

Dr inż. Jacek Domski

Katedra Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu

Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji

Politechnika Koszalińska

Autoreferat

(opis dorobku i osiągnięć naukowych)

Koszalin 2017

1. Życiorys naukowy

W 1993 roku podjąłem studia w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Koszalinie na kierunku budownictwo, na Wydziale Inżynierii Lądowej i Sanitarnej. Z uwagi na moje zainteresowania nauką, już w trakcie studiów (na trzecim roku), tj. od 1.02.1997 r. do 30.06.1998 roku, odbyłem staż asystencki w Katedrze Mechaniki Budowli Politechniki Koszalińskiej. Pracę dyplomową pt.: „Analiza naprężeń uszkodzonego żelbetowego kolektora ścieków” napisałem również w tej Katedrze, pod kierunkiem prof. dr inż. Jana Filipkowskiego. W dniu 29.06.1998 r. uzyskałem, z wynikiem bardzo dobrym, tytuł magistra inżyniera budownictwa w specjalności konstrukcje budowlane i inżynierskie. W okresie od 1.10.1998 r. do 30.09.2001 roku byłem zatrudniony na stanowisku asystenta w ww. Katedrze, a od 1.10.2001 roku rozpocząłem pracę w Katedrze Konstrukcji Betonowych (aktualnie Katedra Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu), gdzie pracuję do dnia dzisiejszego. Moje zainteresowania skupiły się od początku pracy w Katedrze na betonie wytwarzanym na bazie piasku odpadowego zalegającego na hałdach Pomorza Środkowego. Efektem pracy naukowo-badawczej było otwarcie (17 czerwca 2003 r.) przewodu doktorskiego przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej i Sanitarnej Politechniki Koszalińskiej. Po ponad dwuletnim okresie, na posiedzeniu ww. Rady, w dniu 8 listopada 2005 r., złożyłem rozprawę doktorską zatytułowaną: „Nośność, ugięcie i zarysowanie belek fibropiaskobetonowych z włóknami stalowymi pod obciążeniem doraźnym”, a w dniu 28.03.2006 roku odbyła się publiczna obrona, w wyniku której uzyskałem z wyróżnieniem stopień doktora nauk technicznych w zakresie budownictwo, nadany przez Radę WBiIŚ Politechniki Koszalińskiej. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora moje zainteresowania nadal skupiały się wokół materiałów odpadowych, które można zastosować w mieszance betonowej. Efektem tych zainteresowań jest kilkadziesiąt artykułów opublikowanych w czasopismach krajowych i zagranicznych oraz referatów na krajowych i zagranicznych konferencjach. Miarą mojego dorobku publikacyjnego mogą być np.: ilość cytowań i indeks Hirscha, wg bazy Web of Science, które wynoszą odpowiednio: 53 i 5, sumaryczny impact faktor wg JCR równy 17,08, lub liczba punktów 192,7 (z uwzględnieniem mojego procentowego udziału), określona na podstawie listy MNiSzW. Moja aktywność naukowa połączona była również ze stażami w zagranicznych ośrodkach naukowych: University of California Berkeley USA, Oulu University of Applied Science Finland, Brno University of Technology Czech Republic, czego efektem są wspólne badania i publikacje.

W okresie pracy na Uczelni byłem kierownikiem badań własnych i współwykonawcą badań statutowych oraz uczestniczyłem, jako wykonawca, w realizacji pięciu projektów badawczych finansowanych ze środków pozauczelnianych. Od 2010 roku jestem Kierownikiem Laboratorium Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Budowlanych i w ramach tej funkcji jestem koordynatorem badań realizowanych przez pracowników Wydziału oraz odpowiadam za badania realizowane we współpracy z podmiotami gospodarczymi. W ramach współpracy z przemysłem kierowałem różnymi projektami oraz opracowywałem opinie sądowe i ekspertyzy. Moja działalność zawodowa, jako inżyniera budownictwa, również związana jest ze współpracą z różnymi podmiotami gospodarczymi i obejmuje wykonanie niespełna 30 projektów, analiz numerycznych oraz ekspertyz technicznych.

W ramach dotychczasowej działalności dydaktycznej prowadziłem zajęcia projektowe, laboratoryjne, ćwiczeniowe oraz wykłady z przedmiotów: mechanika techniczna, wytrzymałość materiałów, mechanika budowli z elementami ujęcia komputerowego, wspomaganie komputerowe w budownictwie, konstrukcje betonowe, konstrukcje inżynierskie oraz wybrane działy z konstrukcji budowlanych. Dodatkowo realizowałem zajęcia dydaktyczne na WILŚiG Politechniki Koszalińskiej w języku angielskim, w ramach programów Erasmus i Erasmus+, z przedmiotu Concrete Structures. Brałem również udział w wyjazdach zagranicznych, w ramach programów Erasmus, Erasmus+ i CEEPUS, do akademickich ośrodków takich jak Brno University of Technology Czech Republic, „Ovidius” University of Constanta, Romania, gdzie prowadziłem zajęcia dydaktyczne i odbywałem szkolenia. Moją działalność dydaktyczną ocenili studenci w anonimowych ankietach, w których uzyskałem na przestrzeni ostatnich lat ocenę 4,5 (przy max. 5,0). Byłem recenzentem 89 prac inżynierskich i magisterskich oraz promotorem 36 prac, z których kilka zostało nagrodzonych i wyróżnionych w konkursach organizowanych przez PZITB, ZOIB oraz WILŚiG Politechniki Koszalińskiej. Jako opiekun naukowy kilku dyplomantów, nadzorowałem referaty przygotowane przez nich na konferencje studenckie i młodych naukowców. Jestem również jednym ze współautorów (wraz ze studentem) artykułu, który znajduje się w bazie Web of Science.

2. Stopnie naukowe, dyplomy, świadectwa i certyfikaty

- Dyplom technika elektryka o specjalności elektromechanika ogólna, Technikum Elektryczne w Wejherowie – 1993 r.
- Dyplom magistra inżyniera budownictwa o specjalności konstrukcje budowlane i inżynierskie, Politechnika Koszalińska – 1998 r.
- Świadectwo ukończenia podyplomowego studium pedagogicznego, Politechnika Koszalińska – 2001 r.
- Świadectwo ukończenia podyplomowych studiów w zakresie rachunkowości, Politechnika Koszalińska – 2002 r.
- Dyplom doktora nauk technicznych w dziedzinie budownictwo, za pracę pt.: „Nośność, ugięcie i zarysowanie belek fibropiaskobetonowych z włóknami stalowymi pod obciążeniem doraźnym” – 2006 r.
- Certyfikat audytora wewnętrznego wg normy ISO 9001, wystawiony przez firmę ARAS Paweł Woźniak – Koszalin 2007 r.
- Uprawnienia budowlane do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej, Zachodniopomorska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa, nr ZAP/0142/PWOK/08 – 2008 r.
- Rzeczoznawca budowlany PZITB, legitymacja nr 2719 – 2017 r.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1997-1998, stażysta asystent (w trakcie studiów) w Katedrze Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska.
- 1998-2001, asystent w Katedrze Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska.
- 2001-2006, asystent w Katedrze Konstrukcji Betonowych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska.
- 2006-2017, adiunkt w Katedrze Konstrukcji Betonowych (aktualnie Katedra Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu), Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska (aktualnie Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji), Politechnika Koszalińska.

4. Osiągnięcia naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego:

***Potwierdzenie przydatności wybranych materiałów odpadowych
jako składników kompozytów cementowych***

b) Cykl publikacji powiązanych tematycznie:

- [1] **Domski J.**, Katzer J., Zakrzewski M., Ponikiewski T., 2017, Comparison of the mechanical characteristics of engineered and waste steel fiber used as reinforcement for concrete. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 158, pp. 18-28.
- [2] Seidl S., Vizslay V., **Domski J.**, Katzer J., 2017, Fracture mechanical properties of cement based composites with various amount of waste aggregates, *Procedia Engineering*, Vol. 190, pp. 345–351.
- [3] **Domski J.**, 2016, A blurred border between ordinary concrete and SFRC, *Construction and Building Materials*, Vol. 112, pp. 247-252.
- [4] Katzer J., **Domski J.**, 2016, Specific properties of waste ceramic aggregate concrete reinforced by steel fibre, *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environmental Protection)*, Vol. 18, No. 1, pp. 112-123.
- [5] **Domski J.**, 2016, Ugięcie długotrwałe elementów fibrobetonowych wytworzonych na bazie kruszywa odpadowego, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury (Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture)*, Vol. 33, No. 63, pp. 247-254.
- [6] Katzer J., **Domski J.**, 2016, Characteristics of concrete based on red waste ceramic and reinforced by steel fibre, *Fourth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (SCMT4) Las Vegas, Nevada, USA*
- [7] Cichoński K., **Domski J.**, Katzer J., Ruchwa M., 2015, Mechanical properties and numerical approach to fibre reinforced WCA concrete slabs, *Proceeding International Symposium “Brittle Matrix Composites 11”*, pp. 309–318, September 29-30, Warsaw, Poland.
- [8] **Domski J.**, 2015, Long-term Study on Fibre Reinforced Fine Aggregate Concrete Beams Based on Waste Sand, *Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environmental Protection)*, Vol. 17, pp. 188-199.

- [9] Cichocki K., **Domski J.**, Katzer J., Ruchwa M., 2014, Impact resistant concrete elements with nonconventional reinforcement, Publication of Middle Pomeranian Scientific Society of The Environment Protection, Koszalin, pp.1-99.
- [10] **Domski J.**, 2013, Wybrane cechy wytrzymałościowe betonów drobnokruszywowych modyfikowanych włóknami stalowymi, Materiały Budowlane, Vol. 495, No. 11, pp. 16–18.
- [11] Katzer J., **Domski J.**, 2013, Optimization of fibre reinforcement for waste aggregate cement composite, Construction and Building Materials, Vol. 38, pp. 790–795.
- [12] **Domski J.**, Katzer J., 2013, Load-deflection characteristic of fibre concrete based on waste ceramic aggregate. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environmental Protection), Vol. 15, pp. 213-230.
- [13] **Domski J.**, Katzer J., Fajto D., 2012, Load-CMOD characteristics of fibre reinforced cementitious composites based on waste ceramic aggregate, Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environmental Protection), Vol. 14, pp. 69-80.
- [14] **Domski J.**, 2011, Skurcz i pęcznienie piaskobetonu zbrojonego włóknami stalowymi, VI Konferencja Naukowo-Techniczna „Zagadnienia materiałowe w inżynierii lądowej”, MATDUB’2011, pp. 83-91, Kraków 20-22 czerwca.

c) Cel naukowy ww. prac, osiągnięte wyniki oraz ich wykorzystanie.

Swego czasu filozof, Immanuel Kant, powiedział: „wszystka wiedza pochodzi z doświadczenia”. Kierując się tym przesłaniem całość mojej działalności naukowej opiera się na przeprowadzonych badaniach. Stanowią one podwaliny mojego dotychczasowego rozwoju naukowego. Dodatkowo założyłem, że realizowane badania powinny mieć jeden zasadniczy cel: przyczynić się do rozwoju budownictwa i stanowić wkład w ochronę środowiska naturalnego. Już tematyka mojej rozprawy doktorskiej dotyczyła wykorzystania piasku, będącego odpadem w procesie hydroklasyfikacji pospółki, do produkcji betonów z dodatkiem włókien stalowych. Temat ten wpisywał się znakomicie w nurt Zrównoważonego Rozwoju Środowiska, jednak nie wyczerpywał on całości zagadnienia. Jeden z recenzentów mojej pracy doktorskiej (prof. dr hab. inż. Marian Abramowicz), stwierdził, że można podjęty temat rozwinąć: „Niedosyt budzi ograniczenie badań do obciążenia doraźnego. Szkoda, że nie podjęto chociażby wycinkowej próby (np. ograniczonej do 3 elementów) elementów obciążonych długotrwale w szczególności w zakresie stanu granicznego zarysowania”. Zainspirowany uwagą Pana Profesora postanowiłem kontynuować badania betonu na bazie piasku odpadowego i włókien stalowych. Rozszerzyłem zakres o cykl badań długotrwałych, obejmujących stany graniczne zarysowania, ugięcia oraz powiązane z nimi cechy wytrzymałościowe oraz od-

kształceniowe. Z uwagi na długotrwały charakter ww. badań, postanowiłem równolegle rozszerzyć swoje zainteresowania o kolejne materiały odpadowe, które można by zastosować do produkcji betonu na bazie piasku odpadowego. Swoje rozważania skoncentrowałem na kruszywie, które mogłoby zastąpić lub wzbogacić stosowany piasek. Potencjalne kruszywo znajduje się w znacznej ilości obiektów z lat powojennych, które ulegają degradacji i nadają się tylko do rozbiórki. Są one wykonane z cegły ceramicznej, która podczas rozbiórki ulega znacznemu uszkodzeniu i nie ma możliwości jej powtórnego wykorzystania jako budulec. Dodatkowo fragmenty cegieł bywają „zanieczyszczone” pozostającą na nich zaprawą, dlatego też tego rodzaju gruz najczęściej wykorzystywany jest do wzmacniania gruntu, podbudowy dróg i warstw drenujących. Postanowiłem poszukać elementów ceramicznych bez zanieczyszczeń. Ustaliłem, że podczas produkcji cegieł dość znaczna ich część zostaje odrzucona i nie można ich wykorzystać ponownie. Cegły te stanowią tzw. odpad produkcyjny. W celu ich wykorzystania, należy poddać je procesowi kruszenia. Dobór wielkości ziaren w procesie kruszenia cegieł, uzależniony jest od planowanego zastosowania. Opracowałem skład stosu okruszowego, składający się z piasku odpadowego i odpadowego kruszywa ceramicznego, do użycia w kompozytach cementowych z dodatkiem włókien stalowych. Koncepcja ta została uznana jako innowacyjna przez zespół konkursowy programu stażowo-szkoleniowego „TOP500 Innovators”, ogłoszonego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego „dla naukowców w najlepszych ośrodkach akademickich na świecie w zakresie zarządzania badaniami i komercjalizacji ich wyników”. W ramach programu odbyłem dwumiesięczny staż naukowo-szkoleniowy na University of California Berkeley w USA (*zajmuje on 10 miejsce w World University Rankings 2016-2017*). Po powrocie ze stażu jeszcze większy nacisk położyłem na komercjalizację wyników badań. Osiągnięciem moim było rozpoczęcie współpracy z firmą HYDROBUD Adam Dzik z Ustronia Morskiego, dla której zaprojektowałem recepturę mieszanki oraz przeprowadziłem wstępne badania wytrzymałościowe. Aktualnie podpisana została umowa na realizację rozszerzonych badań elementów konstrukcyjnych, wykonanych według zaprojektowanej przeze mnie mieszanki betonowej na bazie kruszyw odpadowych.

Beton jest najpopularniejszym materiałem konstrukcyjnym na Świecie. Podstawowym składnikiem betonu jest kruszywo, które stanowi około $\frac{3}{4}$ jego objętości. Szacuje się, że roczne zapotrzebowanie na kruszywo do betonu to około 3 tony/osobę. Tak duże zużycie kruszywa w znaczący sposób wpływa na środowisko naturalne. Dodatkowo złoża kruszyw nie są rozłożone równomiernie na całym Świecie, również w Polsce. Powoduje to, że zalecane krzywe uziarnienia dla betonu (np.: wzorcowego wg EN 1766) trudno jest uzyskać bez dodat-

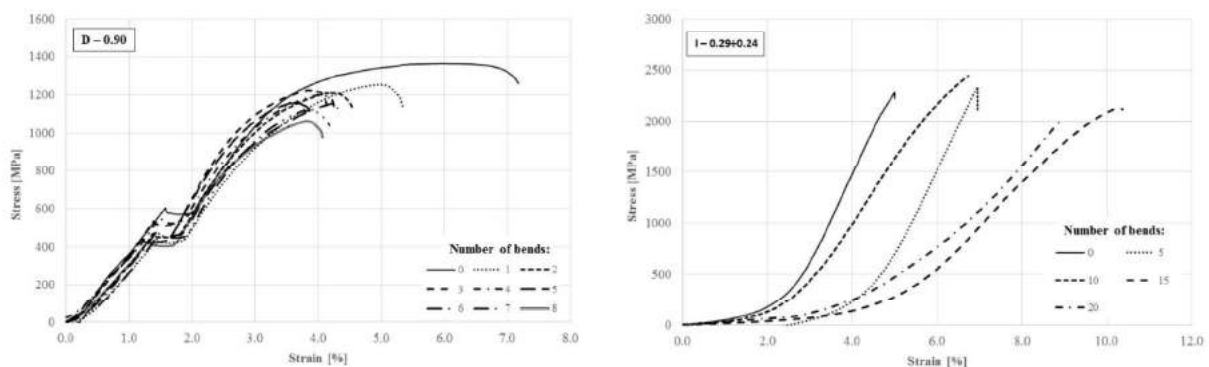
kowych zabiegów. W szczególnie trudnej sytuacji są te regiony Świata, w których występuje deficyt kruszyw grubych. Takim przykładem jest region Polski Północnej, w którym zamieszkują od dzieciństwa. Postanowiłem skoncentrować swoje zainteresowania naukowe na lokalnych „problemach” społeczno-gospodarczych i środowiskowych. Jak wynika z moich analiz, w tym regionie można spodziewać się zwiększonej degradacji środowiska naturalnego z uwagi na produkcję betonu. Wynika to z faktu, że należy przetworzyć znaczną ilość pospółki do przygotowania kruszywa do betonu oraz zużyć zwiększoną ilość energii do jego wytworzenia lub transportu z odległych kopalni. Moja pierwotna koncepcja rozwiązania tego „rodzimego” problemu polegała na wykorzystaniu istniejących złóż piasku występujących na przykopalnianych hałdach (rys. 1) i typowych włókien stalowych do produkcji betonu. W pierwszej kolejności określiłem właściwości piasku odpadowego i przedstawiałem wyniki swoich badań w publikacjach [3], [5], [8], [10], [14]. W wyniku analizy jego właściwości uznałem, że jest to bardzo dobre kruszywo drobnoziarniste, w którym wraz ze wzrostem stopnia rozdrobnienia ziaren, zwiększa się udział kwarcu, a maleje zawartość pozostałych grup mineralno-petrograficznych, a ponadto jest ono w znacznym stopniu pozbawione substancji ilastych. Ww. właściwości piasku „odpadowego” utwierdziły mnie w przekonaniu, że można go wykorzystać do produkcji betonów o specyficznych właściwościach, uzyskanych np. poprzez dodatek zbrojenia rozproszonego. ***Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było potwierdzenie przydatności piasku, lokalnie uznawanego za odpadowy, do stosowania w betonach specjalnych.***



Rys. 1 Hałdy piasku w istniejącej i zamkniętej kopalni kruszyw na Pomorzu Środkowym

Kompozyty z dodatkiem zbrojenia rozproszonego były stosowane dużo wcześniej, niż tradycyjne zbrojenie w postaci prętów. Jeszcze przed narodzeniem Chrystusa ludzie stosowali różnego rodzaju włókna, w postaci sierści zwierząt lub słomy, mieszając je z gliną. Podwaliny pod beton z dodatkiem włókien dał Joseph Lambot w patencie z 1847 r., w którym sugerował dodanie włókien do betonu w postaci drutów lub siatek [F]. Jako zbrojenie rozproszone sto-

sowałem w swoich badaniach specjalnie wyselekcjonowane włókna stalowe produkowane seryjnie. Podstawowe informacje na temat właściwości i sposobie selekcji różnych włókien stalowych można odnaleźć w publikacjach [A] i [B], których jestem współautorem. Natomiast bardziej szczegółowe badania związane z wykorzystaniem włókien produkowanych seryjnie a także włókien odpadowych (z opon samochodowych) podano w [1]. Przeprowadzone badania dotyczyły określenia zmiany cech wytrzymałościowych włókien po wykonaniu próby przegięcia. Na ich podstawie, można było zauważyć, że wraz z ilością przegięć zmieniają się cechy wytrzymałościowo-odkształceniowe włókien. Uwidocznił się tu różny rodzaj zastosowanej stali w przypadku włókien produkowanych seryjnie oraz włókien odpadowych (rys. 2).

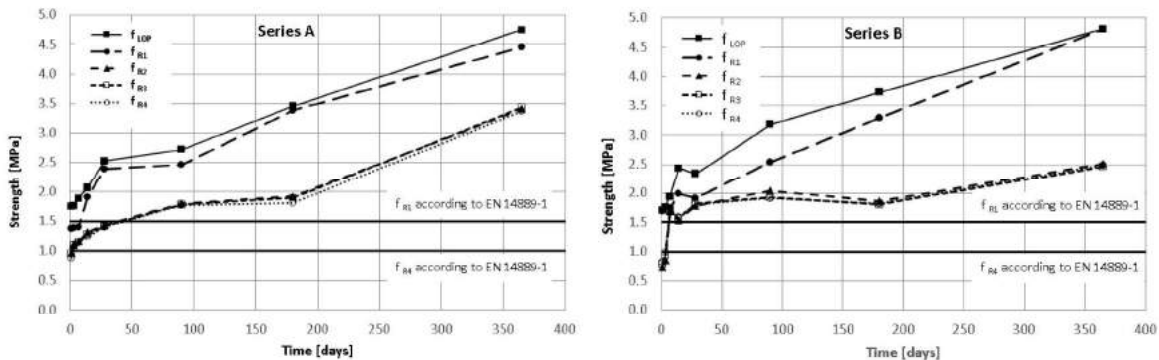


Rys. 2 Zależności naprężenie-odkształcenie dla włókien produkowanych seryjnie i odpadowych w zależności od ilości przegięć [1]

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było określenie zmienności charakterystyk naprężeniowo-odkształceniowych włókien produkowanych seryjnie i odpadowych oraz ustalenie potencjalnej przydatności włókien odpadowych w fibrokompozytach [1].

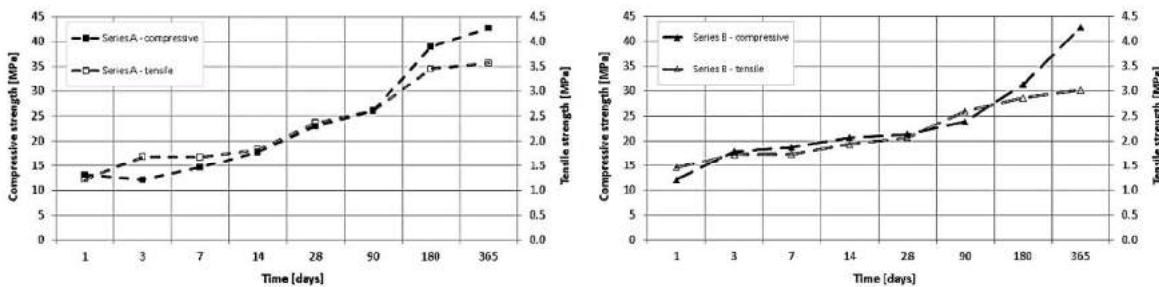
Przeprowadziłem również badania podstawowych materiałów, które planowałem zastosować w kompozycie, tj. badania cementu, wody i superplastyfikatora. Kolejnym etapem prac było określenie składu kompozytu a w szczególności ustalenie ilości włókien w mieszance. Postanowiłem zastosować ilość włókien na minimalnym poziomie, z uwagi na cenę jednostkową włókien stalowych. W przedmiotowej literaturze uznaje się, że minimalna ilość włókien, która przynosi korzyści wytrzymałościowe to 0,5 % objętościowo. Tak zawartość włókien w mieszance nie zawsze musi być odpowiednia, ponieważ ważny jest również kształt i wymiary włókien. Dlatego też postanowiłem ustalić procedurę określania minimalnej ilości włókien. **Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było określenie rzeczywiście minimalnej ilości włókien, przy której spełnione będą minimalne warunki wytrzymałościowe dla fibrobetonów [3].** W tym celu wykonałem serie badań opartych o normę PN-EN 14651 „Metoda badania betonu zbrojonego włóknem stalowym. Pomiar wytrzymałości na rozciąg-

ganie przy zginaniu (granica proporcjonalności LOP)”. Na jej podstawie określiłem wytrzymałości resztkowe i granice proporcjonalności badanych kompozytów (rys. 3).



Rys. 3 Wytrzymałości resztkowe i granice proporcjonalności dla dwóch kompozytów określone w różnych dniach od momentu betonowania próbek [3]

Wykorzystując zapisy normy EN 14889-1 odnośnie minimalnych wartości wytrzymałości resztkowych (1,5 MPa dla $COMD = 0,5$ mm i 1,0 MPa dla $CMOD = 3,5$ mm) w funkcji szerokości rozwarcia rysy ($CMOD$) oraz klasy fibrobetonu zaproponowane w Model Code 2010, ustaliłem minimalną ilość włókien produkowanych seryjnie na poziomie 0,42 % dla włókien 50/0,8 mm [1] i 0,43 % dla włókien 30/0,55 mm [1]. Dla tak dobranych ilości włókien przeprowadziłem kolejne serie badań, dotyczące zmiany cech wytrzymałościowych badanych kompozytów w czasie. Określiłem przyrosty wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu (rys. 4) oraz zależności pomiędzy naprężeniem a odkształceniem [3], [10].

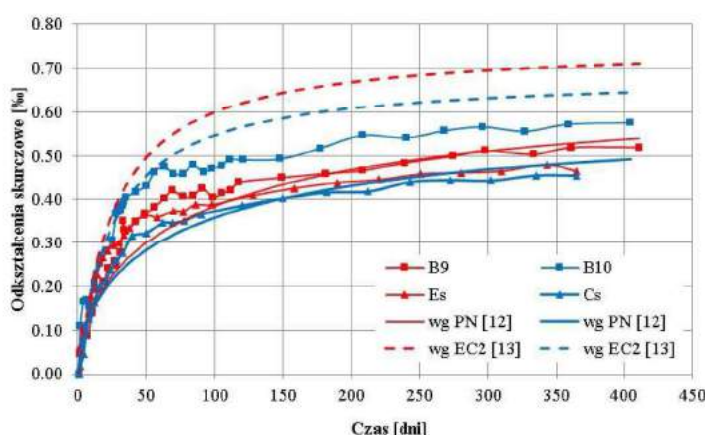


Rys. 4 Przyrost wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu w czasie, określony na próbkach kostkowych [3]

Jak wynika z przeprowadzonej analizy wyników badań, dodatek nawet niewielkiej ilości włókien wpływa pozytywnie na odkształcalność fibrokompozytów. Ponadto, po roku czasu, oba kompozyty charakteryzowały się wytrzymałością na ściskanie odpowiadającą klasie betonu C30/37, przy jednoczesnym wyższym module sprężystości i wyższej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu. *Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było po-*

twierdzenie przyrostu wytrzymałości w czasie dla kompozytów na bazie drobnoziarnistego kruszywa odpadowego i włókien stalowych w ilości poniżej 0,5 % objętości mieszanki [3], [10].

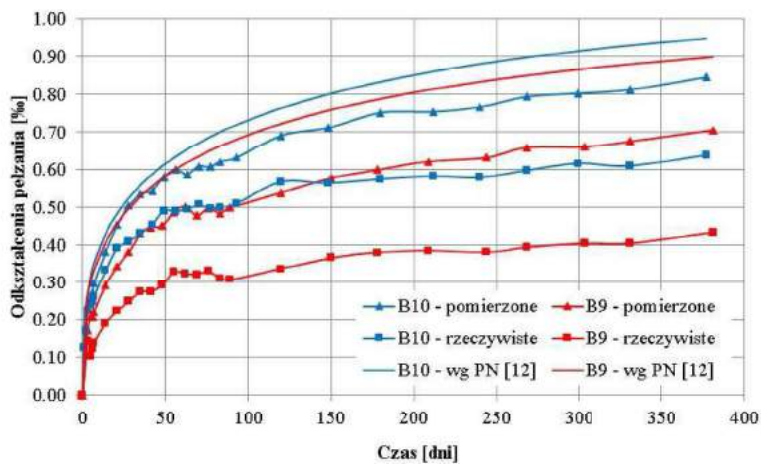
Równocześnie z prowadzonymi badaniami wytrzymałościowymi realizowałem badania odkształceń doraźnych i reologicznych. Przeanalizowałem zmianę modułu sprężystości w czasie oraz określiłem zmianę odkształceń skurczowych oraz pełzania w okresie jednego roku [14]. Badania odkształceń prowadziłem w dwóch pomieszczeniach: w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywano stałe warunki ciepłno-wilgotnościowe (20° C i 50 % RH) oraz w hali laboratoryjnej. Średni skurcz dla wszystkich próbek z włóknami 50/0,8 mm – przechowywanych w hali laboratoryjnej – wyniósł 0,51 ‰, przy skurczu próbek przechowywanych w pomieszczeniu klimatyzowanym, wynoszącym 0,52 ‰. Również w przypadku próbek z włóknami 30/0,55 mm, przechowywanych w stałych i zmiennych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych, uzyskano odkształcenia skurczowe o zbliżonych wartościach (0,57 i 0,59 ‰). Dla próbek znajdujących się przez cały okres badawczy w pomieszczeniu klimatyzowanym (serie Cs i Es, rys. 5) stwierdzono bardziej regularny przebieg zjawiska skurczu. Ostateczne odkształcenia skurczowe dla użytych kompozytów różniły się o kilka setnych promila, a więc nie były to znaczące różnice. *Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było uzyskanie odkształceń skurczowych dla zaprojektowanych kompozytów na poziomie niższym niż dla betonu zwykłego o zbliżonych cechach wytrzymałościowych [14].* Średnie odkształcenia skurczowe próbek porównawczych, wykonanych z betonu zwykłego, wyniosły 0,73 ‰.



Rys. 5 Przyrost odkształceń skurczowych i widok badanych próbek walcowych [14]

Odkształcenia pełzania dwóch zaproponowanych fibrokompozytów zostały określone na specjalnie skonstruowanych pełzarkach, wyposażonych w akumulatory hydrauliczne z pęche-

rzem z azotu, włączonym w bezobsługowy układ podtrzymujący obciążenie. Byłem autorem pomysłu działania ww. pełzarki, zaś jej opracowaniem koncepcyjnym oraz wykonaniem zajęła się firma Hydromet. Badania pełzania prowadzono przez okres jednego roku. Pomierzone odkształcenia pełzania skorygowano (pomniejszono) o odpowiednią wartość odkształceń skurczowych. Na rys. 6 przedstawiono pomierzone i rzeczywiste (skorygowane) wartości odkształceń pełzania realizowanych w pomieszczeniu klimatyzowanym i porównano je z wartościami obliczonymi wg PN-B-03264:2002.



Rys. 6 Przyrost odkształceń pełzania i widok badanych próbek w pomieszczeniu klimatyzowanym [14]

Wszystkie wartości ostatecznych odkształceń pełzania, obliczone wg PN-B-03264:2002, były wyższe od wartości doświadczalnych [14]. *Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było uzyskanie odkształceń pełzania dla zaprojektowanych kompozytów na poziomie niższym niż dla betonu zwykłego o zbliżonych cechach wytrzymałościowych [14].* Określone na podstawie badań wartości współczynnika pełzania dla analizowanych fibrokompozytów, przy poziomie obciążenia $1/3 f_{cm}$, były średnio dwukrotnie niższe, niż obliczone według PN-B-03264:2002 lub PN-EN 1992-1-1:2008 [14]. Jest to z punktu widzenia projektowego bardzo korzystna informacja, umożliwiająca wykorzystanie proponowanych materiałów w elementach konstrukcyjnych.

Prowadziłem równoległe badania elementów belkowych (o wymiarach 15 x 20 x 330 cm) obciążonych długotrwale. Stanowisko do badań długotrwałych belek, zaprojektowałem samodzielnie. Składało się ono ze stalowych ceowników lub teowników wraz z zamontowanym na nich układem dźwigniowym (rys. 7). Jako schemat statyczny badanych elementów przyjąłem belkę wolnopodpartą, obciążoną dwiema siłami skupionymi, przyłożonymi w $1/3$ rozpiętości pomiędzy osiami podpór. Siły przykładano przy użyciu stalowego trawersu, obciążane-

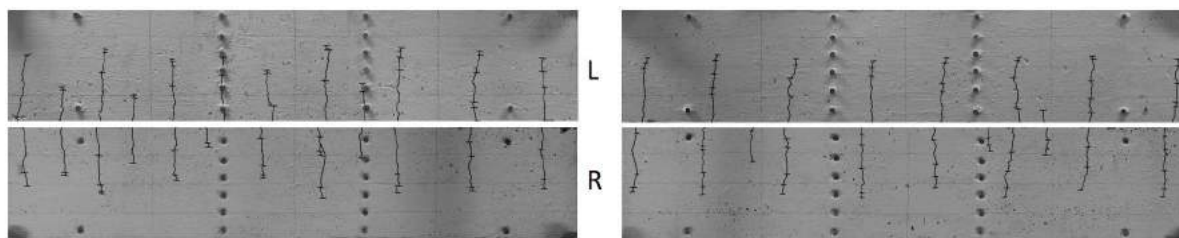
go ciężarkami talerzowymi, poprzez układ dźwigniowy. Ciężar odważników dobrano tak, aby moment zginający dla wszystkich belek wynosił 6 kN·m. Również w przypadku belek, badania prowadziłem w dwóch pomieszczeniach: w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywano stałe warunki cieplno-wilgotnościowe (20° C i 50 % RH) oraz w hali laboratoryjnej. Z uwagi na ograniczoną ilość stanowisk badawczych badania były realizowane dwuetapowo. W pierwszej kolejności zrealizowałem badania belek z kompozytu z włóknami 50/0,8 mm, zaś po okresie 1,5 roku, badania na belkach z kompozytu z włóknami 30/0,55 mm. Ilość włókien w kompozytach pozostała na niezmiennym, ustalonym wcześniej, poziomie minimalnym, zaś stopień zbrojenia rozciąganego wynosił 0,6; 0,9 i 1,3 %.



Rys. 7 Fibrokompozytowe belki obciążone długotrwałe w hali i pomieszczeniu klimatyzowanym [5][8]

Podczas powyższych badań, które trwały rok, obserwowałem przyrost odkształceń, ugięcia i zarysowania wywołanego stałym obciążeniem długotrwałym [5],[8]. Odczyty długotrwałych cech badanych elementów, wykonywałem w następujących terminach: 0 (dzień obciążenia), 3, 7, 14, 28, 56, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 i 365 dni. Jednym z analizowanych stanów granicznych użyteczności belek był stan graniczny ugięcia. Wartości ugięcia wyznaczono w każdej z analizowanych faz obciążenia, odpowiadających liczbie dni od momentu przyłożenia obciążenia, z uwzględnieniem osiadania podpór. Oznaczone w badaniach ugięcie, które nie przekraczało 7 mm, porównałem z wynikami uzyskanymi na podstawie wybranych metod obliczeniowych, stosowanych dla elementów z fibrobetonu i betonu zwykłego. *Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było określenie przydatności wybranych metod obliczania ugięcia elementów belkowych wykonanych z zaproponowanych kompozytów [5],[8].* Kolejnym z analizowanych stanów granicznych użyteczności był stan zarysowania belek, w którym określiłem momenty rysujące, rozstawy rys oraz ich szerokości rozwarcia. Zarysowanie elementów próbnych obserwowano na całej ich długości,

z obu stron belek, natomiast analizę ograniczono do obszaru pomiędzy siłami (odcinek obciążony tylko momentem zginającym - rys. 8 strona lewa „L” i prawa „R” belek). Poziom ustabilizowanego zarysowania (brak kolejnych rys do czasu zakończenia badań) osiągnięto w dniu obciążenia, przy wartości momentu zginającego równego $6 \text{ kN}\cdot\text{m}$. Średni rozstaw rys, na odcinku pomiędzy siłami, wahał się w przedziale $80 \div 110 \text{ mm}$, natomiast maksymalna szerokość rozwarcia rys nie przekraczała wartości dopuszczalnych wg PN-EN 1992-1-1:2008.



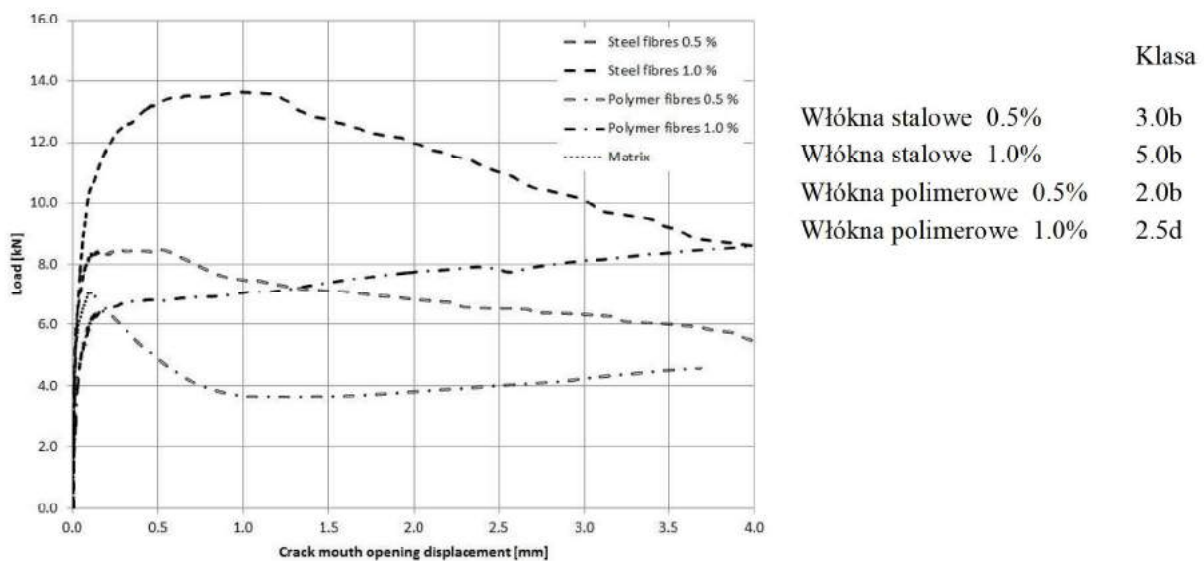
Rys. 8 Zarysowanie belek obciążonych długotrwanie [8]

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było wykazanie, że metoda obliczania szerokości rozwarcia rys wg PN-EN 1992-1-1:2008 może być stosowana dla elementów belkowych wykonanych z zaproponowanych kompozytów z dodatkiem minimalnej ilości włókien stalowych [8].

W trakcie realizacji badań długotrwałych poszukiwałem innych materiałów odpadowych, możliwych do wykorzystania w procesie produkcji betonów specjalnych. Moje zainteresowanie wzbudziły między innymi: odpady produkcyjne w cegielni w Lęborku, odpady z fabryki porcelany z Chodzieży, odpady stalowe z obróbki skrawania oraz z opon samochodowych [1] od firmy Gumeko z miejscowości Rożental (koło Pelpina). Wszystkie zlokalizowane zakłady znajdują się w promieniu około 200 km od Koszalina, co jest bardzo istotne z punktu widzenia wykorzystania każdego z materiałów. Moje rozważania w pierwszej kolejności ograniczyłem do kruszywa recyklingowego stanowiącego odpad w procesie produkcji cegieł dziurawek. W ww. procesie produkcji dość znaczna ilość cegieł nie przechodzi rygorystycznych badań zakładowej kontroli produkcji i stanowią one odpad, który wykorzystuje się aktualnie na podbudowę dróg podrzędnych, wzmacnia gruntu, czy jako warstwy drenujące. Jednak bardziej obiecujące okazało się zastosowanie kruszywa ceglanego do produkcji kompozytów na bazie spoiwa cementowego. Moje rozważania na tym etapie badań dotyczyły, w pierwszej kolejności, zastosowania drobnego kruszywa ceglanego jako częściowego zamiennika piasku w zaprawach cementowych [C]. W badaniach laboratoryjnych określiłem podstawowe cechy zapraw, modyfikowanych różną ilością ceglanego kruszywa, takie jak: wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie. Z badań tych wynika, że dodatek kru-

szywa ceglanego powoduje wzrost ww. cech wytrzymałościowych. Dodatkowo, we współpracy z naukowcami z Academy of Sciences of the Czech Republic i Brno University of Technology, przeprowadziłem badania mające na celu określenie parametrów związanych z mechaniką powstawania pęknięć [2],[G]. W badaniach statycznych odnotowano wzrost współczynnika odporności na kruche pęknięcie (K_{IC}) wraz z ze wzrostem dodatku kruszywa ceramicznego, zaś podczas próby zmęczeniowej określono zmienność krzywych propagacji pęknięcia dla zapraw z różną zawartością kruszywa ceramicznego. **Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było określenie przydatności drobnego kruszywa ceglanego jako częściowego zamiennika piasku w tradycyjnej zaprawie cementowej [2],[C],[G].** W trakcie badań utwierdziłem się w przekonaniu, że kruszywo ceglane cechuje się znaczną porowatością, a wielkość ziaren kruszywa ma istotny wpływ na ilość wody niezbędnej do przygotowania mieszanki. Nasiąkliwość tego kruszywa zależy od wielkości ziaren i kształtuje się w przedziale od 40 % dla kruszywa drobnego do 20 % dla ziaren o średnicy powyżej 2 mm. W dalszych rozważaniach skupiłem się na zastosowaniu większych frakcji kruszywa ceramicznego. Problem porowatości kruszywa ceramicznego postanowiłem wykorzystać jako jego zaletę do „magazynowania wody” w procesie jego namaczania. Kilka dni przed betonowaniem odpowiednio frakcjonowane kruszywo ceglane poddawałem kąpieli wodnej, aby uzyskać całkowite jego nasączenie. Tuż przed betonowaniem kruszywo było odsączane na sitach. Tak przygotowane kruszywo nie absorbowało wody niezbędnej do procesu wiązania kompozytu. Dodatkowo namaczane było również kruszywo drobne, w postaci piasku odpadowego. Zabieg ten miał na celu wyeliminowanie suszenia piasku, co w warunkach laboratoryjnych jest uciążliwe, a w produkcji przemysłowej niemożliwe, oraz określania jego wilgotności (co w warunkach produkcyjnych nie jest precyzyjne). Zaproponowane rozwiązanie w postaci namaczania obu kruszyw (piasku i gruzu ceglanego) pozwoliło ustalić stałe proporcje kruszyw dla produkcji w warunkach przemysłowych. Część mieszanek została tak zaprojektowana, aby nie było konieczności uzupełniania ich wodą, ponieważ została ona dostarczona wyłącznie poprzez nawodnione kruszywa. **Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było zaprojektowanie mieszanek betonowych na bazie kruszyw odpadowych (piasku i gruzu ceglanego) oraz włókien stalowych i polimerowych [4],[6],[7],[9],[11],[12] i [13].** Zaprojektowane mieszanki miały konsystencję V2 lub C2 wg PN-EN 206, zaś uzyskane z nich fibrokompozyty charakteryzowały się cechami wytrzymałościowymi odpowiadającymi najpopularniejszym betonom tradycyjnym. Uzyskanie tak dobrych wytrzymałości jest związane również z procesem namaczania kruszywa ceglanego, gdyż podczas dojrzewania betonu woda zmagazynowana w kruszywie jest stopniowo wykorzystywana w procesie wiązania. Powodu-

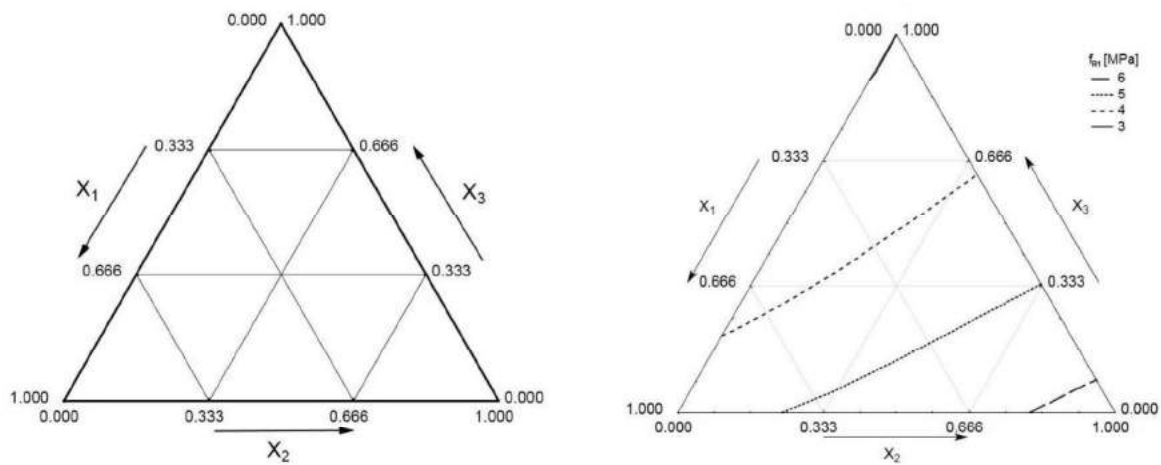
je to, że z kruszywa ceglanego o wytrzymałości na ściskanie nie przekraczającej 12 MPa uzyskałem betony o klasie wytrzymałości powyżej C30/37. Jednak najważniejszymi cechami zaproponowanych kompozytów są wytrzymałości resztkowe, uzyskane na podstawie zależności siła-CMOD (siła - szerokość rozwarcia rysy tj. nacięcia). Zależność tą uzyskuje się na belkach o przekroju 150 x 150 mm (z nacięciem 25 mm w środku) i długości 550 mm, w badaniu czteropunktowego zginania, według normy PN-EN 14651. Badaniom poddałem kompozyty z włóknami stalowymi (30/0,55 mm) i polimerowymi, o długości 48 mm. Dla zaprojektowanych fibrokompozytów z zawartością objętościową włókien 0,5 i 1,0 %, spełnione są zapisy norm PN-EN 14889 odnośnie minimalnych wartości wytrzymałości resztkowych (1,5 MPa dla COMD = 0,5 mm i 1,0 MPa dla CMOD = 3,5 mm). Dokonałem również klasyfikacji analizowanych fibrokompozytów na podstawie zaleceń Model Code 2010 (rys. 9). Wynika z niej, że wyższe klasy uzyskują kompozyty z dodatkiem włókien stalowych, jednak kompozyty z włóknami polimerowymi również mogą stanowić zamiennik zbrojenia tradycyjnego wg MC 2010 [12],[13].



Rys. 9 Zależność siła-CMOD oraz klasy analizowanych kompozytów [13]

Kolejnym etapem moich rozważań było zastosowanie w kompozycie na bazie kruszywa odpadowego zbrojenia hybrydowego, składającego się z różnej ilości włókien stalowych i polimerowych [11]. W badaniach zastosowałem włókna stalowe 30/0,55 i 60/0,80 mm oraz polimerowe o długości 48 mm. Opracowałem plan eksperymentu zawierający zastosowanie trzech rodzajów włókien (stalowe X_1 i X_2 oraz polimerowe X_3), o łącznej ich ilości 1,2 % objętościowo (rys. 10). Analizę przeprowadziłem w oparciu o badania wytrzymałości resztkowych (f_{R1} , f_{R2} , f_{R3} , f_{R4}), granicy proporcjonalności (f_{LOP}) oraz zależnościami pomiędzy f_{R3}/f_{R1} ,

i f_{R1}/f_{LOP} , na podstawie których Model Code 2010 określa, czy możliwe jest częściowe zastąpienie zbrojenia tradycyjnego dodatkiem włókien, w stanie granicznym nośności [11].



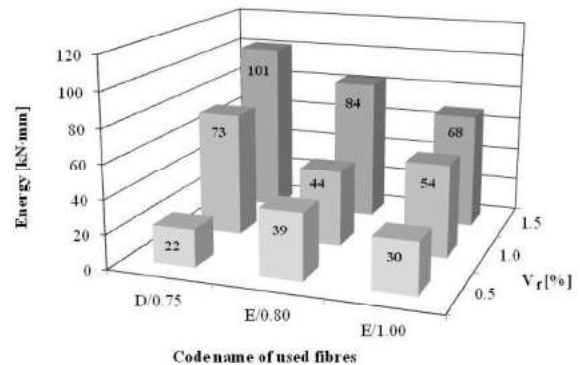
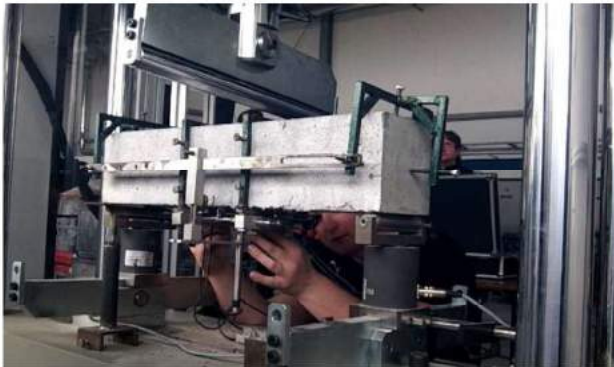
Rys. 10 Plan eksperymentu oraz wyniki badań wytrzymałości resztkowej f_{R1} [11]

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było ustalenie zmienności poszczególnych wytrzymałości w funkcji dodatku trzech rodzajów włókien [11]:

- $f_{LOP} = 3.5619 \cdot X_1 + 3.7333 \cdot X_2 + 2.7048 \cdot X_3 - 0.2143 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.6 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.3643 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0.45 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
- $f_{R1} = 4.6238 \cdot X_1 + 6.381 \cdot X_2 + 2.9952 \cdot X_3 - 0.2357 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1.8429 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1.0714 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2.25 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
- $f_{R2} = 4.9762 \cdot X_1 + 7.6619 \cdot X_2 + 3.3619 \cdot X_3 + 0.1393 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2.1107 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1.4036 \cdot X_2 \cdot X_3 + 6.525 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
- $f_{R3} = 4.7571 \cdot X_1 + 7.9571 \cdot X_2 + 3.7857 \cdot X_3 - 0.0321 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1.8964 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1.8964 \cdot X_2 \cdot X_3 + 8.775 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
- $f_{R4} = 4.4238 \cdot X_1 + 8.081 \cdot X_2 + 4.1952 \cdot X_3 - 0.0107 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2.0679 \cdot X_1 \cdot X_3 - 2.6464 \cdot X_2 \cdot X_3 + 9.675 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz ustaliłem na podstawie Model Code 2010 klasy wytrzymałościowe badanych 10 fibrokompozytów, oraz określiłem, który z nich jest najbardziej efektywnym zamiennikiem zbrojenia tradycyjnego. W tym przypadku najwyższą klasę uzyskał fibrokompozyt składający się tylko z jednego rodzaju włókien stalowych (60/0,80 mm). Dlatego też do dalszych rozważań przyjąłem fibrokompozyty o dodatku włókien jednego rodzaju i o zbliżonych wymiarach. Opracowałem kompozyty na bazie kruszyw odpadkowych i trzech rodzajów włókien (50/1,0; 50/0,8 i 60/0,8 mm) i trzech ilości ich dozowania: 0,5; 1,0 i 1,5 % [9]. Program kolejnych badań został określony na podstawie założeń, w których przyjęto dwie zmienne: ilość włókien i ich rodzaj. Na podstawie tak poczynionych założeń określiłem ilość (10 partii) i kolejność betonowania fibrokompozytów i matrycy bez włókien. Badania mechaniczne elementów drobnowymiarowych obejmowały dla każdego kompozytu określenie: gęstości, wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, wytrzymałości na bezpośrednie ścinanie (na walcach i kostkach), wytrzymałości resztkowych przy zginaniu (na belkach), siecznego modułu sprężystości oraz zależności

między naprężeniem a odkształceniem przy ściskaniu (na walcach). Na podstawie ww. badań określiłem klasy wytrzymałości badanych fibrokompozytów wg Model Code 2010 oraz energię niezbędną do osiągnięcia założonego ugięcia elementów belkowych (rys 11).



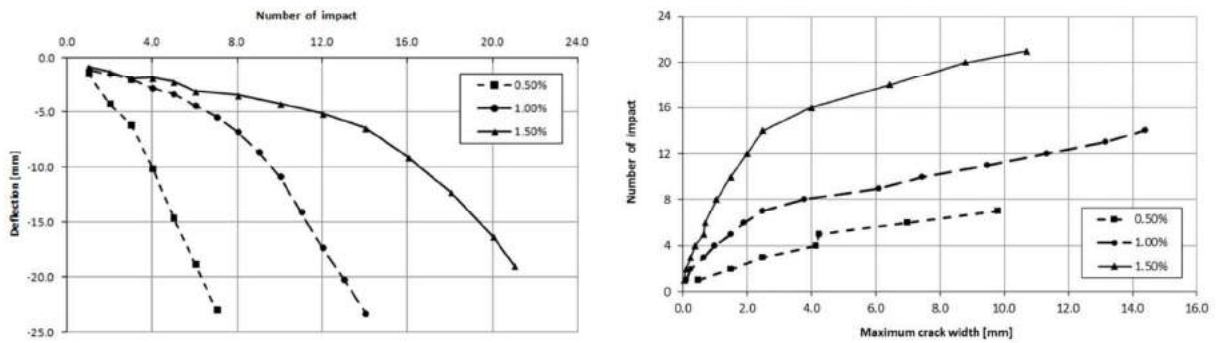
Rys. 11 Badanie wytrzymałości resztkowej i energii określone przy ugięciu belki 3,44 mm [9]

Kolejnym etapem badań było wykonanie serii prób dynamicznych na płytach kołowych o średnicy 100 cm i grubości 10 cm. Płyty umieszczano na specjalnie zaprojektowanym i skonstruowanym stanowisku, którego trzy podpory (rozmieszczone po obwodzie płyty co 120 stopni) zapewniały jej swobodne podparcie. Obciążenie dynamiczne płyt realizowane było w postaci kuli o masie 40 kg zwalnianej z wysokości 1,0 m (rys 12).



Rys. 12 Elementy próbne oraz stanowisko do badań dynamicznych płyt [9]

Ugięcie płyt rejestrowano na jej górnej powierzchni, w kilkunastu punktach rozmieszczonych na dwóch wzajemnie prostopadłych prostych. W przypadku stanu granicznego zarysowania, układ rys (pęknięć) oraz ich szerokości rozwarcia obserwowano na dolnej powierzchni płyt. Wyniki uzyskanych rys i ugięć dla wybranych płyt przedstawiono na rysunku 13 [6], zaś pozostałe przedstawiono w [7], [D] i [E]. Można zauważyć, że wyższą sztywność wykazują płyty z fibrokompozytu z większą ilością włókien (50/0,8 mm), a relacja ta wynosi około 1,0:1,5:6,0, odpowiednio dla kompozytu z 0,5 %, 1,0 % i 1,5 % zawartością objętościową włókien.



Rys. 13 Ugięcie i maksymalna szerokość rysy w funkcji ilości uderzeń dla płyt z fibrokompozytów o różnej % zawartości włókien 50/0,8 mm [6]

Moim osiągnięciem naukowym na tym etapie badań było określenie przydatności zaprojektowanych 9 fibrokompozytów do wykonywania elementów obciążanych dynamicznie [6],[7],[9]. Okazuje się, że nawet przy 0,5 % ilości włókien w kompozycie, zniszczenie płyty jest możliwe dopiero po kilku uderzeniach, przy czym należy nadmienić, że nie było to zniszczenie całkowite (płyta wciąż była w stanie przenosić pewną część obciążenia, w tym jej ciężar własny). Oznacza to, że energia jaką może pochłonąć płyta wykonana z zaprojektowanych kompozytów może okazać się bardzo przydatna w konstrukcjach narażonych na obciążenia dodatkowe np.: uderzenia pojazdów, wybuchy, katastrofy budowlane, trzęsienia ziemi, itp.

Kwintesencją moich rozważań, dotyczących wykorzystania materiałów odpadowych do produkcji betonów, jest wykorzystanie w praktyce badań doświadczalnych, które przeprowadziłem dotychczas. **Myszę, że moim bardzo istotnym osiągnięciem naukowym jest wdrożenie wyników badań do przemysłu.** Ostatecznie uzyskane wyniki badań umożliwiły praktyczne wykorzystanie kruszyw odpadowych w betonach specjalnych. Zainteresowanie tymi wynikami wykazała firma HYDROBUD Adam Dzik z Ustronia Morskiego, dla której zaprojektowałem recepturę mieszanki oraz przeprowadziłem wstępne badania wytrzymałościowe. Na podstawie tych wyników oraz przygotowanej opinii o innowacyjności ww. firma otrzymała dofinansowanie w ramach projektu pt.: „Badanie nad technologią opracowania innowacyjnej mieszanki do produkcji wyrobów betonowych przy udziale kruszyw recyklingowych”, finansowanego przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego na lata 2014-2020 (Działanie 1.1 Projekty badawczo-rozwojowe przedsiębiorstw, Typ projektu 1 Małe projekty B+R). W ramach tego projektu jestem głównym wykonawcą kolejnych badań elementów wykonanych z zaprojektowanej mieszanki na bazie kruszyw odpadowych.

Dodatkowe materiały przywołane w tekście:

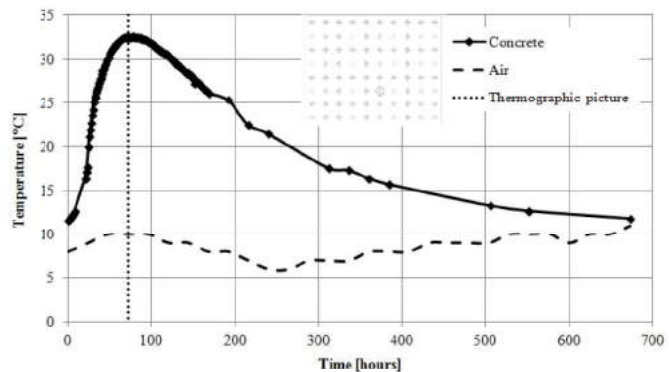
- [A] Zarzycki P., Katzer J., **Domski J.**, 2017, Fast classification of fibres for concrete based on multivariate statistics. *Computers and Concrete*, Vol. 20, No. 1, pp. 23–29.
- [B] Katzer J., **Domski J.**, 2012, Quality and mechanical properties of engineered steel fibres used as reinforcement for concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 34, pp. 243–248.
- [C] Katzer J., **Domski J.**, 2013, Cement mortars based on sand partially replaced by waste ceramic fume, “OVIDIUS” University Annals – Constantza, Series Civil Engineering, No. 12, pp. 83–92.
- [D] Katzer J., **Domski J.**, 2015, Static and dynamic characteristics of fibre reinforced WCA concrete, 8th International Conference: Fibre Concrete 2015, Prague, Czech Republic.
- [E] Katzer J., **Domski J.**, 2017, Specific dynamic properties of SFRC based on waste ceramic aggregate, 7th International Conference on Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures, San Diego, USA.
- [F] **Domski J.**, Głodkowska W.: The analysis on selected mechanical properties of fibrous composites made on the basis of fine waste aggregate. *Annual Set The Environmental Protection (Rocznik Ochrona Środowiska)* - artykuł zgłoszony do redakcji.
- [G] Seitzl S., Miarka P., Klusák J., **Domski J.**, Katzer J., Šimonová H., Keršner Z., 2017, Change of a crack propagation rate in fine-grained cement-based composites due to partial replacement of aggregate by ceramic waste, 6th International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete, Brno, Czech Republic – artykuł zgłoszony do czasopisma *Key Engineering Materials*.

5. Pozostałe osiągnięcia naukowo - badawcze

Od początku pracy na Uczelni ważna była dla mnie możliwość prowadzenia badań naukowych, przy wykorzystaniu najnowocześniejszej aparatury. Dlatego też dążyłem do wzbogacenia i/lub zmodernizowania istniejących bazy laboratoryjnej, która umożliwiłaby mi prowadzenie badań na najwyższym technicznie poziomie. Byłem pomysłodawcą oraz wnioskodawcą zakupu wielu urządzeń laboratoryjnych. Uzyskałem, wspólnie z pracownikami Katedry Konstrukcji Betonowych, fundusze na następujące urządzenia i stanowiska pomiarowe: System Akwizycji Danych SAD - 256, czujniki przemieszczeń i siły współpracujące z ww. systemem, ekstensometr do badań odkształceń próbek betonowych do chwili ich zniszczenia, mikroskop z 36-krotnym powiększeniem do pomiaru rys, pełzarki hydrauliczne utrzymujące samodzielnie stałe ciśnienie, stanowiska do badań doraźnych i długotrwałych elementów belkowych. Wymieniona wyżej aparatura badawcza jest nadal w pełni funkcjonalna i wykorzystywana jest w pracach badawczych pracowników Politechniki Koszalińskiej.

Od 2010 roku jestem kierownikiem Laboratorium Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Politechniki Koszalińskiej. W chwili przejęcia tej funkcji Laboratorium funkcjonowało w pomieszczeniach przy ul. Raclawickiej, zaś plany nowego laboratorium, przy ul. Śniadeckich, były już gotowe. Postanowiłem je zmienić, z uwagi na brak kilku istotnych elementów. Do kluczo-

wych elementów, których zabrakło mi w projekcie, można było zaliczyć: pomieszczenia klimatyzowane (utrzymujące stałą wilgotność i temperaturę), suwnica oraz płyta wielkich sił (grubości 1,45 m) oraz układ modułowych elementów stalowych (HEB 300 o długości 0,7; 1,7; 2,7; 3,7 i 4,7 m), umożliwiający montaż dowolnych stanowisk badawczych. Z uwagi na moje zaangażowanie zostałem wyznaczony przez Dziekana Wydziału na pełnomocnika ds. budowy budynku F (aktualna lokalizacja laboratorium). Przy poparciu ówczesnego prodziekana ds. Nauki, dr hab. inż. Wiesławy Głodkowskiej, udało mi się wprowadzić proponowane zmiany, jednak musiałem opracować wszystkie założenia, związane z nowymi elementami budynku. Opracowałem również wstępną wersję projektu płyty wielkich sił wraz z jej technologią wykonania. Całość prac związanych z jej wykonaniem nadzorowałem oraz monitorowałem parametry ciepłno-wilgotnościowe, jeszcze przez kilkanaście dni po jej wykonaniu (rys. 14). Ostatecznie można na niniejszej płycie konstruować dowolne stanowiska badawcze np. przy wykorzystaniu ww. modułowych elementów stalowych. **Moim osiągnięciem naukowo-badawczym jest opracowanie koncepcji płyty wielkich sił oraz nadzór nad jej wykonaniem [1].**



Rys. 14 Zabetonowana płyta wielkich sił i wykres rozkładu temperatury w płycie i w powietrzu [1]

Moja rola jako pełnomocnika Dziekana nie skończyła się wraz z wykonaniem płyty wielkich sił. Postanowiłem wprowadzić kilka zmian również w aparaturze i sprzęcie, które zostały ujęte w realizowanym projekcie pt.: „Zespół Laboratoriów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej – Laboratorium Wytrzymałości Materiałów i Geotechniki” (nr projektu POIS.13.01.00-00.033/08). Zmiany te w większości zostały zaakceptowane, a ja zostałem powołany jako członek w kilkunastu komisjach przetargowych związanych z wyposażeniem pomieszczeń laboratoryjnych i sal wykładowych. Przygotowałem również specyfikacje na aparaturę i sprzęt laboratoryjny oraz elementy wyposażenia całego budynku. Ostatecznie uzyskałem do laboratorium między innymi bardzo nowoczesny sprzęt w postaci: elektronicznego ekstensometru Huggenbergera o regulowanym zakresie pomiaro-

wym, sklerometrycznych młotków Schmidta, czujników siły i przemieszczeń współpracujących z systemem SAD, elektronicznego twardościomierza oraz maszyny wytrzymałościowej wraz z systemem optycznym Aramis i Pontos, które wykorzystałem już kilkakrotnie w badaniach [II],[III].

Moim kolejnym osiągnięciem naukowo-badawczym jest opracowanie i przygotowanie trzech stanowisk do badań elementów zbrojonych włóknami stalowymi, tj. w celu określenia granicy proporcjonalności i wytrzymałości reszkowych oraz do badań pochłaniania energii (rys. 15). Stanowisko do określania granicy proporcjonalności oraz wytrzymałości reszkowych opracowałem zgodnie z PN-EN 14651 (Metoda badania betonu zbrojonego włóknem stalowym. Pomiary wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (granica proporcjonalności LOP)), przy czym pomiar szerokości rozwarcia rysy (CMOD) możliwy jest do oznaczenia w dwojaki sposób, z uwzględnieniem, lub nie, deformacji belki. Stanowisko to wykorzystywałem wielokrotnie w swoich badaniach [1][6][9][10][11][12][13][D][E][III], posłużyło ono także do badań realizowanych przez innych Pracowników Wydziału.



Rys. 15 Stanowisko do badań elementów belkowych, płytowych i walcowych z dodatkiem włókien

Stanowiska do badań pochłaniania energii przygotowałem zgodnie z PN-EN 14488-5 (Badanie betonu natryskowego. Część 5: Oznaczanie zdolności pochłaniania energii przez próbki płyt zbrojonych włóknami) oraz wg zleceń ACI 544.2R-89 (Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, Reported by ACI Committee 544). Pierwsze z nich dotyczy badań statycznych na płytach o wymiarach $60 \times 60 \times 10$ cm, a drugie badań dynamicznych na próbkach o średnicy 152 mm i wysokości 63,5 mm. Aktualnie prowadzę badania testowe na obu stanowiskach, a obejmują one fibrokompozyty na bazie różnych materiałów odpadowych

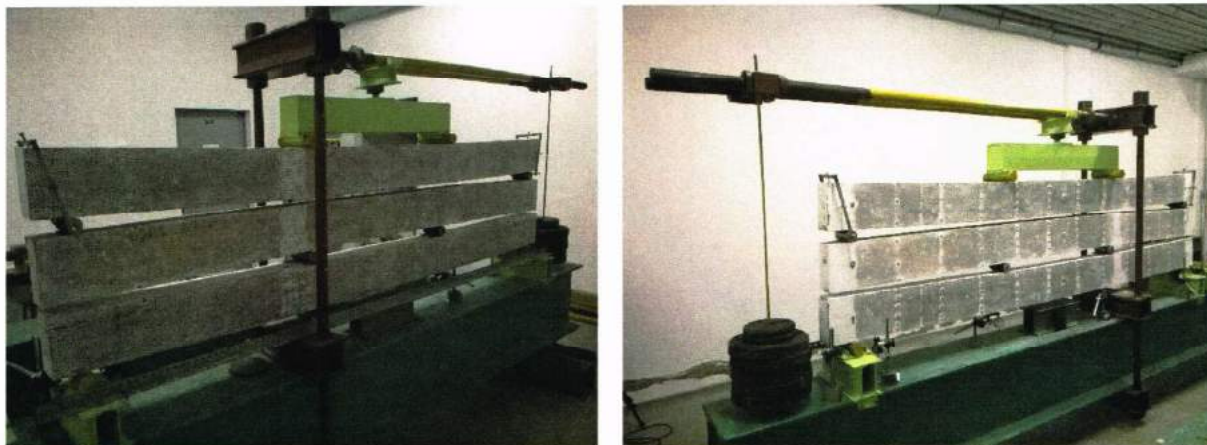
(kruszywa rozbiórkowego, kruszywa ceramicznego, kruszywa z porcelany i włókien odpadowych z obróbki skrawania oraz z opon samochodowych). Wyniki z przeprowadzonych badań zostaną niebawem opracowane i opublikowane.

Kolejne prace dotyczące mojego rozwoju naukowo-badawczego dotyczyły opracowania stanowiska do badań płyt obciążonych dynamicznie [4],[6],[9],[D],[E]. Stanowisko to zostało zaprojektowane i skonstruowane przy użyciu modułowych elementów stalowych (HEB 300). Połączono je z płytą wielkich sił poprzez specjalnie zaprojektowane śruby młoteczkowe zakotwiczone w stalowych gniazdach płyty. Badania na tym stanowisku zostały już zakończone i zostało ono przeprojektowane i przekonstruowane na stanowisko do badań identycznych płyt obciążonych statycznie, w tym cykliczne, w pozycji pionowej. Stanowisko to składa się z dwóch niezależnych konstrukcji, obciążającej z siłownikiem oraz obciążanej z płytą i układem czujników. W badaniach wykorzystałem dwa systemy pomiarowe: z przodu płyty pomiarów dokonywałem przy wykorzystaniu systemu Aramis (firmy GOM), zaś z tyłu płyty zastosowałem czujniki przemieszczeń i siły (indukcyjne i tensometryczne) połączone z systemem SAD - 256. Wykorzystane w badaniach płyty zostały wykonane zgodnie z zaleceniami [9]. Składy mieszanek i ilości płyt były zgodne z [6],[D],[E]. Badania te aktualnie prowadzę i wyniki tych badań zostaną opublikowane w najbliższym czasie. **Moim osiągnięciem naukowo-badawczym jest opracowanie i przygotowanie stanowisk do badań płyt obciążanych statycznie i dynamicznie (rys. 12 i 16).**



Rys. 16 Stanowisko do badania płyt obciążonych statycznie, widok z przodu i z tyłu

Moim ostatnim osiągnięciem naukowo-badawczym jest przeprojektowanie dotychczasowych stanowisk do badań długotrwałych (zaprojektowanych również przeze mnie – rys. 7) tak, aby była możliwość jednoczesnego badania trzech belek (rys. 17).



Rys. 17 Stanowisko (z przodu i z tyłu) do badania trzech belek obciążonych cyklicznie-długotrwanie

Stanowisko to zostało zmodernizowane i skalibrowane dla belek o wymiarach 10 x 20 x 270 cm. W badaniach wykorzystuję tradycyjne techniki pomiarowe tj. czujniki zegarowe, mikroskopy, ekstensometry, oraz nowoczesne, w postaci optycznego systemu pomiarowego Aramis [II],[III]. Badane elementy wykonane są z kompozytu na bazie kruszyw odpadowych (piasek i ceramika czerwona wg [9]) oraz włókien produkowanych seryjnie i odpadowych [1]. Są to badania, które dopiero rozpocząłem, a z uwagi na długotrwały ich charakter, wyniki z przeprowadzonych testów zostaną opublikowane nie wcześniej niż za 2 lata.

Przedstawione osiągnięcia naukowo-badawcze powiązane są ściśle z moimi osiągnięciami naukowymi. Dodatkowo prezentują one moje propozycje dalszego rozwoju naukowo-badawczego. Oczywiście nie jest to całość moich planów naukowych. Moje dalsze zamierzenia badawcze dotyczą skomponowania „eko-betonu” składającego się wyłącznie z materiałów odpadowych – poprodukcyjnych i z recyklingu. *Jest to moja aktualna myśl przewodnia...*

Dodatkowe materiały przywołane w tekście:

- [I] **Domski J.**, Katzer J., 2015, An example of monitoring of early-age concrete temperatures in a massive concrete slab, Selected practical and theoretical aspects of contemporary mechanics – Czestochowa University of Technology, pp. 94-105 (ISBN 978-83-65179-20-3).
- [II] Głodkowska W., **Domski J.**, Staszewski M., Lehmann M., Ziarkiewicz M., 2017, Zastosowanie stereoskopowego systemu pomiarowego do badań elementów i modeli konstrukcji, Materiały Budowlane, No. 537, pp. 89-90.
- [III] **Domski J.**, Katzer J., 2017, Validation of Aramis digital image correlation system for tests of fibre concrete based on waste aggregate, 6th International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete, Brno, Czech Republic.

10.08.2017r
Jacek Domski