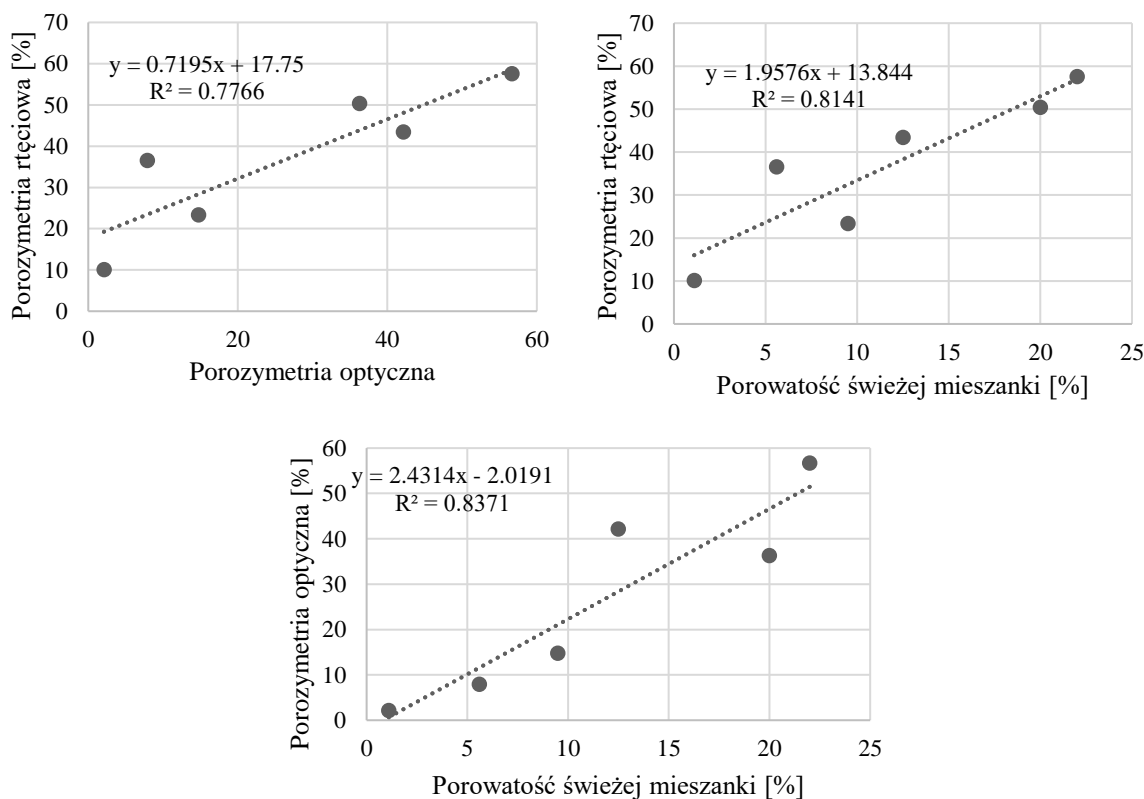
**Rysunek 4.13** Wartości średnie wytrzymałości na ściskanie po 2, 7 oraz 28 dniach dojrzewania kompozytów z dodatkiem cenosfer, [A10]

W odniesieniu do testowanych materiałów wykonano także dość szerokie badania związane z właściwościami wilgotnościowymi. Poniżej na rysunku 4.14 przedstawiono zależności między porowatością, powierzchnią właściwą, a zawartością wilgoci sorpcyjnej. Wyniki odniesiono do wilgotności powietrza na poziomach 50%, 80% i 97%. Zarówno wzrost porowatości, jak i powierzchni właściwej skutkował wzrostem mierzonych wartości wilgoci sorpcyjnej. Wyższe współczynniki determinacji uzyskano dla powierzchni właściwej, co sugeruje, że jest to czynnik mający znacznie silniejszy wpływ na poziom sorpcji wilgoci niż porowatość. Warto zauważyć, że w przypadku wyższych poziomów wilgotności powietrza występowały większe różnice w zawartości wilgoci sorpcyjnej w odniesieniu do poszczególnych zapraw, różniących się poziomem zawartości cenosfer.



**Rysunek 4.14** Zależność między zawilgoceniem sorpcyjnym  $u$  na poziomie 50%, 80%, 97% a porowatością całkowitą  $A$  (a) i powierzchnią właściwą  $\alpha$  (b)

Analizowałem także wpływ domieszki napowietrzającej na właściwości cieplne, wytrzymałościowe oraz mikrostrukturalne, co szerzej przedstawiłem w publikacji [A2]. W artykule zestawiałem m. in. wyniki badań porowatości uzyskane trzema metodami: porozymetrii rtęciowej, optycznej oraz pomiarów napowietrzenia świeżej mieszanki betonowej. Badania były wykonane na betonach powstałych na bazie kruszywa naturalnego, keramzytowego oraz popiołoporytowego. Na rysunku 4.15 zestawiałem relacje między poszczególnymi wynikami z tych badań.

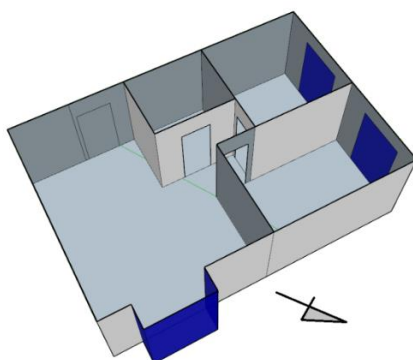


**Rysunek 4.15** Porównanie wyników badań porowatości, [A2]

Rysunek 4.15 zawiera trzy porównawcze wykresy, na których zestawiałem wyniki porowatości uzyskane trzema metodami. Pomimo dość dużych absolutnych rozbieżności w wynikach, należy zaznaczyć, że dane zebrane wszystkimi trzema metodami są spójne i wykazują zauważalnie wysoki poziom zależności, jak na tego rodzaju badania, i dla którego współczynnik determinacji wyniósł  $R^2 \sim 0.78-0.84$ .

#### 4.3.5 Symulacje cieplne budynków z zastosowaniem przegród wykonanych na bazie betonów lekkich

Na podstawie otrzymanych wyników doświadczalnych przeprowadzałem analizy symulacyjne bilansu cieplnego budynków, w których przegrody zewnętrzne wykonane były z testowanych przeze mnie betonów lekkich.



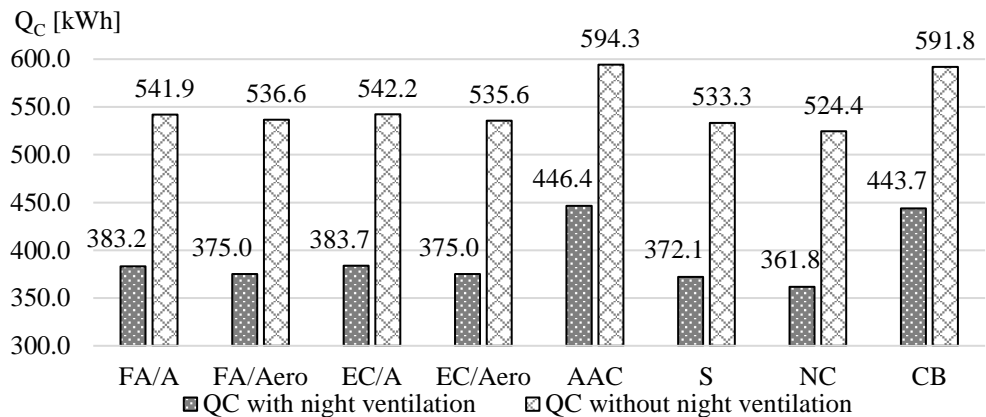
**Rysunek 4.16** Model analizowanego mieszkania, [A4]

W publikacji [A4] wykonałem analizę porównawczą przykładowego mieszkania (rys. 4.16), w którym ściany zaprojektowałem z testowanych przeze mnie betonów napowietrzonych (oznaczonych symbolem A) lub z dodatkiem aerożelu (Aero). Betony te wykonane były na bazie kruszywa popiołoporytowego FA oraz keramzytowego EC. Wyniki tych analiz porównałem do danych otrzymanych w odniesieniu do innych wariantów bazujących na tradycyjnych materiałach ściennych, takich jak: silikaty (S), beton komórkowy (AAC), czy cegła ceramiczna (CB).

Rysunek 4.17 przedstawia wyniki dotyczące zapotrzebowania na energię do celów chłodzenia uzyskane w odniesieniu do różnych wariantów ścian zewnętrznych w analizowanym mieszkaniu. Wyraźnie widoczna jest różnica między wariantami z wentylacją nocną i bez niej. W symulacjach założyłem pięciogodzinny okres intensywnej wentylacji nocnej na poziomie 4 wymian powietrza na godzinę. Zastosowanie wentylacji nocnej prowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na chłodzenie od 25% w wariantcie z betonu komórkowego autoklawizowanego do 31% w przypadku zwykłego betonu.

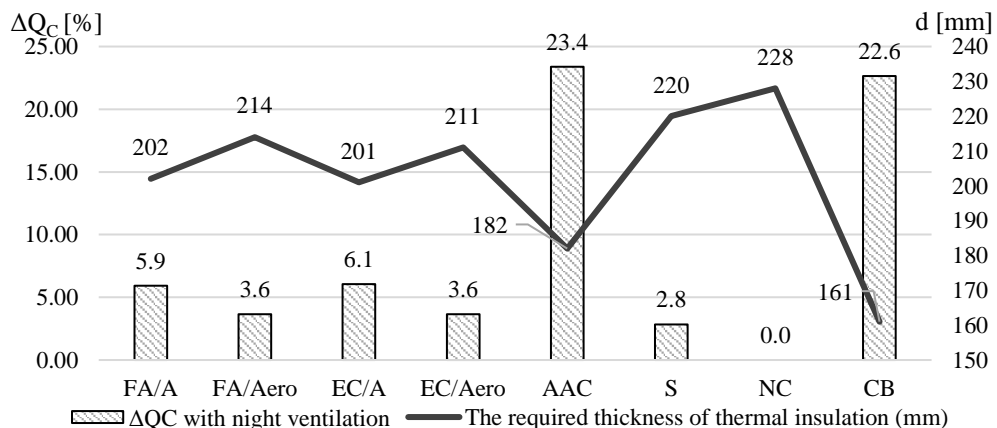
Widoczne są także wyraźne różnice w zapotrzebowaniu na energię do celów chłodzenia między poszczególnymi wariantami. W analizie porównawczej najkorzystniejszym rozwiązaniem okazały się ściany z betonu zwykłego oraz silikatu. Podobne efekty wykazały ściany zaprojektowane kompozytów z betonu lekkiego z dodatkiem aerożelu lub bezpośredniego napowietrzenia matrycy cementowej.





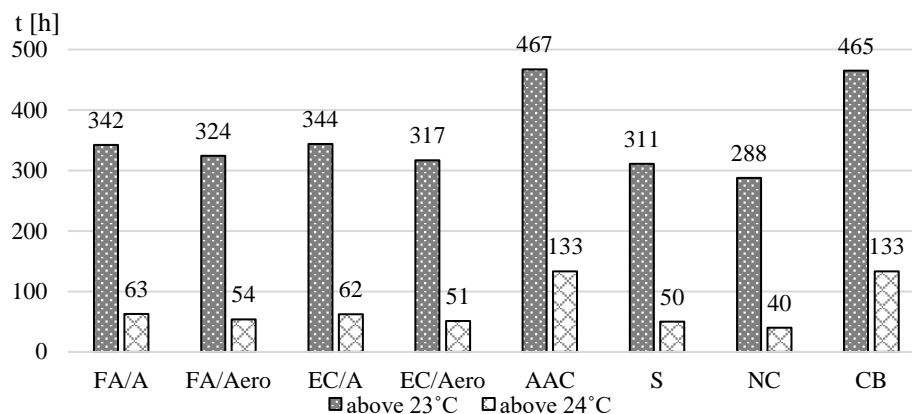
**Rysunek 4.17** Zapotrzebowanie na energię do celów chłodzenia w odniesieniu do poszczególnych wariantów analizowane mieszkania, [A4]

Rysunek 4.18 przedstawia wymagane teoretyczne grubości izolacji termicznej, niezbędne do uzyskania współczynnika przenikania ciepła  $U$  na poziomie  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  w każdym z wariantów. Przedstawiłem również procentowe różnice w zapotrzebowaniu na energię do celów chłodzenia między wariantem z betonu zwykłego a innymi rozwiązaniami. Największe różnice są widoczne w przypadku wariantu z betonu komórkowego autoklawizowanego oraz wariantu z ceramiki poryzowanej (odpowiednio 23,4% i 22,6%). Różnice pomiędzy betonem zwykłym a betonami lekkimi były znacznie mniejsze. Należy jednak zauważyć, że wariant z betonu zwykłego wymagałby zastosowania najgrubszej teoretycznej warstwy izolacji (228 mm) do spełnienia warunku  $U$  na poziomie  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , a wariant z betonu komórkowego autoklawizowanego potrzebowałby izolacji cieńszej o 46 mm w porównaniu do betonu zwykłego.



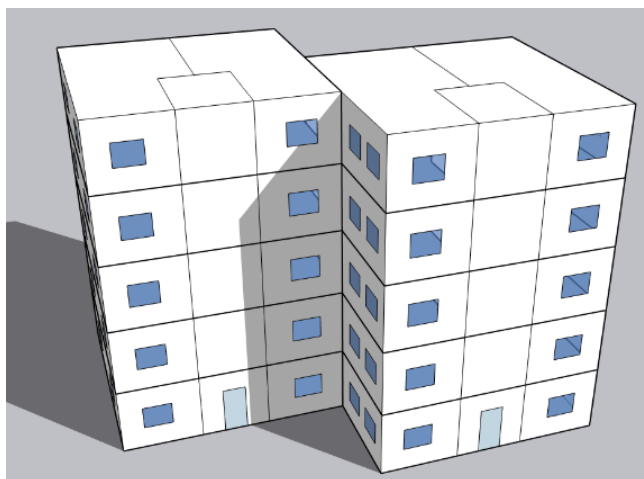
**Rysunek 4.18** Względne różnice w zapotrzebowaniu na energię do chłodzenia w porównaniu do wariantu z betonu zwykłego i wymaganych grubości izolacji termicznej, [A4]

Rysunek 4.19 przedstawia całkowitą liczbę godzin z temperaturami przekraczającymi  $23^\circ\text{C}$  i  $24^\circ\text{C}$ . Różnice między wariantami z materiałów lekkich o niskiej pojemności cieplnej (autoklawizowany beton komórkowy – AAC, cegła ceramiczna – CB) a innymi rozwiązaniami są bardzo duże. W szczególności, w przypadku temperatur przekraczających  $24^\circ\text{C}$ , różnica między najlepszym (beton zwykły – NC) a najgorszym wariantem (AAC) wynosi ponad 230%.



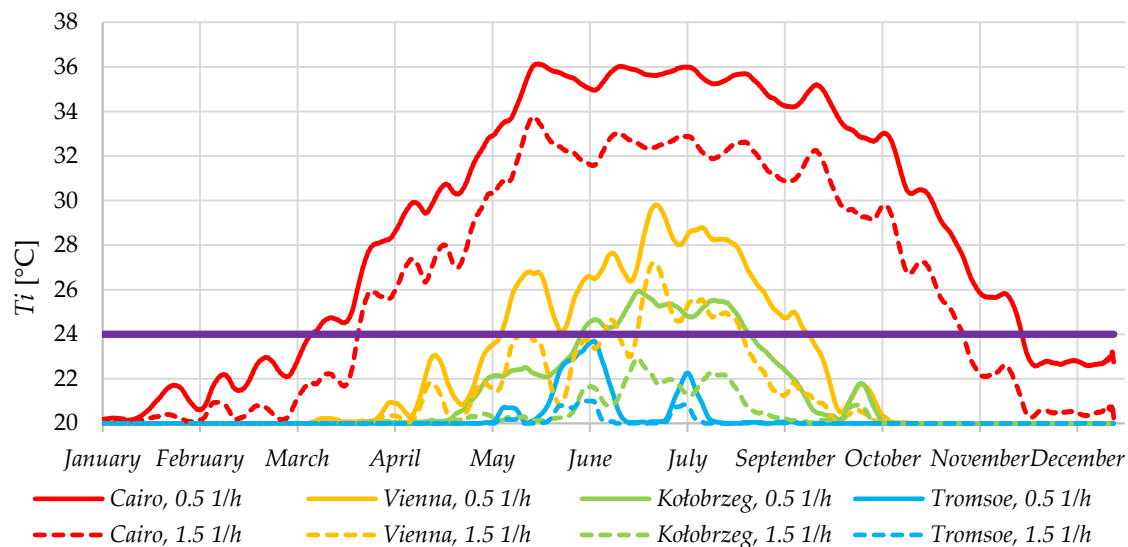
**Rysunek 4.19** Liczba godzin w roku, w których temperatura przekracza 23°C i 24°C, [A4]

Podobną analizę dotyczącą porównania właściwości betonów lekkich kruszywowych oraz pianobetonów zaprezentowałem w artykule opublikowanym w czasopiśmie Building and Environment [A6]. Na rysunku 4.20 przedstawiłem model rozpatrywanego budynku, dla którego wykonałem bilans energetyczny w odniesieniu do trzech rodzajów betonów lekkich kruszywowych (LWAC) i trzech pianobetonów (FC). Gęstości objętościowe testowanych betonów wynosiły 500, 750 oraz 1000 kg/m<sup>3</sup>. Obliczenia wykonałem w odniesieniu do czterech lokalizacji odzwierciedlających różne strefy klimatyczne. Symulacje wykonałem z zastosowaniem oprogramowania Wufi Plus. We wszystkich wariantach analizowanego budynku tak dobrałem grubość izolacji termicznej, aby współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych był taki sam i wynosił 0.20 W/(m<sup>2</sup>K).



**Rysunek 4.20** Model budynku poddanego analizie, [A6]

Przykładowe wykresy temperatury wewnętrznej wariantów opartych na betonie LWAC500 przedstawia rysunek 4.21. Zaprezentowane wyniki odnoszą się do poziomów wentylacji wynoszących 0,5 i 1,5 wymiany powietrza na godzinę, bez systemu chłodzenia. Pozioma, fioletowa linia pokazuje części wykresów zdefiniowane jako "przegrzane". Zgodnie z oczekiwaniami, zwiększenie poziomu wentylacji znacząco obniżyło średnią temperaturę wewnętrzną. Niemniej jednak, w ciepłych lokalizacjach okazało się to niewystarczające.

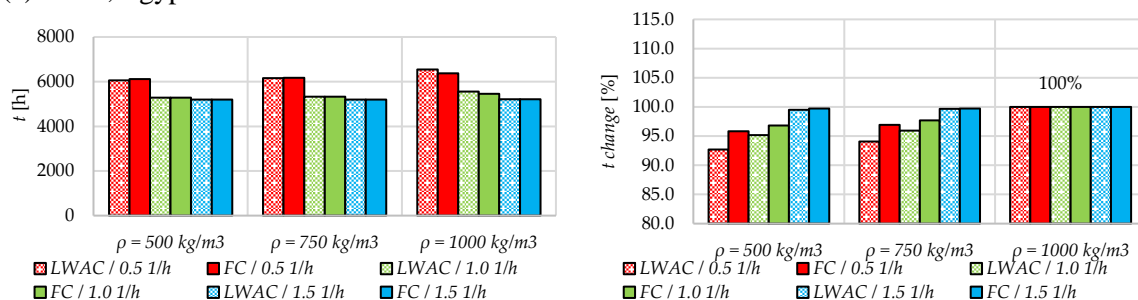


**Rysunek 4.21** Przykładowy wykres temperatury wewnętrznej wariantów opartych na betonie LWAC500, w różnych lokalizacjach i przy różnych poziomach wentylacji, bez systemu chłodzenia, [A6]

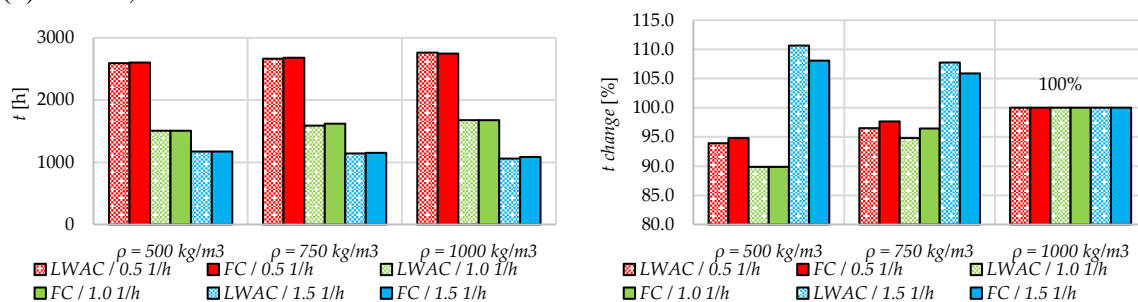
We wszystkich wariantach bez systemu chłodzenia obliczyłem liczbę godzin, w których temperatura wewnętrzna przekraczała  $24^{\circ}\text{C}$  w ciągu roku. Wyniki przedstawiłem na rysunku 4.22. Podsumowując otrzymane wyniki należy stwierdzić, że materiały ściennie o gęstości objętościowej  $500\text{ kg/m}^3$  były nieco bardziej korzystne w gorących klimatach. Liczba godzin z przekroczoną temperaturą wewnętrzną była do 8% niższa przy ustawieniu wentylacji na poziomie 0,5 wymiany powietrza na godzinę. Podobna tendencja zaistniała w przypadku Kołobrzegu (przy poziomie wentylacji 0,5 1/h). Przegrzanie nie wystąpiło przy wyższych poziomach wentylacji w Kołobrzegu, ale sytuacja była bardziej skomplikowana w Wiedniu. Tam, przy poziomach wentylacji 0,5 i 1,0 1/h, korzystniejsze były warianty o niższej gęstości objętościowej materiałów.

Z drugiej strony, przy silnej wentylacji na poziomie 1,5 1/h korzystniejszy był wariant z gęstością objętościową ścian wynoszącą  $1000\text{ kg/m}^3$ . W przypadku Tromsø akumulacja ciepła warstwy ściany nie miała wpływu na wyniki, ponieważ temperatura wewnętrzna praktycznie nie przekraczała  $24^{\circ}\text{C}$ . W gorących i ciepłych klimatach różnice między wariantami o różnych gęstościach były bardziej korzystne przy zastosowaniu LWAC (lekkiego betonu kruszywowego) ze względu na ich wyższą pojemność cieplną w porównaniu z wariantami FC (pianobeton).

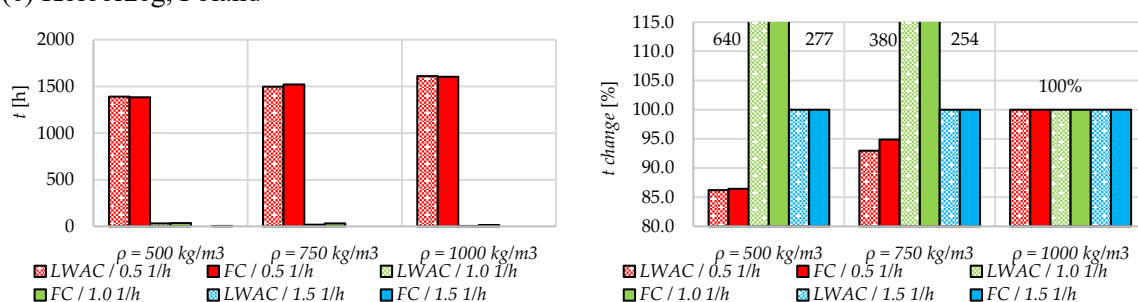
## (a) Cairo, Egypt



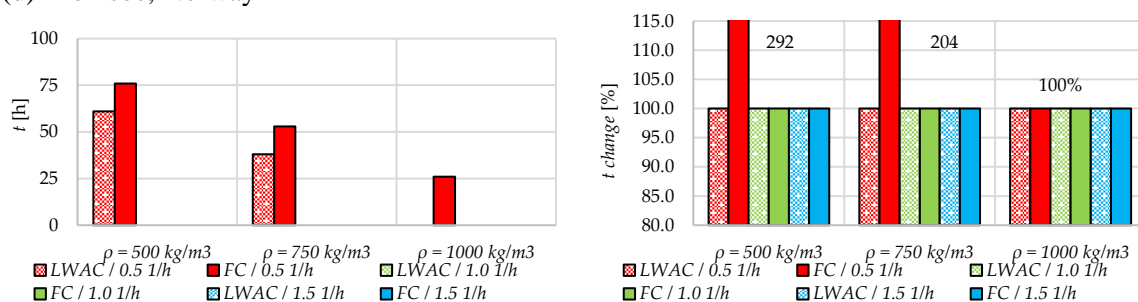
## (b) Vienna, Austria



## (c) Kołobrzeg, Poland



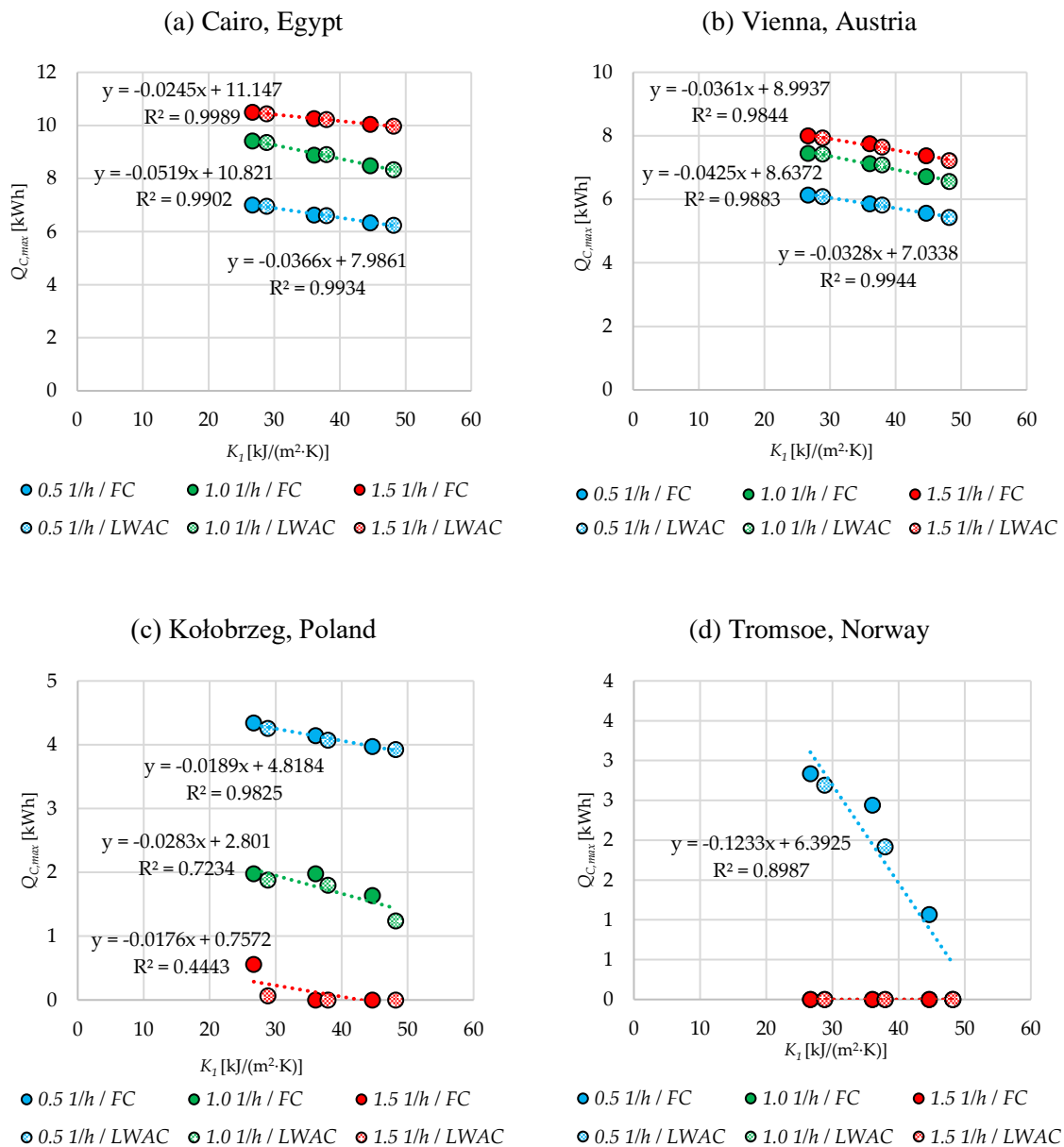
## (d) Tromsøe, Norway



**Rysunek 4.22** Liczba godzin, w których wewnętrzna temperatura przekracza 24°C, dla wariantów budynku bez systemu chłodzenia, [A6]

Zależności pomiędzy maksymalnym godzinowym zapotrzebowaniem na chłodzenie  $Q_{Cmax}$  a wewnętrzną powierzchnią pojemnością cieplną  $K_I$  przedstawia rysunek 4.23. Podobnie jak w przypadku zapotrzebowania na ogrzewanie, chwilowe zapotrzebowanie na chłodzenie malało wraz ze wzrostem wewnętrznej powierzchniowej pojemności cieplnej. Ponownie, prawie we wszystkich wariantach współczynnik  $R^2$  był wysoki, a największe nachylenie linii trendu wystąpiło przy poziomie

wentylacji wynoszącym 1,0 1/h. Największy wpływ pojemności cieplnej miał miejsce w gorącym klimacie Kairu. Im chłodniejszy klimat, tym mniejszy wpływ pojemności cieplnej na zapotrzebowanie na chłodzenie.



**Rysunek 4.23** Zależność między maksymalnym godzinowym zapotrzebowaniem na chłodzenie  $Q_{C,max}$  a wewnętrzną powierzchniową pojemnością cieplną  $K_1$  wariantów z systemem chłodzenia, [A6]

#### 4.3.6 Aktualnie realizowane prace badawcze

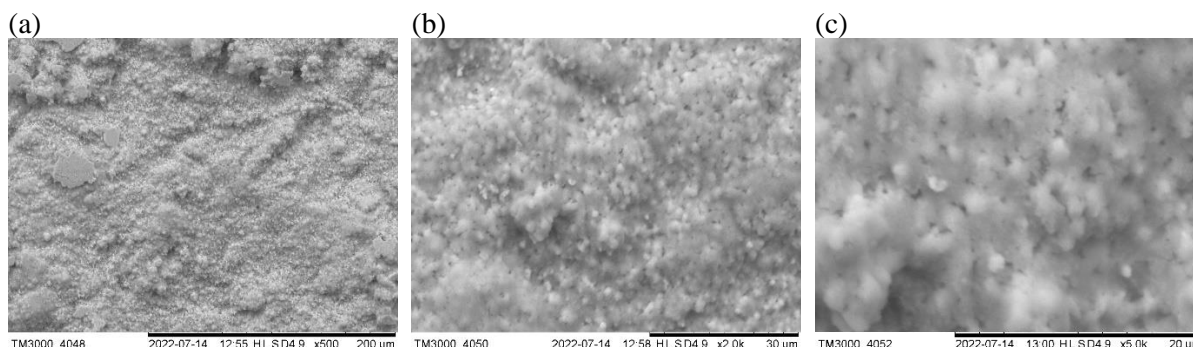
W zakresie badań nad lekkimi kompozytami betonowymi prowadzę liczne prace dotyczące różnych sposobów poprawy izolacyjności poprzez stosowanie różnego rodzaju dodatków i domieszek zwiększających porowatość matrycy cementowej. Niektóre z nich, tj. betony z dodatkiem aerożeli, pomimo obiecujących właściwości będą dość trudne do szerszego wprowadzania na rynek z uwagi na

wysoki koszt produkcji samego aerożelu. Dlatego też podjąłem próby opracowania nowego rodzaju materiału charakteryzującego się bardzo wysoką porowatością. Pory te występują bezpośrednio w matrycy cementowej betonu, w przeciwieństwie do kompozytów zawierających wypełniacze takie jak aerożel o wysokiej porowatości własnej.

Wstępne wyniki tych prac badawczych opublikowałem w [A11] oraz w zgłoszeniu patentowym [A12]. Przedmiotem tych badań jest grupa materiałów na bazie cementu powszechnego użytku charakteryzujących się wysoką porowatością (>60%) i gęstością objętościową w stanie suchym z zakresu od 0.4 do 1.0 g/cm<sup>3</sup>. Niniejsze badania realizuję obecnie w ramach grantu otrzymanego w konkursie SONATA 19 finansowanego z Narodowego Centrum Nauki (2023/51/D/ST8/00107, “Kompleksowe badania struktury lekkich kompozytów cementowych o wysokiej porowatości – beton żelowy”).

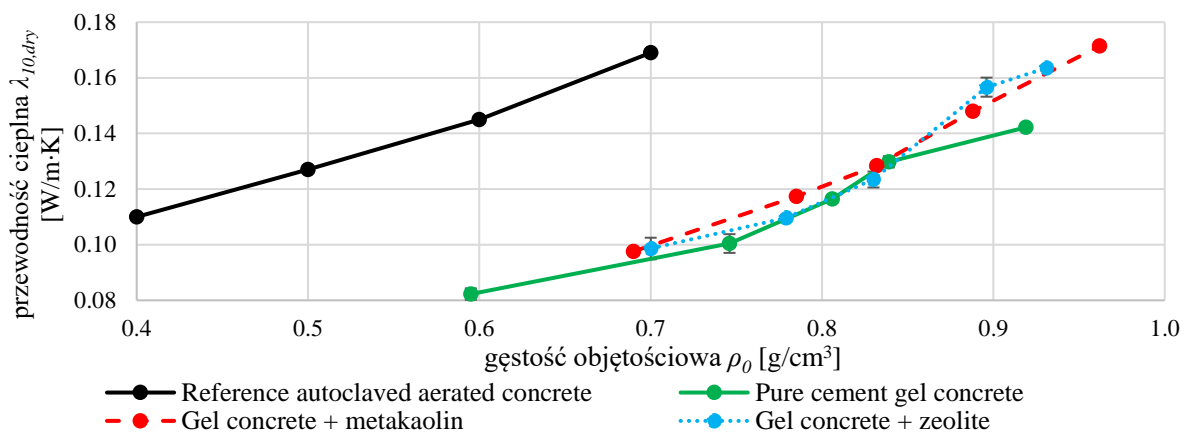
Istotą analizowanego rozwiązania jest otrzymanie matrycy cementowej o bardzo wysokiej porowatości (>60%) poprzez wygrzewanie wymieszanego świeżego zaczynu cementowego z domieszką skrobi oraz dodatkiem/lub bez gipsu budowlanego, a także pucolan (metakaolinu, zeolitu, mikrokrzemionki lub popiołów lotnych) do temperatury żelowania skrobi. Dzięki temu powstaje żelowa substancja cementowo-skrobiowa o plastycznej konsystencji. Wykorzystanie procesu żelowania skrobi bezpośrednio w zaczynie cementowym umożliwia uzyskanie bardzo jednorodnego materiału, w którym początkową, tymczasową strukturę stanowi żel skrobiowy, wokół którego po przekroczeniu początku czasu wiązania powstaje docelowa struktura na bazie cementu lub innych spoiw.

Skutkiem technicznym bezpośredniego podgrzewania wymieszanej zawiesiny cementu i skrobi jest silnie porowaty materiał – beton żelowy. Zżelowana skrobia tworzy tymczasowy i nietrwały szkielet kompozytu. Po przekroczeniu początku czasu wiązania cementu powszechnego użytku bądź pucolan, wokół żelowej struktury skrobi zaczyna się proces krystalizacji i wiązania użytego spoiwa. Dzięki temu możliwe jest powstanie trwałej i bardzo jednorodnej, porowatej struktury na bazie użytych spoiw. Na rysunku 4.24 przedstawiłem przykładowe autorskie zdjęcia SEM mikrostruktury kompozytów cementowych uzyskane z zastosowaniem mikroskopu elektronowego HITACHI TM 3000.



**Rysunek 4.24** Zdjęcia SEM mikrostruktury kompozytu cementowego w powiększeniach: (a) x500, (b) x2000, (c) x5000 (archiwum własne)

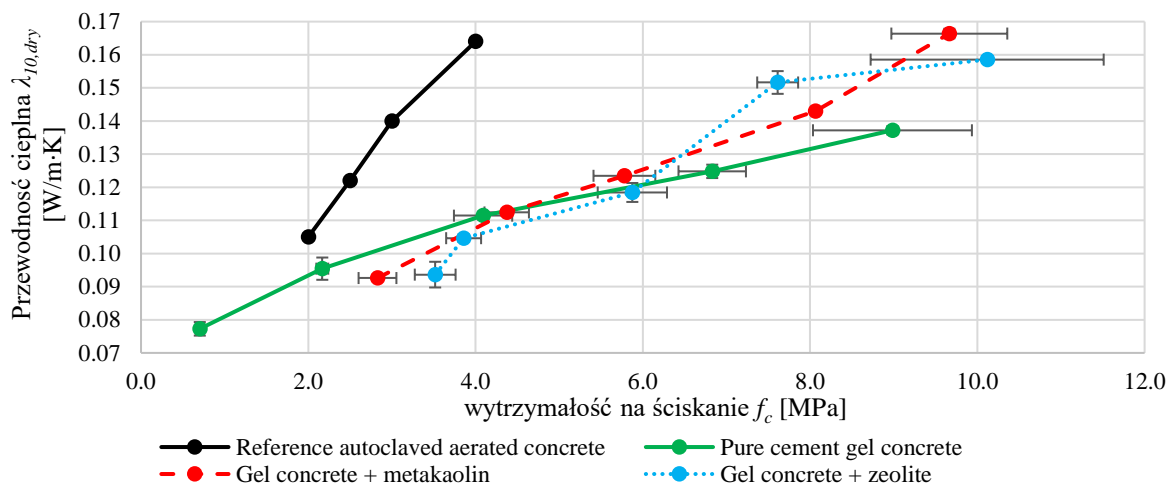
Poniżej przedstawiłem wyniki badań próbnych dotyczących gęstości objętościowej, przewodności cieplnej oraz wytrzymałości testowanych kompozytów. Na rysunku 4.25 przedstawiłem zależność między gęstością objętościową a przewodnością cieplną danego materiału w stanie suchym, przy czym otrzymane wyniki odniosłem do danych dotyczących betonu komórkowego dostępnego obecnie na polskim rynku. Okazuje się, że niemal wszystkie wykonane próby charakteryzują się niższą przewodnością cieplną przy tej samej gęstości objętościowej materiału, co beton komórkowy.



**Rysunek 4.25** Związek między przewodnością cieplną a gęstością objętościową testowanych materiałów, [A11], [A12]

Na przykład, przy gęstości objętościowej wynoszącej 0,7 g/cm<sup>3</sup>, beton komórkowy autoklawizowany charakteryzował się wartością  $\lambda_{10,dry}$  równą 0,16 W/(m·K), podczas gdy betony żelowe wykazywały wartości poniżej 0,10 W/(m·K), co daje względną różnicę przekraczającą 42%.

Związek między przewodnictwem cieplnym a wytrzymałością na ściskanie poszczególnych kompozytów przedstawiłem na rysunku 4.26. Większość przeprowadzonych testów wskazywała, że uzyskany materiał charakteryzuje się wyższą wytrzymałością na ściskanie przy tej samej przewodności cieplnej co beton komórkowy (wykresy poniżej i po prawej stronie krzywej odniesienia – dotyczącej autoklawizowanego betonu komórkowego). Więcej danych na ten temat zaprezentowałem na Konferencji 13th Nordic Symposium on Building Physics w Aalborg w Danii w 2023 roku [A11].



**Rysunek 4.26** Relacja między przewodnictwem cieplnym a wytrzymałością na ściskanie materiałów, [A11], [A12]

Przeprowadzone wstępne testy i badania rozpoznawcze przyniosły obiecujące rezultaty. Niezbędne jest jednak wykonanie kompleksowych badań dotyczących tego typu lekkich betonów, które dostarczyłyby pełniejszych danych nt. możliwości wykorzystania procesu żelowania skrobi w zaczynie cementowym w celu zwiększenia porowatości matrycy cementowej materiału. Badania te wykonuję w ramach przyznanego trzyletniego grantu SONATA 19.

Otrzymane rezultaty są bardzo korzystne i wskazują, że tego typu materiały mogą stanowić ciekawą alternatywę w stosunku do obecnie stosowanych materiałów budowlanych, a ich parametry są nawet korzystniejsze w odniesieniu do rozwiązania wykorzystującego dodatek aerożelu.

#### 4.3.7 Podsumowanie

Tematyka badań przedstawiona w publikacjach wchodzących w skład cyklu miała na celu opisanie mojej działalności naukowej związanej z opracowaniem autorskich rozwiązań materiałowych dotyczących betonów lekkich, metodyki badań nad kompozytami z dodatkiem aerożelu oraz wpływu lekkich betonów na bilans energetyczny budynków.

Przedstawione i opisane badania mają oryginalny charakter, a wyniki i analizy poszerzają dotychczasową wiedzę na temat technologii wytwarzania lekkich kompozytów cementowych. Zaprezentowane wyniki mogą posłużyć do wprowadzenia nowych bardziej energooszczędnych rozwiązań materiałowych.

**Mój wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport wynikający z zaprezentowanego cyklu publikacji naukowych to:**

- poszerzenie wiedzy z zakresu badań nad lekkimi kompozytami cementowymi z dodatkiem aerożeli,
- opracowaniem metodyki pomiarowej porowatości betonów z dodatkiem granulatu aerożelowego, wykorzystującej porozymetrię rtęciową,



- poszerzenie wiedzy z zakresu badań nad lekkimi kompozytami cementowymi z dodatkiem cenosfer i innych sposobów bezpośredniego zwiększania porowatości matrycy cementowej,
- poszerzenie wiedzy z zakresu wpływu właściwości betonów lekkich na bilans energetyczny budynku, a także zagadnień związanych z przegrzewaniem się budynków,
- opracowanie koncepcji wytwarzania lekkich kompozytów cementowych – betonu żelowego.

#### 4.4 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Mój dorobek liczy łącznie 51 publikacji, w tym 16 artykułów w czasopiśmie JCR i 7 referatów w materiałach konferencyjnych o zasięgu międzynarodowym indeksowanych w bazach Scopus i/lub Web of Science. Dodatkowo jestem autorem lub współautorem 5 zgłoszeń patentowych. Ze względu na doświadczalny i interdyscyplinarny charakter badań, przedstawione publikacje i zgłoszenia patentowe są w większości pracami współautorskimi. Kopie wybranych publikacji, których zakres jest zgodny z moimi dodatkowymi zainteresowaniami, zostały zamieszczone w załączniku nr 6 i ponumerowane od B1 do B11.

Jednym z ciekawszych zagadnień podejmowanych w mojej pracy są badania symulacyjne dotyczące efektywności energetycznej wybranych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych i ich wpływ na szeroko pojętą efektywność energetyczną budynków. Przykładem takich badań są symulacje wykonane w programie Autodesk CFD Flex dotyczące wpływu i rodzaju izolacji krawędziowych w podłodze na gruncie na wielkość strat ciepła i liniowy mostek termiczny połączenia ściany zewnętrznej z podłogą na gruncie. Efekty tej pracy przedstawiłem w publikacji „*Modelling of edge insulation depending on boundary conditions for the ground level*” opublikowanej w Journal IOP: Materials Science and Engineering [B1]. Analizowałem różnego rodzaju sposoby rozwiązań montażu okiem i ich wpływ na wielkość wartości liniowych strat ciepła, co przedstawiłem na konferencji Energodom 2018 w Krakowie („*Using CFD software for the evaluation of hygrothermal conditions at wall-window perimeters*”, Journal IOP: Materials Science and Engineering [B2]). We współpracy z naukowcami z Technische Universität Berlin oraz Uniwersytetu Mansoura w Egipcie, analizowałem także wpływ różnego rodzaju kształtów ścieżek drukowanych ścian zewnętrznych na właściwości cieplne i wytrzymałościowe tego typu przegród. Rezultaty tych prac zostały opublikowane w czasopiśmie *Case Studies in Construction Materials* w artykule pt.: „*Towards development of sustainable lightweight 3D printed wall building envelopes – Experimental and numerical studies*” (2023) [B9]. W publikacji byłem odpowiedzialny za wykonanie symulacji termicznych różnych kształtów ścian drukowanych z dodatkowym wypełnieniem pustych przestrzeni materiałem termoizolacyjnym.

Przeprowadzałem szereg badań nad różnego rodzaju dodatkami, które oddziałują na właściwości cieplne materiałów. Przykładem takich prac jest m. in. publikacja pt.: „*Mechanical Strength and*

*Thermal Properties of Cement Concrete Containing Waste Materials as Substitutes for Fine Aggregate*” opublikowana w czasopiśmie *Materials* (2022) [B5]. W tej pracy odpowiadałem za wykonanie testów właściwości cieplnych obejmujących przewodność cieplną, ciepło właściwe i współczynnik dyfuzji termicznej oraz badań składu pierwiastkowego użytych materiałów z recyklingu: kruszonego betonu, cegły ceramicznej oraz spiekanych odpadów ściekowych. Przeprowadzałem analizę właściwości cieplnych kompozytów na bazie różnych spoiw mineralnych z dodatkiem włókien konopnych. Rezultaty tych prac zostały opublikowane w czasopiśmie *Applied Sciences* pt.: *„Investigation of Durability Properties for Lightweight Structural Concrete with Hemp Shives Instead of Aggregate”* (2023) [B8].

W ramach prowadzonej działalności naukowej wykonywałem liczne badania mikrostrukturalne kompozytów cementowych o zróżnicowanej strukturze. W publikacji *„The Effect of Aggregate Shape on the Properties of Concretes with Silica Fume”* zamieszczonej w czasopiśmie *Materials* (2020) [B3] analizowałem wpływ różnego rodzaju kształtu kruszywa (otoczakowe oraz łamane) na właściwości mikrostrukturalne i cieplne betonów z domieszką pyłów krzemionkowych. Inne badania dotyczące właściwości mikrostrukturalnych przedstawiłem w pracy pt.: *„Effect of Nano-SiO<sub>2</sub> on the Microstructure and Mechanical Properties of Concrete under High Temperature Conditions”*, *Materials* (2022) [B6]. W ramach tej pracy przeprowadziłem pomiary właściwości struktury kompozytów przy wykorzystaniu porozymetrii rtęciowej oraz mikroskopu elektronowego. Badania obejmowały betony z domieszką nanokrzemionki poddane wysokim temperaturom do 800°C. Uczestniczyłem także w pracach dotyczących wykorzystania odpadowego dolomitu jako spoiwa (*Effect of Nano-SiO<sub>2</sub> on the Microstructure and Mechanical Properties of Concrete under High Temperature Conditions*, *Journal of Building Engineering* (2022) [B7]) oraz powłok krzemowych na tlenkach bizmutu i gadolinu jako dodatków do betonów (*Functional Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Silica-Coated Structures for Improvement of Early Age and Radiation Shielding Performance of Cement Pastes*, *Nanomaterials*, 2024 [B10]). W obydwu przypadkach byłem odpowiedzialnych za wykonanie badań porowatości przeprowadzonych metodą porozymetrii rtęciowej.

Uczestniczyłem w pracach zespołu zajmującego się nowymi metodami otrzymywania fotoaktywnych cementów. Badania te były realizowane w ramach projektu komercjalizacji technologii bazujących na wynikach badań podstawowych realizowanych w konkursie TANGO 5 NCBiR, ścieżka A (TANGO-V-A/0012/2021). Kierownikiem tych prac była prof. dr hab. inż. Magdalena Janus. Efektem badań były m. in. zgłoszenia patentowe nr 441381, 443963, 445949, których jestem współautorem. Opublikowaliśmy także część uzyskanych wyników badań w artykule *New Method for Photoactive Cement Preparation — Selected Mechanical Properties and Photocatalytic Activity of New Materials*, *Materials* (2024) [B11]. W ramach tych badań byłem odpowiedzialnych za przeprowadzenie pomiarów wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na zginanie zapraw na bazie różnego rodzaju cementów fotoaktywnych oraz za badania przyczepności do różnego typu podłoży.

#### 4.5 Podsumowanie najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych

Łącznie z pracami ujętymi w cyklu, Impact Factor moich publikacji wynosi  $IF = 76.1$ , a suma liczby punktów wynosi  $2440 + 208$  (punktacja wg obowiązującej listy MNiSW + punktacja wg listy MNiSW obowiązującej do końca roku 2018). W Tabeli 1 przedstawiłem statystyki publikacji, udział w konferencjach naukowych, udział w wnioskach patentowych i udział w projektach naukowych. W Tabeli 2 podsumowałem moje statystyki dotyczące liczby cytowań i indexu Hirscha wg bazy Web of Science, Scopus i Google Scholar na dzień 18.09.2024 r.

Tabela 1. Zestawienie osiągnięć naukowo-badawczych.

Rodzaj publikacji	Przed doktoratem	Po doktoracie	Suma	
Artykuły naukowe, rozdziały w monografiach, artykuły naukowe opublikowane w recenzowanych wydawnictwach konferencyjnych				
<b>Sumaryczny wskaźnik Impact Factor (IF):</b>	<b>2.5</b>	<b>76.7</b>	<b>79.2</b>	
Publikacje z listy JCR:	2	15	17	
Publikacja z poza listy JCR:	20	6	26	
Rozdziały w monografiach:	1	3	4	
Publikacje konferencyjne indeksowane w WoS lub Scopus:	7	0	7	
<b>Suma:</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>54</b>	
Konferencje naukowe				
Krajowe (wygłoszenie referatu lub prezentacja posteru)	3	1	4	
Międzynarodowe (wygłoszenie referatu lub prezentacja posteru)	5	2	7	
<b>Suma:</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	
Zgłoszenia patentowe i patenty				
Zgłoszenia patentowe	0	5	5	
Patenty	0	0	0	
<b>Suma:</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
Udział w projektach finansowanych ze środków krajowych (NCN, RPO, NCBiR) lub międzynarodowych				
Kierownik	Krajowe	1	1	2
	Międzynarodowe	0	0	0
Wykonawca	Krajowe	0	2	2
	Międzynarodowe	0	1	1
<b>Suma:</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	

Tabela 2. Zestawienie liczby cytowań i indeksu Hirscha z podziałem na bazę.

Baza cytowań	Liczba publikacji	Liczba cytowań	Liczba cytowań bez autocytowań	Indeks Hirscha
Web of Science	21	174	167	9
Scopus	27	251	222	10
Google Scholar	54	319	-	11

## 5 INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

W listopadzie 2023 roku odbyłem dziesięciodniowy staż naukowy w Uniwersytecie Arystotelesa w Salonikach (Grecja) na Wydziale Inżynierii Lądowej. Tematyka stażu dotyczyła *Badań właściwości kompozytów cementowych z dodatkiem bioodpadów*.

W ramach stażu byłem odpowiedzialny za wykonanie kompozytów cementowych z dodatkiem odpadów poprodukcyjnych – mielonych włókien lawendy oraz proszków powstałych z odpadów czarnej sosny. W ramach stażu wykonałem badania właściwości wytrzymałościowych na ściskanie oraz wytrzymałości na zginanie, badania mikrostrukturalne obejmujące pomiary z zastosowaniem porozymetrii rtęciowej oraz badania z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego. Zasadniczą częścią badań były pomiary właściwości cieplno-wilgotnościowych: badania nasiąkliwości, podciągania kapilarnego, badania sorpcji i desorpcji przy wykorzystaniu dynamicznego analizatora sorpcji DVS oraz badania właściwości cieplnych wykonywanych techniką zarówno stacjonarną z zastosowaniem aparatu płytowego oraz niestacjonarną z wykorzystaniem urządzenia CTherm. Opiekunem naukowym stażu była profesor Maria Stefanidou będąca kierownikiem Laboratorium Materiałów Budowlanych Uniwersytetu Arystotelesa.

Wyniki prowadzonych badań zostały opublikowane w recenzowanym czasopiśmie *Materials* (IF 3.1, indeksowany w WoS oraz Scopus, 140 pkt.): J. Strzałkowski, P. Kampragkou, M. Stefanidou, A. Markowska-Szczupak, E. Horszczaruk, A. Głowacka, *Lavender and Black Pine Waste as Additives Enhancing Selected Mechanical and Hygrothermal Properties of Cement Mortars*, *Materials*, ISSN: 1996-1944, Tom: 17, Zeszyt: 22, s: 1-25, nr art. 5475, 10.3390/ma17225475.

Obok wyżej wymienionych badań w publikacji zostały zaprezentowane interesujące wyniki dotyczące właściwości bakteriobójczych zapraw zawierających odpady lawendy i czarnej sosny.

Dodatkowo brałem udział w opracowaniu wniosku o projekt badawczy pod tytułem: „*Turning locally-available bio-fibre waste into high-performance building products*”. Wniosek został złożony w ramach programu Horyzont (HORIZON-CL6-2024-CIRCBIO-02, nr wniosku 101181538-1). Wniosek przewiduje, że koordynatorem projektu będzie Uniwersytet Arystotelesa, natomiast ZUT w Szczecinie będzie jednym z partnerów projektu.

Współpracuję również z innymi badaczami z zagranicy m. in. z Uniwersytetem Sejong w Korei Południowej oraz z Uniwersytetem Mansoura w Egipcie. Efekty tej współpracy zostały opublikowane w czasopiśmie *Building and Environment* w artykule pt.: *"Thermal performance of building envelopes with structural layers of the same density: Lightweight aggregate concrete versus foamed concrete"* (2021). Badania dotyczyły symulacji cieplnych budynków wykonanych na bazie pianobetonów oraz lekkich betonów kruszywowych, usytuowanych w różnych lokalizacjach na świecie.

Obecnie współpracuję z naukowcami z Technische Universität Berlin oraz Uniwersytetu Mansoura w Egipcie, a uzyskane wspólnie rezultaty zostały opublikowane w czasopiśmie *Case Studies in Construction Materials* w artykule pt.: *"Towards development of sustainable lightweight 3D printed wall building envelopes – Experimental and numerical studies"* (2023). W publikacji byłem odpowiedzialny za wykonanie symulacji cieplnych różnych kształtów ścian drukowanych z dodatkowym wypełnieniem pustych przestrzeni materiałem termoizolacyjnym lub pianobetonem.

Kolejną ciekawą publikacją powstałą we współpracy naukowej był artykuł *„From dolomite waste to katoite-based binder: Synthesis, performance and characterization”* opublikowany w *Journal of Building Engineering* (2023). W tym przypadku moim głównym zadaniem było wykonanie badań mikrostrukturalnych z zastosowaniem porozymetrii rtęciowej.

Współpracuję także z naukowcami z Politechniki Poznańskiej. Efektem tych prac jest artykuł opublikowany w *Construction and Building Materials* (2023) *"Lightweight alkali-activated composites containing sintered fly ash aggregate and various amounts of silica aerogel"*. Publikacja dotyczy podstawowych właściwości geopolimerów z dodatkiem granulatu aerożelowego. W ramach tych badań byłem odpowiedzialny za analizę właściwości cieplnych tych kompozytów.

## **6 INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ**

### **6.1 Działalność dydaktyczna, działalność na rzecz rozwoju kadry naukowej i popularyzująca naukę**

Prowadzona przeze mnie działalność dydaktyczna obejmuje ćwiczenia laboratoryjne, ćwiczenia projektowe i wykłady z przedmiotów na pierwszym i drugim stopniu studiów, zarówno stacjonarnych jak i niestacjonarnych. Prowadzę zajęcia dydaktyczne dla studentów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska na kierunku budownictwo, w tym na specjalności inżynier europejski oraz studentów Wydziału Architektury, a także studentów odbywających kursy w ramach programu Erasmus.

W okresie od 2019 roku (tj. po uzyskaniu stopnia doktora) do obecnego semestru prowadzę wykłady, ćwiczenia projektowe i ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotów:

- Materiały Budowlane, ćwiczenia laboratoryjne, studia pierwszego stopnia stacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
- Materiały Budowlane, ćwiczenia laboratoryjne, studia pierwszego stopnia stacjonarne, Wydział Architektury,
- Fizyka Budowli, ćwiczenia projektowe, studia pierwszego stopnia stacjonarne i niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
- Fizyka Budowli, ćwiczenia projektowe, studia pierwszego stopnia stacjonarne, Wydział Architektury,
- Zagadnienia Współczesnej Fizyki Budowli, ćwiczenia laboratoryjne i wykłady, studia drugiego stopnia stacjonarne i niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
- Akustyka, ćwiczenia laboratoryjne, studia pierwszego stopnia stacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
- Fizyka Budowli II, ćwiczenia projektowe i wykłady, studia drugiego stopnia stacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, zajęcia prowadzone w języku angielskim,
- Energy performance of buildings, studia stacjonarne pierwszego stopnia, kurs prowadzony w ramach wymiany studenckiej Erasmus.

Pełniłem funkcję promotora siedmiu prac dyplomowych inżynierskich oraz sześciu prac magisterskich, studentów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, studiujących na kierunku budownictwo. Praca mojego dyplomanta mgr inż. Dominika Kożucha pt. *The assessment of microstructural and strength parameters of composites with addition of cenospheres* zajęła I miejsce w kategorii prac magisterskich badawczych w konkursie na najlepszą pracę dyplomową organizowanym pod patronatem Dziekana WBiIS/ZUT w Szczecinie, PZITB/Oddział w Szczecinie, ZOITB/o. Szczecin, SITK RP/o. Szczecin oraz firm działających w branży budowlanej.

Jestem też współautorem publikacji naukowych powstałych na podstawie danych zebranych w ramach przygotowywania prac dyplomowych, czego najlepszym przykładem jest praca opublikowana w prestiżowym Cement and Concrete Research pt. *Hygrothermal and strength properties of cement mortars containing cenospheres* (J. Strzałkowski, A. Stolarska, D. Kożuch, J. Dmitruk). Inną wyróżniającą się publikacją powstałą we współpracy z dyplomantem jest praca pt. *Wpływ mostków termicznych oraz zawilgocenia ściany zewnętrznej na przenikanie ciepła* opublikowana w czasopiśmie Materiały Budowlane (J. Strzałkowski, A. Stolarska, T. Stelmaszczyk).

Staram się także motywować studentów do rozwoju naukowego. W latach 2017 – 2020 byłem opiekunem Koła Naukowego Młodzi Inżynierowie PZITB. Wraz ze studentami opracowaliśmy m.in. kompozytowe elementy światło-przepuszczalne na bazie zapraw cementowych, czego efekty były prezentowane na Targach Budowlanych Building Solutions 21-23.04.2017 Ptak Warsaw. Członkowie Koła zdobyli m. in. pierwsze miejsce za przygotowanie i prezentację referatu pt. „Ocena właściwości zapraw z udziałem mielonej słuczki i nanokrzemionki” na III Ogólnopolskiej Sesji Studenckich Kół Naukowych 2017 w bloku Architektura i Budownictwo oraz trzecie miejsce za prezentację referatu pt. „Analiza wpływu drobnoziarnistych recyklatów mineralnych na skurcz zapraw cementowych” na IV Ogólnopolskiej Sesji Studenckich Kół Naukowych 2019.

Aktywnie uczestniczę także w działaniach popularyzujących naukę takich jak program ZUT – Dziecięcy Uniwersytet Technologicznych DUTEK, w ramach którego prowadziłem ćwiczenia dla dzieci w wieku szkolnym. W lutym 2023 r. organizowałem także zajęcia dla dzieci z Przedszkola Publicznego nr 10 w Szczecinie, w ramach których prezentowałem stanowiska badawcze wydziału oraz z udziałem dzieci przeprowadzałem badania termowizyjne. Współorganizowałem także piknik OZE (wrzesień 2021 r.) w ramach projektu Interreg INT 190. Głównym celem pikniku było promowanie wykorzystywania OZE w życiu codziennym, wskazanie na potrzeby przeprowadzenia transformacji energetycznej na poziomie lokalnym i globalnym, kształtowanie akceptowalności społecznej dla przemian energetycznych. Celem uzupełniającym była promocja projektu MoRE oraz Uczelni.

W ramach działalności organizacyjno-dydaktycznej staram się rozwijać laboratoryjną bazę dydaktyczną. Przygotowałem stanowiska do pomiarów właściwości cieplnych materiałów budowlanych, które wykorzystywane są na zajęciach ze studentami w ramach przedmiotu materiały budowlane. W 2021 roku zostałem za to wyróżniony nagrodą III stopnia za działalność dydaktyczną przez Rektora ZUT w Szczecinie. Przygotowałem także nowe stanowiska służące do pomiarów przepuszczalności promieniowania widzialnego oraz UV przez szyby.

Na co dzień prowadzę internetowy profil ResearchGate skierowany do naukowców, w którym prezentuję swoje dokonania naukowe oraz komunikuję się i nawiązuję kontakty z naukowcami z całego świata.

## 6.2 Działalność organizacyjna i inżynierska

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora moja działalność organizacyjna obejmowała uczestnictwo w ponad trzydziestu komisjach egzaminów dyplomowych. Czynnie uczestniczę także w organizacji imprez promocyjnych na rzecz ZUT w Szczecinie takich jak Dni Otwarte, Dziecięcy Uniwersytet Technologiczny oraz organizacji innych zajęć popularnonaukowych dla uczniów i przedszkolaków. Zajmuję się także ewidencją sprzętu w ramach Katedry Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych.

Byłem także współorganizatorem konferencji naukowej 2nd International Conference on Sustainable, Environmental Friendly Construction Materials ICSEFCM 2021 zorganizowanej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska w ramach programu PROM finansowanego przez NAWA. Współorganizowałem warsztaty dla doktorantów w ramach 1st International Workshop for PhD Students – Building Materials and Environmental Aspects in Civil Engineering Practice 2021. W ramach warsztatów prezentowałem metody badawcze związane z wpływem mikrostruktury materiałów budowlanych na ich właściwości cieplne.

Moja działalność inżynierska zaowocowała realizacją licznych opracowań technicznych, projektów inżynierskich, a także charakterystyk energetycznych budynków. Na wyróżnienie zasługują opracowania techniczne dotyczące właściwości cieplnych płyt warstwowych i ściennych wykonywane na rzecz firmy Pruszyński Sp. z o. o., obliczenia dynamicznych charakterystyk cieplnych wyrobów murowych firmy Wienerberger, liczne opracowania dotyczące charakterystyki porów powietrznych w betonach, analizy cieplne przegród budowlanych wykonanych na zlecenie m. in. firmy Erbud, badania właściwości cieplnych różnego rodzaju materiałów budowlanych i inne.

Uczestniczyłem w wielu opracowaniach inwentaryzacyjnych obiektów budowlanych, ekspertyz oceny stanu technicznego oraz opracowaniach dokumentacji projektowych branży konstrukcyjnej. Posiadam uprawnienia budowlane w specjalności konstrukcyjno-budowlanej bez ograniczeń. Od 2019 roku jestem także członkiem Zrzeszenia Audytorów Energetycznych. W latach 2018 – 2024 sporządziłem ponad 250 charakterystyk energetycznych oraz świadectw charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku. Moja zawodowa działalność inżynierska została szerzej przedstawiona w zał. 5 pkt. III. 5.

## 7 DODATKOWE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ

### 7.1 Uzyskane nagrody i wyróżnienia

- 2024** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2023)
- 2023** Dyplom uznania za przygotowanie posteru: *Badania sondażowe lekkiego porowatego kompozytu cementowego – betonu żelowego* na VIII Konferencji Solina 2023 Rozwój Zrównoważony organizowanej przez Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej – potwierdzenie 8.1
- 2023** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2022)
- 2022** Ogólnopolska nagroda Zielonego Feniksa dla zespołu za osiągnięcia naukowe i badawcze w zakresie ekoenergetyki za realizację polsko-niemieckiego projektu INT190 MoRE – Modelowy Region Energii Odnawialnych Wysp Uznam i Wolin
- 2021** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2020)
- 2021** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia dydaktyczne (za rok 2020)
- 2021** Nagroda Ministra Rozwoju i Technologii RP za wyróżniającą się pracę doktorską – potwierdzenie pkt 8.2
- 2019** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2018)
- 2019** Wyróżnienie rozprawy doktorskiej uchwałą nr 263/2018/2019 Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie – potwierdzenie pkt 8.3.
- 2017** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2016)
- 2016** Nagroda indywidualna I stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2015)
- 2015** Wyróżnienie za wynik zdanego w listopadzie 2015 r. egzaminu na uprawnienia budowlane w specjalności konstrukcyjno-budowlanej bez ograniczeń – potwierdzenie pkt 8.4
- 2013** Wyróżnienie w konkursie „na najlepszą pracę magisterską” dla absolwentów Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, organizowanym przez Polski Związek Techników i inżynierów Budownictwa/Oddział w Szczecinie, Zachodniopomorską Okręgową Izbę Inżynierów Budownictwa i Wydział Budownictwa i Architektury, Szczecin, 2013 r. oraz firm działających w branży budowlanej – potwierdzenie pkt 8.5.



## 8 ZAŁĄCZNIKI

Załącznik zawiera wybrane dokumenty potwierdzające zdobycie najważniejszych nagród, odbycie stażu naukowego, oraz uzyskanych grantów badawczych.

Nr	Nazwa	Nr strony w zał. 3 wniosku
8.1	Dyplom uznania za przygotowanie posteru: <i>Badania sondażowe lekkiego porowatego kompozytu cementowego – betonu żelowego</i> na VIII Konferencji Solina 2023 Rozwój Zrównoważony organizowanej przez Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej	42
8.2	Nagroda Ministra Rozwoju i Technologii RP za wyróżniającą się pracę doktorską w edycji 2021 r.	43
8.3	Wyróżnienie rozprawy doktorskiej uchwałą nr 263/2018/2019 Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie	44
8.4	Wyróżnienie za wynik zdanego w listopadzie 2015 r. egzaminu na uprawnienia budowlane w specjalności konstrukcyjno-budowlanej bez ograniczeń przyznane przez Zachodniopomorską Okręgową Izbę Inżynierów budownictwa	45
8.5	Wyróżnienie w konkursie „na najlepszą pracę magisterską” dla absolwentów Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, organizowanym przez Polski Związek Techników i Inżynierów Budownictwa/Oddział w Szczecinie, Zachodniopomorską Okręgową Izbę Inżynierów Budownictwa i Wydział Budownictwa i Architektury, Szczecin, 2013 r.	46
8.6	Decyzja Dyrektora Narodowego Centrum Nauki nr DEC-2014/13/N/ST8/00091 o przyznaniu środków na realizację projektu badawczego w ramach konkursu PRELUDIUM 7 pt. <i>Modyfikacja kompozytów betonowych w kierunku poprawy pojemności cieplnej i izolacyjności cieplnej oraz równoczesnego zagwarantowania odpowiedniej wytrzymałości</i>	47
8.7	Decyzja Dyrektora Narodowego Centrum Nauki nr DEC-2023/51/D/ST8/00107 o przyznaniu środków na realizację projektu badawczego w ramach konkursu SONATA 19 pt. <i>Kompleksowe badania struktury lekkich kompozytów cementowych o wysokiej porowatości – beton żelowy</i>	49
8.8	Potwierdzenie odbycia stażu naukowego na Uniwersytecie Arystotelesa w Salonikach w Grecji na Wydziale Inżynierii Lądowej w Laboratorium Materiałów Budowlanych.	51

.....  
(podpis wnioskodawcy)

Nr 8.1



**VIII KONFERENCJA  
SOLINA 2023**



**ROZWÓJ ZRÓWNOWAŻONY**  
Architektura - Budownictwo - Inżynieria Środowiska - Geodezja - Energetyka - Transport  
Innowacyjne technologie energoefektywne  
- źródła energii, racjonalne zużycie energii -  
Energia niskoemisyjna przyjazna dla środowiska

20 - 24 czerwca 2023 roku

# DYPLOM

uznania  
dla

dr inż. Jarosław Strzałkowski i prof. Halina Garbalińska

za przedstawienie referatu:

Badania sandazare lekkiego porowatego  
kamyczki cementowego – betonu żelaznego

który został uznany jako wyróżniający w obradach konferencyjnych

Organizator Konferencji

Przewodniczący Sesji

KIEROWNIK KATEDRY  
BUDOWNICTWA OGÓLNEGO  
  
prof. dr hab. inż. Lech Lichoński

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury,  
Katedra Budownictwa Ogólnego, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów  
tel.: 17 8651728, 17 8651178, 17 8651025

<https://kbo.prz.edu.pl>

e-mail: [solina@prz.edu.pl](mailto:solina@prz.edu.pl)

Nr 8.2



Nr 8.3

**Uchwała nr 263/2018/2019**  
**Rady Wydziału Budownictwa i Architektury**  
**Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie**  
z dnia 30 września 2019 r.

w sprawie: **wyróżnienia rozprawy doktorskiej mgr inż. Jarosława Strzałkowskiego**

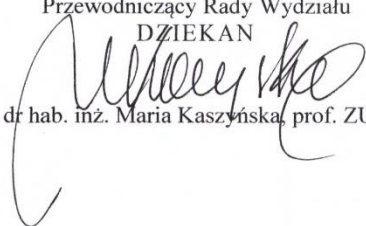
§ 1.

Rada Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie na wniosek Komisji ds. przewodu doktorskiego mgr inż. Jarosława Strzałkowskiego wyróżnia rozprawę doktorską mgr inż. Jarosława Strzałkowskiego na temat: „*Modyfikacja kompozytów betonowych pod względem izolacyjności i akumulacyjności cieplnej oraz wytrzymałości*”.

§ 2.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodniczący Rady Wydziału  
DZIEKAN

  
dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. ZUT

Nr 8.4

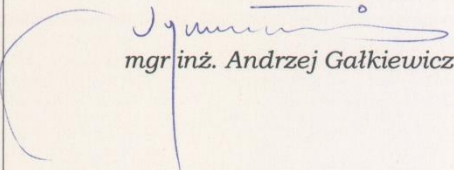
**LIST GRATULACYJNY**

Koledze **Jarosławowi Strzałkowskiemu**

w imieniu Zachodniopomorskiej Okręgowej  
Izby Inżynierów Budownictwa  
oraz Okręgowej Komisji Kwalifikacyjnej

wyrażamy uznanie za wyróżniający się wynik  
zdanego w listopadzie 2015 r.  
egzaminu na uprawnienia budowlane  
w specjalności konstrukcyjno-budowlanej  
bez ograniczeń

Przewodniczący  
Okręgowej Komisji Kwalifikacyjnej

  
mgr inż. Andrzej Gałkiewicz

Przewodniczący Rady Okręgowej

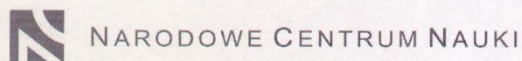
  
prof. dr hab. inż. Zygmunt Meyer

Szczecin, 21 grudnia 2015r.

Nr 8.5



Nr 8.6



NARODOWE CENTRUM NAUKI

Kraków, ...04...12...2014

## DECYZJA

DYREKTORA NARODOWEGO CENTRUM NAUKI

Nr DEC-2014/13/N/ST8/00091

Na podstawie art. 33 ust. 1 ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Nauki (Dz. U. z 2010 r. Nr 96, poz. 617 z późn. zm.) po rozpatrzeniu wniosku o finansowanie projektu badawczego nr rejestracyjny **2014/13/N/ST8/00091**, który złożył/a/o **Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie** w ramach konkursu PRELUDIUM na realizację projektów badawczych

## przyznaję

podmiotowi:

**Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie**

pod warunkiem przedłożenia w Narodowym Centrum Nauki w terminie 2 miesięcy od dnia doręczenia niniejszej decyzji projektu umowy o realizację i finansowanie projektu badawczego,

środki finansowe w wysokości: **149 900,00** zł (słownie: sto czterdzieści dziewięć tysięcy dziewięćset złotych),

na realizację projektu badawczego pt.

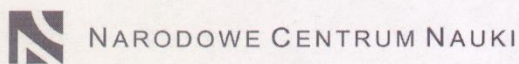
**Modyfikacja kompozytów betonowych w kierunku poprawy pojemności cieplnej i izolacyjności cieplnej oraz równoczesnego zagwarantowania odpowiedniej wytrzymałości**

który realizować będzie **Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury**. Kierownikiem projektu będzie **mgr inż. Jarosław Aleksander Strzałkowski**.

Niedotrzymanie ww. terminu jest równoznaczne z rezygnacją z zawarcia umowy o realizację i finansowanie projektu.

---

NARODOWE CENTRUM NAUKI  
UL. KRÓLEWSKA 57, 30-081 KRAKÓW, TEL. +48 123419000, FAX 123419099, E-MAIL: [biuro@ncn.gov.pl](mailto:biuro@ncn.gov.pl)  
REGON: 121361537, NIP: 6762429638



NARODOWE CENTRUM NAUKI

Uzasadnienie

Na podstawie art. 107 § 4 ustawy z dnia 14 czerwca 1960 r. – Kodeksu postępowania administracyjnego (Dz. U. z 2000 r. Nr 98, poz. 1071 z późn. zm.) odstąpiono od sporządzenia uzasadnienia.

Projekt umowy o realizację i finansowanie projektu badawczego wraz z załącznikami dostępny jest w systemie OSF administrowanym przez Ośrodek Przetwarzania Informacji (OPI).

Projekt umowy należy doręczyć do Narodowego Centrum Nauki podpisany przez osobę/y umocowaną/e do podpisywania umów w imieniu wnioskodawcy oraz przez kierownika projektu badawczego.

Pouczenie:

Na podstawie art. 33 ust. 2 ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Nauki wnioskodawcy przysługuje odwołanie do Komisji Odwoławczej Rady Narodowego Centrum Nauki mieszczącej się w Krakowie 30-081, przy ul. Królewskiej 57, w terminie 14 dni od dnia doręczenia niniejszej decyzji. Odwołanie składa się pisemnie za pośrednictwem Dyrektora Narodowego Centrum Nauki, 30-081 Kraków, ul. Królewska 57.

ZASTĘPCA DYREKTORA  
NARODOWEGO CENTRUM NAUKI  
Justyna WoźniakowskaOtrzymują:

1. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
adres: al. Piastów 17, 70-310 Szczecin, zachodniopomorskie
2. mgr inż. Jarosław Aleksander Strzałkowski  
Kierownik projektu nr 2014/13/N/ST8/00091
3. aa

---

NARODOWE CENTRUM NAUKI  
UL. KRÓLEWSKA 57, 30-081 KRAKÓW, TEL. +48 123419000, FAX 123419099, E-MAIL: biuro@ncn.gov.pl  
REGON: 121361537, NIP: 6762429638



Nr 8.7



NARODOWE CENTRUM NAUKI

DOW.42.121.3.2023

Kraków, dnia 24-05-2024

**DECYZJA**  
**DYREKTORA NARODOWEGO CENTRUM NAUKI**  
**Nr DEC-2023/51/D/ST8/00107**

Na podstawie art. 33 ust. 1 i 4 w związku z art. 20 ust. 1 pkt 1) w zw. z art. 21 w zw. z art. 30 ust. 1 - 3 oraz w zw. z art. 24 ust. 1 pkt 4) i 5) ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Nauki (t.j. Dz.U. z 2023 r. poz. 153) po rozpatrzeniu wniosku o finansowanie projektu badawczego o nr rejestracyjnym 2023/51/D/ST8/00107 złożonego w ramach konkursu SONATA 19 na projekty badawcze

**przyznaję**

podmiotowi będącemu wnioskodawcą:

**Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie**

środki finansowe w wysokości: **365 420 zł** (słownie: trzysta sześćdziesiąt pięć tysięcy czterysta dwadzieścia zł)

na realizację projektu badawczego

**pt. Kompleksowe badania struktury lekkich kompozytów cementowych o wysokiej porowatości - beton żelowy,**

który realizować będzie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska.

Kierownikiem projektu będzie **Pan/i dr inż. Jarosław Aleksander Strzałkowski,**

z zastrzeżeniem dopełnienia następującej czynności: przedłożenia projektu umowy o realizację i finansowanie projektu badawczego podpisanego przez osobę/y umocowaną/e do podpisywania umów w imieniu wnioskodawcy oraz kierownika projektu.

Projekt umowy należy podpisać w formacie PAdES zaawansowanym podpisem elektronicznym lub kwalifikowanym podpisem elektronicznym zgodnym z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 910/2014 z dnia 23 lipca 2014 r. w sprawie identyfikacji elektronicznej i usług zaufania w odniesieniu do transakcji elektronicznych na rynku wewnętrznym oraz uchylające dyrektywę 1999/93/WE.

Projekt umowy należy przesłać na adres Elektronicznej Skrzynki Podawczej Narodowego Centrum Nauki: /ncn/SkrytkaESP, w terminie 2 miesięcy od dnia doręczenia niniejszej decyzji wnioskodawcy.

Niedotrzymanie ww. terminu skutkować będzie odmową podpisania umowy przez Narodowe Centrum Nauki oraz uchynieniem niniejszej decyzji w trybie art. 162 § 2 ustawy z dnia

---

NARODOWE CENTRUM NAUKI

UL. TWARDOWSKIEGO 16, 30-312 KRAKÓW, TEL. +48 123419001, FAX 123419099, E-MAIL:

[biuro@ncn.gov.pl](mailto:biuro@ncn.gov.pl)

REGON: 121361537, NIP: 6762429638



14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (t.j. Dz.U. z 2023 r. poz. 775 z późn.zm.).

Projekt umowy o realizację i finansowanie projektu badawczego wraz z załącznikami dostępny jest w systemie OSF (Obsługa Strumieni Finansowania) na stronie <https://osf.opi.org.pl/>.

Adresat niniejszej decyzji, przedkładając ww. umowę zobowiązuje się do niewydatkowania przyznanych niniejszą decyzją środków na wskazane przez Zespół Ekspertów na etapie oceny wniosku koszty niekwalifikowalne, zgodnie z Kosztami w projektach badawczych, które stanowią załącznik nr 2 do Regulaminu przyznawania środków na realizację zadań finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki w zakresie projektów badawczych, określonego uchwałą Rady NCN, w brzmieniu mającym zastosowanie dla konkursu SONATA 19, którego tekst jednolity stanowi załącznik do uchwały Rady Narodowego Centrum Nauki nr 50/2023 z dnia 11 maja 2023 r. Wykaz kosztów uznanych za niekwalifikowane znajduje się w uzasadnieniu oceny wniosku w systemie OSF (Obsługa Strumieni Finansowania) dostępnym na stronie <https://osf.opi.org.pl/>.

### Uzasadnienie

Z uzasadnieniem oceny wniosku można zapoznać się poprzez system OSF (Obsługa Strumieni Finansowania) dostępny na stronie <https://osf.opi.org.pl/>.

### Pouczenie:

Na podstawie art. 33 ust. 2 ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Nauki, w przypadku naruszenia procedury konkursowej lub innych naruszeń formalnych, wnioskodawcy przysługuje odwołanie do Komisji Odwoławczej Rady Narodowego Centrum Nauki, której siedziba mieści się w Krakowie przy ul. Twardowskiego 16, 30-312 Kraków w terminie 14 dni od dnia doręczenia niniejszej decyzji.

Odwołanie składa się za pośrednictwem Dyrektora Narodowego Centrum Nauki, w formie pisemnej, na adres: ul. Twardowskiego 16, 30-312 Kraków albo podpisane w formacie PAdES zaawansowanym podpisem elektronicznym lub kwalifikowanym podpisem elektronicznym zgodnym z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 910/2014 z dnia 23 lipca 2014 r. w sprawie identyfikacji elektronicznej i usług zaufania w odniesieniu do transakcji elektronicznych na rynku wewnętrznym oraz uchylające dyrektywę 1999/93/WE na adres Elektronicznej Skrzynki Podawczej Centrum: /ncn/SkrytkaESP.

Zgodnie z treścią art. 127a ustawy z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (t.j. Dz.U. z 2023 r. poz. 775 z późn.zm.) przed upływem terminu do wniesienia odwołania strona może zrzec się prawa do wniesienia odwołania wobec organu administracji publicznej, który wydał decyzję. Z dniem doręczenia organowi administracji publicznej oświadczenia o zrzeczeniu się prawa do wniesienia odwołania przez ostatnią ze stron postępowania, decyzja staje się ostateczna i prawomocna.

z upoważnienia Dyrektora Narodowego Centrum Nauki  
Kierownik Działu Obsługi Wniosków  
Katarzyna Sadowska-Likos

---

### NARODOWE CENTRUM NAUKI

UL. TWARDOWSKIEGO 16, 30-312 KRAKÓW, TEL. +48 123419001, FAX 123419099, E-MAIL:

[biuro@ncn.gov.pl](mailto:biuro@ncn.gov.pl)

REGON: 121361537, NIP: 6762429638

Nr 8.8

HELLENIC REPUBLIC



SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
LABORATORY OF BUILDING MATERIALS  
MARIA STEFANIDOU PROFESSOR

Thessaloniki, 2/10/2024

ARISTOTLE  
UNIVERSITY OF  
THESSALONIKI

Tel: +30 2310 99 5783

e-mail: stefan@civil.auth.gr

Professor Maria Stefanidou  
Head of the Laboratory  
Laboratory of Building Materials  
Aristotle University of Thessaloniki  
Polytechnic School, Civil Engineering Department  
54124, Thessaloniki, Greece

### Confirmation of internship

The purpose of the memorandum is to confirm that dr Jarosław Strzałkowski has completed an internship in the Laboratory of Building Materials of the Department of Civil Engineering in Aristotle University of Thessaloniki. The internship took place from November 1-10, 2023, after which the cooperation was continued remotely.

During the internship, he was responsible for producing cement composites with the addition of production waste – ground lavender powders and powders derived from black pine wood. As part of the internship, dr Strzałkowski conducted series of tests on compressive and flexural strength, as well as microstructural studies, including measurements using mercury porosimetry and tests with a scanning electron microscope. A key part of the research involved measuring hygrothermal properties, including water absorption, capillary rise, sorption and desorption tests using a dynamic vapor sorption analyzer (DVS), and thermal properties tests conducted using both stationary techniques (with a heat flow meter apparatus) and non-stationary techniques (with a CTherm device).

The results of the performed research will be published in a peer-reviewed journal indexed in WoS and Scopus. Its working title is *Lavender and black pine waste as additives enhancing selected mechanical and hygrothermal properties of cement mortars*.

Our department is interested in continuation of the collaboration with dr Jarosław Strzałkowski.

Sincerely yours

Maria Stefanidou

Maria Stefanidou  
02.10.2024 08:15

Maria Stefanidou  
Professor AUTH