

dr inż. Krzysztof Chudyba  
Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych  
Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Załącznik 3

Imię i nazwisko, stopień naukowy:

**Krzysztof Chudyba, dr inż.**

Miejsce zatrudnienia:

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Wydział Inżynierii Lądowej

Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych

Zakład Konstrukcji Żelbetowych

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

## AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych, w szczególności określonych w art.16 ust.2  
Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

Zawartość:

- 1/ Imię i nazwisko
- 2/ Wykształcenie, stopnie naukowe i zawodowe
- 3/ Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych
- 4/ Podstawa wystąpienia z wnioskiem o wszczęcie postępowania habilitacyjnego
  - 4.1/ Opis zakresu pracy przedstawionej do oceny
  - 4.2/ Cel i wkład naukowy badań habilitanta przedstawionych w pracy
- 5/ Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze
  - 5.1/ Opis zagadnień badawczo-naukowych będących przedmiotem zainteresowań wraz z przywołaniem odpowiednich publikacji
  - 5.2/ Monografie
  - 5.3/ Uczestnictwo w projektach badawczych
  - 5.4/ Redakcja monografii
  - 5.5/ Uczestnictwo w konferencjach naukowych (międzynarodowych i krajowych)
  - 5.6/ Zbiorcze, ilościowe podsumowanie dorobku naukowego
- 6/ Działalność organizacyjna
- 7/ Działalność dydaktyczna
- 8/ Współpraca naukowa i popularyzacja nauki oraz inne osiągnięcia w tym twórcze prace zawodowe
- 9/ Uzyskane nagrody i odznaczenia

  
.....  
podpis wnioskodawcy

### 1. Imię i nazwisko

Krzysztof Chudyba, dr inż.

### 2. Wykształcenie, stopnie naukowe i zawodowe

- 1986 ÷ 1991 – studia na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej,
- czerwiec 1991 – dyplom magistra inżyniera budownictwa lądowego z wynikiem bardzo dobrym,
- październik 1991 – zatrudnienie na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w Zakładzie Konstrukcji Żelbetowych Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki w Krakowie,
- kwiecień 2000 – obrona pracy doktorskiej pt.:  
„Wpływ parametrów materiałowych i geometrycznych na nośność ściskanych słupów żelbetowych”  
promotor pracy doktorskiej: prof. dr hab. inż. Władysław Ziobroń  
recenzenci pracy doktorskiej: prof. dr hab. inż. Tadeusz Godycki-Ćwirko  
dr hab. inż. Zbigniew Janowski, prof. PK
- maj 2000 – uzyskanie tytułu doktora nauk technicznych (dyscyplina – Budownictwo; specjalność – Konstrukcje z betonu),
- wrzesień 2000 – wyróżnienie pracy doktorskiej nagrodą indywidualną II stopnia przyznaną przez JM Rektora PK.

### 3. Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych

- 1991 ÷ 2000 – asystent naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Konstrukcji Żelbetowych Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej,
- od 2000 roku – adiunkt naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Konstrukcji Żelbetowych Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (mianowanie na czas nieokreślony).

### 4. Podstawa wystąpienia z wnioskiem o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym (art.16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki – Dz. U. nr 65 poz. 595 ze zm.), które przedstawiam jako podstawę wystąpienia z wnioskiem o wszczęcie postępowania habilitacyjnego jest monografia mojego autorstwa pt.:

„Analiza konstrukcji z betonu warunkach pożarowych”

opublikowana w 2019 roku przez Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, Seria Inżynieria Lądowa, ISBN 978-83-65991-58-4, stron 177, Kraków 2019.

nd

#### 4.1. Opis zakresu pracy przedstawionej do oceny

Bezpieczeństwo pożarowe stanowi jedno z podstawowych kryteriów koniecznych do spełnienia przez wszystkie konstrukcje budowlane. Wymaga się, aby obiekty były zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby w przypadku wybuchu pożaru:

- nośność konstrukcji została zachowana przez określony czas,
- powstanie i rozprzestrzenianie się ognia i dymu w obiektach było ograniczone,
- rozprzestrzenianie się ognia na sąsiednie obiekty było ograniczone,
- osoby znajdujące się wewnątrz mogły opuścić obiekt lub być uratowane w inny sposób,
- uwzględnione było bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

W przypadku działania ognia na konstrukcję formułuje się następujące wymagania: 1/ uniknięcie przedwczesnego zawalenia się konstrukcji – funkcja nośności, 2/ ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia (płomienie, gorące gazy, nadmierna temperatura) poza wyznaczone obszary – funkcja separacyjna (oddzielająca).

Sytuacja pożaru stanowi w klasyfikacji oddziaływań na konstrukcję wyjątkową sytuację obliczeniową. Wymagania odporności pożarowej elementów konstrukcyjnych ustala się na podstawie krajowych regulacji (*Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Załącznik do obwieszczenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015, Dziennik Ustaw RP, Warszawa, dnia 18 września 2015r, poz.1422*), natomiast weryfikację tak ustalonych wymagań przeprowadza się w oparciu o odpowiednie przepisy normowe (*Eurokody*) – w przypadku konstrukcji z betonu właściwą normą jest *PN-EN 1992-1-2*.

Zagadnienia omawiane w przedstawionej monografii dotyczą szczegółowych elementów analizy konstrukcji z betonu w warunkach pożarowych i obejmują następujące kwestie:

- przyjmowanie i ustalanie oddziaływań termicznych na konstrukcje w warunkach pożarowych;
- wpływ temperatury pożarowej na właściwości fizyczne/termiczne oraz mechaniczne betonu konstrukcyjnego i stali zbrojeniowej, z uwzględnieniem wpływu czynników materiałowych (rodzaj kruszywa, cementu, rodzaj stali) oraz środowiskowych (wilgotność), a także charakteru oddziaływania pożarowego (historia nagrzewania, scenariusz pożarowy);
- opis typu i charakteru uszkodzeń pożarowych konstrukcji z betonu poddanych działaniu pożaru wraz ze sposobami zabezpieczeń elementów konstrukcyjnych przed niekorzystnymi efektami utraty otuliny betonowej;
- określanie pola temperatur w elementach konstrukcyjnych dla różnych scenariuszy pożaru i różnych warunków nagrzewania;
- porównanie metod obliczeniowych nośności żelbetowych przekrojów oraz elementów konstrukcyjnych w warunkach pożarowych dla różnych przypadków obliczeniowych: zginanie, zginanie z siłą podłużną (ściskającą), a także weryfikacja wyników tych metod na podstawie rezultatów doświadczalnych badań ogniowych żelbetowych elementów konstrukcyjnych;

V. Ch

- uwzględnienie redystrybucji sił wewnętrznych w sytuacji pożarowej dla żelbetowych konstrukcji statycznie niewyznaczalnych, a w szczególności dla belek ciągłych.

#### **4.2. Cel i wkład naukowy badań habilitanta przedstawionych w pracy**

Cele naukowe monografii obejmują:

- opisanie i usystematyzowanie wiedzy w poruszonym zakresie tematycznym;
- analizę i identyfikację uszkodzeń pożarowych betonu wraz z odniesieniem do oceny stanu technicznego zachowania konstrukcji po pożarze;
- porównanie różnych metod obliczeniowych stosowanych w analizie w sytuacji pożarowej – z krytyczną analizą uzyskanych wyników – oraz ich weryfikacja na podstawie wyników badań doświadczalnych/ogniowych z literatury przedmiotu;
- wykazanie, że w analizie obliczeniowej konstrukcji z betonu w warunkach pożaru istotny wpływ mają zmiany właściwości betonu postępujące wraz ze wzrostem jego temperatury;
- wykazanie możliwości modelowania sytuacji pożarowej w komercyjnym pakiecie do obliczeń numerycznych (MES) – program Abaqus - z dobrą zgodnością jakościową wyników z danymi z innych źródeł.

Analiza konstrukcji z betonu w warunkach pożarowych obejmuje w ogólnym przypadku kilka etapów (wybór modelu pożaru i odpowiedniego scenariusza pożarowego; przeprowadzenie analizy termicznej; wykonanie analizy mechanicznej dla konstrukcji; weryfikacja odpowiednich warunków odporności pożarowej), na których wymagane jest przyjęcie szeregu parametrów, zarówno opisujących przebieg procesu wymiany ciepła, jak i definiujących zachowanie materiałów w temperaturze pożarowej. Charakter oddziaływań pożarowych uwzględnianych w analizie konstrukcji oraz możliwe do stosowania modele pożaru przedstawiono w rozdziale 2 monografii. W przypadku konstrukcji z betonu/żelbetowych dla celów realizacji analizy konstrukcji w sytuacji pożarowej niezbędna jest znajomość podstawowych parametrów materiałowych betonu konstrukcyjnego i stali zbrojeniowej, określonych w funkcji temperatury (właściwości fizyczne/termiczne oraz właściwości mechaniczne).

W literaturze przedmiotu napotkać można liczne propozycje i wyniki badań doświadczalnych, opisujące wpływ temperatury pożarowej na właściwości fizyczne/termiczne i mechaniczne betonu konstrukcyjnego oraz stali zbrojeniowej (przewodnictwo cieplne, ciepło właściwe, wydłużalność termiczna, wytrzymałości na ściskanie/rozciąganie, właściwości odkształceniowe) z uwzględnieniem wpływu czynników materiałowych (rodzaj kruszywa, cementu, rodzaj stali) oraz środowiskowych (wilgotność), a także charakteru oddziaływania pożarowego (historia nagrzewania, scenariusz pożarowy). Odpowiednie przepisy normowe oraz źródła literaturowe również zawierają propozycje w tym zakresie, umożliwiając analizę typowych przypadków. W pracy zestawiono te informacje (patrz: rozdziały 3, 4) oraz wykorzystano je do przeprowadzenia analizy termicznej dla wybranych

V. Ch



przypadków obliczeniowych (rozdział 5.2), a także wykonania obliczeń w zakresie analizy mechanicznej (przedstawionych potem w rozdziałach 5.3, 5.4).

Pokazano, że w zakresie analizy termicznej zastosowanie mogą znaleźć podejścia o różnym stopniu dokładności, przy czym najpewniejszym sposobem ich weryfikacji są wyniki badań ogniowych. Jednak dla typowych przypadków obliczeniowych nawet uproszczone metody szacowania pól termicznych mogą być przydatne w analizie konstrukcji z betonu. Ważniejszą kwestią jest stosowanie parametrów materiałowych będących funkcjami temperatury (tak dla betonu konstrukcyjnego, jak i stali zbrojeniowej), gdyż to warunkuje rzeczywisty opis zachowania konstrukcji i skutkuje bardziej wiarygodnymi wynikami rozkładu temperatury. Przyjmowanie stałych, niezależnych od czasu wartości parametrów termicznych/fizycznych materiałów, powoduje uzyskanie wyższych wartości temperatury w przekrojach elementów konstrukcyjnych i niższych poziomów odporności pożarowej elementów. Należy jednak dodać, iż wyniki analizy dla takiego uproszczenia lokują się po stronie bezpiecznej. Dodatkowo stwierdzić można, że szczegółowe informacje o właściwościach fizycznych/termicznych stali zbrojeniowej są niejako drugorzędne w analizie termicznej konstrukcji żelbetowych – z uwagi na dominującą objętość betonu i usytuowanie zbrojenia wewnątrz przekroju (przy zachowaniu odpowiedniej otuliny), to właśnie parametry betonu decydują o rozkładzie temperatury w poszczególnych punktach konstrukcji.

Aktualnym obszarem badań w zakresie problematyki odporności ogniowej konstrukcji betonowych stało się projektowanie i stosowanie betonów (zarówno zwykłych, jak i wysokowartościowych) bardziej odpornych na wysokie temperatury oraz z dodatkami poprawiającymi odporność na wybuchowe odpadanie otuliny w wysokich temperaturach („explosive spalling”). W niniejszej pracy (rozdział 3.3) przedstawiono zagadnienie możliwych typów i mechanizmów uszkodzeń pożarowych betonu, poświęcając najwięcej miejsca kwestii wybuchowego odpadania otuliny betonowej w sytuacji oddziaływania pożarowego, co w szczególności dotyczyć może betonów wysokiej wytrzymałości. Opisano główne czynniki determinujące wystąpienia niekorzystnego zjawiska eksplozyjnego odpadania otuliny betonowej oraz mechanizmy tłumaczące jego przebieg. Podano możliwe metody zabezpieczenia przed tym niekorzystnym efektem. Zasygnalizowano ponadto problem analizy stanu konstrukcji z betonu po pożarze, podając możliwą do wykorzystania praktyczną procedurę postępowania (rozdział 3.3.4).

Weryfikacja odporności pożarowej żelbetowych elementów konstrukcyjnych (traktowanych jako elementy wydzielone z konstrukcji lub części układu konstrukcyjnego – przy analizie części konstrukcji czy analizie globalnej całej konstrukcji) wymaga określenia nośności przy uwzględnieniu faktu, iż właściwości mechaniczne materiałów (betonu i stali zbrojeniowej) podlegają degradacji wraz ze wzrostem temperatury w trakcie oddziaływania pożarowego. W przypadku analizy mechanicznej i ostatecznie przy wnioskowaniu o poziomie odporności pożarowej znajomość zależności pomiędzy temperaturą a wartościami mechanicznymi stali zbrojeniowej jest bardzo istotna – nie można tutaj, jak



dla analizy termicznej, pominać tych szczegółowych relacji. Stal zbrojeniowa jest bardzo wrażliwa na wpływy temperatury w zakresie 400-600°C, w którym to przedziale tracić może nawet ok. 50% początkowej wytrzymałości na rozciąganie.

Metody obliczeniowe stosowane do analizy konstrukcji w sytuacji pożaru mogą obejmować: metody uproszczone na poziomie przekroju dla różnych przypadków obciążeniowych (np.: zginanie, zginanie z siłą podłużną), będące zwykle modyfikacjami rozwiązań i procedur obliczeniowych stosowanych w warunkach zwykłej temperatury; metody zaawansowane, wiążące w ogólnym przypadku zagadnienia termiczne, wilgotnościowe i mechaniczne, umożliwiające dodatkowo uwzględnienie wprost np.: efektów odpadania otuliny betonowej („spalling”). W codziennej praktyce projektowej i dla przypadków typowych, stosowanie metod uproszczonych wydaje się jak najbardziej uzasadnione. Jednakże pamiętać należy o tym, aby wiarygodnie ustalić zakresy ich możliwego stosowania. W niniejszej monografii (rozdział 5.4.1) takiej właśnie analizie poddano popularne metody uproszczone bazujące na przekroju zredukowanym/efektywnym (metoda izotermi granicznej, metoda strefowa) oraz metodę dokładną przyrostowo-iteracyjną, traktując tę ostatnią jako metodę referencyjną. Dodatkowo, podane metody obliczeniowe (dla przypadku obciążeniowego – zginanie z siłą ściskającą) poddano weryfikacji, porównując je z wybranymi wynikami badań doświadczalnych (ogniowych) realizowanymi na słupach żelbetonowych.

Przedstawione metody i procedury obliczeniowe skutkują podobnymi wynikami opisywanymi poprzez krzywe interakcji moment zginający – siła podłużna  $M_u-N_u$  dla wszystkich analizowanych kształtów przekroju i klas betonu, ale tylko w zakresie przypadków obciążeniowych bliskich czystemu zginaniu (zginanie bez siły podłużnej). Jeżeli oprócz momentu zginającego występuje siła podłużna (ściskająca), to obserwuje się wtedy znaczne rozbieżności w wynikach, w szczególności dla betonów wysokiej wytrzymałości. Przyjmując metodę przyrostowo-iteracyjną jako referencyjną, stwierdzić można, że różnice osiągają 40% dla metody izotermi i 15% dla metody stref – w obu przypadkach lokując się po stronie niebezpiecznej z punktu widzenia poziomu bezpieczeństwa konstrukcji. Wniosek ten znajduje potwierdzenie w obserwacjach innych badaczy. Różnice w wynikach dla metod zredukowanego przekroju mogą w pewnym stopniu być zredukowane poprzez przyjęcie do obliczeń innego poziomu granicznej izotermi (gdyż betony wysokiej wytrzymałości charakteryzują się szybszą redukcją wytrzymałości na ściskanie w funkcji temperatury, niż betony zwykłej wytrzymałości).

W porównaniu z wynikami eksperymentalnymi (wybrane z literatury testy ogniowe na słupach żelbetonowych) metoda iteracyjno-przyrostowa wykazuje w miarę stały poziom dokładności i zgodności w całym analizowanym zakresie klas wytrzymałości betonu, wyrażony poprzez podobne wartości parametrów rozkładu wielkości  $N_{calc}/N_{exp}$ . Dla pozostałych metod różnice pomiędzy wartościami obliczonymi i wynikami doświadczalnymi są bardziej wyraźne, ze znaczącymi rozrzutami wartości  $N_{calc}/N_{exp}$ , w szczególności dla elementów z betonu wysokiej wytrzymałości.

Metody efektywnego (zredukowanego) przekroju można traktować jako miarodajne tylko w zakresie betonów zwykłej wytrzymałości i w przypadku czystego zginania. Dla zginania z siłą podłużną i dla betonów wysokiej wytrzymałości mogą one niedoszacowań lub przeszacować odporność pożarową (w szczególności dotyczy to metody izotermy 500°C).

Procedura przyrostowo-iteracyjna stosowana do określenia krzywych interakcji  $M_u-N_u$  zapewnia wyniki najbliższe результатам eksperymentalnym w całym praktycznie zakresie analizowanych zmiennych (klasa wytrzymałości betonu, ilość zbrojenia, czas trwania oddziaływania pożarowego, kształt przekroju). Chociaż stanowi ona proces bardziej czasochłonny niż metody uproszczone bazujące na przekroju zredukowanym, to w ogólności można ją stosować dla różnych zależności naprężenia-odkształcenie dla materiałów (zarówno dla betonu konstrukcyjnego, jak i stali zbrojeniowej), przez co umożliwia uwzględnienie zmienności parametrów w całym zakresie stosowanych materiałów.

Zachowanie i bezpieczeństwo statycznie niewyznaczalnych konstrukcji z betonu w warunkach podwyższonej temperatury zależy nie tylko od zachowania elementów konstrukcyjnych, ale także – nawet w większym stopniu – od redystrybucji sił wewnętrznych w konstrukcji, postępującej z czasem trwania oddziaływania pożarowego. Z uwagi na stosunkowo niskie przewodnictwo cieplne betonu, w trakcie działania wysokiej temperatury pożarowej, w przekrojach elementów konstrukcyjnych wytwarza się niejednorodne pole temperatury. Jednocześnie następują znaczne deformacje, które są ograniczane przez obecność elementów przylegających oraz dochodzi do redukcji sztywności z uwagi na pogarszanie się właściwości materiałowych. Stąd też, siły wewnętrzne w całej konstrukcji podlegają znacznej redystrybucji, podczas gdy deformacje, sposoby zniszczenia oraz nośność zmieniają się.

Zazwyczaj analiza na poziomie elementu konstrukcyjnego może stanowić podstawową metodę weryfikacji odporności pożarowej. Przyjmuje się, że taka analiza jest wystarczająca dla standardowych warunków pożarowych. W takim podejściu oddziaływania pośrednie – wynikające z efektów termicznych wydłużeń elementów konstrukcyjnych – nie są uwzględniane w analizie i pomija się wpływ czasu trwania pożaru przy określaniu odpowiedzi mechanicznej konstrukcji. Wydaje się to uzasadnione w układach statycznie wyznaczalnych, ale dla konstrukcji statycznie niewyznaczalnych, można wnioskować, że analiza na poziomie przekroju prowadzić może do wyników po stronie niebezpiecznej.

W pracy (rozdział 5.4.2) przedstawiono informacje o charakterze i możliwych konsekwencjach redystrybucji sił wewnętrznych w elementach ciągłych (plyty, belki) oraz ramach żelbetowych. Brak odpowiedniego zbrojenia górnego nad podporami w elementach ciągłych może prowadzić do przedwczesnego zniszczenia elementu w warunkach pożarowych od zginania. W przypadku ram żelbetowych w wyniku redystrybucji sił wewnętrznych w konstrukcji może wystąpić z kolei przedwczesne zniszczenie od ścinania w słupach, co wymaga odpowiedniej ilości zbrojenia



poprzecznego oraz jego odpowiedniego ukształtowania (np.: w sposób analogiczny do strzemion w konstrukcjach poddanych wpływow sejsmicznym).

W pracy podjęto próbę analizy redystrybucji sił wewnętrznych/naprężeń w statycznie niewyznaczalnej belce żelbetowej przy wykorzystaniu komercyjnego oprogramowania MES (system ABAQUS). Przy zastosowaniu wybranych modeli materiałowych betonu i stali zbrojeniowej oraz modelu uwzględnienia wpływów temperatury na analizowany element żelbetowy (jednoprzęsłowa belka obustronnie utwardzona), uzyskano ostatecznie wyniki w postaci rozkładów temperatury w przekrojach oraz map naprężeń zastępczych w betonie w poszczególnych przekrojach. Na podstawie uzyskanych map naprężeń dla przekroju przęsłowego oraz podporowego można prześledzić zmiany wartości i rozkładu naprężeń w przekrojach w czasie. W wyniku oddziaływania pożarowego następuje „przegrupowanie” sił wewnętrznych, i co za tym idzie - naprężeń, ze wzrostem ich wartości w przekrojach podporowych i redukcją w strefach przęsłowych, co uwiadamia się dla czasu trwania oddziaływania pożarowego wynoszącego co najmniej 90 minut. Stąd też, konieczne jest zapewnienie odpowiedniej ilości zbrojenia w tych strefach, gdzie następuje przyrost sił wewnętrznych. Uzyskane wyniki (choćby wrywkowe w sensie liczby analizowanych przypadków, zwłaszcza w odniesieniu do zmiennych materiałowych) potwierdzają jakościowy wpływ efektu redystrybucji sił wewnętrznych oraz naprężeń w statycznie niewyznaczalnych żelbetowych elementach konstrukcyjnych. Czas trwania obciążenia pożarowego, po którym wpływy te stają się istotne, określony w analizowanej sytuacji na poziomie 90 minut, potwierdza obserwacje z innych analiz oraz zapisy i wymagania normowe dotyczące redystrybucji sił wewnętrznych.

Poza aspektem naukowym i poznawczym, monografia posiada także elementy o charakterze praktycznym. Przedstawione informacje i wyniki analiz, a także wnioski z nich wynikające, mogą zostać wykorzystane w sposób bezpośredni w praktyce projektowej w odniesieniu do konstrukcji z betonu, analizowanych w wyjątkowej obliczeniowej sytuacji projektowej – przy oddziaływaniu wysokiej temperatury pożarowej.

Podsumowując, można stwierdzić, że mój wkład w rozwój dyscypliny naukowej budownictwo w monografii przedstawionej do oceny polega na:

- Identyfikacji i kompleksowym przedstawieniu wszystkich etapów, niezbędnych w analizie konstrukcji z betonu w warunkach pożarowych, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu wysokiej temperatury pożarowej na zmianę właściwości materiałowych betonu oraz na jego uszkodzenia w efekcie oddziaływania pożarowego;
- Jakościowej i ilościowej analizie wpływu szczegółowych scenariuszy pożarowych oraz różnych czynników materiałowych (właściwości termiczne/fizyczne, mechaniczne) betonu i stali zbrojeniowej na uzyskiwane wyniki rozkładu temperatury (pole temperatury) w przekrojach elementów żelbetowych, a także na mechaniczną odpowiedź konstrukcji na tak ustalone pole temperatury;





- Teoretyczno-doświadczalnej (z wykorzystaniem wybranych z literatury badań ogniowych smukłych słupów żelbetowych) krytycznej weryfikacji metod obliczeniowych żelbetowych elementów konstrukcyjnych (dla przypadku łącznego działania momentu zginającego i siły podłużnej ściskającej) w warunkach oddziaływania wysokiej temperatury pożarowej, przy uwzględnieniu różnych poziomów wytrzymałości betonu i różnych kształtów przekroju;
- Przeprowadzeniu analizy redystrybucji sił wewnętrznych (naprężeń) w statycznie niewyznaczalnej belce żelbetowej, do której dochodzi w efekcie oddziaływania temperatury pożarowej, z wykorzystaniem komercyjnego systemu MES (Abaqus) - w wyniku oddziaływania pożarowego następuje „przegrupowanie” sił wewnętrznych/naprężeń, ze wzrostem ich wartości w przekrojach podporowych i redukcją w strefach przęsłowych. Obserwacja przebiegu zmian naprężeń w betonie w poszczególnych przekrojach w funkcji czasu trwania oddziaływania pożarowego umożliwia opisanie oraz zrozumienie zmian w zachowaniu elementu żelbetowego poddanego takiemu oddziaływaniu wyjątkowemu i ich konsekwencji w odniesieniu do odporności pożarowej.

## 5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

(szczegółowy wykaz osiągnięć znajduje się w Załączniku 5)

### 5.1. Opis zagadnień naukowo-badawczych będących przedmiotem zainteresowań habilitanta wraz z przywołaniem odpowiednich publikacji

Od czasu rozpoczęcia pracy w Politechnice Krakowskiej przedmiotem moich zainteresowań naukowo-badawczych były przede wszystkim konstrukcje z betonu oraz w nieco mniejszym stopniu – konstrukcje murowe.

W ramach przygotowania i realizacji pracy doktorskiej zajmowałem się zagadnieniami materiałowymi związanymi z oceną wytrzymałości betonu (w tym z oceną wytrzymałości betonu w konstrukcji) oraz analizą nośności słupów żelbetowych obciążonych mimośrodowo. Efektem tych działań było opublikowanie kilku prac naukowych przed doktoratem („*Wytrzymałość betonu w jednoosiowym stanie obciążenia w świetle badań doświadczalnych*”, „*Ocena wytrzymałości betonu w świetle przepisów normowych*”, „*Smukłości graniczne słupów żelbetowych ściskanych mimośrodowo*”, „*Długość obliczeniowa słupów żelbetowych w świetle EC2 i PrPN-B-03264*”, „*Weryfikacja doświadczalna metod obliczania nośności słupów żelbetowych mimośrodowo ściskanych*”).

W tym czasie uczestniczyłem także w pracach zespołu badawczego w ramach międzynarodowego projektu „*Copernicus Joint Research Project – Advanced Testing of Masonry ATEM*” (koordynator projektu – Prof. G. N. Pande, University of Wales - Swansea). Wyniki tych prac podsumowane zostały w publikacji naukowej „*Numerical modelling and experimental verification of the mechanical behaviour of masonry wallets*” oraz w raporcie „*Final report on work and activities performed by*

*V. Ch*

*CUTech within the framework of Joint Research Project Copernicus – Advanced Testing on Masonry*”(patrz: p. II/L.3 w zał.5).

W swojej pracy doktorskiej pt.: „*Wpływ parametrów materiałowych i geometrycznych na nośność ściskanych słupów żelbetowych*” podjąłem problematykę związaną z badaniami oraz obliczaniem ściskanych słupów żelbetowych.

Wkład mojej pracy doktorskiej w rozwój dyscypliny budownictwo polegał na teoretyczno - doświadczalnej weryfikacji metod obliczania smukłych słupów żelbetowych pod obciążeniem krótkotrwałym.

W pierwszych latach po doktoracie moje zainteresowania naukowo – badawcze koncentrowały się nadal wokół problematyki ściskanych elementów z betonu/żelbetowych. Podjąłem wtedy zagadnienie związane z wpływem obciążeń długotrwałych na zachowanie słupów żelbetowych oraz ścian z betonu. Efekty tych prac zostały zawarte w kilku publikacjach naukowych („*Wpływ obciążeń długotrwałych słupów żelbetowych w świetle przepisów normowych*” [poz. E4/1w p.II w zał.5], „*The influence of creep onto capacity of concrete walls*”[poz. E2/4 w p.II w zał.5], „*Metody uwzględniania wpływu pełzania w obliczeniach nośności ścian betonowych*”[poz. E4/3 w p.II w zał.5], „*Load-bearing capacity for slender concrete walls under compression*”[poz. E2/11 w p.II w zał.5]).

Niemal 20 lat temu rozpoczęto w Polsce prace związane z dostosowaniem krajowych przepisów normowych w zakresie projektowania konstrukcji z betonu i wprowadzeniem do polskiej praktyki projektowej norm europejskich – Eurokodów. W ramach tego procesu uczestniczyłem w pracach zespołu autorów przygotowujących „*Komentarz naukowy do normy PN-B-03264:2002*”. Opracowanie to powstało jako efekt projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych nr 5 TO7E 01823. W wyniku realizacji projektu opracowano dwutomową publikację „*Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Komentarz naukowy do PN-B-03264:2002*” (Wyd. ITB, Warszawa 2005). Jestem współautorem jednego z rozdziałów finalnego opracowania (Rozdział 20. „*Kształtowanie płyt, belek i słupów*”, str.245-282, [poz. E2/1 w p.II w zał.5]). Brałem także czynny udział w dyskusjach środowiskowych poprzedzających redakcję końcowej wersji komentarza, prowadzonych na specjalnie organizowanych konferencjach oraz na forum Sekcji Konstrukcji Betonowych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN - w kadencji 2003-2006 zostałem powołany na członka tej sekcji. Przygotowałem też wtedy publikację naukową z tego zakresu („*Polish Code for concrete structures and Eurocode 2 regulations*” [poz. E2/3 w p.II w zał.5]).

W roku 2003 roku uczestniczyłem w tygodniowym międzynarodowym seminarium „*Effect of Heat on Concrete*” zorganizowanym przez „International Centre for Mechanical Sciences w Udine (Włochy). Od tego czasu datuje się moje zainteresowanie tematyką wpływu oddziaływań termicznych, a w szczególności – pożarowych, na zachowanie konstrukcji z betonu, analizą konstrukcji w

*V. Ch*

warunkach pożarowych, a także określaniem/weryfikacją odporności ogniowej żelbetonowych elementów konstrukcyjnych.

W zakresie problematyki odporności ogniowej konstrukcji betonowych wyróżnić można szereg obszarów badawczych:

- badania materiałowe betonu i stali zbrojeniowej w celu określenia podstawowych parametrów fizycznych, termicznych i mechanicznych materiałów z uwzględnieniem czynnika temperatury pożarowej (z ewentualnym wpływem historii nagrzewu) i z uwzględnieniem wpływu typu cementu i kruszywa oraz dodatku włókien (metalicznych, nieorganicznych, polimerowych),
- projektowanie i stosowanie betonów (zarówno zwykłych, jak i wysokowartościowych) bardziej odpornych na wysokie temperatury oraz z dodatkami poprawiającymi odporność na wybuchowe odpadanie otuliny w wysokich temperaturach („explosive spalling”),
- opracowywanie coraz dokładniejszych metod obliczeniowych do analizy konstrukcji w sytuacji pożaru, obejmujących: wymiarowanie na poziomie przekroju dla różnych przypadków obciążeniowych – zginanie z siłą podłużną, ścinanie i skręcanie, analizę redystrybucji sił wewnętrznych w konstrukcjach z betonu poddanych działaniu ognia, modelowanie i przewidywanie niekorzystnych zjawisk zachodzących w betonie pod wpływem działania wysokiej temperatury pożarowej oraz ich doświadczalna weryfikacja,
- badania w skali naturalnej dla pożarów rzeczywistych, połączone z weryfikacją modeli oraz analizą odkształcalności/deformacji i mechanizmów zniszczenia,
- analiza i identyfikacja uszkodzeń pożarowych w konstrukcji w kontekście wnioskowania o poziomie bezpieczeństwa konstrukcji, która poddana była działaniu pożaru,
- dyskusja o kierunku, w jakim zmierzać powinny przepisy normowe w zakresie bezpieczeństwa pożarowego (bardziej szczegółowe czy bardziej ogólne zapisy? zorientowane na materiały czy na elementy konstrukcyjne?).

W pierwszej kolejności starałem się rozpoznać oraz przeanalizować podstawy i ogólne zasady projektowania konstrukcji z betonu z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe, uwzględniając postanowienia Eurokodów, co podsumowałem w kilku publikacjach naukowych („Wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji w ujęciu normy EC 2” [poz. E2/5 w p.II w zał.5], „Wymagania bezpieczeństwa pożarowego związane z projektowaniem konstrukcji z betonu” [poz. E4/5 w p.II w zał.5], „Podstawy projektowania budynków betonowych z uwzględnieniem wymagań bezpieczeństwa pożarowego” [poz. E4/6 w p.II w zał.5]).

Określenia wymagań odporności pożarowej dla elementów konstrukcyjnych dokonuje się w oparciu o przepisy krajowe („Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Załącznik do obwieszczenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015, Dziennik Ustaw RP, Warszawa, dnia 18 września 2015r, poz. 1422”), natomiast odpowiednie normy (części „pożarowe” Eurokodów

✓ch

konstrukcyjnych) podają metody weryfikacji odporności pożarowej. Dopuszcza się stosowanie metod weryfikacji o różnym poziomie dokładności – od metod opisowych, poprzez uproszczone metody obliczeniowe aż po zaawansowane metody analizy, a także badania ogniowe. Oczywiście, metody opisowe oraz uproszczone obliczenia posiadają ograniczony zakres stosowania. Nośności żelbetowych elementów konstrukcyjnych w warunkach pożarowych mogą być obliczeniowo określone poprzez modyfikację prostych metod obliczeniowych stosowanych dla warunków zwykłej temperatury („Obliczenia nośności przekrojów żelbetowych w wysokiej temperaturze metodą uproszczoną wg EC 2” [poz. E4/7 w p.II w zał.5], „Przykłady określania odporności pożarowej konstrukcji z betonu wg normy PN-EN 1992-1-2” [poz. E2/1 w p.II w zał.5]). Możliwe jest jednak prowadzenie analizy nośności w warunkach pożarowych dla żelbetowych elementów konstrukcyjnych w sposób bardziej dokładny, z uwzględnieniem np. metody przyrostowo-iteracyjnej dla przekrojów poddanych działaniu momentu zginającego i siły podłużnej, i z uwzględnieniem zmienności parametrów materiałowych w funkcji temperatury. Wpływ zmienności właściwości mechanicznych betonu i stali zbrojeniowej jako funkcji temperatury pożarowej na zachowanie konstrukcji z betonu przedstawiłem w kilku publikacjach („Effect of changes in mechanical properties of concrete and steel at elevated temperatures onto behavior of RC structures” [poz. E2/6 w p.II w zał.5], „Structural fire design methods for reinforced concrete members” [poz. E4/14 w p.II w zał.5]). W publikacji „Structural fire design methods for reinforced concrete members” [poz. E4/14 w p.II w zał.5] przedstawiłem omówienie metod obliczeniowych elementów żelbetowych w warunkach pożarowych oraz porównanie wyników uzyskanych przy zastosowaniu różnych metod obliczeniowych dla wybranych przypadków obciążeniowych (zginanie z siłą podłużną, zginanie, „czyste” ściskanie) („Structural fire design methods for reinforced concrete members” [poz. E4/14 w p.II w zał.5], „Simplified methods for RC columns fire resistance according to EC2” [poz. E2/10 w p.II w zał.5]).

Oprócz zagadnień nośności konstrukcji z betonu w warunkach pożarowych (kryterium R), analizowałem także wymagania izolacyjności termicznej przegród z betonu (kryterium EJ) („Izolacyjność termiczna przegród z betonu w warunkach pożarowych” [poz. E4/17 w p.II w zał.5]).

W sytuacji pożaru beton jako materiał konstrukcyjny wykazuje szereg pozytywnych właściwości: jest praktycznie niepalny, nie emituje dymu, zapewnia dobrą izolacyjność termiczną. Otulina betonowa zapewnia naturalną ochronę prętów zbrojenia. Ponadto, układy konstrukcyjne wykazują zwykle zdolność do redystrybucji sił wewnętrznych w trakcie trwania pożaru. Jednak podczas działania ognia na konstrukcję temperatura w betonie stopniowo wzrasta, powodując wydłużenia termiczne składników betonu, parowanie wody zawartej w materiale i związany z tym przyrost ciśnienia w porach oraz spadek właściwości mechanicznych betonu. Sytuacja pożaru powoduje duże gradienty temperatury, a w wyniku tego gorące warstwy powierzchniowe mają tendencję do oddzielania się i odłupywania od chłodniejszego wnętrza elementu. Szczegółowe charakterystyki przyrostu temperatury w czasie, maksymalnej temperatury i czasu trwania pożaru determinują

*Vi ch*



zachowanie konstrukcji, stąd projektowanie powinno uwzględniać realistyczne scenariusze pożaru. Przy szybkich przyrostach temperatury szczególnie zewnętrzne warstwy betonu są poddane działaniu wysokiej temperatury. Rozkład temperatury wewnątrz betonu zależy nie tylko od maksymalnej temperatury, ale także od czasu trwania pożaru, przyrostu temperatury w czasie, geometrii elementu i typu użytego betonu. W budynkach maksymalna temperatura podczas pożaru zwykle nie przekracza 800 – 1000°C, a pożar trwa od kilku minut do maksymalnie kilku godzin. W warunkach pożaru jedynie w strefie bliskiej zewnętrznej powierzchni betonu temperatura osiąga maksymalne poziomy. Jeżeli tylko beton nie podlega lokalnym lub powierzchniowym odpryskom, to warstwy zewnętrzne zapewniają ochronę termiczną stali zbrojeniowej i wewnętrznych warstw betonu w przekroju, stanowiąc ciągle dość efektywną barierę termiczną, choć ich funkcja konstrukcyjna może być już wyczerpana. Typowe uszkodzenia betonu w konstrukcji, będące efektem oddziaływania wysokiej temperatury pożarowej, to spękania, wykruszenia, odpryski i ubytki powierzchniowe powstające od wysokiego nagrzania w pobliżu źródła ognia oraz nierównomiernych zmian objętości. W elementach żelbetonowych, wraz z postępującymi uszkodzeniami betonu, który stanowi ochronę prętów zbrojeniowych, dochodzi do bezpośredniego działania wysokiej temperatury na stal zbrojeniową i szybkiej utraty nośności z powodu pogorszenia właściwości mechanicznych stali. Dodatkowo, po wykruszeniu otuliny betonowej, dochodzić może do wyboczenia prętów zbrojeniowych i utraty przyczepności do przyległego betonu, nawet w tych obszarach, w których zbrojenie jest jeszcze osłonięte. Problem uszkodzeń pożarowych betonu w konstrukcji wiąże się dodatkowo z zagadnieniem oceny stanu technicznego obiektów po pożarze. Opisane zagadnienia analizowałem w kilku publikacjach („*Uszkodzenia pożarowe betonu konstrukcyjnego*” [poz. E4/8 w p.II w zał.5], „*Metodyka oceny stanu technicznego konstrukcji z betonu po pożarze*” [poz. E4/9 w p.II w zał.5]).

Zachowanie i bezpieczeństwo statycznie niewyznaczalnych konstrukcji z betonu w warunkach podwyższonej temperatury zależy nie tylko od zachowania elementów konstrukcyjnych, ale także – nawet w większym stopniu – od redystrybucji sił wewnętrznych w konstrukcji postępującej z czasem trwania oddziaływania pożarowego. Z uwagi na niskie przewodnictwo cieplne betonu, w trakcie działania wysokiej temperatury pożarowej, w przekrojach elementów konstrukcyjnych wytwarza się niejednorodne pole temperatury. Jednocześnie następują znaczne deformacje, które są ograniczane przez obecność elementów przylegających oraz dochodzi do redukcji sztywności z uwagi na pogarszanie się właściwości materiałowych. Stąd też, siły wewnętrzne w całej konstrukcji podlegają znacznej redystrybucji, podczas gdy deformacje, sposoby zniszczenia oraz nośność zmieniają się. W publikacjach „*Redistribution of internal forces in concrete structures at elevated temperatures*” [poz. E2/12 w p.II w zał.5], „*Redistribution of internal forces in RC beams due to fire action*” [poz. E2/16 w p.II w zał.5] przedstawiłem ogólne problemy określania charakteru i zakresu przebiegu redystrybucji sił wewnętrznych oraz ich konsekwencji w odniesieniu do zachowania i nośności w warunkach pożarowych.

✓. ch

Moje zainteresowania naukowo - badawcze w dziedzinie oddziaływania pożarowego na konstrukcje budowlane nie dotyczyły tylko konstrukcji z betonu, ale także konstrukcji murowych.

W dwóch publikacjach naukowych („Konstrukcje betonowe i murowe – projektowanie z uwagi na warunki pożarowe” [poz. E2/14 w p.II w zał.5], „Odporność ogniowa ścian murowych” [poz. E4/10 w p.II w zał.5]) opisałem podstawowe zasady i szczegółowe procedury projektowania konstrukcji murowych w warunkach pożarowych. Dodatkowo, w drugiej spośród wymienionych publikacji przedstawiono wyniki badań doświadczalnych ścian z elementów murowych ceramicznych, silikatowych i elementów z keramzytobetonu, przeprowadzonych w krajowych oraz zagranicznych laboratoriach akredytowanych (ITB Warszawa – Polska; MPA – Brunszwik, Niemcy; FIRES – Batizovce, Słowacja), analizując uzyskane wyniki badań pod kątem wymagań normy PN-EN 1996-1-2.

Weryfikacja odporności pożarowej ścian murowych może się odbywać poprzez zastosowanie metod opisowych lub uproszczonych metod obliczeniowych na poziomie przekroju, będących modyfikacją procedur obliczeniowych dla warunków zwykłej temperatury („Methods for determining masonry walls fire resistance” [poz. E2/9 w p.II w zał.5], „Simplified calculation method for masonry walls fire resistance according to PN-EN 1996-1-2” [poz. E2/13 w p.II w zał.5], „Projektowanie ścian murowych z uwagi na warunki pożarowe w świetle wymagań Eurokodów” [poz. E4/11 w p.II w zał.5], „Określanie odporności ogniowej ścian murowych metodą uproszczoną wg PN-EN 1996-1-2” [poz. E4/16 w p.II w zał.5]). W ostatniej z wymienionych publikacji przeprowadzono analizę obliczeniową redukcji nośności ścian murowych z różnych materiałów (ceramika, silikaty, lekki beton kruszywowy), dla różnych warunków ogrzewania, różnych typów elementów murowych oraz grubości ścian. Na podstawie wyników redukcji nośności (nośności w danej temperaturze do nośności w warunkach zwykłej temperatury) można wnioskować o poziomie odporności ogniowej R ścian murowych. W uproszczonej procedurze obliczeniowej przyjmuje się parametr  $c$ , określający poziom redukcji wytrzymałości ścian murowych w pośredniej strefie temperatur. Zaleca się, aby określać wartości liczbowe tego parametru na podstawie badań ogniowych. Wydaje się jednak uzasadnione, aby wykorzystać w tym względzie informacje z normy PN-EN 1996-1-2 w postaci zależności naprężenie-odkształcenie w funkcji temperatury podanych dla różnych materiałów murowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy obliczeniowej dla ścian ceramicznych można stwierdzić, że różnice redukcji nośności przy przyjęciu dwóch oszacowań wartości stałej  $c$  (średniej i minimalnej dla pośredniego zakresu temperatur) wynoszą do ok. 5%, czyli wyniki obliczeń są raczej mało wrażliwe na zmienność założonej wartości  $c$ .

Problemy oddziaływań wysokiej temperatury na konstrukcję były ponadto przedmiotem praktycznych/aplikacyjnych analiz istniejących konstrukcji. Przykładem publikacji tego typu jest przedstawienie analizy nośności hali przemysłowej o konstrukcji stalowo-betonowej pt.: „Nietypowy przypadek obciążenia termicznego w analizie nośności hali przemysłowej” [poz. E4/12 w p.II w zał.5].

V. ch

W moich ostatnich publikacjach naukowych („*Fire safety for concrete structures according to Eurocodes (codes PN-EN)*” [poz. E4/18 w p.II w zał.5], „*Design principles for reinforced concrete structures taking into account their fire resistance*” [poz. A/1w p.II w zał.5]) dokonałem pewnego podsumowania prowadzonych dotychczas badań naukowych, uzupełniając je o zagadnienia określania oddziaływań w warunkach pożarowych, a także analizę metod uproszczonych do prowadzenia analizy termicznej przekrojów żelbetonowych elementów konstrukcyjnych, czyli do ustalania temperatury w poszczególnych punktach przekroju.

## 5.2. Monografie

Oprócz monografii stanowiącej podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, w moim dorobku naukowo-badawczym znajduje się także autorska monografia pt.: „*Weryfikacja odporności pożarowej elementów żelbetonowych według Eurokodów*” [poz. E1/1 w p.II w zał.5] (Monografie Politechniki Krakowskiej, Seria – Inżynieria Lądowa, Wyd. PK, Kraków 2018, ISBN 978-83-7242-989-6, 160 stron). Treść książki stanowi syntetyczne omówienie zagadnień związanych z wymaganiami odporności ogniowej elementów konstrukcyjnych budynków, oddziaływaniem na konstrukcje w warunkach pożarowych, weryfikacją odporności pożarowej dla konstrukcji z betonu według procedur norm europejskich (Eurokodów – norm PN-EN). Zagadnienia projektowania konstrukcji w warunkach pożarowych zostały objęte przepisami normowymi dopiero wraz z wprowadzeniem norm europejskich (w 2006 – oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożarowych; 2008 – projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe).

Rozdział 1 tej monografii stanowi wprowadzenie do problematyki związanej z wymaganiami zapewnienia obiektom budowlanym (w szczególności – budynkom) bezpieczeństwa w warunkach pożaru.

W rozdziale 2 podałem szczegóły wymagań odporności ogniowej (nośności, szczelności, izolacyjności) w odniesieniu do elementów konstrukcyjnych budynków.

W rozdziale 3 omówiłem podstawowe normy europejskie związane z tematem monografii, a także modele pożaru stosowane w analizie termicznej konstrukcji (pożary standardowe, naturalne modele pożaru) oraz obciążenie ogniowe konstrukcji.

Rozdział 4 zawiera informacje o podstawowych wymaganiach i procedurach projektowych weryfikacji odporności pożarowej elementów konstrukcyjnych. Opisałem w nim także własności materiałowe betonu konstrukcyjnego i stali zbrojeniowej (fizyczne/termiczne, mechaniczne – wytrzymałościowe i odkształceniowe) w temperaturach pożarowych.

Rozdział 5 (liczący 95 stron) pt.: „*Weryfikacja odporności pożarowej elementów z betonu wg Eurokodów*” stanowi zasadniczy element opisywanej monografii. Zawiera on opis normowych metod sprawdzania odporności ogniowej konstrukcji z betonu (metoda opisowa – dane tabelaryczne; uproszczone metody obliczeniowe – metoda izotermy granicznej, metoda stref; metoda iteracyjno-

V. Ch

przyrostowa; metody dokładne). W rozdziale tym informacje uzupełniłem i zilustrowałem przykładami obliczeniowymi (łącznie 15 przykładów). Przykłady obejmowały zastosowanie normowych procedur weryfikacji elementów żelbetonowych dla przekrojów poddanych działaniu momentu zginającego, momentu zginającego i siły podłużnej ściskającej, siły ścinającej. Dokonałem tam porównania różnych analizowanych metod weryfikacji odporności pożarowej w odniesieniu do przypadku obciążeniowego: zginanie z siłą podłużną. Poruszyłem także zagadnienia związane z wyboczeniem słupów żelbetonowych w warunkach pożarowych. Dodatkowo, przedstawiłem informacje o normowych metodach ograniczenia efektów odpadania otuliny betonowej elementów żelbetonowych oraz o problemie redystrybucji sił wewnętrznych w statycznie niewyznaczalnych konstrukcjach z betonu w warunkach pożaru i normowym ujęciu tej kwestii wg normy *PN-EN 1992-1-2*.

### 5.3. Uczestnictwo w projektach badawczych

W ramach działalności naukowo-badawczej brałem udział w realizacji następujących projektów badawczych/grantów, finansowanych ze środków uzyskanych w ramach konkursów:

1/ Projekt badawczy KBN nr 5 TO7E 018 23 „Komentarz naukowy do normy PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone”, 2003-2004 (praca w zespole realizującym projekt – współautorstwo rozdziału 20 „Kształtowania płyt, belek i słupów”, Wyd. ITB 2005) - patrz też: *poz. E2/1 w p.II w zał.5*,

2/ „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju (tzw. Grant Łódzki UE), Zadanie nr PT3.2: Modelowanie oddziaływań środowiskowych (korozja siarczanowa, reakcja alkalia - kruszywo, podwyższona temperatura) i wpływów mechanicznych na materiały o matrycy cementowej – poziom punktu materialnego i poziom elementu konstrukcji”, POIG.01.01.02-10-106/09-01/UE – 2011-2014 (członek zespołu realizującego projekt).

Dodatkowo, przed doktoratem (lata 1995-1997), uczestniczyłem w pracach zespołu w ramach programu „Copernicus Joint Research Project – ATEM: Advanced Testing of Masonry Structures”, we współpracy z jednostkami naukowymi ze Swansea (Walia), Lubljany (Słowenia), Florencji (Włochy) i Pragi (Republika Czech).

W latach 2010-2018 prowadziłem także badania finansowane ze środków uczelnianych w ramach działalności statutowej. Dotyczyły one tematu: „Analiza nośności, odkształcalności i trwałości żelbetonowych ustrojów nośnych” (numery tematu L-1/128/DS./2010, L-1/148/DS./2011, L-1/194/DS./2012), a w latach 2013-2018 wyodrębnionego zadania pt.: „Projektowanie konstrukcji z betonu w warunkach pożarowych”, realizowanego w ramach podanego wyżej tematu (L-1/153/DS./2013, L-1/338/DS./2014, L-1/142/DS./2015, L-1/130/DS./2016, L-1/151/DS./2017, L-1/84/DS./2018)

V. Ch



#### 5.4. Redakcja monografii

Jestem współ-redaktorem 6 monografii naukowych:

1/ „4<sup>th</sup> International Conference – Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures (AMCM 2002)”, Conference Proceedings, Kraków, June 5<sup>th</sup> -7<sup>th</sup> 2002, ISBN 83-917318-0-4, ed. K. Dyduch, **K. Chudyba**, W. Derkowski, P. Gwoździwicz

2/ „XII Konferencja Naukowo-Techniczna – Żelbetowe zbiorniki na materiały sypkie i ciecze”, Kraków, 19-21 listopada 2003, ISBN 83-917318-6-3, ed. K. Dyduch, **K. Chudyba**, W. Derkowski

3/ „VI Konferencja Naukowo-Techniczna – REW-INŻ.’2004. Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”, Kraków, 24-26 listopada 2004, ISBN 83-918169-6-6, ed. **K. Chudyba**, Z. Janowski, S. Karczmarczyk, Z. Rawicki, J. Szpak

4/ „VII Konferencja Naukowo-Techniczna – REW-INŻ.’2006. Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”, Kraków, 31 maja – 2 czerwca 2006, ISBN 83-923401-0-8, ed. Z. Janowski, J. Szpak, **K. Chudyba**

5/ „VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – REW-INŻ.’2008. Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”, Kraków, 28-30 maja 2008, Czasopismo Techniczne – Budownictwo, 2-B/2009, zeszyt 9, rok 106, Wyd. Politechniki Krakowskiej, ISSN 0011-4561, ISSN 1897-628X, ed. Z. Janowski, M. Gruszczyński, **K. Chudyba**, J. Szpak

6/ „IX Konferencja Naukowo-Techniczna – REW-INŻ.’2011. Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”, Kraków, 1-3 czerwca 2008, Czasopismo Techniczne – Budownictwo, 3-B/2011, zeszyt 19, rok 108, Wyd. Politechniki Krakowskiej, ISSN 0011-4561, ISSN 1897-6271, ed. Z. Janowski, M. Gruszczyński, **K. Chudyba**, J. Szpak

#### 5.5. Uczestnictwo w konferencjach naukowych (międzynarodowych i krajowych)

Analizowane zagadnienia naukowe (przedstawione w p.5.1) prezentowałem w wygłaszanych przeze mnie wystąpieniach podczas konferencji o zasięgu międzynarodowym:

1/ ECCM 2001, 2<sup>nd</sup> European Conference of Computational Mechanics, June 26-29, 2001, Cracow, Poland,

2/ 3<sup>rd</sup> International Conference “Concrete and Concrete Structures”, April 24-25, 2002, Žilina, Slovakia,

3/ 6<sup>th</sup> International Conference “Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures” (AMCM 2006), June 9-11, Łódź, Poland,

4/ 7<sup>th</sup> International Conference “Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures” (AMCM 2011), June 13-15, Cracow, Poland,

5/ 3<sup>rd</sup> International Workshop “Design of concrete structures according to EC2”, September 20-21, 2012, Vienna, Austria,

6/ 7<sup>th</sup> International Conference “Fire safety of construction works”, 6-8 listopada, 2012, Warszawa, Polska,

V. d.

7/ WMCAUS 2018: World Multidisciplinary Civil Engineering – Architecture – Urban Planning Symposium, 18-22 June 2018, Prague, Czech Republic

oraz krajowym:

8/ XIX Konferencja Naukowo-Techniczna „Beton i prefabrykacja”, 26-28 maja, 2004, Jadwisin – Serock, Polska,

9/ I Konferencja Naukowo-Techniczna TECH-BUD\* 2013 “Problematyka projektowania i wykonawstwa w aspekcie stosowania nowych technologii, materiałów i nowoczesnej techniki w budownictwie. Normy europejskie – teoria a praktyka”, 23-25 październik, 2013, Kraków, Polska,

10/ XXVIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Awary Budowlane”, Międzyzdroje, 22-26 maja 2017.

#### 5.6. Zbiorecze, ilościowe podsumowanie dorobku naukowego

<b>LICZBA PUBLIKACJI PRZED DOKTOREMEM</b>	<b>12</b>
Praca doktorska: „Wpływ parametrów materiałowych i geometrycznych na nośność ściskanych słupów żelbetonowych”	
<b>LICZBA PUBLIKACJI PO DOKTORACIE</b>	
Rodzaj publikacji	Liczba publikacji danego typu
Książki/monografie (w tym monografia: „Analiza konstrukcji z betonu w warunkach pożarowych”)	2
Rozdziały w opracowaniach monograficznych i opracowaniach zbiorowych	15
Redakcja monografii	6
Artykuły w czasopiśmie znajdujących się w bazie JCR – lista A w wykazie czasopism MNiSW	1 (IF = 0,556)
Publikacje punktowane z listy B w wykazie czasopism MNiSW	18
Referaty w materiałach konferencyjnych – konferencje indeksowane w bazach WoS/Scopus	1 (SNIP 2017: 0,573)
Referaty na konferencjach o zasięgu międzynarodowym	12
Referaty na konferencjach krajowych	3
Uczestnictwo w projektach badawczych	4
Inne opracowania opublikowane	4
Publikacje w bazie Google Scholar	36
Liczba cytowań wg Google Scholar	17
h-index wg Google Scholar	2
Publikacje w bazie Web of Science/Scopus	2
Liczba cytowań wg Web of Science <sup>*)</sup>	-
h-index wg Web of Science <sup>*)</sup>	-
<sup>*) patrz: dodatkowe informacje w pkt. II / H i II / I w Zał.5</sup>	
Sumaryczny Impact Factor (IF)	0,556

*V. Ch*

Łączna liczba publikacji naukowych po doktoracie: 43

Łączna liczba wszystkich publikacji / referatów / wystąpień konferencyjnych / innych opracowań publikowanych po doktoracie: 62

Łączna liczba punktów wg MNiSW (publikacje po doktoracie): 429 pkt

czasopisma + monografie/rozdziały w monografiach: (179 pkt + 250 pkt) <sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup> przy zastosowaniu punktacji dla wykazu czasopism i monografii wg stanu na marzec 2019

#### 6. Działalność organizacyjna

Moja działalność organizacyjna w obrębie Politechniki Krakowskiej obejmuje:

1/ członkostwo z wyboru (przedstawiciel grupy adiunktów naukowo-dydaktycznych) w Radzie Wydziału Inżynierii Lądowej PK w kadencji 2004-2008 oraz w obecnej kadencji 2016-2020,

2/ przedstawicielstwo Rady Wydziału Inżynierii Lądowej na posiedzeniach Rady Wydziału Inżynierii Środowiskowej PK w latach 2008-2010,

3/ członkostwo w Wydziałowej Komisji ds. Rozwoju w latach 2004-2008,

4/ członkostwo w Wydziałowej Komisji ds. Budżetu i Finansów w latach 2012-2016 oraz 2016-2020,

5/ udział w pracach Komitetu Organizacyjnego obchodów 70-lecia Politechniki Krakowskiej i 70-lecia Wydziału Inżynierii Lądowej PK (2015).

W latach 2011-2017 pełniłem funkcję Zastępcy Dyrektora Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych PK ds. naukowo-badawczych i współpracy z gospodarką. Do moich obowiązków należało m.in.:

- koordynowanie współpracy naukowo-badawczej krajowej i międzynarodowej,
- przygotowanie danych do oceny parametrycznej jednostek naukowych,
- koordynowanie współpracy badawczej i usługowej z podmiotami zewnętrznymi,
- koordynowanie sprawozdawczości w zakresie działalności statutowej Instytutu,
- współpraca z akredytowanym Laboratorium Materiałów i Konstrukcji Budowlanych działającym przy Instytucie.

Uczestniczyłem także w pracach wydziałowego zespołu przygotowującego wniosek projektu w ramach działania 2.1 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka – zadanie: Laboratorium Bezpieczeństwa Pożarowego Konstrukcji Budowlanych (2009). Wniosek niestety nie uzyskał finansowania.

W latach 2003 – 2006 zostałem powołany na członka Sekcji Konstrukcji Betonowych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk.

Brałem aktywny udział w organizowaniu konferencji naukowych i technicznych, współorganizowanych przez Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych PK.



Byłem sekretarzem Komitetu Organizacyjnego:

1/ 4 Międzynarodowej Konferencji „Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures” (AMCM’2002) – Kraków, 5-7 czerwca 2002;

2/ XII Konferencji Naukowo-Technicznej „Żelbetowe i sprężone zbiorniki na materiały sypkie i ciecze” – Kraków, 19-21 listopada 2003;

3/ 7 Międzynarodowej Konferencji „Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures” (AMCM’2011) – Kraków, 13-15 czerwca 2011.

Byłem także członkiem Komitetu Organizacyjnego VI, VII, VIII oraz IX Konferencji Naukowo-Technicznej „REW-INŻ.” – „Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych” Kraków (lata 2004-2011), organizowanej przez: Polska Akademię Nauk (oddział w Krakowie, Komisja Budownictwa), Politechnikę Krakowską (WIL), Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa (Oddział Małopolski w Krakowie), Małopolską Okręgową Izbę Inżynierów Budownictwa, przy współudziale Społecznego Komitetu Odnowy zabytków Krakowa.

Aktualnie, biorę udział w pracach komitetu organizacyjnego Sympozjum *fib* (Fédération Internationale du Béton) – „International Federation for Structural Concrete”), które planowane jest w Krakowie w roku 2019 („Concrete – Innovations in Materials, Design and Structures”, May 27-29, 2019).

Jestem członkiem oddziału krakowskiego/małopolskiego Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa (PZliTB).

#### 7. Działalność dydaktyczna

W ramach działalności dydaktycznej w okresie zatrudnienia w Politechnice Krakowskiej prowadziłem zajęcia projektowe, laboratoryjne, ćwiczenia audytoryjne, a od roku 2000 także wykłady, z następujących przedmiotów: 1/ Materiały budowlane; 2/ Reologia betonu; 3/ Konstrukcje betonowe; 4/ Konstrukcje z betonu w warunkach pożarowych; 5/ Konstrukcje betonowe specjalne; 6/ Konstrukcje żelbetowe w budownictwie przemysłowym.

Od roku 2010 do chwili obecnej prowadzę także zajęcia w języku angielskim, na studiach I i II stopnia dla studentów kierunku „Budownictwo” oraz dla grup studentów zagranicznych w ramach programu ERASMUS, z następujących przedmiotów: 1/ Concrete Structures; 2/ Reinforced concrete structures in fire situation; 3/ Fire safety measures in civil engineering.

W latach 2008–2009 brałem udział w pracach wydziałowego zespołu opracowującego nowy program studiów dla kierunku Budownictwo na WIL PK.

W latach 2009–2010 prowadziłem także zajęcia na studiach podyplomowych organizowanych przez rodzimy Wydział na temat: „Stosowanie Eurokodów w budownictwie”.





Jestem promotorem ponad 130 prac dyplomowych stopnia I i II, prowadzonych w języku polskim i angielskim, dotyczących przede wszystkim konstrukcji żelbetowych, ale także murowych, stalowych, mieszanych oraz zagadnień geotechnicznych.

Ponadto jestem autorem podręcznika akademickiego pt.: „*Projektowanie konstrukcji z betonu w warunkach pożarowych wg Eurokodów*” [poz. Ł1/1 w p.II w zał.5] (Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2008, ISBN 978-83-7242-484-6, 159 stron).

#### **8. Współpraca naukowa i popularyzacja nauki oraz inne osiągnięcia w tym twórcze prace zawodowe**

Współpraca z innymi krajowymi ośrodkami naukowymi obejmowała przede wszystkim kontakty z Politechniką Łódzką (w ramach realizacji tzw. Grantu Łódzkiego UE – patrz: p. II / J w zał.5), a także z Politechniką Śląską i Politechniką Gdańską oraz Instytutem Techniki Budowlanej w Warszawie (jako koordynatorem grantu) przy realizacji projektu badawczego pt.: „*Komentarz naukowy do normy PN-B-03264:2002*” (patrz: p. II / J w zał.5).

Moja działalność związana z popularyzacją nauki to przede wszystkim kursy i szkolenia. W latach 2009-2014 prowadziłem liczne szkolenia organizowane przez Oddział Małopolski Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa (PZliTB), dotyczące: 1/ Podstaw projektowania konstrukcji wg Eurokodów; 2/ Przykładów obliczania konstrukcji z betonu wg Eurokodów; 3/ Projektowania konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe (miejsca prowadzenia szkoleń: Kraków, Nowy Sącz, Zakopane).

We współpracy z Łódzką Okręgową Izbą Inżynierów Budownictwa prowadziłem szkolenia w zakresie projektowania konstrukcji w warunkach pożarowych (konstrukcje z betonu, stalowe, murowe) – lata 2013-2014 (Łódź). W podsumowaniu tej działalności przygotowałem publikację pt.: „*Przykłady określania odporności pożarowej konstrukcji z betonu wg normy PN-EN 1992-1-2*” [poz. Ł2/1 w p.II w zał.5] oraz rozdział w monografii „*Przykłady projektowania konstrukcji według Eurokodów*” [poz. Ł2/2 w p.II w zał.5] pod tym samym tytułem.

Z moją aktywnością naukowo-dydaktyczną związane są moje opracowania eksperckie. Wykonuję je w ramach działalności na uczelni oraz w ramach współpracy z Oddziałem Małopolskim PZliTB. Jestem autorem lub współautorem łącznie ponad 70 opracowań o charakterze ekspertyz, opinii technicznych i projektów. Dotyczyły one szeroko rozumianej problematyki oceny stanu technicznego, napraw, wzmocnień konstrukcji z betonu, murowych, stalowych w różnego typu obiektach – budownictwa mieszkaniowego, użyteczności publicznej, budownictwa przemysłowego. Wykonane przeze mnie opracowania eksperckie dotyczyły między innymi: Galerii Millenium w Rzeszowie; Galerii Handlowej „Bonarka” w Krakowie; obiektów KWK „Brzeszcze”; budynku „Wawel” w Dobczycach; Hali Grafityzacji zakładu SGL Carbon Polska w Raciborzu; chłodni kominowej nr 1 w

Elektrowni Rybnik; cementowni Warta – Działoszyn; ekspozycji Archiwum Państwowego w Spytkowicach; lotniska Warszawa-Modlin; Europejskiego Centrum Muzyki Krzysztofa Pendereckiego w Lusławicach; budynku „Okrągłak” w Poznaniu; szpitali w Krakowie (im. Rydygiera) i Szczawnicy. Uczestniczyłem w zespołach prowadzących badania laboratoryjne elementów podkładów kolejowych strunobetonowych oraz przepustów skrzynkowych. Bardziej szczegółowy wykaz zrealizowanych prac eksperckich i projektowych (obejmujący listę 20 wybranych - najważniejszych opracowań) zamieszczono w Załączniku 5 [p.II/ F w zał.5].

Jestem też współautorem prezentacji zamówionej przez organizatorów XXXIV Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji (WPPK) w Szczyrku (5-8 marca 2019 r.) na temat: „Projektowanie konstrukcji murowych z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe” [poz. L2/3 w p.II w zał.5].

Byłem jednym z konsultantów naukowo-technicznych dla podręcznika do nauki języka angielskiego dla studentów pt.: „*Modern wonders of civil engineering*” (*Technical English for intermediate, upper-intermediate and advanced learners*), Autorzy: E. Romaniuk, J. Wrana, Wyd. Studium Praktycznej Nauki Języków Obcych Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007 (konsultacja naukowo-techniczna – K. Chudyba, K. Ryż, A. Truty). W roku 2015 przeprowadzałem weryfikację językową dwóch monografii: „*Recent advances in civil engineering: Building Structures*”, seria – Inżynieria Lądowa, Monografia 478, ed. J. Śliwiński, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2015 oraz „*Recent advances in civil engineering: Building Materials and building physics*”, seria – Inżynieria Lądowa, Monografia 479, ed. J. Śliwiński, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2015.

#### 9. Uzyskane nagrody i odznaczenia

1998 – nagroda zespołowa I stopnia przyznana przez JM Reaktora Politechniki Krakowskiej za prace w ramach programu „Copernicus Joint Research Project – ATEM”,

2000 – nagroda indywidualna II stopnia przyznana przez JM Reaktora Politechniki Krakowskiej za pracę doktorską pt.: „Wpływ parametrów materiałowych i geometrycznych na nośność ściskanych słupów żelbetowych”,

2005 – Srebrny Krzyż Zasługi przyznany przez Prezydenta RP,

2016 – Złota Odznaka Politechniki Krakowskiej.

*V. Ch*