

Dr inż. Adam Zieliński

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu

al. Piastów 50a, 70-311 Szczecin

AUTOREFERAT

Omówienie cyklu publikacji pt.:

**„Podatność na pękanie i odkształcenia skurczowe kompozytów cementowych
nowej generacji”**

Szczecin, 26 września 2023 r.

Spis treści

1	IMIĘ I NAZWISKO	3
2	POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE	3
3	INFORMACJE 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.	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	Problematyka obecnych technik badawczych i autorskie metody pomiarowe ..	11
4.3.4	Wpływ składu kompozytów cementowych na rodzaj odkształceń skurczowych	13
4.3.5	Ryzyko pęknięcia i symulacje obliczeniowe podatności na pęknięcie w wyniku ograniczenia odkształceń skurczowych.....	17
4.3.6	Charakterystyka zjawisk skurczowych i efektywność zabiegów pielęgnacyjnych w kompozytach cementowych wykonywanych w technologii przyrostowej.....	22
4.3.7	Podsumowanie	26
4.3.8	Aktualnie realizowane problemy badawcze.....	27
4.4	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	29
4.5	Podsumowanie najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych	30
5	INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ	32
6	INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ	33
6.1	Działalność dydaktyczna, działalność na rzecz rozwoju kadry naukowej i popularyzująca naukę.....	33
6.2	Działalność organizacyjna i inżynierska	35
7	DODATKOWE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ	36
7.1	Uzyskane nagrody i wyróżnienia.....	36
7.2	Stypendia naukowe	36
8	ZAŁĄCZNIKI	37

1 IMIĘ I NAZWISKO

Adam Zieliński

2 POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

2010 r. **Dyplom inżyniera budownictwa**

Specjalizacja: **konstrukcje budowlane i inżynierskie**

Politechnika Szczecińska, Wydział Budownictwa i Architektury

Kierunek: Budownictwo

Studia stacjonarne pierwszego stopnia – inżynierskie

2012 r. **Dyplom magistra inżyniera budownictwa**

Specjalizacja: **konstrukcje budowlane i inżynierskie**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
(dawniej Politechnika Szczecińska), Wydział Budownictwa i Architektury

Kierunek: Budownictwo

Studia stacjonarne drugiego stopnia – magisterskie

Praca magisterska:

Temat pracy: *Badanie skurczu ograniczonego lekkich betonów samozagęszczalnych metodą pierścieniową.*

Promotor pracy magisterskiej: dr inż. Maria Kaszyńska

Nagrody:

- **I miejsce** 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. 8.1).
- **III miejsce** w konkursie „na najlepszą pracę dyplomową w roku 2012”, organizowanym przez Fundację Cement, Wapno, Beton, Kraków, 2013 r. (kopia dyplomu - pkt. 8.2).

2018 r. **Stopień doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo**, nadany uchwałą nr 179/2017/2018 i **wyróżnienie rozprawy doktorskiej** uchwałą nr 180/2017/2018 Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 13.06.2018 r.

Rozprawa doktorska:

Tytuł: *Skurcz autogeniczny betonów samozagęszczalnych.*

Promotor w przewodzie doktorskim:

- dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. ZUT, ZUT w Szczecinie

Recenzenci rozprawy doktorskiej:

- prof. dr hab. inż. Kazimierz Flaga, Politechnika Krakowska,

- prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz, Politechnika Warszawska.

Nagrody:

- **Nagroda Ministra Inwestycji i Rozwoju RP** za wyróżniającą się pracę doktorską w edycji 2018 r. (potwierdzenie - pkt. 8.3).
- **Nagroda Prezesa Rady Ministrów RP** za wyróżniającą się pracę doktorską w edycji 2018 r. (kopia dyplomu - pkt. 8.4).

3 INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Od 05.2012 r. do chwili obecnej:

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

(do 01.10.2020 r. Wydział Budownictwa i Architektury)

Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu

05.2012 r. – 06.2018: stanowisko: **Asystent badawczo-dydaktyczny**,

06.2012 r. – 07.2018: stanowisko: **Asystent z dr. badawczo-dydaktyczny**,

08.2018 – 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:

Podatność na pękanie i odkształcenia skurczowe kompozytów cementowych nowej generacji

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 omawiania w dalszej części autoreferatu. 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.

[A1] **Zieliński A.*** *Skurcz autogeniczny betonów wysokowartościowych*, Inżynieria i Budownictwo 7/2021, s. 348 – 350, ISSN 0021-0315.

(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 40 pkt.) [obecnie 100 pkt.]

[A2] ¹⁾**Zieliński A.*** *Ulepszenie normowych metod pomiarowych do rejestracji skurczu autogenicznego materiałów o matrycy cementowej*, Materiały Budowlane 10, s. 87-90, 2018, ISSN 0137-2971, DOI: 10.15199/33.2018.10.27

(Lista MNiSW: B, Punktacja MNiSW: 8 pkt.) [obecnie 140 pkt.]

[A3] **Zieliński A.** *Stanowiska do pomiaru odkształcalności materiałów o matrycy na bazie spoiwa mineralnego lub organicznego*, Patent: data zgłoszenia w UPRP: 03.12.2019 r., nr zgłoszenia P.432059, zakres terytorialny ochrony: Polska, udzielenia prawa: 14.11.2022 r. WUP 46/22, numer prawa: PL.241667. Sprzedaż licencji: nr L-2/2021, 02.08.2021 r.

- [A4] **Zieliński A.** *Sposób badania oddziaływań więzów wewnętrznych lub zewnętrznych lub zjawisk pielęgnacyjnych na ograniczenie swobodnej odkształcalności materiałów o matrycy na bazie spoiwa mineralnego lub organicznego i stanowisko do ich rejestrowania*, Patent: data zgłoszenia w UPRP: 03.12.2019 r., nr zgłoszenia P.432057, zakres terytorialny ochrony: Polska, udzielenia prawa: 13.06.2022 r. WUP 24/22, numer prawa: PL.240852. Sprzedaż licencji: nr L-2/2021, 02.08.2021 r.
- [A5] Kaszyńska M., **Zieliński A.*** *Autogenous Shrinkage in Self-Consolidating Concrete*, ACI Special Publication, SP-340, Farmington Hills, MI, 2020, pp. 97-113. (ISBN: 9781641951012)
(Rozdział w monografii - publikacja indeksowana w bazach Scopus)
- Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części ilustracyjnej; autor prawa własności intelektualnej na stanowisko badawcze wykorzystane w publikacji, pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.
- [A6] **Zieliński A.***, Kapelusznia E. *Analysis of the development of autogenous shrinkage of CEM I 42.5R and CEM III/A 42.5N cement pastes with different water to cement ratios*, Cement Wapno Beton, 28(1), 40–55, 2023, DOI: 10.32047/CWB.2023.28.1.4
(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 200 pkt. IF=0,759. Publikacja indeksowana w bazach WoS, Scopus)
- Udział merytoryczny: sformułowanie problemu badawczego, opracowanie koncepcji badań i przeprowadzenie badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części ilustracyjnej; autor prawa własności intelektualnej na stanowisko badawcze wykorzystane w publikacji, pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.
- [A7] **Zieliński A.***, Wolka P., Żebrowski W. *Wpływ dodatku metakaolinu na skurcz autogeniczny i całkowity materiałów o matrycy cementowej*, Materiały Budowlane, 12, s. 125-130, 2022, ISSN: 0137-2971; DOI: 10.15199/33.2022.12.33
(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 100 pkt.) [obecnie 140 pkt.]
- Udział merytoryczny: sformułowanie problemu badawczego, opracowanie koncepcji badań i przeprowadzenie badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części ilustracyjnej; autor prawa własności intelektualnej na stanowisko badawcze wykorzystane w publikacji, pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.
- [A8] **Zieliński A.***, Kaszyńska M. *Calibration of Steel Rings for the Measurement of Strain and Shrinkage Stress for Cement-Based Composites*, Materials, 13(13), 2963, s. 1-15, 2020, ISSN 1996-1944, DOI: 10.3390/ma13132963
(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 140 pkt. IF=3,623. Publikacja indeksowana w bazach WoS, Scopus)
- Udział merytoryczny: sformułowanie problemu badawczego, opracowanie koncepcji badań i przeprowadzenie badań laboratoryjnych; analiza wyników i formułowanie wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części ilustracyjnej; wiodący udział w autorstwie prawa własności intelektualnej wykorzystanego w publikacji; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.
- [A9] **Zieliński A.***, Schindler A.K., Kaszyńska M., *Cracking risk of high-performance cement composites due to restrained autogenous shrinkage with and without*

soaked lightweight aggregate, Archives of Civil Engineering, 4/2023, (przyjęty do druku)

(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 140 pkt. IF=0.75. Publikacja indeksowana w bazach WoS, Scopus)

Udział merytoryczny: sformułowanie problemu badawczego, opracowanie koncepcji badań i przeprowadzenie badań laboratoryjnych; współautorstwo analizy wyników i sformułowania wniosków; przeprowadzenie i dobór przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; opracowanie części ilustracyjnej; autor i współautor praw własności intelektualnych wykorzystanych w publikacji, pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

- [A10] ¹⁾Radlińska A.*, Kaszyńska M., Zieliński A., Ye H. *Early-age cracking of self-consolidating concrete with lightweight and normal aggregates*, Journal of Materials in Civil Engineering, 30(10), s. 1-9, 2018, ISSN: 0899-1561, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002407

(Lista MNiSW: A, Punktacja MNiSW: 30 pkt. IF=1,984. Publikacja indeksowana w bazach WoS, Scopus) [obecnie 100 pkt.]

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych i symulacyjnych; współudział w analizie wyników i formułowaniu wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doborze przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; współudział w opracowaniu części ilustracyjnej; wiodący udział w autorstwie prawa własności intelektualnej na stanowisko badawcze wykorzystane w publikacji.

- [A11] Frankowski P.*, Chady T.*, Zieliński A.* *Magnetic force induced vibration evaluation (M5) method for frequency analysis of rebar-debonding in reinforced concrete*, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 182, 109655, s. 1-18, 2021, ISSN: 0263-2241, DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109655

(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 200 pkt. IF=5,131. Publikacja indeksowana w bazach WoS, Scopus)

Udział merytoryczny: współudział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych w zakresie technologii betonu; współudział przy analizie wyników i formułowaniu wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doborze przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; współudział w opracowaniu części ilustracyjnej; pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

- [A12] Hoffmann M.*, Skibicki S.*, Pankratow P., Zieliński A., Pajor M., Techman M. *Automation in the Construction of a 3D-Printed Concrete Wall with the Use of a Lintel Gripper*, Materials, 13, 1800, s. 1-15, 2020, ISSN 1996-1944, DOI: 10.3390/ma13081800

(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 140 pkt. IF=3,623. Publikacja indeksowana w bazach WoS, Scopus)

Udział merytoryczny: współudział w grupie technologicznej wykonującej badania nad mieszanką cementową do druku 3D, współudział w analizie wyników i formułowaniu wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doborze przeglądu literatury; współudział w redagowaniu pierwszej wersji tekstu manuskryptu i wersji po poprawkach recenzyjnych; współudział w opracowaniu części ilustracyjnej; autorstwo analizy pęknięcia modelu ściany betonowej wykonanej w technologii 3D.

- [A13] Zieliński A.*, Skibicki S. *Wpływ składu kompozytów cementowych wykonanych w technologii druku 3D na rozwój odkształceń skurczowych*, Materiały konferencyjne: Dni Betonu: tradycja i nowoczesność, Wisła, 9-11 października 2023, red. Piotr Kijowski, Jan Deja – Kraków: Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2023, (przyjęty do druku)

Udział merytoryczny: wiodący udział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; współudział w analizie wyników i formułowaniu wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doboru przeglądu literatury; wiodący udział w redagowaniu tekstu manuskryptu; współudział w opracowaniu części ilustracyjnej; wiodący udział w autorstwie stanowiska badawczego wykorzystanego w publikacji, pełnienie funkcji autora korespondencyjnego.

[A14] Federowicz K.*, Kaszyńska M., **Zieliński A.**, Hoffmann M. *Effect of Curing Methods on Shrinkage Development in 3D-Printed Concrete*, Materials, 13, 2590, s. 1-14, 2020, ISSN 1996-1944, DOI: 10.3390/ma13112590

(Lista MEiN: tak, Punktacja MEiN: 140 pkt. IF=3,623. Publikacja indeksowana w bazach WoS, Scopus)

Udział merytoryczny: wiodący udział w sformułowaniu problemu badawczego, opracowaniu koncepcji i metodologii badań i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych; współudział w analizie wyników i formułowaniu wniosków; współudział w przeprowadzeniu i doboru przeglądu literatury; współudział w redagowaniu wersji tekstu manuskryptu po poprawkach recenzyjnych; współudział w opracowaniu części ilustracyjnej; wiodący udział w autorstwie stanowiska badawczego wykorzystanego w publikacji.

Oznaczenia:

¹⁾ punktacja wg "starej" listy MNiSW obowiązującej do roku 2018,

* oznacza osobę pełniącą funkcję autora korespondencyjnego.

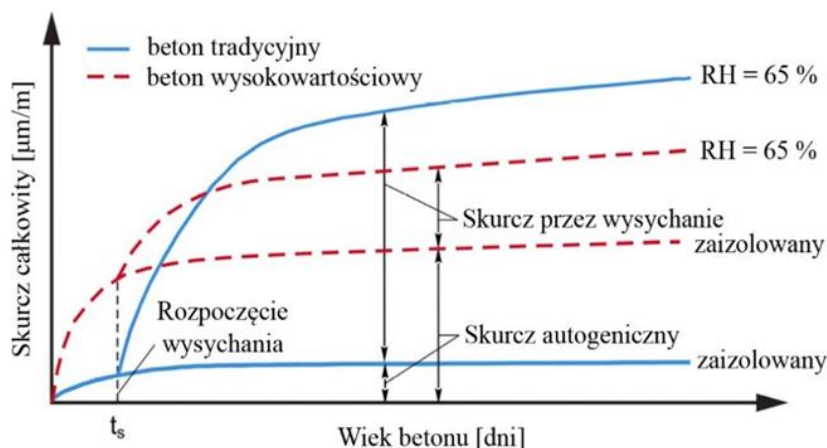
Zgodnie z zaleceniami RDN: „W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez habilitanta oraz współautorów wskazujące na ich merytoryczny (a NIE procentowy) wkład w powstanie każdej pracy [np. twórca hipotezy badawczej, pomysłodawca badań, wykonanie specyficznych badań (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

Kompozyty cementowe to obecnie najczęściej stosowany i najprężniej rozwijający się materiał budowlany na świecie. Połączenie zaczynu cementowego (matrycy) z wypełniaczem (kruszywem) umożliwia powstanie mieszanek cementowych o różnej konsystencji, a po zakończeniu czasu wiązania – materiałów cementowych o różnej wytrzymałości.

Kluczową problematyką materiałów cementowych jest brak możliwości aktywnego kontrolowania ich odkształceń skurczowych. Skurcz to naturalne zjawisko polegające na zmniejszeniu objętości materiału wskutek procesów fizyko-chemicznych. Czynnikiem wpływającym na odkształcenia skurczowe materiałów cementowych w okresie ich dojrzewania są: składniki i ich udział, reakcje chemiczne zachodzące podczas hydratacji spoiwa, zmiana wilgotności między materiałem a otoczeniem, porządkowanie mikrostruktury w czasie, wpływ temperatury i karbonatyzacji. Każda z tych zmian objętościowych może powodować różne formy i wielkości skurczu, które składają się na całkowity skurcz dojrzałego betonu, (Rys.1).



Rys. 1 Schematyczny przebieg skurczu w betonach tradycyjnych i wysokowartościowych z uwzględnieniem początkowego uszczelnienia, rozformowania i wysychania [A1].

Kinetyka odkształceń skurczowych w betonach tradycyjnych jest dobrze poznana. Wysoki wskaźnik woda/cement $> 0,45$, jest odpowiedzialny za minimalny i pomijalny skurcz autogeniczny (do $80 \mu\text{m/m}$) oraz za dynamiczny skurcz przez wysychanie rozpoczynający się w momencie suszenia m.in. po rozformowaniu szalowania elementu betonowego. Podstawowym parametrem umożliwiającym wyznaczenie wielkości skurczu przez wysychanie jest wytrzymałość na ściskanie. Wzrost właściwości mechanicznych odpowiada mniej porowatej strukturze materiału i wpływa na niższą wartość skurczu przez wysychanie. Skurcz przez wysychanie jest również częściowo odwracalny, dlatego zewnętrzna pielęgnacja wodna lub okładziny paroszczelne do czasu uzyskania dostatecznej wytrzymałości materiału często są wystarczające. Zabezpieczenie jego powierzchni przed nadmierną dyfuzją pary wodnej do otoczenia zewnętrznego jest podstawową metodą ochrony przed zarysowaniem i pękaniem skurczowym oraz wpływa na trwałość konstrukcji. Z tego względu przez szereg lat do oznaczenia zmian objętościowych materiałów cementowych stosowano metodę Graf-Kaufmana (wg PN-B-06714/24:1984 – pomiar pionowy) i metodę Amslera (PN-B-06714/23:1984 – pomiar poziomy). Metody wykorzystywały/wykorzystują pomiar manualny, o niskiej precyzji pomiarowej (do $0,01 \text{ mm}$), niską rozdzielczość odkształceń (w mm/m) i nie umożliwiają rejestracji odkształceń autogenicznych materiału.

Wynalezienie w latach 70. XX wieku superplastyfikatorów pierwszej generacji (na bazie sulfonianów), a następnie w latach 90. XX wieku drugiej generacji (na bazie polikarboksylów), umożliwiło uzyskanie kompozytów cementowych nowej generacji. Możliwość obniżenia wskaźnika woda/cement do przedziału $0,20 - 0,45$, pozwoliła zacząć projektować m.in. betony wysokiej wytrzymałości (HPC), betony samozagęszczalne (SCC), czy mieszanki cementowe do technologii przyrostowych (3D Concrete). Natomiast, zmniejszenie wskaźnika woda/cement i duża ilość spoiwa wpłynęły na rozwój drobnej sieci porów kapilarnych w strukturze takiego materiału, co spowodowało, że istotnym problemem stał się skurcz autogeniczny. Skurcz autogeniczny to wewnętrzny spadek objętości spoiwa wywołany zachodzącymi reakcjami chemicznymi, których produkty zajmują mniejszą objętość niż materiały biorące w nich udział. Głównym mechanizmem generującym skurcz autogeniczny jest ciśnienie kapilarne. Wewnętrzny spadek objętości spoiwa wokół sztywnych ośrodków materiałowych – więzów wewnętrznych (kruszywo naturalne, zbrojenie), generuje naprężenia wymuszone, których skutkiem są mikrozarysowania strukturalne w strefie kontaktowej zaczyn-kruszywo, w samej matrycy lub pęknięcia kruszywa. Mikrozarysowania

wewnętrzne mogą propagować od wnętrza do powierzchni materiału. Efektem końcowym jest powierzchniowe otwieranie się zarysowań wewnętrznych i przestrzenne pękanie kompozytu cementowego bez wpływu oddziaływania obciążenia zewnętrznego. Połączenie zarysowań powierzchniowych z mikrozarysowaniami wewnętrznymi zachodzi samoczynnie, jest nieodwracalne i rozwija się w szerokim zakresie czasowym. Sieć zarysowań strukturalnych umożliwia substancjom zewnętrznym (woda, sól itp.) penetrację w głąb kompozytu, co powoduje korozję stali zbrojeniowej. Dlatego rozwój mikrozarysowań, a następnie pęknięć skurczowych prowadzi do utraty trwałości materiału, a w konsekwencji do zmniejszenia czasu użytkowania, stanu awaryjnego konstrukcji oraz kosztownych i skomplikowanych napraw betonu i stali zbrojeniowej. Z tego powodu prowadzenie badań poznawczych minimalizujących zjawisko skurczu autogenicznego i w ten sposób zmniejszające podatność na pękanie kompozytów cementowych nowej generacji jest interesujące i ma szerokie zastosowanie wdrożeniowe.

Zakres moich badań obejmuje zaprojektowanie autorskich metodologii badawczych, pomiar różnych rodzajów odkształceń skurczowych, detekcję i ryzyko pękania wywołane ograniczeniem skurczu kompozytów cementowych. W rozprawie doktorskiej, skoncentrowałem się na pomiarze i analizie rozwoju skurczu autogenicznego oraz odkształceń skurczowych ograniczonych sztywnością pierścieni stalowych prowadzących do pękania materiału. Badania dotyczyły betonów i zapraw samozagęszczalnych. Podczas prac skonstruowałem stanowiska do badania czasu pękania metodą pierścieni ograniczających z wykorzystaniem próbek pierścieniowych oraz stanowiska liniowe do pomiaru skurczu autogenicznego będące geometrycznym rozwinięciem próbek pierścieniowych. Rozpoznałem wpływ zmiany wskaźnika woda/cement i rodzaju pielęgnacji wewnętrznej na redukcję skurczu autogenicznego i czas pękania. Efektem prac było określenie stopnia zastąpienia grubego kruszywa naturalnego (2-8 mm), nasączonym wodą lekkim kruszywem popiołoporytowym (4-8 mm) w celu minimalizacji skurczu autogenicznego, przy minimalnym spadku wytrzymałości na ściskanie.

Po uzyskaniu stopnia doktora, rozszerzyłem badania dotyczące odkształceń skurczowych i detekcji pękania betonów nowej generacji. Po precyzyjnym przeglądzie literatury, określiłem zakres i kierunek dalszych badań, który umożliwił mi opracowanie prac naukowych tworzących cykl powiązanych tematycznie publikacji **[A1-A14]**. Publikacje przedstawiają ciągłość mojej myśli badawczej i mojego rozwoju naukowego tworzącego osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Badania naukowe, osiągnięcia publikacyjne, patentowe i wdrożeniowe, umożliwiły mi w 2022 r. uzyskanie finansowania na projekt badawczo-rozwojowy LIDER XIII organizowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt. *Technologia inteligentnej pielęgnacji wewnętrznej niskoskurczowych kompozytów cementowych o obniżonym śladzie węglowym*. Obecnie wspólnie z naukowcami ze Stanów Zjednoczonych z Auburn University, University of Texas at Austin i Texas Department of Transportation, pracuję nad standaryzacją AASHTO mojej autorskiej metody PST (Plastic-Sleeve Test lub Polish Shrinkage Test) do pomiaru skurczu autogenicznego i skurczu przez wysychanie materiałów cementowych. Uzyskane i realizowane krajowe i międzynarodowe projekty naukowe, utwierdziły mnie w przekonaniu, że podjęta tematyka badawcza oraz kierunki rozwoju naukowego były słuszne i 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 stanowiących cykl, było poszerzenie wiedzy w zakresie pomiaru i kinetyki odkształceń skurczowych oraz podatności na pękanie kompozytów cementowych nowej generacji. Przedstawione w publikacjach wyniki badań były zrealizowane w latach 2018-2023. Prowadzenie dogłębnej i ciągłej analizy literatury przedmiotu, wykonanie licznych recenzji draftów artykułów z czasopism o wysokim IF oraz aktualna realizacja przedsięwzięć badawczych o zasięgu międzynarodowym, powodują, że posiadam aktualny stan wiedzy w zakresie realizowanej problematyki badawczej. Umożliwiło mi to podejmowanie problematyki badawczej wcześniej nieopisywanej w literaturze przedmiotu. Cykl publikacji stanowi kontynuację i jest naturalnym rozszerzeniem i uszczegółowieniem kierunków naukowych powstałych w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej pt. *Skurcz autogeniczny betonów samozagęszczalnych*. W mojej rozprawie doktorskiej, głównie prowadziłem badania nad rozwojem swobodnego skurczu autogenicznego samozagęszczalnych kompozytów cementowych i ich czasu pęknięcia spowodowanego ograniczeniem tegoż rodzaju skurczu. Wiedza zdobyta podczas realizacji i po zakończeniu pracy doktorskiej umożliwiła mi zadanie nowych pytań, poszukiwanie bardziej wysublimowanych rozwiązań i dążenie do nowych i kreatywnych koncepcji badawczych. W prezentowanym cyklu wskazuję na badania i eksperymenty, które rozbudowują tematykę rozprawy doktorskiej lub wykorzystuję zdobytą w niej wiedzę do nowych koncepcji metod badawczych i analiz materiałowych. Niektóre wyniki badań, których nie mogłem dołączyć do wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego, opublikowane są jedynie w formie opisów patentowych, załączonych do wciąż procedowanych zgłoszeń patentowych, których to jestem autorem (1 zgłoszenie – 2019 r., 2 zgłoszenia – 2020 r.), autorem wiodącym (1 zgłoszenie – 2019 r.), a także autorem wiodącym w publikacji będącej w recenzji naukowej.

Cykl publikacji zawiera wyniki i analizy badań eksperymentalnych, laboratoryjnych i probabilistycznych. Zaprojektowałem nowe metodologie pomiarowe i kalibracyjne, na ich podstawie badałem spoiwa i kompozyty cementowe nowej generacji o zmniejszonym śladzie węglowym m.in. analiza wpływu cementu hutniczego lub procentowej zawartości metakaolinu na rozwój skurczu autogenicznego materiałów cementowych. Przeprowadziłem symulacje ryzyka pęknięcia z wykorzystaniem metody Monte Carlo oraz ocenę ryzyka pęknięcia w funkcji naprężenia rozciągające - wytrzymałość kompozytu cementowego na rozciąganie. Zaprojektowałem metodykę i wykonałem analizę badań skurczu w etapie plastycznym i twardnienia kompozytów cementowych w technologii przyrostowej (druk 3D). Badania rozszerzyłem o analizę wpływu różnych dodatków mineralnych tj. popiół lotny, pył krzemionkowy, mączka wapienna oraz poszukiwałem najbardziej wydajnych metod pielęgnacyjnych. Kolejne etapy badań wynikały ze wcześniejszych doświadczeń i rozszerzały aktualną tematykę badawczą o nowe aspekty naukowe.

Przedmiotowy cykl składa się z 12 publikacji i 2 patentów opracowanych przeze mnie w latach 2018-2023, z czego 4 to prace samodzielne, a 10 to prace zespołowe. Osiągnięcie naukowe złożone jest z 8 publikacji angielskojęzycznych, 6 publikacji w języku polskim, w tym 7 publikacji posiada określony Impact Factor i jest notowanych przez Journal Citation Reports, 1 publikacja w materiałach konferencyjnych, 1 rozdział w monografii z indeksacją w bazie Scopus i 3 publikacje krajowe. Dwie pozycje stanowią patenty przyznane w 2022 r., których to jestem autorem i na które w 2021 r. (wnioski patentowe) została sprzedana licencja – potwierdzenie pkt. 8.5.

Prezentowany poniżej cykl publikacji został podzielony tematycznie na 4 zagadnienia:

1. Problematyka obecnych technik badawczych i autorskie metody pomiarowe **[A1-A4]**,
2. Wpływ składu kompozytów cementowych na rodzaj odkształceń skurczowych **[A5-A7]**,
3. Ryzyko pęknięcia i symulacje obliczeniowe podatności na pęknięcie w wyniku ograniczenia odkształceń skurczowych **[A8-A11]**,
4. Charakterystyka zjawisk skurczowych i efektywność zabiegów pielęgnacyjnych w kompozytach cementowych wykonywanych w technologii przyrostowej **[A12-A14]**.

Sumaryczny Impact Factor przedstawionego cyklu publikacji wynosi $IF = 19,493$, a suma liczby punktów cyklu wynosi $1100 + 38$ (punktacja wg obowiązującej listy MEiN + punktacja wg listy MNiSW obowiązującej do końca roku 2018).

4.3.3 Problematyka obecnych technik badawczych i autorskie metody pomiarowe

Problematyka skurczu autogenicznego kompozytów cementowych o niskim wskaźniku woda/cement, która skłoniła mnie do poszukiwań rozwiązań zmniejszających wartość odkształceń i nowych metod pomiarowych eliminujących wady technik obecnie stosowanych, została przedstawiona w przeglądowej publikacji **[A1]**. W publikacji scharakteryzowano skurcz autogeniczny i jego wpływ na mikrozarzysowania strukturalne w betonach wysokowartościowych. W drugiej części publikacji opisano istniejące znormalizowane metody badawcze umożliwiające pomiar skurczu i ich problematykę w rejestracji skurczu autogenicznego. Problematyka pomiarowa obecnie stosowanych znormalizowanych i nieznormalizowanych metod badawczych wraz z autorskimi rozwiązaniami pomiarowymi została rozszerzona w publikacji **[A2]**.

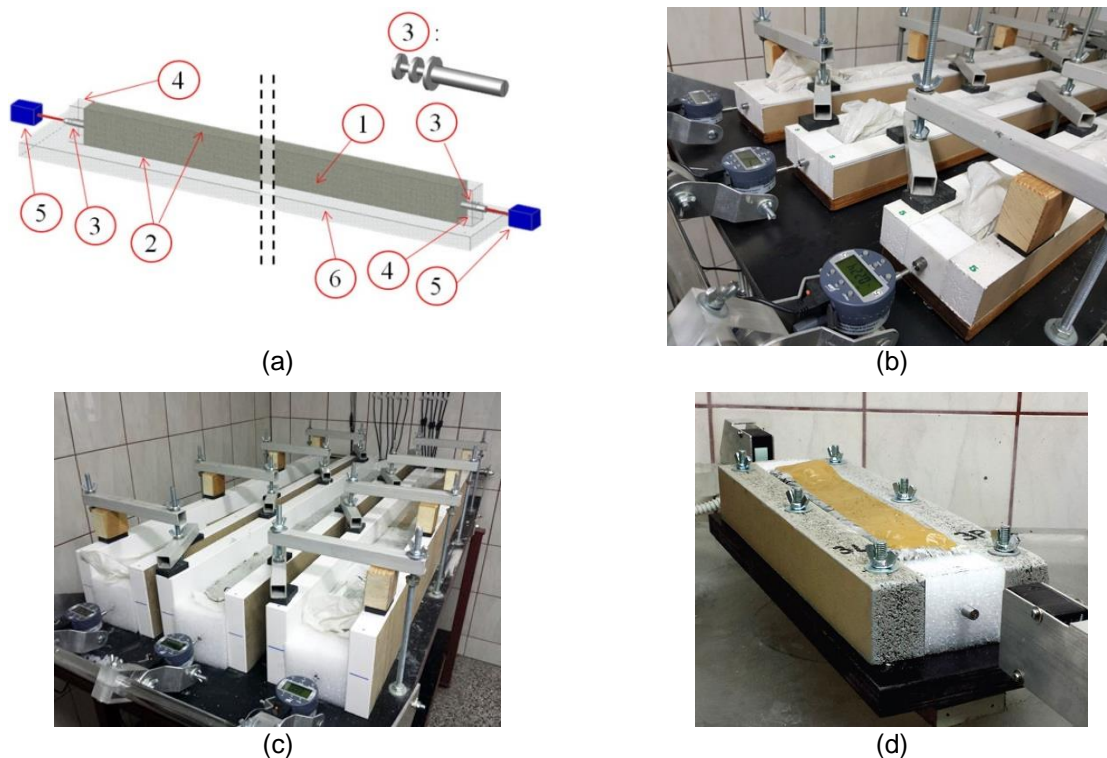
W publikacji **[A2]** wykazano wady obecnie stosowanych technik pomiarowych wynikające z wielkości próbek, z czasu rozpoczęcia pomiarów i procesu uszczelnienia. Metody w sposób znaczący przyczyniają się do błędnej rejestracji, a następnie interpretacji mierzonych wartości deformacji skurczowych. Obecnie stosowana metoda wg EN 12390-16:2020 umożliwia rejestrację skurczu autogenicznego, ale dopiero po pierwszej dobie od formowania mieszanki cementowej. Wartości odkształceń w okresie od zaformowania do pierwszych 24 h są pomijane. Po 2, wykorzystane są beleczki, które po rozformowaniu są eksponowane na wysychanie w czasie ich uszczelnienia taśmą plastikową lub metalową. Wpływa to na błąd pomiarowy podczas późniejszej rejestracji skurczu autogenicznego. Metoda wg ASTM C1698 umożliwia pomiar skurczu autogenicznego zaczynów i zapraw cementowych z wykorzystaniem form w postaci rurek karbowanych charakteryzujących się niekontrolowaną rozciągliwością i trudnym formowaniem materiału. Dlatego zaprojektowałem i wykonałem autorskie metody rozwiązujące opisaną problematykę. Obie metody wykorzystują pomiar przemieszczeń dwóch swobodnych końców uszczelnionych próbek liniowych. Pierwsza metoda bazująca na rozwinięciu próbek pierścieniowych wg ASTM C1581 umożliwia pomiar skurczu autogenicznego betonów. Metoda została omówiona i zastosowana w mojej pracy doktorskiej. Natomiast druga metoda stanowiąca nowość w zagadnieniu badawczym jest przeznaczona dla zaczynów i zapraw cementowych, dlatego wykorzystuje krótkie beleczki o małym przekroju, a pomiar deformacji skurczowych odbywa się za pomocą czujników laserowych. W obu metodach beleczki są formowane w folii polietylenowej, która zapewnia szczelność przed potencjalną dyfuzją wilgoci z próbki do otoczenia. Z kolei powierzchnia akrylowych form zapewniała poślizg, swobodną rejestrację

przemieszczeń skurczowych badanego materiału. Próbki liniowe były zaformowane i uszczelnione przez cały okres badawczy. Rejestracja odkształceń była automatyczna, z regulowanym interwałem i rozpoczyna się już od momentu zaformowania próbek.

Pomiar skurczu autogenicznego różnych materiałów cementowych powinien odbywać się z wykorzystaniem próbek o różnej geometrii. Podstawowym warunkiem determinującym geometrię próbki jest rozmiar kruszywa. Zgodnie z m.in. EN 206, rozmiar boku próbki powinien być co najmniej 3,5 razy większy od maksymalnej średnicy kruszywa. Warunek zapewnia właściwe zagęszczenie i miarodajność próbki względem materiału. Dlatego użycie beleczek o przekroju np. 25x25 mm, 40x40 mm jest właściwe dla zaczynów i zapraw cementowych, natomiast beton wymaga większych rozmiarów przekroju próbek np. 50x50 mm, 100x100 mm. Takie stanowisko badawcze zostało opisane w patencie [A3].

Patent [A3] opisuje stanowisko o stałej podstawie i przestawnych mocowaniach umożliwiających kształtowanie formy od 1 do 3 próbek w zakresie geometrii przekroju od 40x40 do 150x150 mm i regulowanej długości od 160 do 1000 mm. Technika pomiaru i formowania beleczek jest taka sama jak przedstawiona w publikacji [A2]. Regulowana długość próbki od 160 mm do 1000 mm przy zastosowaniu czujników o czułości 0,002 mm pozwala osiągnąć dokładność pomiaru od 2 do 12,5 $\mu\text{m}/\text{m}$.

W publikacjach [A1], [A2], [A5], [A6], [A7] do pomiaru skurczu autogenicznego materiałów cementowych o różnej średnicy ziaren, wykorzystano autorskie stanowiska pomiarowe m.in. o regulowanej geometrii próbek prostopadłościennych wg patentu [A3], (Rys. 2).



Rys. 2. Autorskie metody badawcze do rejestracji skurczu autogenicznego materiałów cementowych: (a) schemat stanowiska badawczego [A6], (b) próbka 50x50x1150 mm [A6], (c) próbka 100x100x150 mm [A1], (d) próbka 40x40x160 mm [A7]: 1 – próbka; 2 – uszczelnienie zapobiegające utracie wilgoci z próbki; 3 – czopik pomiarowy; 4 – elastyczny blok zamykający próbkę; 5 – cyfrowy czujnik indukcyjny; 6 – płaska, śliska podstawa.

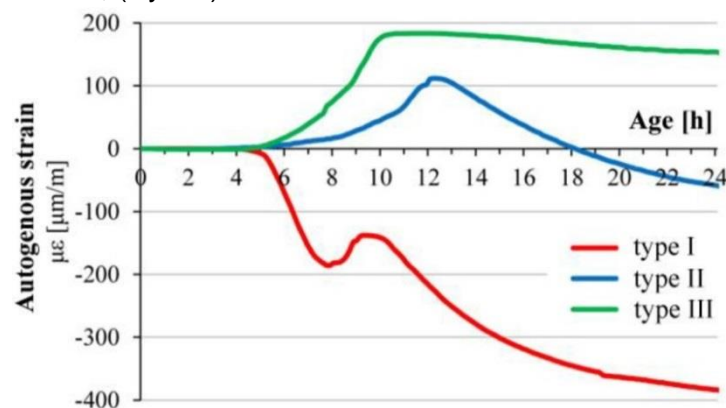
Druga podjęta problematyka badawcza dotyczyła przejścia z pomiaru skurczu materiału ze skali próbek laboratoryjnych do skali in-situ konstrukcji.

Patent [A4] dotyczy autorskiej metody określenia najbardziej wrażliwych stref geometrycznych przekroju betonowych elementów płytowych i ściennych na skurcz autogeniczny i skurczu przez wysychanie. Metoda pomiarowa umożliwi określenie wartości ograniczenia skurczu w strefie rdzeniowej do strefy brzegowej elementu betonowego. Metoda pozwala badać wpływ więzów wewnętrznych w postaci wkładek zbrojenia metalicznego i kompozytowego oraz zbrojenia rozproszonego na ograniczenie skurczu. Dodatkowo metoda pozwala również badać wpływ metod pielęgnacji zewnętrznej i wewnętrznej na zasięg ich oddziaływania w przekroju betonowym. Przeprowadzone eksperymenty dowiodły, że rdzeń próbki charakteryzuje się ograniczonym skurczem względem strefy brzegowej, gdzie występuje swobodny koniec i poślizg. Wartość ograniczenia odkształceń zależy od szerokości rozpatrywanego elementu betonowego oraz od ilości i rodzaju sztywnych ośrodków materiałowych w jego strukturze.

Patenty [A3] i [A4] w 2021 r. jako wnioski patentowe, zostały sprzedane firmie Astra Technologia Betonu Sp. z o.o. w formie licencji niewyłącznej – pkt. 8.5 i zał. 5 pkt. II.5.1.

4.3.4 Wpływ składu kompozytów cementowych na rodzaj odkształceń skurczowych

W publikacji [A5] na podstawie wyników i analiz badań laboratoryjnych, opisałem mechanizmy powodujące zmienny rozwój odkształceń autogenicznych kompozytów cementowych. Badania dowiodły, że kinetyka odkształceń autogenicznych może mieć trzy charakterystyczne typy przebiegu, które zależą od ilości wody zawartej w strukturze dojrzewającego materiału, (Rys. 3).



Rys. 3 Rodzaje kinetyki odkształceń autogenicznych kompozytów cementowych [A5].

Typ I jest charakterystyczny dla kompozytów cementowych z kruszywem nieodkształcalnym i o niskim wskaźniku $w/c \leq 0,34$. Dynamiczny rozwój zmian objętościowych rozpoczyna się w okresie wiązania spoiwa. Następnie zachodzi lokalne pęcznienie spowodowane wzrostem produktów hydratacji: ettringit i portlantyd wraz z ekspansywnym oddziaływaniem reakcji egzotermicznej. Charakterystyczny punkt przegięcia funkcji odkształceń jest również związany z zakończeniem wiązania spoiwa. W następnym etapie, po zakończeniu wiązania, kiedy rozpoczynają rozwijać się właściwości mechaniczne materiału cementowego, zauważalny jest rozwój skurczu autogenicznego spowodowanego występowaniem ciśnienia kapilarnego. Rozwój ciśnienia jest następstwem deficytu wody potrzebnej do reakcji hydratacji. W tym okresie może dochodzić do powstawania mikrozarostków wewnętrznych w strukturze materiału. **Typ II** jest charakterystyczny dla

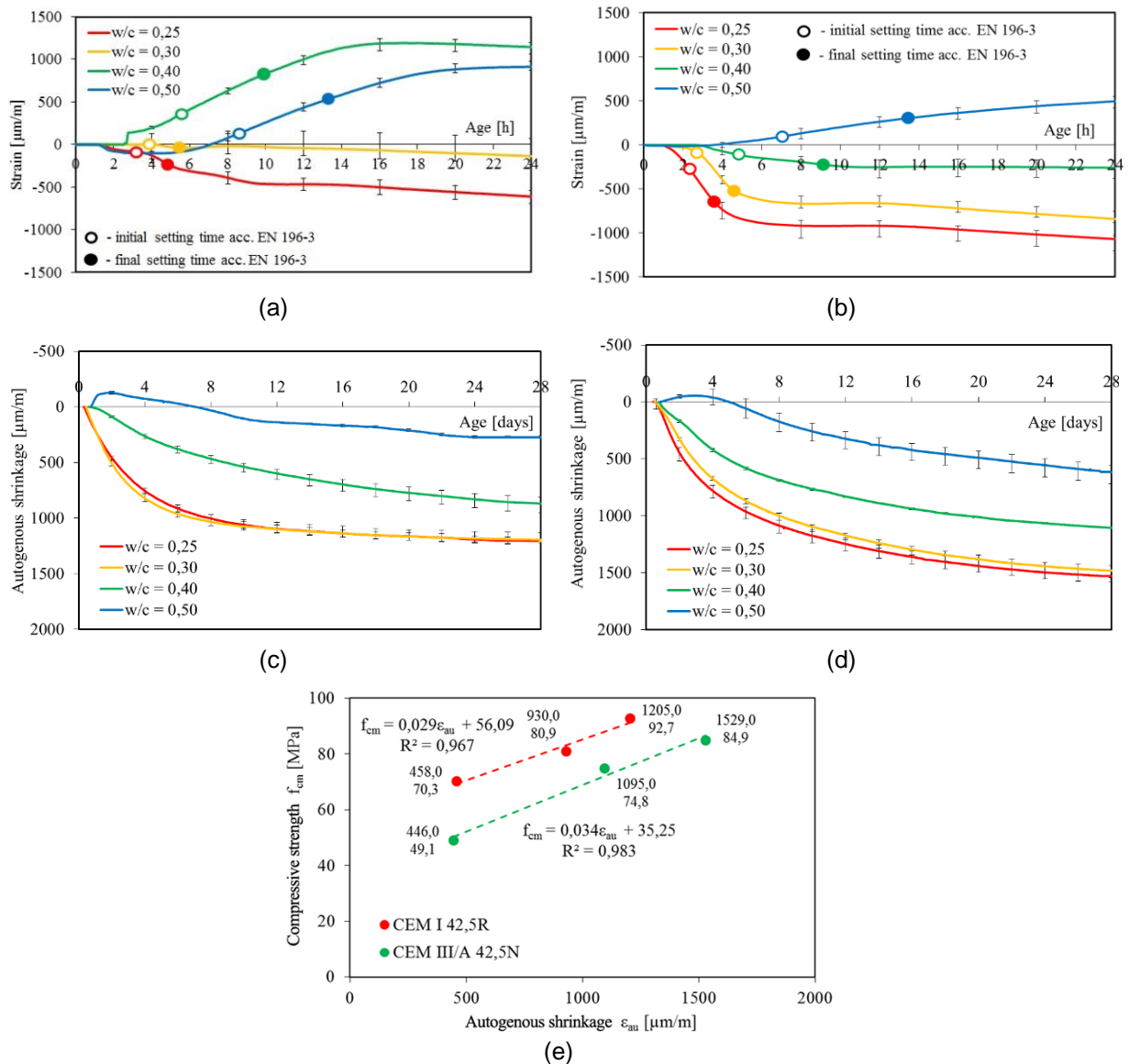
kompozytów z ograniczoną ilością wody zarobowej, np. o wskaźniku $w/c = 0,42$, ale z dużą ilością cementu (720 kg/m^3). Zachodzącemu zjawisku wiązania cementu, towarzyszy rozwój pęcznienia spowodowany wzrostem produktów hydratacji przy nasyconym stanie wodnym. Spadek wilgotności względnej i deficyt wody kapilarnej w okresie twardnienia powoduje rozpoczęcie skurczu autogenicznego. **Typ III** jest charakterystyczny dla kompozytów z dużą ilością wody zarobowej lub mogących zmagazynować dużą ilość wody do procesów hydratacji np. zastosowanie kruszywa lekkiego nasączonego wodą - pielęgnacja wewnętrzna. Utrzymanie wysokiego poziomu wilgotności względnej w strukturze wiążącego i twardniejącego spoiwa powodują pęcznienie w okresie wiązania i stabilizację odkształceń w okresie twardnienia.

Przedstawiony podział odkształceń autogenicznych był wynikiem badań wykonanych w ramach projektu, w którym byłem Wykonawcą oraz został omówiony w mojej pracy doktorskiej. Natomiast, publikacja **[A5]** rozszerza zagadnienie o dodatkowe analizy i wnioski. Wszystkie badania i analizy wykonano z zastosowaniem cementu portlandzkiego CEM I 42,5R z dodatkami popiołu lotnego i pyłu krzemionkowego. Z powodu rosnącej świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz nowelizacji przepisów redukujących obecny ślad węglowy, przeprowadziłem badania i analizy spoiw niskoemisyjnych przyjaznych środowisku, m.in.: granulowanego żużla wielkopieczowego poprzez zastosowanie cementu hutniczego oraz nieznormalizowanego, wysokoreaktywnego dodatku mineralnego - metakaolinu, na rozwój skurczu autogenicznego.

W publikacji **[A6]** przedstawiono wpływ wskaźnika woda/cement (w/c) na rozwój skurczu autogenicznego zaczynów cementowych z CEM I i CEM III. Analizę odkształceń przeprowadzono dla uszczelnionych zaczynów mierzonych w ciągu pierwszych 24h oraz analizę skurczu autogenicznego mierzonego od zakończenia czasu wiązania do 28 dni. W obu typach spoiwa zmniejszenie stosunku w/c powoduje wzrost odkształceń skurczowych (Rys. 4(a-b)). Badania wykazały, że największy przyrost deformacji autogenicznych zaczynów z CEM I odbywa się w granicach wskaźnika w/c w przedziale 0,40 - 0,50. Przyczyną jest szybko rosnący deficyt wody zarobowej podczas hydratacji spoiwa, który prowadzi do rozwoju ciśnienia kapilarnego w wyniku zmniejszania się promieni menisków zgodnie z prawem Younga-Laplace'a i spadkiem wilgotności względnej pary nasyconej w porach zgodnie z prawem Kelvina. Analiza porównawcza zaczynów na CEM I i CEM III, wykazała, że żużel wielkopieczowy przy stałym wskaźniku w/c jest odpowiedzialny za wzrost skurczu autogenicznego. Żużel wielkopieczowy posiada utajone właściwości hydrauliczne i wymaga aktywacji. Głównym składnikiem żużla prócz CaO są również aktywne tlenki krzemu i glinu w postaci szklistej, które reagują z jonami wapniowymi i wytwarzają dodatkowe ilości fazy C-S-H i C-A-S-H, co jest charakterystyczne dla reakcji pucolanowej. Reakcja pucolanowa, której postęp jest widoczny w późniejszym czasie hydratacji cementów hutniczych jest odpowiedzialna za wyższą kinetykę skurczu autogenicznego (Rys. 3(c-e)).

Podwyższenie rozwoju skurczu autogenicznego przez reakcję pucolanową żużla wielkopieczowego charakteryzującego się zbliżoną reaktywnością do cementu portlandzkiego spowodowało, że zbadałem i zanalizowałem wpływ reakcji pucolanowej metakaolinu, który charakteryzuje się blisko 2-krotnie większą reaktywnością niż cement portlandzki.

W publikacji **[A7]** omówiono wpływ niskoemisyjnego, wysokoreaktywnego dodatku mineralnego metakaolinu. Analiza przyrostu deformacji skurczowych wykazała, że wraz ze wzrostem procentowej zawartości metakaolinu wzrasta skurcz autogeniczny zaczynów cementowych o $w/s = 0,32$. Największa wartość skurczu w okresie 28 dni była widoczna dla zaczynu z 25% zawartością metakaolinu, (Rys 4(a)). Badania potwierdziły wpływ reakcji pucolanowej na wzrost wartości skurczu autogenicznego.

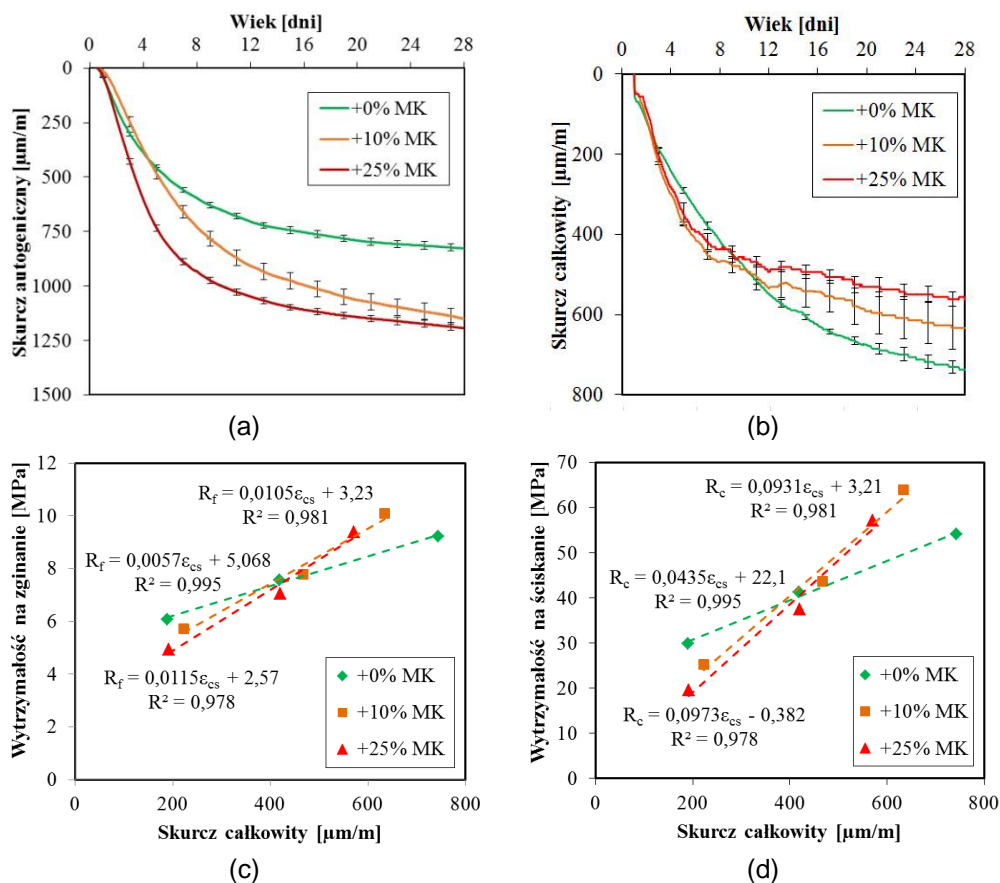


Rys. 4 Wpływ granulowanego żużla wielkopiecowego na rozwój odkształceń skurczowych: (a) odkształcenia w zaczynach z CEM I 42,5R, (b) odkształcenia w zaczynach z CEM III/A 42,5N, (c) kinetyka skurczu autogenicznego zaczynów cementowych z CEM I 42,5R, (d) kinetyka skurczu autogenicznego zaczynów cementowych z CEM III/A 42,5N, (e) liniowa korelacja zmiennych: skurcz autogeniczny – wytrzymałości na ściskanie zaczynów cementowych o $w/c = 0,25$ po 2, 7 i 28 dniach dojrzewania [A6].

Przebieg zjawiska skurczu całkowitego w zaprawach cementowych można było podzielić na 2 okresy. W okresie od 1 dnia (rozpoczęcie wysychania) do ok. 7 dnia występowała zwiększona dynamika rozwoju skurczu dla zapraw z metakaolinem, natomiast od 7 dnia zaprawy z dodatkiem metakaolinu charakteryzowały się spowolnieniem rozwoju i stabilizacją odkształceń względem zaprawy referencyjnej. Po 28 dniach dojrzewania zauważono, że wzrost zawartości metakaolinu zmniejsza wielkość skurczu całkowitego, (Rys. 4(b)). Taki przebieg skurczu całkowitego jest charakterystyczny dla kompozytów cementowych z zastosowaniem ultradrobnych, reaktywnych dodatków pucolanowych, w których reakcja przebiega stosunkowo wolno. Zaprawy z metakaolinem poprzez reakcje pucolanowe od ok. 6-8 dnia dojrzewania zaczynają charakteryzować się bardziej zwartą strukturą

powodującą w czasie zwiększenie parametrów wytrzymałościowych przy jednoczesnym ograniczeniu odkształceń skurczowych względem zaprawy referencyjnej, (Rys. 4(c-d)).

Z tego powodu wysokowartościowe kompozyty cementowe (np. beton HPC) w porównaniu do kompozytów tradycyjnych (np. beton zwykły), charakteryzują się szczelniejszą matrycą cementową, wyższą wytrzymałością na ściskanie, niższym skurczem całkowitym, ale wyższym skurczem autogenicznym.



Rys. 4 Wpływ metakaolinu na rozwój odkształceń skurczowych: (a) kinetyka skurczu autogenicznego zaczynów cementowych bez i z dodatkiem 10% i 25% metakaolinu, (b) kinetyka skurczu całkowitego zapraw cementowych bez i z dodatkiem 10% i 25% metakaolinu, (c) liniowa korelacja zmiennych: skurcz autogeniczny – wytrzymałości na zginanie, (d) liniowa korelacja zmiennych: skurcz autogeniczny – wytrzymałości na ściskanie [A7].

Porównując przebieg skurczu autogenicznego zaczynów referencyjnych na CEM I 42,5R o $w/c = 0,3$ i $w/c = 0,32$ z publikacji [A6] i [A7], wartość odkształceń po 28 dniach wynosi odpowiednio $1170 \mu\text{m/m}$ i $840 \mu\text{m/m}$. Spadek odkształceń jest związany ze wzrostem w/c , ale również z oddziaływaniem termicznym. Próbkę o większym polu przekroju $50 \times 50 \text{ mm}$ w stosunku do $40 \times 40 \text{ mm}$ ulegają większemu chłodzeniu po zajściu reakcji egzotermicznej, dlatego mierzony skurcz autogeniczny ma większą wartość. Dlatego w celu pełnej korelacji badań skurczu autogenicznego jest konieczność przeprowadzania badań na tej samej geometrii próbek i równych objętościowo zarobach materiałowych. Proces mieszania i okres homogenizacji spoiwa także powinien być taki sam.

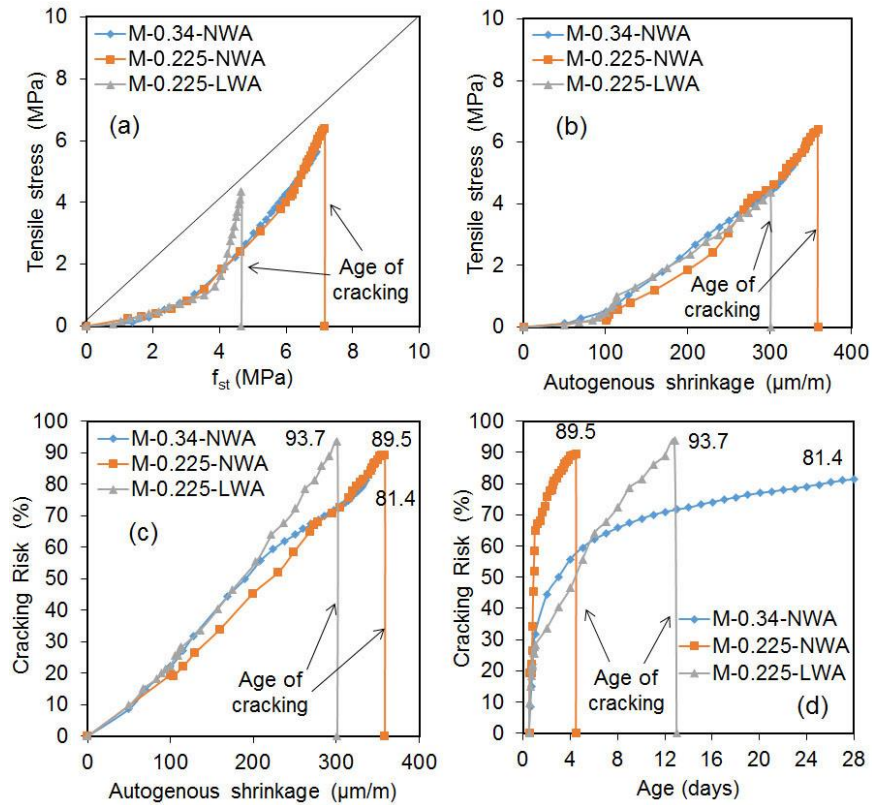
Poznanie wpływu reakcji pucolanowej na wzrost skurczu autogenicznego i spadek skurczu całkowitego spowodował, że poszerzyłem zasięg badań o analizy i symulacje wpływu skurczu autogenicznego na ryzyko pęknięcia kompozytów wysokowartościowych z i bez oddziaływania zabiegów pielęgnacji wewnętrznej.

4.3.5 Ryzyko pęknięcia i symulacje obliczeniowe podatności na pęknięcie w wyniku ograniczenia odkształceń skurczowych

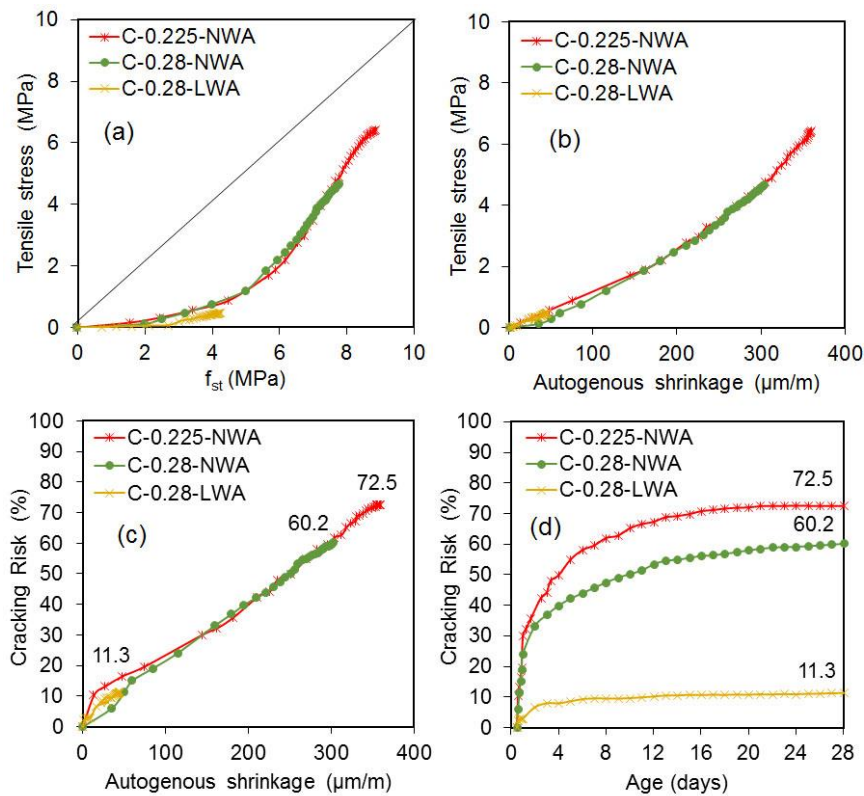
Przed rozpoczęciem docelowych badań podatności na pęknięcie materiałów cementowych, zaprojektowałem stanowisko badawcze oraz opracowałem metodologię kalibracji pierścieni pomiarowych ograniczających swobodę skurczu autogenicznego.

W publikacji **[A8]** opisano i przetestowano autorską metodę kalibracji pneumatycznej pierścieni pomiarowych służących do oceny podatności na pęknięcie skurczowe wg ASTM C1581, w tym pęknięcia spowodowanego ograniczeniem skurczu autogenicznego. Metoda kalibracji powstała podczas wykonywania mojego doktoratu, natomiast publikacja zawiera rozszerzenie metody o nowe parametry m.in. strefy korelacji służące do oceny poprawności wykonania i rejestracji odkształceń przez stalowy pierścień pomiarowy. Głównymi przyczynami rozbieżności między odkształcalnością obwodową pierścieni, a pneumatycznymi naprężeniami promieniowymi symulującymi zaciskającą się próbkę pierścieniową badanego kompozytu cementowego mogą być: zmiana grubości lub kształtu pierścienia, lub nieprawidłowe naklejenie tensometrów. Może to prowadzić do błędnych analiz dotyczących przyspieszenia lub opóźnienia czasu pęknięcia badanych kompozytów. Brak kalibracji pierścieni do funkcji teoretycznej σ - ϵ , może spowodować niedoszacowanie lub przeszacowanie wartości wymuszonych naprężeń rozciągających powodujących pęknięcie próbek. Zaburzenie tego parametru wpłynie na błędne określenie podatności na pęknięcie kompozytu cementowego. Metodę wykorzystano do wyznaczenia indywidualnych współczynników kalibracyjnych pierścieni pomiarowych użytych w badaniach prezentowanych w publikacjach **[A9]** i **[A10]**.

W publikacji **[A9]** wyznaczono korelację między rozwojem liniowego skurczu autogenicznego a rozwojem wymuszonych naprężeń rozciągających. Wyznaczenie maksymalnych naprężeń rozciągających wywołanych ograniczeniem skurczu autogenicznego wraz z aproksymacją funkcji rozwoju wytrzymałości na rozciąganie kompozytów cementowych, umożliwiło określenie funkcji ryzyka pęknięcia. Analizę ryzyka pęknięcia przeprowadzono w 4 etapach: 1 – rozwój naprężeń rozciągających a przyrost wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie; 2 – rozwój naprężeń rozciągających a rozwój skurczu autogenicznego; 3 – ryzyko pęknięcia a wartość skurczu autogenicznego; 4 – ryzyko pęknięcia w czasie dojrzewania badanych kompozytów cementowych. Zaprawa wysokowartościowa o $w/s = 0,225$ z kruszywem naturalnym (M-0.225-NWA) wykazała najszybszą skłonność do pęknięcia, bo już po 4,2 dnia. Zaprawa o wyższym wskaźniku $w/s = 0,34$ (M-0.34-NWA), nie wykazała podatności na pęknięcie w zakresie 28 dni, co wskazuje, że zwiększenie wskaźnika w/s jest skutecznym sposobem na zmniejszenie wpływu skurczu autogenicznego w zaprawach. Zaprawa o $w/s = 0,225$ z zastosowanym drobnym kruszywem lekkim nasączonym wodą (M-0.225-LWA), wykazała obniżenie ryzyka pęknięcia o ponad 8 dni, (Rys. 5) Żaden z analizowanych betonów nie pękł w zakresie 28 dni dojrzewania. Wzrost wskaźnika w/s spowodował obniżenie ryzyka pęknięcia w 28 dniu. Dodatkowe zastosowanie grubego kruszywa lekkiego nasączonego wodą spowodowało wydajną pielęgnację wewnętrzną w całym okresie dojrzewania. Beton o $w/s = 0,28$ i z nasączonym lekkim kruszywem grubym (C-0.28-LWA) względem betonu o $w/s = 0,225$ z kruszywem naturalnym (C-0.225-NWA) obniżył ryzyko pęknięcia o ponad 60%, (Rys. 6). Zastosowanie grubego granulowanego popiołu lotnego nasączonego wodą jako kruszywa do betonu okazało się skuteczną metodą w celu minimalizacji ryzyka pęknięcia w wyniku oddziaływania skurczu autogenicznego. Metoda obniżyła wytrzymałość kompozytów cementowych z CEM I 52,5R ale umożliwiała zachowanie parametrów kategoryzujących je jako wysokowytrzymałe.



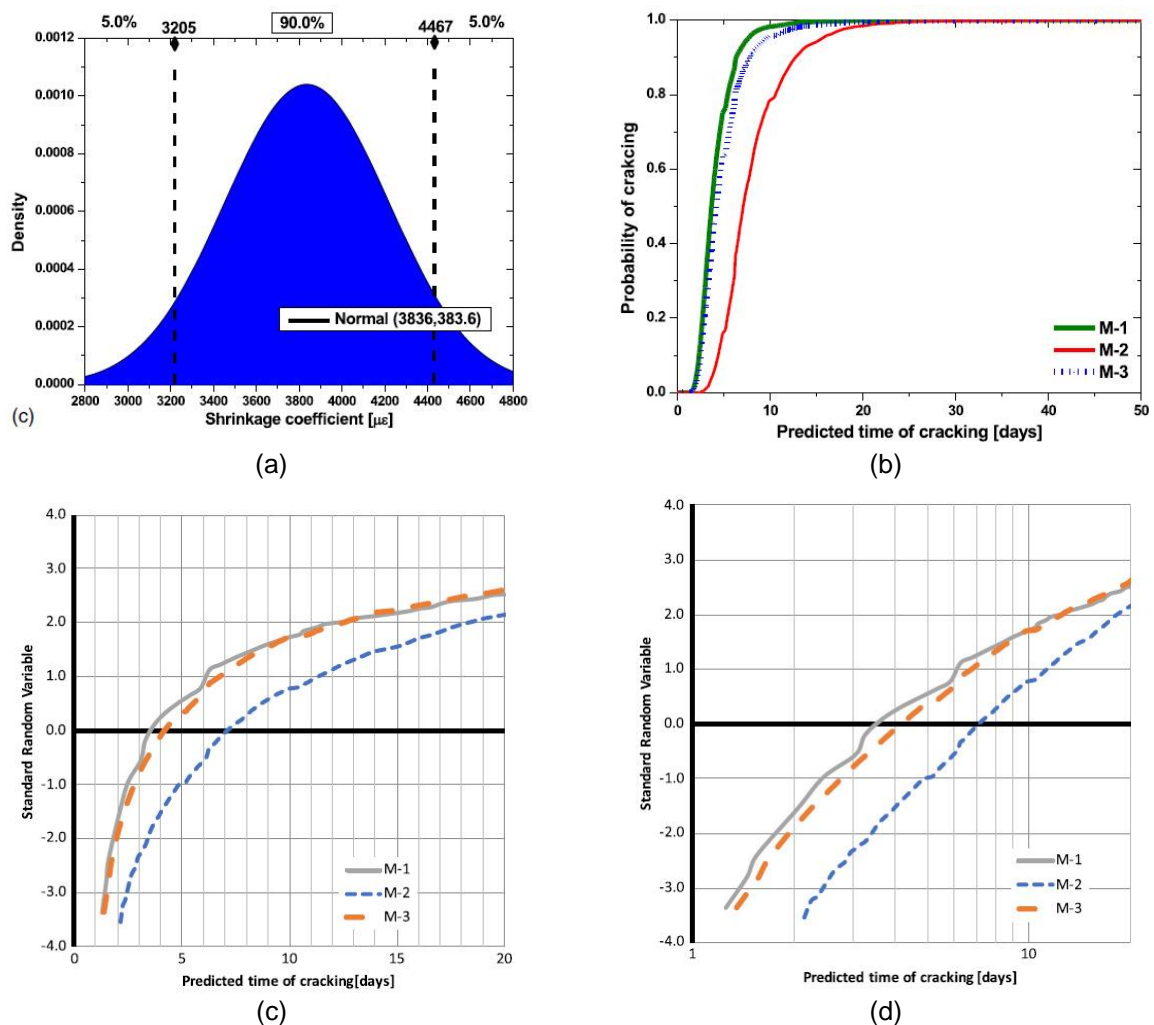
Rys. 5 Ocena ryzyka pęknięcia wysokowartościowych zapraw cementowych: (a) σ_t/f_{st} ; (b) σ_t/ϵ_{au} ; (c) CR/ϵ_{au} ; (d) CR/age . $f_{c,100 \times 100}$ po 28 dniach: M-0.34-NWA = 76,7 MPa; M-0.225-NWA = 110,1 MPa; M-0.225-LWA = 71,9 MPa [A9].



Rys. 6. Ocena ryzyka pęknięcia betonów wysokowartościowych: (a) σ_t/f_{st} ; (b) σ_t/ϵ_{au} ; (c) CR/ϵ_{au} ; (d) CR/age . $f_{c,100 \times 100}$ po 28 dniach: C-0.225-NWA = 107,5 MPa, C-0.28-NWA = 105,6 MPa, M-0.225-LWA = 55,0 MPa [A9].

Metoda badawcza wykazała skuteczność w ocenie ryzyka pęknięcia w wyniku ograniczenia skurczu autogenicznego. Przeprowadzono również analizę porównawczą metody badawczej do określenia czasu pęknięcia w wyniku oddziaływania skurczu całkowitego, z prognozowaniem czasu pęknięcia metodą Monte Carlo.

W publikacji [A10] zaprezentowano weryfikację badań podatności na pęknięcie betonów wysokowartościowych metodą pierścienia ograniczającego wg ASTM C1581, liniowego skurczu całkowitego metodą Amslera wg PN-B-06714-23 z modelem probabilistycznym metodą Monte Carlo. Symulacje obliczeniowe były rozszerzone względem badań przeprowadzonych w pracy doktorskiej, ponieważ objęły m.in. dokładne omówienie modeli matematycznych parametrów materiałowych, graficzne przedstawienie danych symulacyjnych w rozkładach normalnych oraz funkcje rozkładów skumulowanych, (Rys. 7). Wyniki dodatkowych symulacji wykazały dobrą zgodność z symulacjami dystrybuant prawdopodobieństwa pęknięcia, krzywych „najlepszego dopasowania” dla współczynnika pęknięcia – wg rozkładu normalnego, histogramu czasu pęknięcia oraz badaniami empirycznymi wg testu pierścienia ograniczającego.

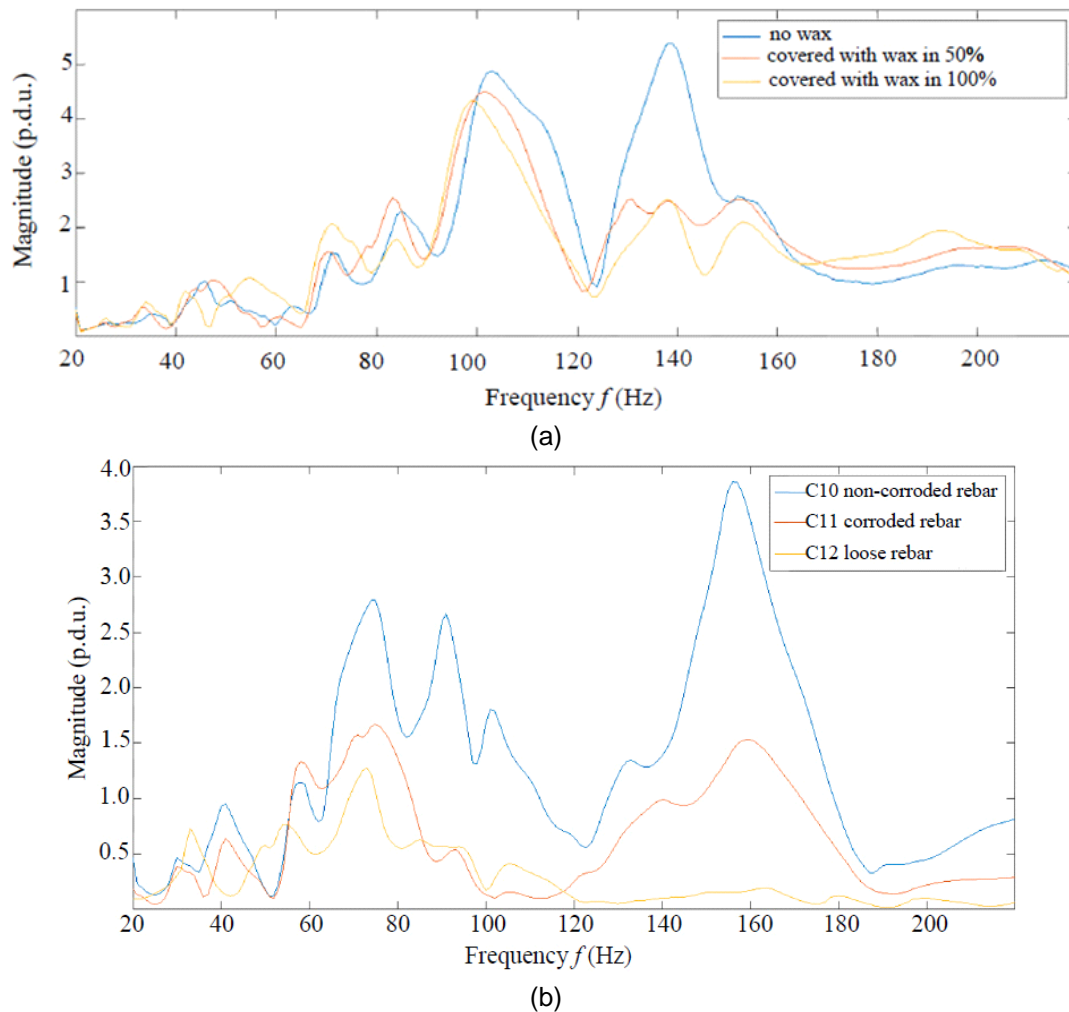


Rys. 7 Symulacje probabilistyczne metodą Monte Carlo: (a) zaimplementowany rozkład normalny skurczu zaczynu cementowego zastosowanego w analizowanych betonach; (b) porównanie skumulowanych funkcji rozkładu prawdopodobieństwa czasu pęknięcia betonów; (c) porównanie skumulowanych funkcji w rozkładzie normalnym przewidywania czasu pęknięcia; (d) porównanie skumulowanych funkcji w logarytmiczno-normalnym przewidywaniu czasu pęknięcia [A10].

Symulacja czasu pęknięcia była wysoce zbieżna z badaniami laboratoryjnymi. Beton wysokowartościowy z kruszywem naturalnym o $f_{cm} = 99,6$ MPa, $f_{ct,sp} = 4,81$ MPa (M-1) wykazał największą podatność na pęknięcie. W testach laboratoryjnych moment pęknięcia odbył się po 3,0 dniach, natomiast w symulacjach po 3,7 dniach. Zastąpienie naturalnego kruszywa drobnego i grubego, namoczonym kruszywem lekkim frakcji drobnej 0-4 i grubej 4-8 (popiołoporyt) zmniejszyło podatność na pęknięcie materiału ale także spowodowało znaczne obniżenie parametrów mechanicznych o ok. 50% – $f_{cm} = 45,8$ MPa, $f_{ct,sp} = 1,93$ MPa (M-3). Z tego powodu, przy niskim ograniczeniu skurczu całkowitego, beton M-3 w testach laboratoryjnych ulegał pęknięciu po 4,6 dniach, natomiast w symulacjach po 4,2 dniach. Kompromisem było wyłączenie zastosowania nasączonego wodą lekkiego kruszywa grubego frakcji 4-8, ale pozostawienie drobnego kruszywa naturalnego. Beton M-2 z zastosowaną pielęgnacją wewnętrzną, charakteryzował się wyższymi parametrami mechanicznymi: $f_{cm} = 52,4$ MPa, $f_{ct,sp} = 2,54$ MPa i najniższą podatnością na pęknięcie. Czas pęknięcia w badaniach laboratoryjnych wynosił 6,6 dni, a w symulacjach 7,2 dni. Stanowiło to ponad 50% wydłużenie czasu pęknięcia względem betonu referencyjnego (M-1). Zgodność symulacji z testami laboratoryjnymi dla M-2 i M-3 była ponad 90%, natomiast w przypadku betonu o najszybszym czasie pęknięcia M-1, zgodność spadła do 81%. Pozwala to stwierdzić, że zastosowany model probabilistyczny jest właściwy do oceny prawdopodobieństwa pęknięcia.

Po uzyskaniu potwierdzenia, że kompozyty wysokowartościowe mogą ulec pęknięciu w wyniku ograniczenia skurczu autogenicznego, można stwierdzić, że inicjację pęknięcia powodują mikrozarysowania strukturalne wokół sztywnych ośrodków materiałowych. Propagacja mikrozarysowania wewnętrznego ku powierzchni materiału bez widocznych zarysowań zewnętrznych, może powodować migrację substancji zewnętrznych i korozję stali zbrojeniowej. Prowadzi to do odspojenia zbrojenia od matrycy cementowej i utratę trwałości konstrukcji. Dlatego zasadnym jest okresowe przeprowadzenie nieniszczących badań diagnostycznych elementów konstrukcyjnych, które nie wykazują zewnętrznych defektów, zarysowań lub ognisk korozyjnych. Takie badanie umożliwiłoby ocenę przyczepności zbrojenia do matrycy cementowej oraz trwałości konstrukcji wykonanej z betonu wysokowartościowego.

W publikacji [A11] przeprowadzono badania innowacyjną nieniszczącą metodą oceny drgań wywołanych siłą magnetyczną (M5) w celu diagnostyki i wykrywania odspojień prętów ferromagnetycznych od matrycy cementowej. Ideą metody jest bezpośrednie wywołanie i pomiar drgań prętów zbrojeniowych (a nie całej konstrukcji) oraz analiza zmian widma częstotliwości. Nowatorstwo metody polega na wzbudzeniu i detekcji drgań w badanych elementach. Drgania wzbudzone będące reakcją prętów zbrojeniowych na zmienne pole magnetyczne, były mierzone za pomocą akcelerometru ze sprzężeniem magnetycznym. Przy takich rozwiązaniach proponowana metoda jest w pełni bezkontaktowa i pozwala na osiągnięcie wysokiej czułości i powtarzalności. Przydatność metody wykazano poprzez pomiar m.in. próbek betonu wysokowartościowego z symulowanym odspojeniem pręta zbrojeniowego pokrytego, częściowo pokrytego lub nie pokrytego woskiem oraz fragmentów konstrukcji mostowej z betonu tradycyjnego ze zbrojeniem w różnym stanie korozyjnym (Rys. 8).



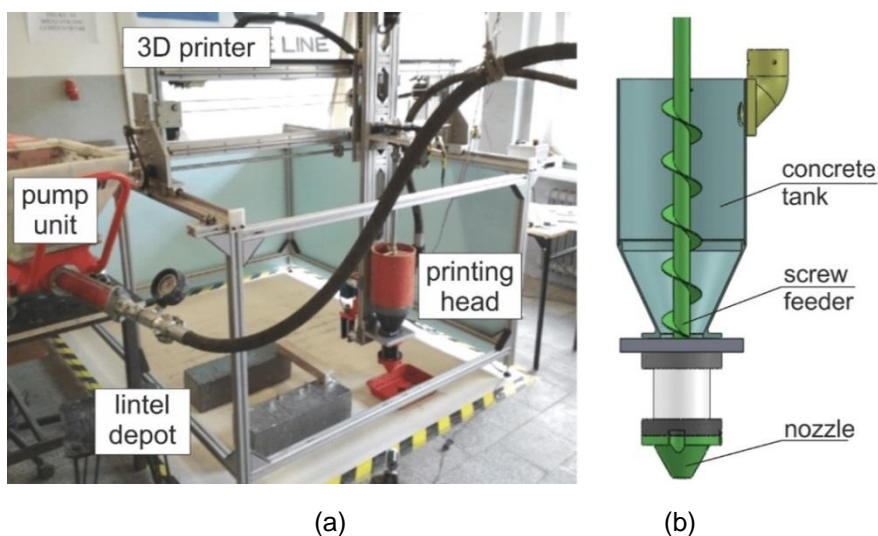
Rys. 8 Charakterystyki częstotliwościowe: (a) próbki laboratoryjne z betonu wysokowartościowego z prętem zbrojeniowym i z grubością otuliny $h = 20$ mm: niebieski – próbka referencyjna (pręt zbrojeniowy niepokryty żadną powłoką), pomarańczowy – pręt zbrojeniowy pokryty woskiem w 50%, żółty – pręt zbrojeniowy całkowicie pokryty woskiem; (b) fragmenty konstrukcji płyty mostowej: C10 - pręt zbrojeniowy nieskorodowany, mocno związany z betonem, C11 - pręt skorodowany, częściowo związany z betonem, beton spękany, C12 - pręt zbrojeniowy luźny i skorodowany, słabo połączony z betonem, beton spękany [A11].

Różnice pomiędzy charakterystycznymi częstotliwościami drgań dla różnych próbek są zauważalne w obu przypadkach. W przypadku próbek laboratoryjnych o otulinie $h = 20$ mm, najbardziej znaczące różnice można zaobserwować przy częstotliwościach między 120 a 160 Hz, gdzie nie tylko silnie zmienia się amplituda, ale także obwiednia odpowiedzi częstotliwościowej jest zupełnie inna. Eksperymenty wykazały, że większe zaawansowanie odspojenia (korozji, pęknięć) powoduje tłumienie drgań przy wyższych częstotliwościach. Oznacza to, że częstotliwości rezonansowe są skorelowane z wytrzymałością połączenia prętów zbrojeniowych z betonem. Było to szczególnie widoczne przy badaniu fragmentów konstrukcji płyty mostowej. Dlatego metoda potwierdziła możliwość nieniszczącej detekcji przyczepności zbrojenia do matrycy cementowej w betonach wysokowartościowych. Tym samym umożliwiła weryfikację ognisk korozyjnych spowodowanych rozwojem mikrozarysowań strukturalnych i migracją substancji zewnętrznych (woda, sól itp.) w głąb kompozytu.

4.3.6 Charakterystyka zjawisk skurczowych i efektywność zabiegów pielęgnacyjnych w kompozytach cementowych wykonywanych w technologii przyrostowej

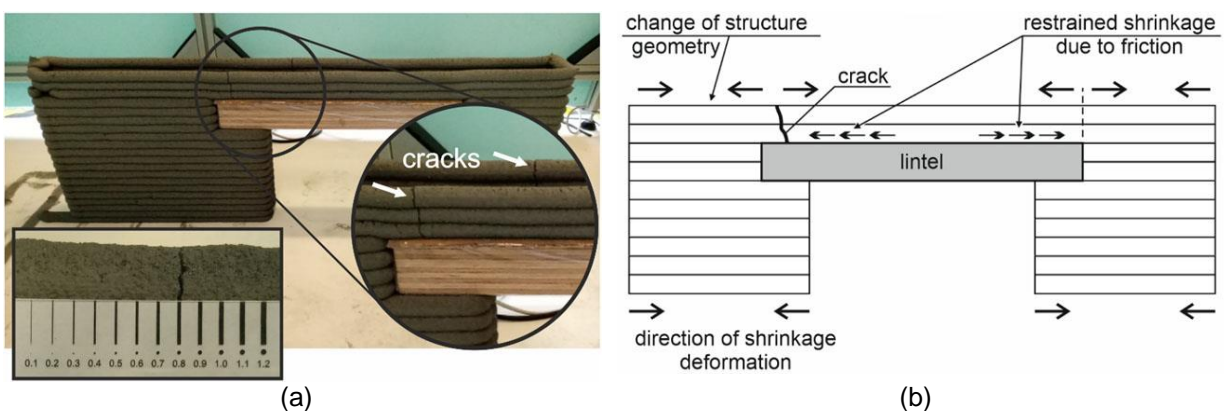
Od 2016 roku moje zainteresowania rozszerzyłem o problematykę skurczu kompozytów cementowych wykonywanych w technologii przyrostowej (druk 3D). Wspólnie z naukowcami z Wydziału Budownictwa i Architektury (obecnie Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska) i Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie, powołaliśmy celowy zespół badawczy 3D Concrete Line, w celu zaprojektowania i wdrożenia innowacyjnej technologii druku 3D. Odształcenia skurczowe okazały się głównym problemem dla świeżo wytłoczonych warstw materiału. Duża ilość spoiwa w mieszankach przeznaczonych do druku 3D, brak powierzchni szalowania i wysoki stosunek objętości materiału do powierzchni wysychania, powodowały, że warstwy materiałowe bezpośrednio po wytłoczeniu były narażone na dynamiczne oddziaływanie skurczu plastycznego, a po zakończeniu wiązania skurczu przez wysychanie i skurcz autogenicznego. Efektem było pękanie wydrukowanych warstw. Morfologia pęknięć rozwijała się w strefach podwyższonego ograniczenia swobody odształceń. W tych miejscach można było obserwować charakterystyczny układ i niedopuszczalną szerokości zarysowań skurczowych. Z tego powodu podjęta problematyka miała wdrożeniowe uzasadnienie i zasadniczy wpływ na powodzenie rozwijanej technologii.

W publikacji [A12] zaprezentowano robot kartezyjski do przyrostowego wytłaczania mieszanki cementowej w postaci ścieżek (warstw) w celu zbudowania elementów i struktur konstrukcyjnych. Zastosowany robot, system sterowania i mieszanka cementowa były autorskim rozwiązaniem zespołu naukowego ZUT w Szczecinie, w którym brałem czynny udział, (Rys. 9). Przeprowadzono eksperyment wybudowania w technologii druku 3D modelu ściany kompozytowej z mechanicznym montażem nadproża prefabrykowanego nad otworem i kontynuacją wytłaczania kolejnych warstw łączących elementy ścienne nad nadprożem. Model był wykonany w skali 1:2 i miał na celu weryfikację technologii do realizacji podstawowej problematyki podczas wznoszenia obiektów budowlanych. Opisany i zilustrowany w publikacji eksperyment był poprzedzony projektem konstrukcyjnym, projektem receptury mieszanki cementowej i badaniami jej reologii i wczesnych właściwości mechanicznych. Efektem prac było poprawne wykonanie modelu zgodnie z założeniami.



Rys. 9 Stanowisko do technologii przyrostowej z zastosowaniem mieszanki cementowej: (a) robot kartezyjski i torkretnica, (b) głowica wytłaczająca [A12].

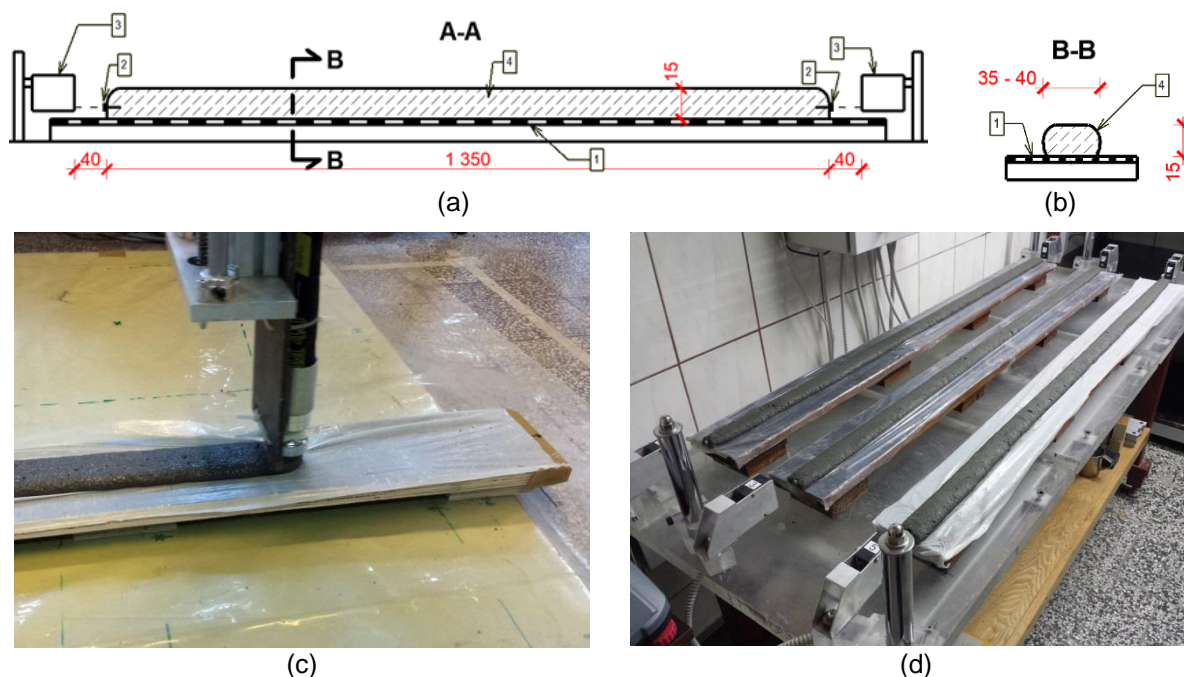
Najpoważniejszym problemem okazało się przerwanie ciągłości górnych warstw wydruku po jednym dniu po wytłoczeniu struktury, (Rys. 10). Zarysowania, a następnie pęknięcia ścian nad nadprożem były zlokalizowane blisko naroża otworu i wynikały z ograniczenia skurczu świeżo uformowanych warstw kompozytu cementowego. Na materiał będący w stanie plastycznym oddziaływał skurcz przez wysychanie, a następnie po zakończeniu wiązania – skurcz całkowity. Skurcz przez wysychanie w stanie plastycznym mieszanki cementowej wynikał z dążenia do równowagi wilgotnościowej między świeżo wytłoczonym materiałem a wilgotnością otoczenia. Powodowało to wysoką odkształcalność materiału, ponieważ świeża mieszanka bezpośrednio po ułożeniu nie miała jeszcze odpowiednich parametrów mechanicznych, które mogłyby ograniczyć przyrost deformacji skurczowych. W etapie twardnienia, skurcz całkowity był złożony ze skurczu przez wysychanie i skurczu autogenicznego. Skurcz autogeniczny powodował zmniejszenie objętości kompozytu wynikające z zachodzących reakcji chemicznych procesów hydratacji spoiwa. Skurcz całkowity materiału nie był swobodny, ponieważ ograniczenie odkształceń było spowodowane przez trzy czynniki, (Rys. 10): (1) w miejscu otworu, zamontowano sztywną, nieodkształcalną belkę nadprożową, która stawiała opór kurczącemu się materiałowi, (2) ograniczenie skurczu spowodowane było również siłami tarcia występującymi pomiędzy mieszanką cementową, a powierzchnią belki nadproża, (3) prawy i lewy segment ściany wydrukowano w jednym cyklu roboczym, dlatego kurczyły się one równomiernym odkształceniem w kierunku rdzenia przekroju wywołując ograniczenie skurczu warstw górnych. Ograniczenie zjawiska skurczu wywołało w materiale rozwój naprężeń wymuszonych. W momencie przekroczenia wczesnej wytrzymałości materiału na rozciąganie przez dynamicznie rozwijające się naprężenia, następowało zarysowanie warstw materiału. Ciągły rozwój skurczu doprowadził do przerwania ciągłości układu konstrukcyjnego w miejscu zarysowania i poszerzenie pęknięcia, które po jednym dniu wyniosło 0,8 mm. Szerokość pęknięcia skurczowego była wynikiem oddziaływania otoczenia zewnętrznego o niskiej wilgotności względnej $RH = 60\%$ na powierzchnie wytłoczonej mieszanki oraz dużą zawartością spoiwa mineralnego (820 kg/m^3) wchodzącą w skład kompozytu. Wnioskiem z przeprowadzonych badań była rekomendacja konieczności minimalizacji odkształceń skurczowych materiału cementowego w druku 3D. Zalecono, że w celu minimalizacji skurczu i podatności na pęknięcie kompozytów cementowych do druku 3D, należy zastosować inny skład i proporcję spoiwa lub wewnętrzne i zewnętrzne zabiegi pielęgnacyjne.



Rys. 10 Problematyka druku 3D z użyciem mieszanki cementowej: (a) widok ściany po 3 dniach od wydrukowania (zbliżenie pęknięć), (b) schemat rozwoju zarysowania i pęknięcia drukowanych warstw ponad nadprożem, w wyniku oddziaływania skurczu [A12].

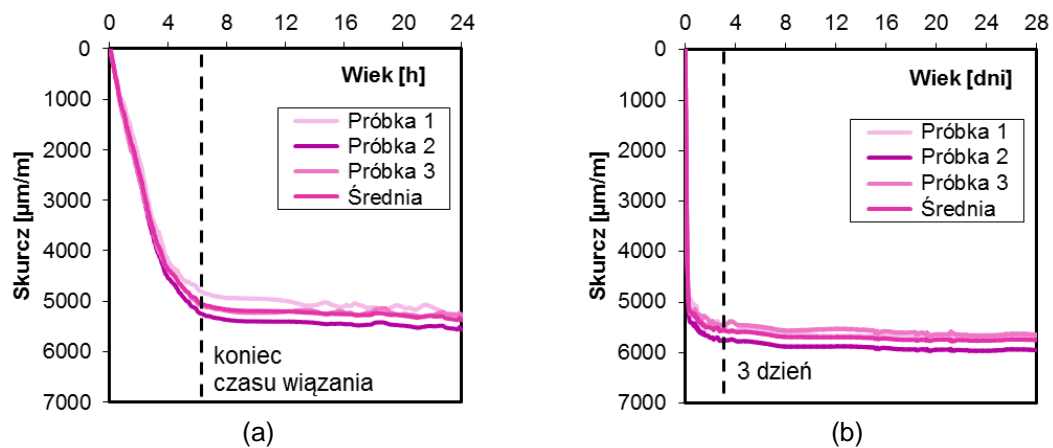
W celu przeprowadzenia badań wpływu zmiany spoiwa i zabiegów pielęgnacyjnych na minimalizację skurczu mieszanek w technologii 3D należało zbudować stanowisko badawcze. Ze względu na brak podobnych badań w literaturze, koniecznym było zaprojektowanie autorskiego rozwiązania pomiarowego.

W publikacji [A13] przedstawiono konstrukcję stanowiska badawczego i wyniki badań wpływu kompozycji i rodzaju spoiwa na rozwój skurczu mieszanek cementowych w technologii druku 3D. Na potrzeby rejestracji wartości skurczu materiału zaprojektowałem i wykonałem autorskie stanowisko pomiarowe. Próbką była liniowa warstwa świeżo wytłoczonej mieszanki cementowej o długości 1350 mm, szerokości ok. 35 mm i wysokości ok. 15 mm. W celu zapewnienia swobody odkształceń, próbkę wytłaczano na folii polietylenowej, którą na moment wydruku unieruchamiano, a po ustawieniu próbki w stanowisku pomiarowym - zwalniano. Do pomiaru przemieszczeń dwóch przeciwległych końców każdej z próbek wykorzystano czujniki laserowe nie powodujące wymuszonych deformacji w materiale w stanie plastycznym, (Rys. 11). Ze względu na dynamikę rozwoju odkształceń skurczowych pomiar deformacji był automatyczny i ciągły z interwałem 5 min i rozpoczynał się ok. 15 min od wytłoczenia próbek. Punktem pomiarowym nie zaburzającym odbicia wiązki lasera był trzpień zakończony płaską powietrzną. Rejestracja deformacji skurczowych odbywała się w pomieszczeniu klimatycznym o stałej temperaturze otoczenia 21 ± 2 °C i stałej wilgotności względnej powietrza $50 \pm 3\%$.



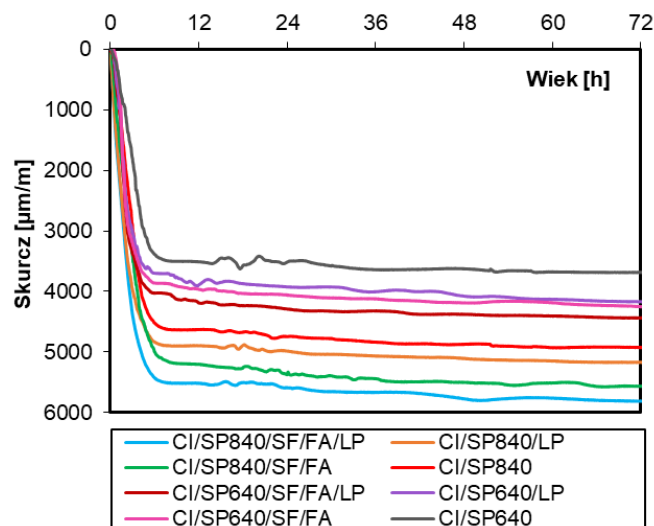
Rys. 11 Autorska metoda pomiaru skurczu mieszanek cementowych w technologii 3D: (a) schemat stanowiska pomiarowego, (b) geometria przekroju wytłoczonej warstwy – próbki, (c) proces wytłaczania próbek na podstawie; (d) widok na stanowisko pomiarowe w komorze klimatycznej [A13].

Testując referencyjną zaprawę zaobserwowano, że dynamika rozwoju skurczu zdecydowanie spowalnia po zakończeniu czasu wiązania, kiedy w kompozycie zaczynają rozwijać się właściwości mechaniczne. Dodatkowo, wartość odkształceń skurczowych po 3 dniach stanowiła ponad 95% wartości 28-dniowej. Z tego względu ograniczono czas badań skurczu do 3 dni, (Rys. 12).



Rys. 12 Przebieg odkształceń skurczowych materiału referencyjnego CI/840/SF/FA: (a) w okresie 24 h, (b) w okresie 28 dni [A13].

Analiza wykazała, że stosunek skurczu plastycznego do skurczu całkowitego po 72h był większy dla materiałów z większą ilością spoiwa. Kompozyty o mniejszej objętości spoiwa charakteryzowały się mniejszą wartością skurczu w stanie plastycznym, natomiast miały większy przyrost odkształceń w etapie twardnienia. Najmniejszy skurcz był obserwowany dla kompozytów, w których spoiwem był sam cement oraz kruszywo frakcji 0-2 mm. Następnie, większe odkształcenia skurczowe wykazywały kompozyty z modyfikacją kruszywa mączką wapienną. Przyczyną była wyższa wodożądność mączki wapiennej w stosunku do kruszywa naturalnego (co ogranicza ilość wody w mieszance). Największą kinetyką skurczu charakteryzowały się kompozyty, których spoiwo i kruszywo zostały zmodyfikowane reaktywnymi dodatkami mineralnymi (pył krzemionkowy i popiół lotny) oraz mączką wapienną.

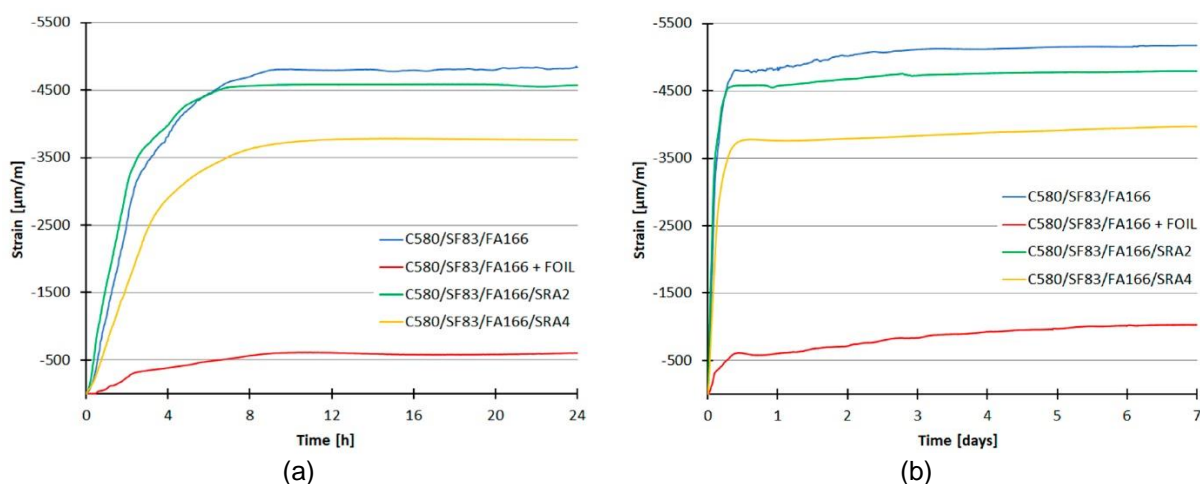


Rys. 13 Kinetyka skurczu analizowanych mieszanek cementowych w okresie 3 dni [A13].

Obniżenie ilości spoiwa i dodatków, nie wyeliminowało wysokich odkształceń skurczowych. Dlatego rozszerzono badania o zastosowanie zabiegów pielęgnacyjnych.

W publikacji [A14] zakres badań i analiz objął modyfikację mieszanki cementowej przeznaczonej do technologii 3D o zabiegi pielęgnacyjne w celu zmniejszenia odkształceń skurczowych. Zastosowano pielęgnację zewnętrzną - osłonięcie próbek folią w celu minimalizacji wysychania oraz pielęgnację wewnętrzną - przeciwskurczową domieszkę

chemiczną SRA - 2-metylo-2,4-pentanodiol, w ilości 2% i 4% masy cementu. Najbardziej wydajną pielęgnacją była pielęgnacja zewnętrzna. Uszczelnienie próbek folią spowodowało zahamowanie dyfuzji wilgoci z kompozytu i ograniczenie skurczu całkowitego blisko pięciokrotnie względem kompozytu referencyjnego w 7 dniu pomiaru. Zminimalizowanie skurczu przez wysychanie spowodowało, że dominującą składową wartości skurczu całkowitego był skurcz autogeniczny. Z tego powodu, skurcz całkowity rozwijał się w czasie, aby po 3 dniach stanowić 81% wartości 7-dniowej. Mniej wydajna okazała się pielęgnacja wewnętrzna. Zastosowanie 2% SRA zmniejszyło skurcz o 7%, a 4% SRA o 23% względem kompozytu referencyjnego w 7 dniu, (Rys. 14). Wnioskiem z przeprowadzonych badań była rekomendacja jednoczesnego stosowania pielęgnacji zewnętrznej i wewnętrznej dla kompozytów cementowych w technologii druku 3D.



Rys. 14. Wpływ zabiegów pielęgnacyjnych na kinetykę skurczu całkowitego kompozytu cementowego w technologii druku 3D: (a) okres pierwszych 24 h, (b) okres 7 dni [A14].

4.3.7 Podsumowanie

Tematyka badań przedstawiona w pracach wchodzących w skład cyklu miała na celu opisanie mojej działalności naukowej związanej z opracowaniem autorskich metod badawczych i pomiarem oraz interpretacją rozwoju odkształceń skurczowych i podatności na pękanie kompozytów cementowych nowej generacji.

Przedstawione i opisane badania mają charakter oryginalny, a wyniki i analizy poszerzają dotychczasową wiedzę na temat technologii kompozytów cementowych nowej generacji w kontekście odkształceń skurczowych i podatności na pękanie. Zaprezentowane wyniki mogą umożliwić właściwe użycie zabiegów pielęgnacyjnych oraz ułatwić właściwy dobór składu materiału w celu zwiększenia jego trwałości w okresie użytkowania konstrukcji.

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

- **Poszerzenie wiedzy z zakresu odkształceń skurczowych kompozytów cementowych nowej generacji.**
- **Opracowanie autorskich metodologii badawczych umożliwiających pomiar skurczu autogenicznego kompozytów cementowych nowej generacji.**
- **Ustalenie, że wartość skurczu autogenicznego wzrasta w wyniku oddziaływania reakcji pucolanowych, wraz z ilością spoiwa i obniżeniem wskaźnika woda/cement.**

- **Udowodnienie, że wartość skurczu całkowitego maleje w wyniku reakcji pucolanowych, które doszczelniają matryce cementową.**
- **Wykazanie, że skurcz autogeniczny może powodować mikrozarysowanie i pękanie w kompozytach cementowych nowej generacji już we wczesnych etapach dojrzewania materiału.**
- **Wykazanie, że wydajna pielęgnacja wewnętrzna jest skuteczną metodą minimalizacji skurczu autogenicznego i podatności na pękanie.**
- **Udowodnienie, że w celu utrzymania trwałości elementów wykonywanych w technologii 3D z użyciem mieszanek cementowych muszą być zastosowane techniki obejmujące pielęgnację wewnętrzną i zewnętrzną.**

4.3.8 Aktualnie realizowane problemy badawcze

Na podstawie najnowszych publikacji, wciąż poszukiwane są innowacyjne metody minimalizujące odkształcenia skurczowe i ryzyko pękania, zwłaszcza kompozytów z dużą ilością spoiwa i kompozytów narażonych na skurcz plastyczny z dużych powierzchni eksponowanych na wysychanie (nawierzchnie, płyty lotniskowe i posadzki bezspoinowe). Kierunkiem obecnie prowadzonych przeze mnie badań jest autorska **technologia inteligentnej pielęgnacji wewnętrznej (IITC)** i jej optymalizacja, na którą w 2022 roku otrzymałem finansowanie 1 500 000 PLN w ramach projektu badawczo-rozwojowego LIDER XIII organizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), potwierdzenie pkt. 8.6. Projekt B+R nr umowy LIDER13/0101/2022, pt. *Technologia inteligentnej pielęgnacji wewnętrznej niskoskurczowych kompozytów cementowych o obniżonym śladzie węglowym* otrzymał 95 pkt./100 pkt., zajął 5 miejsce na 290 złożonych wniosków i 1 miejsce wśród uczelni technicznych. Projekt jest realizowany w zespole interdyscyplinarnym i międzyinstytucjonalnym. Projekt obejmuje poziomy gotowości technologicznej od TRL4 - TRL8 i kończy się demonstratorem technologii w konstrukcji posadzki bezspoinowej. Zaproponowana technologia IITC to koncepcja zaprojektowania rozwoju odkształceń skurczowych kompozytu cementowego poprzez opracowanie i wdrożenie gotowego, aktywnego kompleksu współdziałających materiałów pielęgnacyjnych aplikowanych już na etapie wykonywania mieszanki betonowej. Celem jest zapewnienie kontroli nad rozwojem skurczu materiału w każdym etapie jego dojrzewania oraz jednoczesne obniżenie jego śladu węglowego. Rozwiązanie pozwoli na zmniejszenie ilości szczelin dylatacyjnych, redukcję ilości zbrojenia, uproszczenie lub rezygnację z zabiegów pielęgnacyjnych stosowanych w typowych nawierzchniach drogowych, posadzkach przemysłowych oraz płytach lotniskowych. Efekt będzie przekładał się na zmniejszenie obecnie konstruowanych szczelin dylatacyjnych, przez co koszty wykonawstwa zostaną zredukowane. Zmniejszą się także potencjalne koszty utrzymania i wymiany uszczelnienia dylatacji oraz ewentualnych błędów z tym związanych m.in. pęknięcia i uszkodzenia płyt betonowych przy dylatacjach, wykruszenia krawędzi płyt, pęknięcia podłużne lub poprzeczne. Bardziej szczegółowy opis projektu został przedstawiony w zał. 5 pkt. II.9 poz.1.

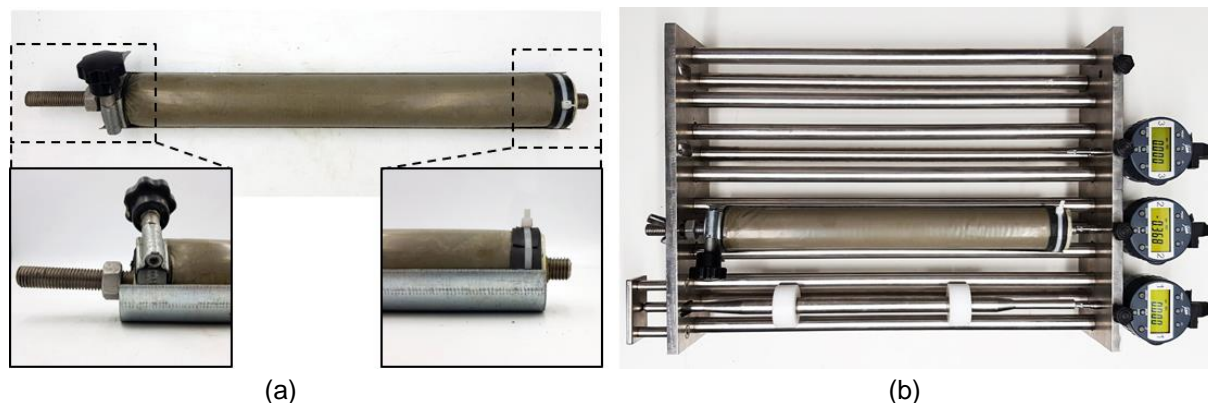
Aktualnie realizuję rozbudowę zaplecza laboratoryjnego i stworzenie w jednej lokalizacji, specjalistycznego **laboratorium odkształceń skurczowych i podatności na pękanie kompozytów cementowych**. Jednoczesny pomiar 2 głównych składowych skurczu całkowitego kompozytów cementowych: skurczu autogenicznego i skurczu przez wysychanie w stanie plastycznym i stwardniałym materiału wraz z badaniami towarzyszącymi: temperaturą, wilgotnością względną materiału i detekcją mikrozarysowań powierzchniowych

z użyciem fotogrametrii oraz mikrozarysowań strukturalnych z użyciem emisji akustycznej, wydaje się być bardzo dobrym kierunkiem naukowo-wdrożeniowym, zwłaszcza w dobie poszukiwania i rozwoju materiałów niskoemisyjnych przyjaznych środowisku m. in. spoiwa cementowe siarczanoglinowe, wysokobelitowe, spoiwa organiczne, geopolimery aktywowane alkaliami oraz niskoskurczowe mieszanki do druku 3D. Wprowadzane na rynek materiały często potrafią niekorzystnie zaskoczyć inżynierów oddziaływaniami skurczowymi, które zdecydowanie mogą wpłynąć na obniżenie trwałości i użyteczności konstrukcji bez wpływu obciążenia eksploatacyjnego. Takie laboratorium zapewni pełny monitoring odkształceń skurczowych i umożliwi przewidywanie podatności na pękanie kompozytów cementowych zastosowanych w praktyce inżynierskiej.

Kolejnym realizowanym przeze mnie zagadnieniem badawczym jest rozwiązanie problemu obecnie używanych i znormalizowanych metod w celu kompleksowego testu rejestracji skurczu autogenicznego i skurczu całkowitego kompozytów cementowych z wykorzystaniem tych samych próbek. Obecnie popularyzuję moją autorską **metodę PST** (*Plastic-Sleeve Test lub Polish Shrinkage Test*) do pomiaru skurczu autogenicznego i skurczu całkowitego. Metoda została zastrzeżona wnioskiem patentowym P.430548 wymienionym w zał. 5, pkt. III.3 poz. 13., obecnie będącym w procedowaniu przez UPRP. W 2021 r. została sprzedana licencja na wniosek patentowy opisujący metodę PST dla przedsiębiorstwa ASTRA Technologia Betonu Sp. z o.o. Obecnie w recenzjach znajduje się pierwszy artykuł opisujący metodologię:

[R1] Zieliński A., Schindler A.K. *Plastic-Sleeve Test Method to Measure Autogenous and Drying Shrinkage in Paste, Mortar, and Concrete, Cement and Concrete Composites*, 2023 r. (IF: 10,5, 200 pkt. MEiN).

Prace nad poszukiwaniem uniwersalnej metody do pomiaru skurczu autogenicznego i skurczu całkowitego, rozpocząłem od zakończenia mojej pracy doktorskiej w 2018 roku. Formowanie próbek w rękawach foliowych umożliwia stworzenie liniowej walcowej próbki pozwalającej na rejestrację skurczu autogenicznego, a po rozcięciu i zdjęciu rękawa foliowego, skurczu całkowitego zaczynów, zapraw i betonów o różnej konsystencji. Jednoczesne badania odkształceń autogenicznych pozwalają wyodrębnić z rozwoju skurczu całkowitego przebieg skurczu przez wysychanie bez błędów pomiarowych. Bardzo ważnym elementem jest dobór rodzaju tworzywa sztucznego z którego jest wykonany rękaw foliowy. W metodzie zastosowałem tworzywo LDPE (Low Density Polyethylene), dla którego chłonność wody (24h) jest poniżej 0,01%. Próbkę charakteryzuje się długością 300 mm i średnicą 40 mm, (Rys. 15). Jeden koniec próbki jest regulowany i utwierdzony w płycie dylatometru. Pomiar deformacji odbywa się na swobodnym końcu próbki, automatycznie w trybie ciągłym lub manualnie w trybie przerywanym.



Rys. 15. Widok: (a) próbka badawcza, (b) stanowisko pomiarowe [R1].

Metoda PST przewiduje zwiększenie średnic i regulację długości próbek, (Rys. 16). Zmniejszenie średnicy do 25 mm umożliwia badanie skurczu zaczynów cementowych o niskim w/c lub na bazie cementów portlandzkich narażonych na wysoką temperaturę reakcji egzotermicznej. Zwiększenie średnicy do 60 mm umożliwia badanie skurczu betonów o średnicy kruszywa ≥ 16 mm. Wymienialne korki zamykające pozwalają osadzić czujniki temperatury, sondy wilgotności lub falowód do rejestracji emisji akustycznej. Wspólnie z pomiarem temperatury, metoda pozwala na badanie wpływu reakcji egzotermicznej hydratacji na odkształcenia w celu odseparowania wpływu skurczu termicznego od wartości skurczu autogenicznego.



Rys. 16. Regulowana długość docięcia rękawów foliowych umożliwia pomiar różnej długości próbek: (a) badanie eksperymentalnego spoiwa – długość 10 cm, (b) wpływ długości próbek 30, 50 i 100 cm na rejestrację skurczu autogenicznego [R1].

Moja autorska **metoda PST** jest obecnie jedynym badaniem, które umożliwia pomiar skurczu autogenicznego i skurczu całkowitego – a przez to skurczu przez wysychanie kompozytów cementowych z użyciem tych samych próbek, bez wymuszonych błędów pomiarowych. Metoda została bardzo wysoko oceniona przez naukowców amerykańskich, co opisano w pkt. 5 i pkt. 8.10.

4.4 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Mój dorobek liczy łącznie 36 publikacji, w tym 10 artykułów w czasopiśmie JCR i 9 referatów w materiałach konferencyjnych o zasięgu międzynarodowym z indeksacją w bazie Web of Science. Dodatkowo jest autorem lub współautorem 11 patentów na wynalazki i autorem lub współautorem 4 wniosków patentowych na wynalazki, zał. 5 pkt. III.3. Tematyka publikacji koncentruje się m.in. na dwóch dodatkowych zainteresowaniach naukowych spoza cyklu obejmującego pomiar odkształceń skurczowych i podatności na pękanie kompozytów cementowych nowej generacji.

Pierwszy kierunek zainteresowań dotyczy zaprojektowania i testów **innowacyjnej tymczasowej, stalowej bariery drogowej do separacji ruchu kategorii T1/W1**. Podstawowymi parametrami do spełnienia była znormalizowana szerokość pracująca nie przekraczająca 60 cm i brak obrotu segmentu bariery podczas uderzenia pod kątem 8° pojazdu o masie 1300 kg, z prędkością 80 km/h. Zakres obejmuje: 1) projekt i testy modeli fizycznych segmentu bariery korelujących jej sztywność i masę w funkcji przemieszczenia w wyniku uderzenia pojazdu, 2) symulacje komputerowe z wykorzystaniem metody

elementów skończonych, 3) testy laboratoryjne modeli bariery w skali 1:1 dotyczące wyboru rodzaju łącznika segmentów barier ze względu na jego najwyższą sztywność i łatwość montażu, 4) symulacje komputerowe sprawdzające przyszłościowy test zderzeniowy, 5) test zderzeniowy potwierdzający prawidłowe zaprojektowanie bariery i certyfikacja klasy umożliwiająca wdrożenie. Tematykę badawczo-wdrożeniową rozwijałem w międzyuczelnianym projekcie badawczym *Development of a Finite Element Model and laboratory tests for a Temporary Road Traffic Steel Barrier that complies EN 1317* nr TRB/T1W1-13.3/0-4712-1 (zał. 5 pkt. II.5 poz. 5) z zespołem naukowym Auburn University (USA) oraz podczas realizacji projektu badawczo-rozwojowego przedsiębiorstwa GP Sp. z o. o. z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego *Innowacyjna Tymczasowa Bariera Ochronna T1/W1 jako system Techniki Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego* nr RPZP.01.01.00-32-0008/17 (zał. 5 pkt. II.5 poz. 4), w którym byłem Wykonawcą. Projekt zakończył się certyfikacją bariery w DTC Dynamic Test Center AG w Szwajcarii i opatentowaniem bariery w kategorii T1/W1 przez przedsiębiorstwo GP Sp. z o. o. – potwierdzenie pkt. 8.8. Wybrane rezultaty tych prac zostały zebrane i przedstawione w publikacjach – zał. 5 pkt. II.4.1 poz. 1., 2., 5.

Drugi kierunek dodatkowych zainteresowań dotyczy **technologii przyrostowej (druku 3D) z wykorzystaniem mieszanek cementowych**. Zakres obejmuje testowanie mieszanek spoiw mineralnych i materiałów pod względem zastąpienia części cementu alternatywnymi dodatkami mineralnymi i wyznaczeniem parametrów reologicznych, mechanicznych i zakresu czasu roboczego do prawidłowego i jakościowego wykorzystania mieszanki w tej technologii. To również badania nad elementami konstrukcyjnymi m.in.: wykonanie modelu i analiza termiczno-wilgotnościowa fragmentu ściany w tej technologii, wykonanie modeli i analiza nośności fundamentu w postaci mikropali wytłoczonych z wykorzystaniem tego samego robota kartezyjańskiego, ale zmiennej głowicy. Tematykę rozwijam m.in. w ramach realizacji projektu badawczo-rozwojowego z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego przedsiębiorstwa ORING-GUMY Małgorzata Aneta Matyja pt. *Prace badawczo-rozwojowe w zakresie rozwoju technologii przyrostowych oraz komercjalizacja wyników prac*, w którym jestem Wykonawcą – zał. 5 pkt. II.9 poz. 3. Wybrane rezultaty prac zostały zebrane i przedstawione w publikacjach – zał. 5 pkt. II.4.1 poz. 4., 6. oraz pkt. II. 4. 3. poz. 1., 2., 5., i patentach na wynalazki – zał. 5 pkt. III.3 poz. 4., 5., 6., 7., 8.

Ze względu na doświadczalny i interdyscyplinarny charakter badań, przedstawione publikacje i patenty są pracami współautorskimi, a kopie wybranych publikacji, których zakres jest zgodny z dodatkowymi moimi zainteresowaniami, zostały zamieszczone w załączniku 6.

4.5 Podsumowanie najważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych

Łącznie z pracami ujętymi w cyklu, Impact Factor moich publikacji wynosi $IF = 32,571$, a suma liczby punktów wynosi $1820 + 96$ (punktacja wg obowiązującej listy MEiN + punktacja wg listy MNiSW obowiązującej do końca roku 2018). W Tabeli 1 przedstawiłem statystyki publikacji, udział w konferencjach naukowych, udział w patentach i 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 26.09.2023 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				
Publikacje z listy JCR:	0	10	10	
Sumaryczny wskaźnik Impact Factor (IF):	0	32,571	32,571	
Publikacja nie z listy JCR:	0	9	9	
Rozdziały w monografiach:	0	1	1	
Publikacje konferencyjne indeksowane w WoS:	3	6	9	
Publikacje konferencyjne nie indeksowane w WoS:	3	4	7	
Suma:	6	30	36	
Konferencje naukowe				
Krajowe (wygłoszenie referatu)	2	3	5	
Międzynarodowe (wygłoszenie referatu)	2	7	9	
Suma:	4	10	14	
Zgłoszenia patentowe i patenty				
Zgłoszenia patentowe	(2)*	4	4	
Patenty	1	10	11	
Suma:	1	14	15	
Udział w projektach finansowanych ze środków krajowych (NCN, RPO, NCBiR) lub międzynarodowych				
Kierownik	Krajowe	0	1	1
	Międzynarodowe	0	0	0
Wykonawca	Krajowe	1	2	3
	Międzynarodowe	0	1	1
Suma:	1	4	5	

* - liczba wniosków patentowych zgłoszonych w trakcie doktoratu, które po obronie uzyskały prawa patentowe.

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

Baza cytowań	Liczba publikacji	Liczba cytowań	Liczba cytowań bez autocytoowań	Indeks Hirscha
Web of Science	17	155	137	7
Scopus	22	198	172	8
Google Scholar	33	291	-	9

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

We wrześniu 2018 roku we współpracy z prof. Aleksandrą Radlińską z Penn State University, Civil and Environmental Engineering, 231D Sackett Building, PA 16802, USA, zostały opublikowane wyniki wspólnych badań i analiz w publikacji JCR **[A10]** będącej częścią mojego cyklu publikacyjnego.

W październiku 2018 roku w ramach współpracy mojego Wydziału WBiŚ ZUT w Szczecinie z Auburn University Samuel Ginn College of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, 205 W Magnolia Ave, AL 36849, USA, w ramach projektu badawczego pt. *Development of a Finite Element Model and laboratory tests for a Temporary Road Traffic Steel Barrier that complies EN 1317*; nr TRB/T1W1-13.3/0-4712-1 oraz w ramach projektu RPO nr RPZP.01.01.00-32-0008/17 przedsiębiorstwa GP Sp. z o. o. pt. *Innowacyjna Tymczasowa Bariera Ochronna T1/W1 jako system Techniki Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*, odbyłem 2-tygodniową wizytę studyjną w Auburn University, gdzie wspólnie z zespołem badawczym Auburn University pod kierownictwem prof. Andrzeja Nowaka pracowaliśmy nad modelem numerycznym tymczasowej bariery ochronnej, współczynnikiem tarcia i uderzeniem pojazdu symulującego test zderzeniowy w oprogramowaniu MES – LS-DYNA. W ramach współpracy zaprojektowano tymczasową barierę ochronną do separacji ruchu, która przeszła testy zderzeniowe w DTC Dynamic Test Center AG w Szwajcarii w kategorii T1/W1 – potwierdzenie pkt. 8.8. Wyniki tych badań zaowocowały powstaniem publikacji autorstwa zespołów wydziału BiŚ ZUT z zespołem Auburn University – zał. 5 pkt. II.4.1 poz. 1., 2., 5.

W 2021 roku odbyłem 1-miesięczny staż naukowy na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, pt. *Ocena właściwości kompozytów cementowych*. Opiekunem stażu był dr hab. inż. Waldemar Pichór, prof. AGH (potwierdzenie - pkt. 8.9). Zakres stażu obejmował zapoznanie się z technikami pomiarowymi stosowanymi do oceny właściwości spoiw mineralnych w tym: metodami kalorymetrycznymi (ocena postępu hydratacji, ciepło hydratacji, efekty związane ze składem fazowym cementu), metodami oceny uziarnienia i powierzchni właściwej spoiw mineralnych, metodami termicznymi stosowanymi do oceny produktów hydratacji cementu, analizą składu chemicznego i fazowego stwardniałych kompozytów cementowych i badaniami mikrostruktury kompozytów cementowych technikami mikroskopowymi. Podczas stażu nawiązałem współpracę z dr inż. Ewą Kapeluszną, która zaowocowała 2 publikacjami JCR – **[A6]** (zał. 5 pkt. I.2.1 poz. 3.), zał. 5 pkt. II.4.1 poz. 7. oraz współpracą przy realizacji projektu LIDER XIII NCBiR pt. *Technologia inteligentnej pielęgnacji wewnętrznej niskoskurczowych kompozytów cementowych o obniżonym śladzie węglowym*, którego jestem Kierownikiem.

W 2022 roku, odbyłem 3-miesięczny staż naukowy w Auburn University Samuel Ginn College of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, 205 W Magnolia Ave, AL 36849, USA. Opiekunem naukowym mojego stażu był prof. Anton K. Schindler (potwierdzenie - pkt. 8.10). Podczas stażu kontynuowałem moje badania dotyczące *Analizy podatności na pękanie kompozytów wysokowartościowych w wyniku oddziaływania skurczu autogenicznego*, których efektem jest publikacja JCR wchodząca w mój cykl publikacyjny **[A9]**. Rozszerzyłem współpracę naukową z prof. Antonem K. Schindlerem o rozpropagowanie na terenie USA, mojej autorskiej **metody PST** (Plastic Sleeve Test / Polish Shrinkage Test) do pomiaru skurczu autogenicznego i skurczu całkowitego oraz

skurczu przez wysychanie kompozytów cementowych. Obecnie w recenzji znajduje się publikacja dot. ww. metody w czasopiśmie JCR [R1], a druga publikacja dotycząca testowania metody jest w przygotowaniu.

W trakcie stażu w Auburn University uczestniczyłem w seminarium naukowym podczas którego wygłosiłem referat pt. *Autogenous Shrinkage and Cracking Potential in High-performance Concrete* dotyczący wpływu wielkości wskaźnika woda/spoiwo, ilości spoiwa oraz zastosowania pielęgnacji wewnętrznej w postaci domieszek chemicznych SRA i nasączonego kruszywa lekkiego na minimalizację skurczu autogenicznego i jego oddziaływania na spadek podatności na pękanie kompozytów wysokowartościowych.

Będąc na stażu w AU, byłem także zatrudniony w projekcie badawczym *NCHRP 12-123 - Segmental Bridges* finansowanym przez National Cooperative Highway Research Program (USA) dla Auburn University (USA), którego kierownikiem był prof. Andrzej S. Nowak. Pełniłem funkcję Wykonawcy, a mój zakres pracy badawczej dotyczył opracowania algorytmu wrażliwości parametrycznej strat sprężania mostowej konstrukcji sprężonej, związanych ze skurczem betonu – potwierdzenie pkt. 8.7.

Szczegóły powyższej wizyty studyjnej oraz stażów naukowych przedstawiłem w zał. 5 pkt. II.11.

W 2022 roku, podczas Webinar'u dla Arizona State University wygłosiłem seminarium pt. *Sustainable Concrete and Mortar Design Problems in 3D Printing Technology*.

Podczas seminarium naukowego Concrete Shrinkage Summit organizowanego przez FHWA (Federal Highway Administration) w Waszyngtonie DC (USA) w 2023 roku został wygłoszony referat: **Zieliński A.**, Schindler A.K. *Concrete Shrinkage Testing: Plastic-Sleeve Test Method*, w celu zapoznania środowiska naukowego z moją metodą badawczą. Zainteresowanie metodą PST wykazał TxDOT (Texas Department of Transportation), który zaproponował sfinansowanie projektu badawczego dotyczącego tymczasowej standaryzacji metody PST w amerykańskim standardzie mostowym AASHTO PP, a następnie w stałym standardzie AASHTO. Obecnie trwają prace nad rozpoczęciem projektu, w którym wspólnie z Auburn University (prof. Anton K. Schindler) oraz University of Texas at Austin (prof. Kevin Folliard) będę pracował nad standaryzacją mojej metody badań skurczu autogenicznego i skurczu przez wysychanie kompozytów cementowych (potwierdzenie - pkt. 8.10).

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 i niestacjonarnych. Prowadzę zajęcia dydaktyczne dla studentów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska na kierunkach: Budownictwo, Inżynier Europejski i International Contruction Management w języku angielskim oraz dla studentów Wydziału Architektury na kierunku Architektura.

W okresie od 2018 do obecnego semestru prowadzę wykłady, ćwiczenia projektowe i ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotów:

- *Technologia Betonu*, ćwiczenia laboratoryjne, studia pierwszego stopnia stacjonarne i niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;

- *Technologia Betonów Specjalnych*, wykład i ćwiczenia laboratoryjne, studia drugiego stopnia stacjonarne i niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *Konstrukcje Betonowe*, ćwiczenia projektowe, studia pierwszego stopnia stacjonarne i niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *Konstrukcje Betonowe II*, ćwiczenia projektowe, studia pierwszego stopnia stacjonarne i niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *Złożone Konstrukcje Betonowe*, ćwiczenia projektowe, studia drugiego stopnia niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *Złożone Konstrukcje Betonowe II*, ćwiczenia projektowe, studia drugiego stopnia niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *Obiekty Inżynierii Komunalnej*, ćwiczenia projektowe, studia pierwszego stopnia stacjonarne i niestacjonarne, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *Advanced Concrete Structures – International Perspective*, ćwiczenia projektowe, studia drugiego stopnia, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *New Generation of Concrete*, ćwiczenia laboratoryjne, studia pierwszego stopnia, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
- *Konstrukcje Budowlane*, wykład i ćwiczenia projektowe, studia pierwszego stopnia stacjonarne, Wydział Architektury.

Pełniłem funkcję promotora 4 prac dyplomowych inżynierskich i 12 prac magisterskich, studentów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie studiujących na kierunku Budownictwo. Z czego 3 prace inżynierskie uzyskały nagrodę 1 miejsca lub wyróżnienia w konkursie „na najlepszą pracę inżynierską” organizowanym przez Dziekana WBiŚ/ZUT w Szczecinie, PZITB/Oddział w Szczecinie, ZOITB/o. Szczecin, SITK RP/o. Szczecin. Praca inżynierska dyplomantki inż. Weroniki Gajdeckiej otrzymała Nagrodę Ministra Rozwoju i Technologii w edycji 2022 za pracę dyplomową pt. *Projekt elementów konstrukcji budynku wysokościowego z zastosowaniem betonu zbrojonego i fibrobetonu na podstawie norm PN-EN 1992-1-1 i ACI 544.6R-15*. Trzy prace magisterskie otrzymały 1 miejsce lub wyróżnienie w konkursie „na najlepszą pracę magisterską” organizowanym przez Dziekana WBiŚ/ZUT w Szczecinie, PZITB/Oddział w Szczecinie, ZOITB/o. Szczecin, SITK RP/o. Szczecin.

Od 2015 roku do chwili obecnej, jestem opiekunem Studenckiego Koła Naukowego *Concretini*. W okresie od zakończenia doktoratu (czerwiec 2018), studenci SKN Concretini na ogólnopolskich konferencjach wygłosili liczne referaty i zdobyli nagrody, m.in.: Nagroda J.M. Rektora Politechniki Krakowskiej za najlepszy referat I stopnia EUROINŻYNIER PK (2019), III miejsce w konkursie referatów inżynierskich EUROINŻYNIER PK (2019), II miejsce podczas VI Ogólnopolskiej Sesji Studenckich Kół Naukowych na ZUT w Szczecinie (2020).

W 2018 roku zostałem członkiem Amerykańskiego Instytutu Betonu (ACI) i byłem współzałożycielem i przewodniczącym pierwszego w Polsce i Europie, Uczelnianego Koła Naukowego przy Amerykańskim Instytucie Betonu - West Pomeranian University Student Chapter of ACI. W 2019 roku, podczas konwencji American Concrete Institute w Quebec City (Kanada), dwie drużyny studenckie wzięły udział w konkursach, zdobywając 2 miejsce w konkursie Mortar Workability (34 drużyny uniwersyteckie z całego świata) i 3 miejsce w konkursie Eco Concrete (23 drużyny uniwersyteckie).

Moja dotychczasowa działalność na rzecz rozwoju kadry naukowej obejmuje:

- pełnienie funkcji opiekuna naukowego praktyki zawodowej w ramach 15-tygodniowego stażu badawczego na ZUT w Szczecinie, organizowanego przez IAESTE (The International Association for the Exchange of Students for Technical

- Experience) - Estefania Ceccotti - National Technology University Santa Fe Argentina, 2018-2019;
- pełnienie funkcji promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr inż. Karola Federowicza, pt. *Wpływ pielęgnacji na odkształcenia skurczowe kompozytów cementowych wykorzystywanych w technologii druku 3D*, uchwała nr 131/2018/2019 Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 17.04.2019 r., praca doktorska obroniona 15 września 2023 r.

W 2018 roku prowadziłem szkolenia z obszaru budownictwa ogólnego i technologii betonu dla uczniów Zachodniopomorskiego Centrum Edukacji Morskiej i Politechnicznej. W 2020 roku, prowadziłem ćwiczenia dla dzieci w wieku szkoły podstawowej, w ramach programu ZUT – Dziecięcy Uniwersytet Technologicznych DUTEK.

Popularyzację nauki przeprowadziłem również podczas licznych pokazów i prezentacji technologii druku 3D z wykorzystaniem mieszanek cementowych. W związku, że projekt był pierwszym tego typu przedsięwzięciem naukowym w Polsce, nasz zespół naukowy 3D Concrete Line otrzymał zaproszenie do uczestnictwa w Międzynarodowych Targach Poznańskich BUDMA 2019. Brałem udział w strefie START-UP dla demonstratorów podmiotów branży budowlanej reprezentujących nowoczesne i innowacyjne technologie – *3D Concrete Line - pierwsza polska drukarka 3D wykorzystująca mieszankę cementową*. Na co dzień prowadzę internetowy profil ResearchGate skierowany dla naukowców, w którym prezentuje swoje artykuły naukowe, za pomocą którego komunikuję się i nawiązuję kontakty z naukowcami z całego świata.

6.2 Działalność organizacyjna i inżynierska

W ramach działalności organizacyjnej pełniłem funkcję członka Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu WBiŚ ZUT oraz funkcję członka Wydziałowej Komisji kwalifikacyjnej ds. oceny wniosków nauczycieli WBiŚ na wyjazdy dydaktyczne w ramach programu Erasmus. W 2021 roku pełniłem funkcję członka Komisji ds. ewaluacji dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa i Transport – w zakresie dotyczącym I, II i III Kryterium. W 2022 roku byłem członkiem Komisji ds. Strategii Rozwoju Wydziału WBiŚ ZUT.

W 2019 roku byłem ekspertem w panelu: *W poszukiwaniu optymalizacji projektu deweloperskiego. Technologie materiałowe i rozwiązania wykonawcze, które stają się codziennością na rynku mieszkaniowym*, podczas Forum Rynku Nieruchomości w Sopocie.

W 2019 i 2022 roku byłem członkiem komitetu organizacyjnego Międzynarodowych Konferencji Naukowo-Technicznych Awarie Budowlane (International Conference on Structural Failures) organizowanych przez ZUT w Szczecinie, Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa i Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Instytut Techniki Budowlanej, pod przewodnictwem prof. dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej.

Moja działalność inżynierska zaowocowała realizacją kilkunastu projektów i opracowań konstrukcyjnych m.in. w budowie, rozbudowie, przebudowie i rozbiórce obiektów mieszkalnych jedno- i wielorodzinnych, hal magazynowych i fundamentów pod elektrownie wiatrowe. Jestem współautorem ekspertyzy sądowej w zakresie nośności i trwałości betonowych hal magazynowych z przeznaczeniem na nawozy sztuczne w Szczecinie. Moja zawodowa działalność inżynierska została szerzej przedstawiona w zał. 5 pkt. III. 5.

Obecnie pełnię rolę konsultanta firm budowlanych dot. technologii betonu i konstrukcji betonowych oraz od 2021 r. asystenta inspektora nadzoru z ramienia inżyniera kontraktu SMCE Europe Sp. z o. o. podczas realizacji budowy i przebudowy nabrzeży portowych w Porcie Szczecin-Świnoujście. W ramach współpracy wykonałem i wykonuję m.in. odbiory zbrojenia konstrukcji żelbetowych, odbiory betonowych nawierzchni portowych, ekspertyzy i opinie dot. konstrukcji żelbetowych m.in. zarysowania oczepów nabrzeży w wyniku oddziaływań skurczowych ograniczonych nierównomierną sztywnością palościanek stalowych.

7 DODATKOWE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ

7.1 Uzyskane nagrody i wyróżnienia

- 2022** Nagroda indywidualna II stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2021);
- 2021** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2020);
- 2020** Nagroda zespołowa III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia dydaktyczne (za rok 2019);
- 2019** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia naukowe (za rok 2018);
- 2019** Nagroda indywidualna III stopnia Rektora ZUT w Szczecinie za osiągnięcia dydaktyczne (za rok 2018);
- 2018** **Nagroda Prezesa Rady Ministrów za wyróżniającą się pracę doktorską** – potwierdzenie – potwierdzenie pkt. 8.4;
- 2018** **Nagroda Ministra Inwestycji i Rozwoju RP za wyróżniającą się pracę doktorską** – potwierdzenie – potwierdzenie pkt. 8.3;
- 2018** Wyróżnienie rozprawy doktorskiej uchwałą nr 180/2017/2018 Wady Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie;
- 2013** III miejsce w konkursie „na najlepszą pracę dyplomową” organizowanym przez Fundację Cement, Wapno, Beton oraz Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie – potwierdzenie pkt. 8.2;
- 2013** I miejsce w konkursie „na najlepszą pracę magisterską” organizowanym przez Dziekana WBiA/ZUT w Szczecinie, Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa (PZITB)/Oddział w Szczecinie, ZOITB/o. Szczecin, SITK RP/o. Szczecin – potwierdzenie pkt. 8.1.

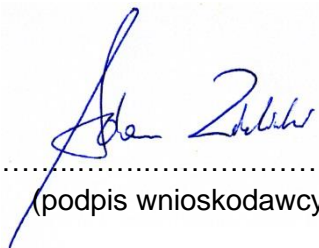
7.2 Stypendia naukowe

- 2016** Stypendium Naukowe Prezydenta Miasta Szczecin dla najlepszych doktorantów (edycja XII, okres: 2016-2017);
- 2015** Stypendium Naukowe Prezydenta Miasta Szczecin dla najlepszych doktorantów (edycja X, okres: 2015-2016).

8 ZAŁĄCZNIKI

Poniżej przedstawiono wybrane dokumenty potwierdzające zdobycie najważniejszych nagród, odbycie staży naukowych, wdrożeń technologicznych i współpracy międzynarodowej

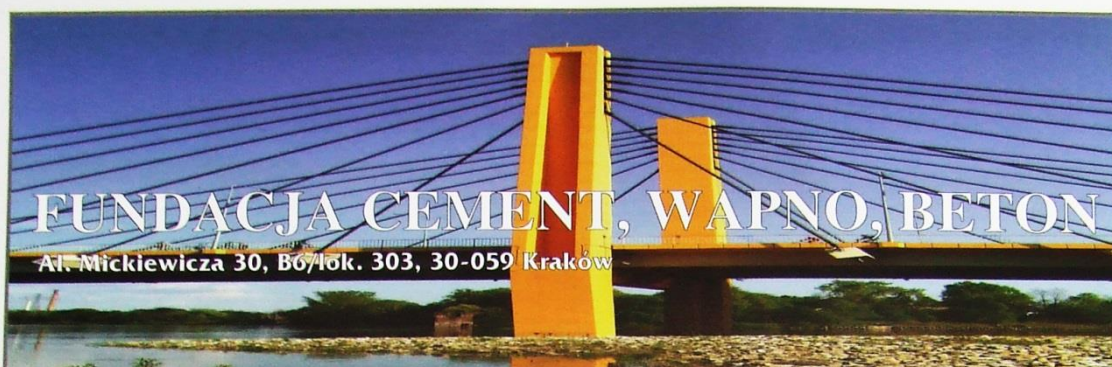
Nr	Nazwa	Nr strony w zał. 3 wniosku
8.1	I miejsce w konkursie „na najlepszą pracę magisterską” dla absolwentów Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, organizowanym przez Polski Związek Techników i Inżynierów Budownictwa/Oddział w Szczecinie, Zachodniopomorską Okręgową Izbę Inżynierów Budownictwa i Wydział Budownictwa i Architektury, Szczecin, 2013 r.	38
8.2	III miejsce w konkursie „na najlepszą pracę dyplomową w roku 2012”, organizowanym przez Fundację Cement, Wapno, Beton, Kraków, 2013 r.	39
8.3	Nagroda Ministra Inwestycji i Rozwoju RP za wyróżniającą się pracę doktorską w edycji 2018 r.	40
8.4	Nagroda Prezesa Rady Ministrów RP za wyróżniającą się pracę doktorską w edycji 2018 r.	41
8.5	Kopia 1 strony umowy sprzedaży licencji L-2/2021 na autorskie wnioski patentowe.	42
8.6	Certyfikat uzyskania finansowania projektu badawczo-rozwojowego w ramach programu LIDER XIII, NCBiR.	43
8.7	Udział w projekcie amerykańskim <i>NCHRP 12-123 - Segmental Bridges</i> finansowanym przez National Cooperative Highway Research Program (USA).	44
8.8	Potwierdzenie wdrożenia Innowacyjnej tymczasowej bariery ochronnej T1/W1 jako system Techniki Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego.	45
8.9	Potwierdzenie odbycia 1-miesięcznego stażu naukowego w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, 2021 r.	46
8.10	Potwierdzenie odbycia 3-miesięcznego stażu naukowego w Auburn University (USA), Department of Civil and Environmental Engineering, 2022 r. oraz potwierdzenie współpracy dotyczące standaryzacji AASHTO, mojej autorskiej metody PST z Auburn University, University of Texas at Austin i Texas Department of Transportation.	47-48

.....

 (podpis wnioskodawcy)

Nr 8.1



Nr 8.2



DYPLOM

dla

**Pana
Adama Zielińskiego**

**absolwenta Wydziału Budownictwa i Architektury
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego
w Szczecinie**

*za zajęcie trzeciego miejsca
w Konkursie na najlepszą pracę dyplomową w roku 2012*

Zarząd Fundacji

Prof. Wiesław Kurdowski

Rada Fundacji

Przewodniczący Prof. Jerzy Lis

Kraków, dnia 15 stycznia 2013 roku

Nr 8.3



Nr 8.4

PREZES RADY MINISTRÓW

przyznaje

**nagrodę
za wyróżnioną rozprawę doktorską**

dr. inż. Adamowi ZIELIŃSKIEMU

M. Morawiecki

Mateusz MORAWIECKI

Toruń, 19 lutego 2020 r.



Nr 8.5

EGZ ZUT

UMOWA NR L-2/2021 LICENCYJNA

o korzystanie z Projektów Wynalazczych

zawarta w dniu 02.08.2021r. w Szczecinie pomiędzy :
Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie
z siedzibą w 70-310 Szczecin, Aleja Piastów 17,
NIP 8522545056, REGON 320588161
reprezentowanym przez :

- **prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego – Prorektora ds. Nauki**

Licencjodawcą zwanym w dalszej treści umowy „ZUT”,

a

Astra - Technologia Betonu Sp. z o.o.
z siedzibą w 83-010 Straszyn, ul. Starogardzka 77
KRS 264688, NIP 6040057541, REGON 220290418
reprezentowaną przez:

- **Benedykta Karczewskiego – Prezesa Zarządu**

zwanym dalej „Licencjobiorcą”
a łącznie „Stronami”

Preambuła

ZUT jest właścicielem Projektów Wynalazczych (opisanych w § 1) przeznaczonych do wykorzystania w przemyśle betoniarskim, a Licencjobiorca jest zainteresowany ich komercyjnym wykorzystaniem w swojej działalności gospodarczej.

W związku z powyższym, Strony zawierają Umowę o następującej treści.

§ 1 Oświadczenia ZUT

1. ZUT oświadcza, że:

a. Jest właścicielem następujących Projektów Wynalazczych pt.:

- „Sposób formowania próbki do badania deformacji autogenicznych materiałów o matrycy na bazie spoiwa mineralnego lub organicznego we wczesnej i późnej fazie dojrzewania i stanowisko do formowania”, zwany dalej „Projektem Wynalazczym 1”, zgłoszony w Urzędzie Patentowym RP dnia 11.07.2019 r. za numerem P.430548.
- „Sposób badania oddziaływań więzów wewnętrznych lub zewnętrznych lub zjawisk pielęgnacyjnych na ograniczenie swobodnej odkształcalności materiałów o matrycy na bazie spoiwa mineralnego lub organicznego i stanowisko do ich rejestrowania” zwany dalej „Projektem Wynalazczym 2”, zgłoszony w Urzędzie Patentowym RP dnia 03.12.2019 r. za numerem P.432057.
- „Stanowisko do pomiaru odkształcalności własnej: pęcznienia i skurczu materiałów o matrycy na bazie spoiwa mineralnego lub organicznego we wczesnej i późnej fazie dojrzewania” zwany dalej „Projektem Wynalazczym 3”, zgłoszony w Urzędzie Patentowym RP dnia 03.12.2019 r. za numerem P.432059.

b. Twórcą Projektów Wynalazczych 1, 2 i 3 jest: dr inż. Adam Zieliński.

c. Pierwszą jednostką stosującą Projekty Wynalazcze 1, 2 i 3 w sposób przemysłowy będzie Licencjobiorca.

1

Nr 8.6

NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

CERTYFIKAT

XIII EDYCJA PROGRAMU LIDER

DR INŻ. ADAM ZIELIŃSKI

TECHNOLOGIA INTELIGENTNEJ PIELĘGNACJI WEWNĘTRZNEJ NISKOSKURCZOWYCH
KOMPOZYTÓW CEMENTOWYCH O OBNIŻONYM ŚLADZIE WĘGLOWYM

WARTOŚĆ PROJEKTU

1 500 000 zł

dr Jacek Orzeł



DYREKTOR NARODOWEGO CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU

Nr 8.7



SAMUEL GINN COLLEGE OF ENGINEERING
CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

May 10, 2022

MEMORANDUM

To: Whom IT May Concern:

From: Andrzej S. Nowak
Professor and Chair
Elton & Lois G. Huff Eminent Scholar Chair

RE Internship of Dr. Adam Zielinski at Auburn University

The purpose of the Memorandum is to confirm that Dr. Adam Zielinski has completed an internship in the Department of Civil and Environmental Engineering, Auburn University from February 10 until May 10, 2022. The internship involved interaction with Auburn faculty and students, attendance of seminars and lectures, and presentation of research results to Auburn University faculty and students.

As a Visiting Scholar he was involved in several research projects including the National Cooperative Highway Research Program (NCHRP Project 12-123 – Segmental Bridges), California Department of Transportation project of concrete decks, Design of a temporary road side traffic barrier sponsored by GP in Poland.

During the internship, Dr. Zielinski worked in the new and super modern Advanced Structural Engineering Lab (ASEL). This is new facility, \$22 million investment that includes in addition to structural testing strong walls, also a concrete lab allowing for testing of cementitious materials. He actively participated in the development of concrete mix, preparation of materials, mixing, pouring and curing.

Dr. Zielinski worked with Dr. Anton Schindler on two journal papers dealing with autogenous shrinkage and cracking of concrete. The resulting papers are ready for submission to the Cement and Concrete Composites which is the world top journal in the area of concrete materials. Dr. Schindler is one of the top international experts in this area.

Dr. Zielinski also interacted with Dr. Victor Aguilar on modeling the behavior of a temporary steel traffic barrier used for providing road side safety. They prepared a first draft of two journal papers that will be submitted for publication shortly.

Dr. Zielinski presented an interesting seminar on Autogenous Shrinkage and Cracking Potential in High-performance Concrete.

Our department is interested in continuation of collaboration with Dr. Adam Zielinski and we are planning his future visits at Auburn University.

238 Harbert Engineering Center
Auburn, AL 36849-5337
Phone 334 844-6216, Fax 334 844-6290, Cell 334 707-8602
nowak@auburn.edu

Nr 8.8



GP spółka z o. o.
ul. Struga 80A
70-784 Szczecin
Polska
gpszczecin.pl
gp@gpszczecin.pl
tel: (+48) 91 432 09 40
fax: (+48) 91 432 09 50

19.02.2021, Szczecin

Potwierdzenie wdrożenia innowacji

Potwierdzam, że we współpracy z Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie w ramach projektu badawczo-rozwojowego Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego nr RPZP.01.01.00-32-0008/17 opracowaliśmy 6 metrową przestawną barierę drogową do separacji ruchu T1-W1 (GP-500/240). W 2020 roku bariera przeszła certyfikowane testy zderzeniowe w Dynamic Test Center w Szwajcarii i została opatentowana.

Pan dr inż. Adam Zieliński, który był członkiem zespołu wykonującego projekt ze strony ZUT wykazał się dużą kreatywnością naukową, innowacyjnością w podejściu do problematyki zagadnienia i rzetelnością podczas wykonywanych prac projektowych oraz badawczych.

GP Sp. z o.o.
PREZES ZARZĄDU
Karol Gościński

REGON: 812694698
NIP: 8512869604
KRS: 0000209994
BDO 000026766



Nr 8.9



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

KATEDRA TECHNOLOGII MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

WIMIC/ktmb.0154-6/2022

Kraków, dn. 10.01.2022

ZAŚWIADCZENIE O ODBYTYM STAŻU

Pan dr inż. **Adam Zieliński**, zatrudniony w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska, w Katedrze Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu, na stanowisku adiunkta odbył w dniach 16.11.2021 - 16.12.2021 **staż naukowy** w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, w Katedrze Technologii Materiałów Budowlanych. Program stażu obejmował zapoznane się z technikami pomiarowymi stosowanymi do oceny właściwości kompozytów cementowych, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości spoiw mineralnych w tym:

- metodami kalorymetrycznymi (ocena postępu hydratacji, ciepło hydratacji, efekty związane ze składem fazowym cementu),
- metodami oceny uziarnienia i powierzchni właściwej spoiw mineralnych,
- metodami termicznymi stosowanymi do oceny produktów hydratacji cementu,
- analizą składu chemicznego i fazowego stwardniałych kompozytów cementowych,
- badaniem mikrostruktury kompozytów cementowych technikami mikroskopowymi.

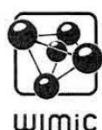
Opiekunem naukowym ze strony Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH w Krakowie był dr hab. inż. Waldemar Pichór, Prof. AGH.

Opiekun naukowy

Kierownik Katedry

Technologii Materiałów Budowlanych

KIEROWNIK KATEDRY

dr hab. inż. Artur Łagosz

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
tel. +48 12 617 24 52, fax +48 12 617 38-99
e-mail: ktmb@agh.edu.pl, www.ceramika.agh.edu.pl/ktmb/
Bank Pekao S.A. O/Kraków, ul. Piłarska 1
Konto nr 96 1240 4722 1111 0000 4858 2922
REGON: 00000 1577 NIP: 675-000-19-23



HIGHWAY
RESEARCH
CENTER

238 HARBERT
ENGINEERING CENTER
AUBURN, AL 36849-5337

TELEPHONE
334-844-4320

FAX:
334-844-6290

www.auburn.edu

SAMUEL GINN COLLEGE OF ENGINEERING
Department of Civil and Environmental Engineering

September 14, 2023

Subject: Statement for the Habilitation Application of Dr. Adam Zieliński

To Whom It May Concern,

This letter serves as my personal statement of my collaboration with Adam Zieliński, PhD. During the research internship of Adam Zieliński at Auburn University's Samuel Ginn College of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, 205 W Magnolia Avenue, Alabama, 36849, USA during 02/10/2022 to 05/12/2022 we collaborated and worked on the topic of cracking risk of high-performance concretes as a result of autogenous shrinkage. During his research internship at Auburn University, we developed research results and a draft of the following paper that has been accepted for publication: Zieliński A., Schindler A.K., and Kaszyńska M., Cracking risk of high-performance cement composites due to restrained autogenous shrinkage with and without soaked lightweight aggregate. *Archives of Civil Engineering*, 4/2023.

During his research internship, Adam Zieliński gave a seminar at Auburn University titled "Autogenous Shrinkage and Cracking Potential in High-performance Concrete". At the conclusion of his presentation, we discussed the practicality and excellent potential of his research to help solve a major need in the concrete industry. During his internship, Adam Zieliński presented to me the innovative method that he developed at West Pomeranian University of Technology to measure the autogenous and total shrinkage of concrete by molding samples with the plastic-sleeve test (PST) method. Due to his knowledge of early-age concrete shrinkage and the great potential of this new test method, we have expanded our cooperation, which continues to this day. So far, we have developed the following journal article, which is currently under review and presents the methodology of the PST method: Zieliński A., and Schindler A.K. Plastic-Sleeve Test Method to Measure Autogenous and Drying Shrinkage in Paste, Mortar, and Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 2023.

We are currently working on a second paper that will cover more results and calibration studies of the PST method.

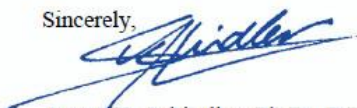
Adam Zieliński and I also collaborated to develop a presentation about the PST method that I presented during a scientific seminar at the Concrete Shrinkage Summit organized by FHWA (Federal Highway Administration) in Washington, D.C., U.S.A. on August 22, 2023 and this presentation was titled “Concrete Shrinkage Testing: The Plastic-Sleeve Test Method”. Adam Zieliński and I developed this presentation to make the scientific community in the United States of America familiar with the PST method.

The Texas Department of Transportation (TxDOT) attended the Concrete Shrinkage Summit and showed great interest in the PST method. Because of their interest, TxDOT agreed to initiate and finance a research project to develop a provisional AASHTO test standard of the PST method. AASHTO stands for the “American Association of State Highway and Transportation Officials” and a provisional AASHTO test standard is the first step to deploying a test method throughout the whole United States. Currently, work is underway to setup a TxDOT funded research project where Adam Zieliński (West Pomeranian University of Technology), Dr. Kevin Folliard (The University of Texas at Austin), and me (Auburn University) will collaborate with TxDOT to standardize the PST method to measure autogenous and total shrinkage of various cementitious materials. Based on the statements made by TxDOT leadership, I anticipate that this project will be funded before the end of 2023, and Auburn University will then get a research contract setup with West Pomeranian University of Technology for Adam Zieliński’s role on this TxDOT project.

Adam Zieliński is a great young researcher that has already demonstrated to me that he has extensive knowledge of early-age concrete behavior and that he can implement his innovative ideas to significantly impact the concrete industry. He has helped me develop an improved understanding of early-age concrete shrinkage, and I look forward to continuing to collaborate with him on future research projects.

Please contact me if you have any questions about the content covered in this letter.

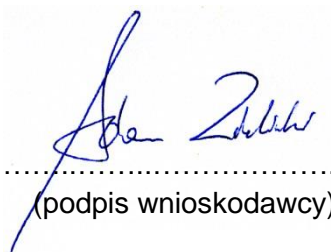
Sincerely,



Anton K. Schindler, Ph.D., P.E.

*Mountain Spirit Professor and Director of the Highway Research Center
Fellow of the American Society of Civil Engineers (ASCE)
Fellow of the American Concrete Institute (ACI)
Member of the Board of Direction of the American Concrete Institute (ACI)*

Page 2 of 2



.....
(podpis wnioskodawcy)