

**Załącznik 2a.** Autoreferat przedstawiający opis osiągnięć naukowych oraz dorobku dydaktycznego  
- w języku polskim

**dr inż. Mariusz ZYCH**  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

## **Autoreferat**

*Kraków, 23 sierpnia 2017r*

## Zawartość załącznika 2a. Autoreferat

<b>1. Imię i nazwisko</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Przebieg kariery zawodowej do uzyskania stopnia doktora</b> .....	<b>4</b>
<b>5. Wskazanie osiągnięcia w zakresie naukowo badawczym</b> .....	<b>7</b>
a) monografia stanowiąca osiągnięcie naukowe .....	7
b) omówienie celu naukowego monografii i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem możliwości ich wykorzystania .....	7
c) autoocena dorobku publikacyjnego.....	21
d) kierowanie krajowym projektem badawczym, uczestnictwo w projektach .....	23
e) patenty i międzynarodowe i krajowe .....	24
f) nagrody i wyróżnienia .....	24
<b>6. Osiągnięcia w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego</b> .....	<b>25</b>
a) działalność dydaktyczna .....	25
b) działalność inżynierska .....	26
c) uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych .....	27
d) udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych i publikacje w wydawnictwach konferencyjnych .....	27
e) udział w konsorcjach i sieciach badawczych.....	28
f) udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism .....	28
g) członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych .....	29
h) opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich.....	29
i) staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich .....	29
j) udział w zespołach eksperckich i konkursowych .....	29
k) recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych .....	29
l) inna działalność organizacyjna na rzecz nauki lub szkolnictwa wyższego .....	29
m) odbyte studia, kursy i szkolenia .....	30

## 1. Imię i nazwisko

---

**Mariusz ZYCH, dr inż.**

## 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

---

**Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo, nadany uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (2011).** Tytuł rozprawy doktorskiej: *Analiza pracy ścian zbiorników żelbetowych we wczesnym okresie dojrzewania betonu, w aspekcie ich wodoszczelności.*

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Seruga, prof. Politechniki Krakowskiej

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Flaga,  
dr hab. inż. Barbara Klemczak.

**Tytuł magistra inżyniera,** Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, specjalność Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie (2002). Praca magisterska: Sposoby projektowania elementów pracujących na przebicie i skręcanie wg PN-B/03264:99, Eurocode 2:2001, BS-8110:85, ACI-218-89. Promotor: dr inż. Krzysztof Chudyba,

  
M. Zych  
dr inż.

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

---

2002-2005 **asystent naukowo-dydaktyczny**, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Katedra Konstrukcji Żelbetowych.

Strona |  
4 z 30

2005-2011 **asystent naukowo-dydaktyczny**, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Zakład Konstrukcji Sprężonych.

2011 - obecnie **adiunkt naukowo-dydaktyczny**, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Pracownia Konstrukcji Sprężonych.

Pełnione funkcje:

- **Członek Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki** (z wyboru) (2016-obecnie).
- **Członek Komisji ds. Regulaminu Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej** (z wyboru) (2016-obecnie).
- **Sekretarz Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej** (na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki – studia stacjonarne 2014-2015),

### 4. Przebieg kariery zawodowej do uzyskania stopnia doktora

---

Studia na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej rozpocząłem w 1997, gdzie w roku 2002 uzyskałem tytuł magistra inżyniera budownictwa. Bezpośrednio po obronie pracy dyplomowej zaproponowano mi pracę na stanowisku asystenta naukowo - dydaktycznego w Katedrze Konstrukcji Żelbetowych.

Prace badawcze na zbiornikach średniej masywności, we współpracy z Prof. Andrzejem Serugą, rozpocząłem w 2004 roku podczas realizowanej w tym czasie największej rozbudowy oczyszczalni ścieków Kraków-Płaszów. Kolejne badania w 2008 roku dotyczyły jednego z największych w Polsce zbiorników żelbetowych wykonanych bez dylatacji w oczyszczalni ścieków w Żywcu. Pracując jednocześnie przy projekcie tego zbiornika analizowałem możliwe obciążenia termiczne we wczesnym okresie dojrzewania betonu oraz konieczne z tego względu zbrojenie. Badania prowadzone na tym obiekcie były finansowane z własnego projektu badawczego L-1/457/BW/2006 oraz L-1/509/BW/2007. Wyniki tych badań były zaprezentowane na konferencjach międzynarodowych i krajowych:

- 5th International Conference Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures, Gliwice - Ustroń, 12-14 July 2005 [10],
- 8th International Conference Shell Structures: Theory and Applications, Gdańsk-Jurata, 12-14 August 2005 [9],

---

\* odwołania do publikacji według numeracji przyjętej w spisie znajdującym się w Załączniku 5. Wykaz wszystkich opublikowanych prac naukowych

  
M. Zych  
dr inż.

- XIII Konferencja Żelbetowe i Sprężone Zbiorniki na Materiały Sypkie i Ciecze. Szklarska Poręba, 26-29 Wrzesień 2007 [15],
  - 6th International Conference Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures, Łódź, 9-11 June 2008 [7]
- oraz w Czasopiśmie Technicznym Politechniki Krakowskiej [2].

Drugim etapem prac było stworzenie modelu obliczeniowego z wykorzystaniem programu Diana, dedykowanego m. in. do zaawansowanych modeli numerycznych opisujących złożone zagadnienia w konstrukcjach żelbetowych. Wykorzystując wewnętrzny algorytm projektowania, wykonałem model, którym analizowałem na poszczególnych etapach jego tworzenia, zgodność otrzymywanych wyników z wynikami badań przeprowadzonych na obiektach naturalnych. Efekty niniejszych prac były zaprezentowane na konferencjach doktorantów:

- VI Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Wisła, 17-18 listopad 2005, Wydziałów Budownictwa [18].
- VII Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Wisła, 9-10 listopad 2006, Wydziałów Budownictwa [17].
- XIII Konferencja Żelbetowe i Sprężone Zbiorniki na Materiały Sypkie i Ciecze. Szklarska Poręba, 26-29 wrzesień 2007 [14].
- VIII Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Szczyrk, 9-10 listopad 2007, Wydziałów Budownictwa [13].
- IX Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Szczyrk, 6-8 listopad 2008 [12].
- 10th International Conference of Postgraduate Students, 23 January 2008, Brno [8].

oraz na krajowych konferencjach i seminarium w Wiedniu:

- 6th International Conference Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures, Łódź, 9-11 June 2008 [6]
- XIX Konferencja Naukowa „Metody komputerowe w projektowaniu i analizie konstrukcji hydrotechnicznych”. Korbielów, 5-8 marzec 2007 [3].
- XX Konferencja Naukowa „Metody komputerowe w projektowaniu i analizie konstrukcji hydrotechnicznych”. Korbielów, 3-6 marzec 2008 [1].
- 16th Inter-Institute Seminar for Young Researchers. Wiedeń, May 17-20, 2007 [20].

za pracę [18] pt. „*Naprężenia termiczne w segmencie ściany zbiornika żelbetowego*” ogłoszoną podczas VI Konferencji otrzymałem pierwszą nagrodę.

Materiały prezentowane podczas XIX i XX Konferencji Naukowej „*Metody komputerowe w projektowaniu i analizie konstrukcji hydrotechnicznych*” opublikowano również w Czasopiśmie Technicznym Politechniki Krakowskiej [1, 3].

W celu uzyskania odpowiednich właściwości mechanicznych betonu konieczne były obszerne badania materiałowe. Prace te obejmowały badania materiałowe dojrzewających betonów zastosowanych do realizacji zbadanych zbiorników, tj. rozwój właściwości mechanicznych jako funkcje czasu i temperatury, rozwój funkcji źródeł oraz pełzanie dojrzewającego betonu w rdzeniu konstrukcji masywnych. Opracowałem technologiczne

rozwiązanie obciążania i pomiaru pełzania w dojrzewającym betonie elementów poddanych ścisłaniu lub rozciąganiu z zastosowaniem twardych form styropianowych. Wyniki niniejszych badań przedstawiono na konferencjach:

- 11th International Conference of Postgraduate Students, 4 February 2009, Brno [4, 5],
- X Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Szczyrk, 9-10 listopad 2009, Wydziałów Budownictwa [11].

W tym czasie wykonywałem również prace inżynierskie wspólnie z pracownikami Zakładu Konstrukcji Sprężonych. Wybrane rozwiązania konstrukcyjne zostały przedstawione w pracach [16, 19]:

- rok 2006, brałem udział w pracach inżynierskich dotyczących oceny stanu technicznego, projektu wzmocnienia poprzez sprężenie oraz nadzoru nad realizacją wzmocnienia baterii silosów żelbetowych na rzepak w Bodaczowie. Rezultaty prac zostały przedstawione na XIII Konferencji „Żelbetowe i Sprężone Zbiorniki na Materiały Sypkie i Ciecze”. Szklarska Poręba, 26-29 wrzesień 2007 [16].
- rok 2008, brałem udział w ocenie stanu technicznego i projekcie wzmocnieniaciągami zewnętrznymi oraz taśmami węglowymi żelbetowej konstrukcji przykrycia hali produkcyjnej w Tyskich Browarach Książących. Sposób wzmocnienia został przedstawiony w czasopiśmie Inżynieria i Budownictwo [19].

Pracę doktorską [21] obroniłem z wyróżnieniem w 2011 roku na Politechnice Krakowskiej. Praca została nagrodzona w 2011 roku nagrodą Wydziału IV Nauk Technicznych Polskiej Akademii Nauk.

**5. Wskazanie osiągnięcia w zakresie naukowo badawczym** (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. nr 65, poz. 595 ze zm.)

---

a) monografia stanowiąca osiągnięcie naukowe:

Osiągnięciem naukowym jakie stanowi przedmiot starania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego, jest monografia pod tytułem **"Zarysowanie ścian zbiorników żelbetowych. Teoria i projektowanie."**(Monografie Politechniki Krakowskiej, Seria Inżynieria Lądowa, ISBN 978-83-7242-936-0, s. 333, Wydawnictwo Politechnika Krakowska, Kraków 2017). Opracowanie składa się z ośmiu rozdziałów opisanych w kolejnym punkcie, które dotyczą problemów naukowo-badawczych.

Strona |  
7 z 30

b) omówienie celu naukowego monografii i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem możliwości ich wykorzystania

Zainteresowanie tematyką dotyczącą zarysowania ścian zbiorników żelbetowych, było spowodowane licznymi przypadkami braku szczelności ścian zbiorników żelbetowych. Obiekty tego typu o dużym znaczeniu dla społeczeństwa realizowane są głównie w oczyszczalniach ścieków, zakładach uzdatniania wody pitnej, na stacjach wodociągowych jak również w zakładach przemysłowych. Utrata szczelności zbiorników wynikająca z zarysowania ścian powstałego na etapie dojrzewania betonu wiąże się zawsze ze zwiększonymi kosztami realizacji inwestycji. Często też jest ona przyczyną jej opóźnienia, co poważnie zwiększa koszty wynikające z nieterminowym uruchomieniem obiektu czy też znacznej części zakładu. Częsty brak zrozumienia problemu zarówno wśród wykonawców - i co gorsza projektantów - wynika z braku kształcenia szerokiej kadry inżynierskiej również w tym zakresie. Nagminnie projektanci w celu ograniczenia zarysowania uwzględniają tylko obciążenia występujące w okresie eksploatacji zbiornika. Dopiero aktualne przepisy normowe (PN-EN 1992-3<sup>1</sup>) obowiązujące od 1992 wskazują, iż: „Szczególną uwagę należy poświęcić elementom poddanym naprężeniom rozciągającym wynikającym z oporów stawianych odkształceniom od skurczu oraz ruchów termicznych”. Moim zdaniem nie pomaga jednak temu fakt, iż powyższy bardzo uogólniony zapis jest sygnalizacją nierozwiązanego zagadnienia w normie, a podane zależności w tym zakresie nie są doprecyzowane. Stąd też jest potrzeba doprecyzowania oraz zmodyfikowania obecnych postanowień normowych w tym zakresie. W literaturze światowej zagadnienia materiałowe, konstrukcyjne czy też modelowe w zakresie ogólnie zdefiniowanych konstrukcji średniej masywności lub konstrukcji masywnych są częstym przedmiotem badań i analiz. W Polsce tematyką tą, dotyczącą zarówno problemów modelowych, konstrukcyjnych jak i materiałowych, zajmuje się stosunkowo niewielu badaczy, co skłoniło mnie do zajęcia się tym zagadnieniem. Celem naukowym jest stworzenie modelu obliczeniowego pozwalającego na kontrolę zarysowania średniomasywnych ścian zbiorników żelbetowych uwzględniającego m. in. schemat

---

<sup>1</sup> Eurocode 2: PN-EN 1992-3. *Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecz*, listopad 2008, s. 23.

<sup>2</sup> Eurocode 2: PN-EN 1992-1-1. *Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*, wrzesień 2008, s. 205.

<sup>3</sup> BS 8007, *Design of concrete structures for retaining aqueous liquids*, British Standards Institution; London, Great Britain, 1987.

<sup>4</sup> Zych M, *Zarysowanie ścian zbiorników żelbetowych. Teoria i projektowanie*, Monografie Politechniki Krakowskiej, Seria Inżynieria Lądowa, ISBN 978-83-7242-936-0, s. 333, Wydawnictwo Politechnika Krakowska, Kraków 2017.

  
M. Zych  
dr inż.

skrępowania segmentu ściany (adekwatny do rzeczywistych warunków wykonania), jej geometrię a przede wszystkim rodzaj i etapowość działających obciążeń.

Opis wyników moich analiz oraz rozwiązań modelowych dotyczących tego zagadnienia przedstawiłem w monografii. Przyjąłem podczas jej pisania realizację następujących celów:

- skomentowanie wytycznych kontroli zarysowania, zawartych w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, stanowiących obecnie podstawę do wyznaczania powierzchni zbrojenia, jego średnicy i rozstawu,
- wykonanie analizy zależności normowych pozwalającej określić w/w wielkości, biorąc pod uwagę czynniki charakterystyczne dla ścian zbiorników żelbetowych (m. in. warunki betonowania),
- przedstawienie istotnych uwag dotyczących niewłaściwych założeń oraz sposobu wyznaczania szerokości rys w ścianach skrępowanych przez więzy zewnętrzne wg PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, mogących skutkować utratą szczelności zbiornika nawet przy obliczeniach przeprowadzonych zgodnie z założeniami i modelami normowymi,
- przedstawienie autorskich propozycji uściślenia uproszczonej metody kontroli zarysowania zawartej w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> z uwagi na dobór właściwej średnicy zbrojenia i jego rozstawu,
- przedstawienie w uniwersalnej formie wartości i zależności służących do projektowania ścian skrępowanych przez więzy zewnętrzne z wyodrębnieniem czynników geometrycznych charakterystycznych dla ścian prostych i cylindrycznych,
- przedstawienie całkowicie odmiennego zachowania się ścian cylindrycznych pod działaniem obciążeń wymuszonych w stosunku do ścian prostych (zagadnienie w całości pominięte w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> oraz w literaturze światowej),
- przedstawienie wpływu dodatkowych parametrów pominiętych w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, tj. promienia ściany oraz jej grubości na stopień skrępowania i zdefiniowany przez mnie stopień odprężenia ściany po zarysowaniu,
- w miejsce metody kontroli zarysowania zawartej w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> zaproponowanie dokładniejszej metody projektowania uwzględniającej etapowe zarysowanie segmentów ścian wynikające z różnego poziomu i rodzaju obciążenia (tj. wymuszone i zewnętrzne) przyczyniające się do powstania różnego rozstawu rys, zależnego przede wszystkim od geometrii i stopnia zbrojenia ściany. W realizacji tego celu uwzględniono między innymi:
  - schemat skrępowania właściwy dla uzupełniających segmentów ścian, tj. skrępowanych na trzech krawędziach (przypadek nie zdefiniowany w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>),
  - wpływ oddziaływania wymuszonego w okresie dojrzewania betonu na maksymalną szerokość rysy oraz jej przyrost w wyniku obciążeń występujących w późniejszym czasie, przy wyższych właściwościach mechanicznych betonu, np.: dalsze zmiany temperatury, odkształcenia skurczowe czy też obciążenie technologiczne (przypadek nie zdefiniowany w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> oraz w literaturze światowej),
  - miejsce inicjacji zarysowania na wysokości  $h_1$  ponad stykiem ściany z fundamentem (obserwacje z badań prezentowanych między innymi we wcześniejszych moich pracach),
  - wpływ geometrii segmentów cylindrycznych na rozstaw rys,



- wartość stopnia odprężenia ściany oraz długości strefy odprężenia ściany po zarysowaniu zależnej od mocy zbrojenia (stopień odprężenia ściany – pojęcie wprowadzone przeze mnie na potrzeby niniejszego modelu),
- rozstaw rys pierwszego rodzaju jako funkcję, między innymi mocy zbrojenia oraz stopnia odprężenia (z uwzględnieniem różnej wysokości inicjacji zarysowania, a w przypadku ścian cylindrycznych ponadto z uwzględnieniem grubości i promienia ściany),
- rozstaw rys drugiego rodzaju według zależności (7.11 z PN-EN 1992-3<sup>1</sup>) lub według modyfikacji uwzględniającej inicjację zarysowania we wnętrzu ściany, a nie na jej powierzchni (przypadek nie zdefiniowany w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>),
- przyrost szerokości rysy pierwszego rodzaju w okresie powstawania rys drugiego rodzaju, zależnego od przyrostu obciążeń (naprężeń w stali) i zmieniających się wartości właściwości mechanicznych betonu, co za tym idzie przyrostu szerokości rysy zależnego od przyrostu różnicy średnich odkształceń pomiędzy stalą i betonem (przypadek nie zdefiniowany w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> oraz w literaturze światowej),
- wpływ powstawania rys sąsiednich na odprężenie w analizowanym przekroju, tj. ewentualne zmniejszenie szerokości rys (w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> brak takiego założenia – potwierdzone w analizie badań przez autora).

Na podstawie tego modelu określiłem również zasadnicze czynniki decydujące o szerokości rys w ścianach zbiorników prostokątnych i cylindrycznych.

Podczas realizacji powyższych celów, nadrzędnym zamysłem było przedstawienie informacji i zależności w ogólnej postaci lub w wystarczająco szerokim zakresie danych charakterystycznych dla ścian zbiorników żelbetowych, (tj. istotnych czynników geometrycznych, danych materiałowych i rozwiązań konstrukcyjnych) pozwalających na ich zastosowanie w obliczeniach projektowych żelbetowych zbiorników prostokątnych jak i cylindrycznych.

Prezentowane uwagi w stosunku do PN-EN 1992-3<sup>1</sup> oraz zaproponowane zmiany założeń jak i uściślenia modeli obliczeniowych wynikają z czynników technologicznych ich wykonywania ścian oraz z etapowego sposobu zarysowania ścian zbiorników. Taki charakter zarysowania obserwowałem podczas badań średniomasywnych obiektów naturalnych.

W **pierwszym rozdziale** zamieściłem wprowadzenie do całej pracy, gdzie zagadnienia zaprezentowałem ogólnie. Przedstawiłem przyczyny zarysowania zbiorników z podkreśleniem roli obciążenia wymuszonego powstałego w okresie dojrzewania betonu. Przedstawiłem w sposób ogólny obecny stan wiedzy i stan normalizacji. Podkreśliłem, iż uwzględnienie obciążenia wymuszonego w kontroli zarysowania jest zawsze konieczne w przypadku średniomasywnych ścian zbiorników żelbetowych. W praktyce do tego typu elementów konstrukcyjnych zalicza się większość ścian zbiorników żelbetowych.

W **drugim rozdziale** scharakteryzowałem odkształcenia wymuszone oraz mechanizm zarysowania pod wpływem tych odkształceń. Przedstawiłem pojęcia i przykłady skrępowania odkształceń wraz z ogólną informacją o częściowym skrępowaniu i definicją stopnia skrępowania. Podałem wskazówki do Aneksu L do PN-EN 1992-3<sup>1</sup> w zakresie wyznaczania odkształceń wymuszonych i stopnia skrępowania konstrukcji.

Zaprezentowałem również technologiczne aspekty rozwiązań połączeń konstrukcyjnych, które z uwagi na różną podatność mają zasadniczy wpływ na stopień

skrępowania od więzów zewnętrznych. Skomentowałem postanowienia zawarte w Aneksie *N* do PN-EN 1992-3<sup>1</sup> w zakresie połączeń ruchomych. Jednak z uwagi na ograniczony zakres informacji zawarty w Aneksie *N* posiłkowałem się zaleceniami normy brytyjskiej BS 8007<sup>3</sup>. Obserwacje własne z realizacji obiektów skłoniły mnie do zwrócenia również uwagi na konieczność należytego wykonywania połączeń konstrukcyjnych, w celu realizacji właściwych schematów statycznych konstrukcji przyjętych przez projektanta. Dlatego też zwróciłem szczególną uwagę na to, że w celu poprawnego wykonania i funkcjonowania połączeń konstrukcyjnych i ruchomych projektant zobligowany jest do ich rozplanowania oraz wykonania rysunków poszczególnych połączeń wraz z opisem kolejności, czasu i sposobu ich wykonywania. Jakiegokolwiek zmiany sugerowane przez wykonawcę muszą być zaakceptowane przez projektanta, gdyż jest to związane ze zmianą schematu statycznego i innym rozkładem pionowych i poziomych sił wewnętrznych. Mniejszy rozstaw połączeń konstrukcyjnych, będzie przynosił najkorzystniejszy efekt w przypadku:

- słabo zbrojonych ścian o dużym promieniu,
- słabiej zbrojonych połączeń konstrukcyjnych,
- przy zastosowaniu połączeń ruchomych, których szczelność zapewniona jest przez materiały w nim występujące.

Przedstawione w podrozdziale 2.4 rozwiązania konstrukcyjne, mają swe odzwierciedlenie w założeniach i sposobie obliczeń stopnia skrępowania prezentowanych w rozdziale 6.

W **trzecim rozdziale** monografii przedstawiłem uwagi krytyczne wobec ogólnych zasad kontroli zarysowania od obciążeń wymuszonych zawartych w Aneksie *M* do PN-EN 1992-3<sup>1</sup>. Taki stan rzeczy został uzasadniony w oparciu o zaprezentowane rozważania teoretyczne, jak i bezpośrednie porównanie obliczeń i wyników badań segmentów powłoki zbiornika przeprowadzonych na obiektach w skali naturalnej (*Czasopismo Techniczne* [2]). Badane segmenty zarysowały się wyłącznie od obciążeń wymuszonych. Podstawowe uwagi dotyczą:

- braku szczegółowych wytycznych dotyczących sposobu projektowania oraz wykonywania średniomasywnych ścian zbiorników żelbetowych. Wynika to z dużej liczby czynników wpływających na naprężenia wymuszone,
- średniej różnicy odkształceń w stali i betonie zdefiniowanej dla elementu prętowego, który nie znajduje odzwierciedlenia w rzeczywistych rozwiązaniach ścian żelbetowych.

W PN-EN 1992-3<sup>1</sup> zdefiniowano klasy szczelności i podstawowe kryteria zachowania wodoszczelności ścian zbiorników, które należy spełnić. Wobec przedstawionych powyżej rozbieżności w kwestii sprawdzenia szerokości rys metodą ogólną, moim zdaniem zdefiniowany w Aneksie *M* sposób obliczania rys nie jest w pełni uzasadniony w przypadku ścian zbiorników poddanych obciążeniom wymuszonym. To zagadnienie uznałem za szczególnie interesujące. Ponadto, w Aneksie *M* dla przypadku segmentu skrępowanego na dolnej krawędzi zapisano, że *nie został wystarczająco przebadany i nie doczekał się opracowania bardziej dokładnych wytycznych*. Należy natomiast podkreślić, że zdefiniowane przez normę dopuszczalne szerokości rys, pomimo braku szczegółowych informacji, dotyczą łącznego oddziaływania obciążeń wymuszonych i eksploatacyjnych. W węższym zakresie niniejsze rozważania zostały również omówione w czasopiśmie *Przegląd Budowlany* [38].

W dalszej części rozdziału trzeciego skomentowałem postanowienia Aneksu *L* do PN-EN 1992-3<sup>1</sup> w zakresie odkształceń wymuszonych i stopnia skrępowania konstrukcji. Wskazałem na możliwości praktycznego wykorzystania zawartych w nim informacji, a także zwróciłem uwagę na elementy nieuwjęte w normie. Przedstawiłem schemat postępowania i opisałem procedurę obliczeń, jaką należy wykonać w celu wyznaczenia skrępowanej części odkształceń. Analizując zapisy normowe zwróciłem ponadto uwagę na niepodnoszone kwestie praktyczne:

- Na etapie projektowania konstrukcji projektant zazwyczaj dysponuje jedynie klasą wytrzymałości betonu, co stanowi bardzo ograniczony zakres informacji o tym, jakich zmian temperatury należy się spodziewać oraz, jakie będą faktyczne wartości właściwości mechanicznych i termofizycznych betonu. Norma PN-EN 1992-3<sup>1</sup> zwraca w sposób ogólny uwagę na konieczność przeprowadzenia obliczeń obciążenia termicznego w okresie dojrzewania betonu. Takie obliczenia powinny opierać się na przebadanym rozwoju charakterystycznego ciepła hydratacji w przypadku danego cementu oraz przyjęciu spodziewanych warunków zewnętrznych podczas realizacji obiektu. Niemniej jednak norma nie precyzuje żadnych parametrów, jakie mogłyby być wykorzystane w różnych przypadkach. W tym zakresie jest konieczne przyjęcie przez projektanta dodatkowych założeń, będących również wymaganiem dla wykonawcy.
- Jeżeli odkształcenie graniczne betonu będzie większe od skrępowanej części odkształcenia wymuszonego, to nie dojdzie w tym etapie do zarysowania. Jednak powstałe odkształcenia będą stanowić część odkształceń, które mogą spowodować zarysowanie w późniejszym okresie w wyniku odkształceń skurczowych od wysychania i obciążeń eksploatacyjnych. W tym czasie konstrukcja będzie pracować już jako całość przy stałych właściwościach mechanicznych betonu. Zatem w obliczeniach konstrukcji z uwagi na sytuację trwałą należy uwzględnić odkształcenia wymuszone powstałe w okresie jej wykonywania.
- Właściwe zaprojektowanie i wykonanie konstrukcji jest zależne od istoty powstawania skrępowanej części odkształceń dojrzewającego betonu, rozpoznania czynników na nie wpływających oraz określenia miejsca, w którym zarysowanie jest najbardziej prawdopodobne. Na tej podstawie jest możliwe zastosowanie rozwiązań umożliwiających uniknięcia zarysowania lub jego ograniczenie w konkretnych miejscach konstrukcji. W PN-EN 1992-3<sup>1</sup> są określone jedynie podstawowe przypadki skrępowania konstrukcji, bez podania genezy wprowadzonych współczynników. Norma również w sposób oględny odnosi się do sposobów unikania lub minimalizowania skrępowanej części odkształceń wymuszonych.

Tematyka ta jest kontynuowana w kolejnych rozdziałach celem rozwinięcia i uwzględnienia w/w zagadnień w modelu obliczeniowym. Fragmenty tych analiz omówiłem również w pracy [37].

Trzeci ważny temat w tym rozdziale jest komentarzem, wykonanym w oparciu o przegląd literatury, postanowień PN-EN 1992-3<sup>1</sup> w zakresie kontroli zarysowania metodą uproszczoną. Podałem przy tym, możliwe do zastosowania (w zależności od przypadku) wartości składowych wzoru na  $A_{s,min}$ . W kompleksowych obliczeniach należy wziąć pod uwagę obciążenia wymuszone, jakie mogą powstać w późniejszym okresie oraz obciążenia eksploatacyjne, w stosunku do których weryfikacja stanu zarysowania winna być wykonana na 28 dniowych właściwościach mechanicznych betonu.

Przeanalizowałem uproszczoną metodę kontroli zarysowania powstałego od obciążeń wymuszonych, poprzez wyznaczenie zbrojenia minimalnego oraz maksymalnej średnicy zbrojenia. W normie nie podano wartości  $c_{nom}$ , dla której stworzono wykres 7.103N<sup>1</sup>, ani nie wspomniano o zasadniczym wpływie grubości otulenia na dopuszczalne naprężenia w stali. Chociaż w przypadku zbiorników stosowane grubości otulenia prętów są zdecydowanie większe niż w tradycyjnych konstrukcjach.

W oparciu o przegląd literatury przedstawiłem następujące spostrzeżenia:

- W przypadku stosowania metody uproszczonej konieczne jest dokładne wyznaczenie obciążeń wymuszonych oraz więzów skrępowania dla danego elementu konstrukcyjnego, celem właściwego określenia współczynników  $k$  i  $k_c$ .
- W celu wyznaczenia minimalnego zbrojenia, w normach<sup>1,2</sup> nie zdefiniowano głębokości strefy rozciąganej, jaką należałoby przyjąć w elementach narażonych na zarysowanie w wyniku działania jedynie naprężeń własnych. W uproszczeniu dla elementów średniej masywności wydaje się być wystarczające zastosowanie wartości  $0,2h$ . Dla elementów bardziej masywnych należałoby stosować dokładniejsze obliczenia lub modele do wyznaczenia zasięgu tej strefy.
- Z uwagi na odmienną dynamikę rozwoju wytrzymałości betonu w konstrukcjach średniomasywnych, do których możemy zaliczyć ściany zbiorników żelbetowych, konieczne jest uwzględnienie dokładniejszych obliczeń, w stosunku do wartości przypisanych poszczególnym klasom wytrzymałości betonu, wg ogólnych zależności<sup>(2)</sup> pomiędzy wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie.
- W normie<sup>2</sup> pominięto przypadek rozciągania osiowego dla  $a \geq 2h$ , w którym należy zastosować wyrażenie na korektę maksymalnej średnicy pręta w postaci  $(3.29^4)$ .

Fragmenty przedstawionych tu analiz przedstawiłem również w pracy [36].

W **czwartym rozdziale** analizowałem wpływ temperatury otoczenia na szerokość rysy, w okresie dojrzewania betonu. Wyniki analiz dowiodły, iż temperatura otoczenia jest czynnikiem dominującym i nawet przy wysokim stopniu zbrojenia należy liczyć się z możliwością niespełnienia warunku szczelności. Sytuacja taka występuje, gdy betonowanie przebiega w podwyższonej temperaturze otoczenia, która w ciągu kilku dni stabilizuje się na niższym poziomie. Najkorzystniejsze jest betonowanie w okresie niskich temperatur otoczenia i dalszej stabilizacji temperatury otoczenia na wyższym poziomie, takie warunki należy uznać za korzystne. Z kolei betonowanie w stabilnych warunkach otoczenia nie gwarantuje uniknięcia zarysowania na etapie wykonywania konstrukcji. Stąd też wytyczne w zakresie dopuszczalnych warunków betonowania oraz decyzje wykonawcy mają zasadniczy wpływ na stopień zarysowania żelbetowych ścian w okresie wykonywania konstrukcji.

Okazało się, że zdefiniowany w Aneksie M do PN-EN 1992-3<sup>1</sup> sposób obliczania szerokości rys, w przypadku ścian zbiorników betonowanych w pierwszym etapie, prowadzi do zaniżenia szerokości rys w stosunku do zaobserwowanych. Wynika to z wyrażenia na  $s_{r,max}$ , w którym założono ustabilizowany rozstaw rys w elemencie poddanym obciążeniu zewnętrznemu, które powoduje stałą siłę na całej długości elementu bez jej redukcji po zarysowaniu. Analizując rozstaw rys obserwowany w praktyce można zauważyć, iż jest on znacząco większy. Z kolei przyjęcie  $s_{r,max}=1,3H$ , z uwagi na przeszacowanie rozstawu rys w stosunku do obserwowanego w praktyce, prowadzi do dwukrotnego przeszacowania ich szerokości. Tak czy inaczej, sposób obliczania rozstawu rys zawarty w PN-EN 1992-1-1<sup>2</sup> dotyczący elementów nie spełniających  $A_{s,min}$  nie ma praktycznego zastosowania w przypadku

ścian zbiorników żelbetowych. Natomiast stosowanie wyrażenia na różnicę średnich odkształceń pomiędzy stalą i betonem w postaci  $R_{ax} \cdot \epsilon_{free}$ , tj. dla przypadku ścian skrępowanych na dolnej krawędzi przy jednoczesnym spełnieniu warunku  $A_{s,min}$  i rozstawu rys według wzoru 7.11 z PN-EN 1992-1-1<sup>2</sup> prowadzi do poważnego niedoszacowania obliczonej szerokości rys. W tym przypadku również nie należy stosować wyrażenia  $s_{r,max}=1,3H$ . Według PN-EN 1992-3<sup>1</sup> postać wyrażenia  $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})=R_{ax} \cdot \epsilon_{free}$  sprawia, że przyrost szerokości rysy zależy w znacznej mierze od wartości obciążenia wymuszonego, bez uwzględnienia naprężeń rezydualnych w ścianie oraz jej odprężenia w wyniku powstawania rysy oraz rys sąsiednich wzdłuż długości segmentu.

Porównania wykazały, iż wg PN-EN 1992-3<sup>1</sup> rodzaj skrępowania elementu, przy tym samym poziomie odkształceń wymuszonych, prowadzi do bardzo dużej różnicy w powierzchni zbrojenia, koniecznego do ograniczenia szerokości rys. W ścianie skrępowanej przez fundament wpływ na szerokość rysy ma przede wszystkim zmiana odkształceń wymuszonych. Ich wartość wpływa bezpośrednio na wymaganą powierzchnię zbrojenia. W przypadku elementu skrępowanego na przeciwnych końcach o powierzchni zbrojenia decydują przede wszystkim wartości właściwości mechanicznych betonu. Ponadto, w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> nie rozważa się zmiany schematu skrępowania ściany, wynikającego z dobetonowania kolejnych segmentów.

Jak wykazały badania *in situ* rozstaw rys jest bardzo zróżnicowany. Jest to szczególnie ważne dla poprawnego opisu zachowania się konstrukcji pod wpływem obciążeń wymuszonych. Na segmentach betonowanych w drugim etapie, szerokości rys i ich liczba są zdecydowanie większe w porównaniu do szerokości i liczby rys powstałych na segmentach betonowanych w pierwszym etapie. Przyrost szerokości rys zaobserwowanych w ciągu kolejnych 60 dni na segmentach betonowanych w pierwszym i drugim etapie, stanowił odpowiednio 50 i 100 %. Wobec powyższych wniosków oraz przeprowadzonych analiz można wstępnie stwierdzić, że rozstaw rys w ścianach zbiorników żelbetowych zależy w głównej mierze od rozkładu stopnia skrępowania oraz średnicy i rozmieszczenia zbrojenia. W PN-EN 1992-1-1<sup>2</sup> brak jest adekwatnego modelu opisującego rozstaw rys w segmentach żelbetowych ścian, w którym by uwzględniono wpływ zbrojenia oraz obecność elementu krępującego odkształcenia wymuszone, dlatego też istnieje potrzeba stworzenia takiego modelu. Spostrzeżenie to będzie uwzględnione w proponowanym modelu obliczeniowym (rozdział 7). Przedstawione tu analizy zostały w węższym zakresie omówione również w pracach [27, 34].

W **piątym rozdziale** poddałem analizie uproszczoną metodę kontroli zarysowania. Pomimo braku informacji w normie<sup>1</sup> wykazałem, iż rysunek 7.103N określa  $\phi_s^*$  dla przekrojów ścian żelbetowych obciążonych siłami zewnętrznymi. Po przeanalizowaniu stwierdziłem, iż w rzeczywistości wartości  $\phi_s^*$  odczytane z wykresu stworzonego dla obciążeń zewnętrznych są tylko trochę mniejsze w porównaniu do przypadku obciążeń wymuszonych przy  $k = 1,0$ . Dlatego też uzasadniony jest zapis w normie<sup>1</sup> mówiący o możliwości odczytania średnicy prętów z wykresu 7.103N zarówno w przypadku spodziewanego zarysowania elementów od obciążeń zewnętrznych lub wymuszonych. Przyczynia się to do wyznaczenia mniejszej średnicy zbrojenia, a tym samym mniejszej szerokości rysy, niż by otrzymano z metody ogólnej.

Okazało się również, że stosowanie wykresu 7.103N w celu określania dopuszczalnej średnicy zbrojenia, między innymi z uwagi na powszechnie stosowaną grubość otulenia w ścianach zbiorników żelbetowych równą 40 mm, ma bardzo ograniczony zakres praktycznego zastosowania.



Następnie podjąłem analizy zmierzające do określenia wykresów  $\phi_s^*$  w przypadku elementu skrępowanego w podstawie. Otrzymałem wykres  $\phi_s^*$ , który moim zdaniem udowadnia niezgodności, których należy dopatrywać się w zależności definiującej maksymalny rozstaw rys, którą pomimo odmiennego charakteru zarysowania, w obu przypadkach skrępowania przyjęto w tej samej postaci.

Jak wykazały dalsze analizy, można stwierdzić, że:

- uwzględnienie słabych warunków betonowania przejawia się w konieczności redukcji maksymalnej średnicy pręta o 30 %,
- stosowanie innego kruszywa niż kwarcytowe, np. o niższym module sprężystości ma mały wpływ na funkcję  $W(\rho_{eff})$ ,
- w przypadku zarysowania na etapie dojrzewania betonu, funkcja  $W$  dla szerszego zakresu naprężeń w zbrojeniu, nie będzie zgodna z założeniem upraszczającym, co przejawiać się będzie w rozbieżności wyników pomiędzy metodą ogólną i uproszczoną metodą kontroli zarysowania.

W dalszej części rozdziału zaproponowałem uściślenie metody uproszczonej. W oparciu o metodę uproszczoną kontroli zarysowania zgodną z PN-EN 1992-3<sup>1</sup> wyznaczyłem i przedstawiłem w formie graficznej wartości  $\Delta\phi_s^*$ , które dodane do wartości odczytanych z 7.103N<sup>1</sup> stanowią wartości  $\phi_s^*$  właściwe dla przyjętej grubości otulenia. Niniejsza korekta winna być wykonywana niezależnie od wyrażenia 7.122<sup>1</sup> w celu otrzymania  $\phi_s$ . W przypadku grubości otulenia stosowanego w ścianach zbiorników żelbetowych taka redukcja dopuszczalnej średnicy zbrojenia jest zawsze konieczna.

Analogicznie jak w przypadku dopuszczalnej średnicy zbrojenia wyznaczyłem odchyłki maksymalnego rozstawu prętów zbrojeniowych ( $\Delta s_I$ ) dla przypadków różniących się grubością otulenia w stosunku do przypadku przedstawionego na rysunku 7.104N normy<sup>1</sup>. Otrzymane wyniki wskazują na konieczność znacznych redukcji rozstawu prętów zbrojeniowych wraz ze wzrostem grubości otulenia dla wszystkich przypadków  $w_{lim}$ . Zaproponowałem w formie monogramu wartości zmniejszające rozstaw prętów zbrojeniowych wynikający z założenia w metodzie ogólnej rozstawu rys wg wzoru 7.11<sup>2</sup> (warunek (6.1)). Korekty te są konieczne tylko w przypadku mniejszych grubości otulenia.

Skomentowałem wpływ wartości  $d$ ,  $f_{ct,eff}$  oraz  $k$  na korektę dopuszczalnej średnicy zbrojenia  $\phi_s$  dla przypadku ścian żelbetowych zbiorników narażonych na zarysowanie w wyniku obciążeń wymuszonych. Z uwagi na w/w czynniki przedstawiłem praktyczne zakresy zmienności współczynnika korekcyjnego  $k_\phi$  dla typowych ścian zbiorników żelbetowych.

W celu wyznaczenia  $s_z^{max}$  zaproponowałem współczynnik korekcyjny  $k_z$  uwzględniający wpływ wysokości użytecznej przekroju  $d$ , grubości otulenia oraz grubości ściany (poprzez współczynnik  $k$ ) w stosunku do wartości zdefiniowanych na rys. 7.104N<sup>1</sup>.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można również wnioskować, iż wykres dotyczący maksymalnego rozstawu prętów zbrojeniowych zawarty w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> 7.104N może być stosowany, gdy klasa wytrzymałości betonu nie jest mniejsza niż C30/37, stosunek  $a/h$  jest mniejszy bądź równy 0,1 oraz otulenie nie jest większe niż 30 mm. Dla wybranych przypadków ( $c_{nom}$ ,  $a/h$ ,  $k$  oraz klasy wytrzymałości betonu) zaproponowano w formie graficznej wartości  $\Delta s_i$  redukujące rozstaw prętów zbrojeniowych  $s_z^{max}$  określony w stosunku do wykresu normowego 7.104N<sup>1</sup>.

Powyższe propozycje stanowią uzupełnienie metody kontroli zarysowania podanej w przedmiotowej normie. Zawężony zakres zawartych tu informacji omówiłem szerzej w czasopiśmie *Materiały Budowlane* [31, 32].

W kolejnej części rozdziału piątego wykazałem, iż wpływ właściwości mechanicznych betonu zależnych od rodzaju kruszywa i wieku betonu w chwili spodziewanego zarysowania na redukcję dopuszczanej średnicy zbrojenia jest mały. Jednak w/w czynniki mają zasadniczy wpływ na zakres zgodności metody uproszczonej z metodami ogólnymi.

Dowiodłem, iż uproszczona metoda kontroli zarysowania zdefiniowana w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> jest zgodna z metodą ogólną podaną w PN-EN 1992-1-1<sup>2</sup> do pewnego poziomu naprężeń  $\sigma_s$ . Zakres zgodności jest mniejszy dla mniejszych wartości  $\epsilon_{ctu}$  charakterystycznych dla dojrzewającego betonu. Ponadto, zakres ten wzrasta dla większych wartości  $a/kh$  charakterystycznych dla grubych ścian zbrojonych w dwóch warstwach. W przypadku zbrojenia ścian w jednej płaszczyźnie zakres zgodności obu metod jest poza zakresem praktycznego występowania naprężeń  $\sigma_s$ .

Poza zakresem zgodności metody uproszczonej z ogólną (dla przypadku ścian zbiorników żelbetowych) wykazałem konieczność redukcji dopuszczalnej średnicy zbrojenia  $\phi_s$ . Największa redukcja występuje w przypadku mniejszych wartości  $a/kh$  oraz większych wartości  $c_{nom}$ . Z kolei wpływ granicznego odkształcenia betonu  $\epsilon_{ctu}$  na redukcję  $\phi_s$  w stosunku do w/w czynników jest najmniejszy.

Dla dowolnego przypadku ściany zbiornika, obciążonej osiową siłą rozciągającą, przedstawiłem dokładniejszą metodę kontroli zarysowania opartą na globalnym współczynniku korekcyjnym ( $k_{\phi 1}$ ) dopuszczalnej średnicy zbrojenia  $\phi_s^*$  (wg rys. 7.103N<sup>1</sup>). Zaproponowana modyfikacja uwzględnia wszystkie wielkości zawarte w metodzie ogólnej<sup>2</sup>. Wartości  $k_{\phi 1}$  można wyznaczyć na podstawie zaproponowanych wzorów lub bez wykonywania obliczeń bezpośrednich za pomocą sporządzonych monogramów.

Drugim etapem tych analiz było wykazanie, iż metoda uproszczona kontroli zarysowania zdefiniowana w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> jest zgodna z metodą ogólną podaną w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> od pewnego poziomu naprężeń  $\sigma_s$ . Zakres zgodności jest mniejszy dla większych wartości iloczynu  $k\epsilon_{ctu}$ , tj. w przypadku ścian cieńszych, które ulegają zarysowaniu po okresie dojrzewania betonu. Ponadto, w przypadku większych grubości otulenia  $c_{nom} = 40$  i  $50$  mm, które powszechnie są stosowane w ścianach zbiorników żelbetowych na cieczy stwierdziłem całkowity brak zgodności obu metod.

W ogólnym przypadku, żelbetowych ścian zbiorników, zgodność metody uproszczonej z ogólną dotyczącą obciążeń wymuszonych (zawartą w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>) jest znacznie większa od zakresu zgodności metody uproszczonej z metodą ogólną zawartą w PN-EN 1992-1-1<sup>2</sup> dotyczącą obciążenia zewnętrznego.

Dla dowolnego przypadku, żelbetowej ściany zbiornika poddanej obciążeniu wymuszonemu, przedstawiłem ulepszoną metodę kontroli zarysowania, poprzez korektę dopuszczalnej średnicy zbrojenia, zdefiniowanej w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, globalnym współczynnikiem korekcyjnym  $k_{\phi 2}$ . W tej nowej zależności uwzględniłem wszystkie czynniki występujące w metodzie ogólnej<sup>1</sup>. Wartości  $k_{\phi 2}$  analogicznie jak współczynnik  $k_{\phi 1}$  można wyznaczyć na podstawie zaproponowanych wzorów lub bez wykonywania obliczeń bezpośrednich za pomocą sporządzonych monogramów.

W niniejszym rozdziale zaproponowałem użyteczną i prostą w stosowaniu metodę określenia dopuszczalnej średnicy zbrojenia w przypadku osiowego rozciągania ścian

zbiorników żelbetowych na cieczy poddanych obciążeniu zewnętrznemu i wymuszonemu. Otrzymane wartości  $\phi_s$  są w pełni zgodne z metodami ogólnymi. Jednocześnie wskazałem na możliwe niedokładności i niedoszacowania metody uproszczonej przedstawionej w pracy<sup>1</sup>.

Tę zmodyfikowaną metodę obliczeń wraz z przykładami opublikowałem w węższym zakresie w czasopiśmie *FIB Structural Concrete* [22].

**Szósty rozdział** poświęciłem współczynnikowi zewnętrznego poziomego stopnia skrępowania odkształceń termicznych powstałych na etapie dojrzewania betonu w segmentach ścian zbiorników żelbetowych. Zwróciłem szczególną uwagę na praktyczne możliwości jego zastosowania, dlatego też starałem się możliwie dokładnie, ale też w sposób uogólniony, odzwierciedlić warunki brzegowe i zmiany profilu temperatury. Współczynnik ten w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> dla ścian zbiorników żelbetowych sprowadzony jest zasadniczo do dwóch schematów ścian prostych. Pierwszy to skrępowanie segmentu tylko na dolnej krawędzi, schemat ten występuje powszechnie w zbiornikach prostokątnych (w pierwszym etapie betonowania ściany). Drugi schemat to segment skrępowany tylko na przeciwległych krawędziach, który występuje na etapie wznoszenia ścian, których dolna krawędź połączona jest w sposób przesuwny z fundamentem. Takie rozwiązanie w przypadku ścian prostych nie jest w ogóle realizowane. Natomiast w przypadku ścian cylindrycznych stosowane jest ono często w powłokach sprężonych.

Analizy rozkładu stopnia skrępowania wykonałem dla różnych zmian profilu temperatury w ścianach prostych i cylindrycznych. Wykazałem w niektórych przypadkach istotny wpływ zmiany profilu temperatury, (który w okresie dojrzewania betonu jest dominujący), na efektywny stopień skrępowania elementu. Przedstawiłem rozkłady efektywnego stopnia skrępowania dla ścian cylindrycznych, wskazując na zasadniczy wpływ grubości ściany i jej promienia na stopień skrępowania zarówno na wysokości jak i wzdłuż długości segmentu. Przedstawiłem nie podnoszoną dotychczas kwestię różnego stopnia skrępowania na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej ścian cylindrycznych. W świetle możliwości technologicznych wykonywania połączeń (podrozdział 2.4) przedstawiłem sposób uwzględnienia podatności połączeń ruchomych lub częściowo podatnych na redukcję stopnia wyężenia betonu oraz minimalizowania zarysowania.

Wykazałem również, że:

- stopień skrępowania segmentu ściany zbiornika cylindrycznego nie powinien być określany w oparciu o postanowienia PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, tj. wytyczne do określenia stopnia skrępowania i sposobów zarysowania ścian prostych,
- w przypadku segmentów cylindrycznych skrępowanych na trzech krawędziach, uwzględnienie zmiany profilu temperatury na krawędziach segmentu jest konieczne. W przeciwnym wypadku w sposób znaczący przeszacowuje się wartość  $R_{ax}$  zwłaszcza dla segmentów o małym stosunku  $L/H$ , jak również we wszystkich pozostałych przypadkach w obszarach mierzonych od krawędzi segmentu na odcinku około  $0,25H$ ,
- stopień skrępowania w ścianach cylindrycznych jest zależny również od grubości ściany oraz jej promienia,
- stopień skrępowania ścian cylindrycznych na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej jest różny.



Ponadto, w przypadku ścian skrępowanych na trzech krawędziach rozważyłem m. in. wpływ sztywności pionowych połączeń konstrukcyjnych, zależnych od mocy zbrojenia, na rozkład wartości  $R_{ax}$ . Z uwagi na istotny wpływ odprężenia betonu (spadku  $R_{ax}$ ) po zarysowaniu, na szerokość rysy i ich rozstaw, przeanalizowałem dla segmentów prostych i cylindrycznych betonowanych jako ostatnie, zmiany stopnia skrępowania po zarysowaniu w osi segmentu.

Sporządziłem wykresy oraz zaproponowałem funkcje opisujące wartości  $R_{ax}$ , co ma aspekt praktyczny i stanowi istotne poszerzenie informacji w stosunku do wytycznych zawartych w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, w której nie dzieli się segmentów na proste i cylindryczne. W niektórych przypadkach wykazałem zdecydowanie mniejszy stopień skrępowania niż zdefiniowano w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, w innych zdecydowanie większy, co bezpośrednio będzie wpływać na redukcję/wzrost wymaganego stopnia zbrojenia. Fragmenty przedstawionych tu analiz oraz wynikających z nich spostrzeżeń są jednocześnie elementem/podstawą modelu obliczeniowego zaproponowanego w rozdziale 7.

W **rozdziale siódmym** zaproponowałem własny model obliczeniowy, co uważam za oryginalny wkład do rozwoju metodyki projektowania ścian i kontroli zarysowania. Wykazałem, że o szerokości rys powstałych w wyniku chłodzenia ściany w okresie dojrzewania betonu, nie decyduje stopień skrępowania, jak zapisano w PN-EN 1992-3<sup>1</sup>, który moim zdaniem należy stosować jedynie przy sprawdzeniu kryterium zarysowania. Podstawowym czynnikiem decydującym o szerokości rysy jest średnia wartość stopnia odprężenia ściany, powstałego po przekroczeniu wytrzymałości betonu na rozciąganie, a jego wartość z kolei zależna jest od: stopnia skrępowania, geometrii ściany, czy ściana jest prosta czy też kołowa (wpływ promienia i grubości ściany), poziomu inicjacji zarysowania, lokalizacji więzów zewnętrznych i w ograniczonym zakresie od stopnia zbrojenia w przekroju rysy. Nie zawsze wysoki stopień skrępowania może stanowić podstawę do dużego odprężenia, czyli powstania rysy o dużej szerokości.

Niewątpliwą zaletą proponowanej metody jest możliwość rozróżnienia zdefiniowanych tu rodzajów zarysowania, tj. rysy pierwszego i drugiego rodzaju, uwzględnienia etapowości powstawania rys oraz przyrostu ich szerokości wraz z kolejnymi etapami obciążenia.

W spełnieniu warunku dopuszczalnej szerokości rysy zasadniczą rolę odgrywają rysy pierwszego rodzaju, które powstają najwcześniej. Niemniej jednak o przyroście szerokości rysy, w wyniku kolejnych obciążeń, decyduje zmniejszający się rozstaw rys, który wynika z powstania rys drugiego rodzaju. Na tej podstawie konieczne było uwzględnienie przyrostu różnicy średnich odkształceń pomiędzy stalą i betonem, który występuje na odcinkach pomiędzy zmniejszonym rozstawem rys. Wobec powyższego w zaproponowanym modelu uwzględniłem etapowość powstawania rys oraz przyrost ich szerokości wraz z kolejnymi etapami obciążenia.

Na podstawie niniejszego modelu wykazałem między innymi, że:

- w przypadku segmentów ścian prostych zasięg strefy odprężenia jest większy niż w segmentach ścian kołowych,
- w przypadku segmentach ścian kołowych stopień odprężenia jest tym mniejszy, im mniejszy jest promień ściany,
- na rozstaw rys pierwszego rodzaju ma wpływ promień ściany. Przy mniejszej jego wartości otrzymano mniejszy rozstaw rys pierwszego rodzaju,

- zakres i poziom odprężenia powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej segmentu ścian kołowych względem siebie jest różny. Stąd też jest to jeden z czynników decydujących o różnym rozstawie i szerokości rys na obu powierzchniach tej samej ściany.
- w długich ścianach cylindrycznych, średnia wartość odprężenia powierzchni zewnętrznej (po zarysowaniu) jest zdecydowanie większa niż na powierzchni wewnętrznej. Wynika z tego większa redukcja stopnia skrępowania powierzchni zewnętrznej w stosunku do wewnętrznej, dlatego też w przypadku ścian wykonywanych w krótszych segmentach, tj.  $L/H \leq 4$ , nastąpi efektywniejsze zmniejszenie ewentualnego zarysowania powierzchni zewnętrznej,
- w przypadku ścian prostych największy efektywny stopień odprężenia występuje dla stosunku  $h_1/H=0,4$  (pomimo najmniejszej wypadkowej obciążenia termicznego), co jest związane z największą odległością od dolnej skrępowanej krawędzi.
- w przypadku ścian cylindrycznych wartości  $\Delta R_{ax}$  określone na różnych wysokościach ściany są różne gdyż i różne jest obciążenie wypadkowe od temperatury, różna odległość od krawędzi skrępowanej, co wpływa nie tylko na wartość przemieszczeń obwodowych, ale też radialnych. W przypadku  $R/H=1,5$ , tj. w przypadku największych przemieszczeń radialnych wartości  $\Delta R_{ax}$  są najmniejsze (lepiej widoczne w przypadku cieńszych ścian –  $h/H=0,06$ ). Przemieszczenia radialne ścian o większym promieniu  $R/H=8$  są mniejsze, stąd mniejszy ich udział w redukcji  $\overline{\Delta R_{ax}}$ ,
- w ogólności, zachowanie powłok cylindrycznych pod działaniem obciążeń wymuszonych jest odmienne od zachowania segmentów prostych. Wynika z tego konieczność zastosowania większego stopnia zbrojenia w następujących obszarach:
  - na wewnętrznej powierzchni powłoki, na wysokości  $h_{cr}$  zależnej od grubości i promienia ściany, (tj.  $R/H$  i  $h/H$ ) oraz na zmiennej szerokości tego pasma ściany, zależnej od zasięgu naprężeń rozciągających porównywalnych z wartością maksymalną na wysokości  $h_{cr}$ ,
  - na zewnętrznej powierzchni zwłaszcza w dolnej części ściany, tj. od jej podstawy do wysokości równej, co najmniej  $h_{cr}$ .
- segmenty ścian cylindrycznych o małym promieniu, tj. o najkrótszej strefie odprężenia, powinny być betonowane jako segmenty swobodne na krawędziach pionowych, a pomiędzy nimi należy wykonywać połączenie o szerokości około 1 m; w przypadku ścian cylindrycznych należy wykonywać segmenty uzupełniające zdecydowanie krótsze, niż segmenty wykonywane w pierwszym etapie,
- w przypadku obciążeń wymuszonych, poza korzystnym wpływem projektowania powłok cieńszych, w których powstają mniejsze zmiany temperatury, są również oszczędności wynikające z faktu, że w powłoce cylindrycznej strefy rozciągane, na etapie dojrzwania betonu, skoncentrowane są w dolnej części ściany na zdecydowanie mniejszym obszarze, niż ma to miejsce w przypadku ścian prostych,
- przy obciążeniu wymuszonym cieńsze ściany bardziej wyginają się do środka, powstają większe naprężenia równoleżnikowe  $\sigma_{HH}$  na dolnej krawędzi po zewnętrznej ich stronie i zdecydowanie mniejsze naprężenia  $\sigma_{HH}$  w górnej części, ponadto w dwóch spośród przeanalizowanych przypadków, tj.: ścian o małym promieniu  $R/H=1,5$ , przy zmianie profilu temperatury na wysokości  $h_1/H=0,4$ , otrzymałem zarówno w przypadku ścian cieńszych jak i grubszych, (tj.  $h/H = 0,06, 0,14$ )

maksymalne szerokości rys na poziomie  $h_{cr}$  niższym niż  $h_I$ .

W celu ułatwienia stosowania zaproponowanego modelu zestawilem w zwartej postaci algorytm postępowania. Składają się one z pięciu etapów.

- etap I dotyczy wyznaczenia szerokości rysy pierwszego rodzaju  $w_{k1}$  na poziomie  $h_I$  przy założeniu, że obciążenie wymuszone jest na tyle małe, iż nie powstają inne rysy. Kolejne etapy stosowane są do wyznaczenia przyrostu szerokości rys:
- etap II dotyczy wyznaczenia przyrostu szerokości rysy  $\Delta w_{k2}$  wynikającej z przyrostu obciążenia wymuszonego i powstania ustabilizowanego rozstawu rys pierwszego rodzaju, tuż przed powstaniem rys drugiego rodzaju,
- etap III odpowiada na tyle dużym obciążeniom wymuszonym, iż powstają rysy drugiego rodzaju i przedstawia sposób wyznaczenia przyrostu szerokości rysy w wyniku przyrostu różnicy średnich odkształceń pomiędzy stalą i betonem,
- etap IV dotyczy wyznaczenia przyrostu szerokości rys od odkształceń skurczowych od wysychania, uwzględnionych według analogicznych założeń jak w etapie III, jednak przy zmniejszonym rozstawie rys drugiego rodzaju,
- etap V dotyczy wyznaczenia przyrostu szerokości rys pod wpływem obciążeń technologicznych i jest ostatnim etapem na końcu którego, należy porównać finalne obliczoną szerokość rysy z wartością dopuszczalną.

W dalszej części rozdziału siódmego przedstawiłem przykłady zastosowania własnego modelu. W pierwszym z przykładów dobrano taką wartość obciążenia wymuszonego, aby przedstawić zastosowanie poszczególnych elementów modelu. Wyznaczone szerokości rys porównano z wartościami otrzymanymi na podstawie wytycznych PN-EN 1992-1-1<sup>2</sup> i PN-EN 1992-3<sup>1</sup>. W rozważanym przypadku segmentu uzupełniającego ściany prostej, otrzymane szerokości rys wg PN-EN 1992-3<sup>1</sup> w stosunku do wartości wyliczonych wg zaproponowanego modelu obliczeniowego są w większości przeanalizowanych przypadków mniejsze. Według modelu ściany zamocowanej w podstawie (PN-EN 1992-3<sup>1</sup>) otrzymane szerokości rys są zdecydowanie najmniejsze i zdaniem autora nieadekwatne do założonych obciążeń. W tym podejściu pozostaje w sprzeczności stwierdzenie, iż „układ rys w tym przypadku wpływa jedynie lokalnie na rozkład naprężeń”<sup>1</sup> z założeniem rozstawu rys wg wzoru (7.11)<sup>2</sup>. Niniejsze podejście powinno być, moim zdaniem, stosowane do ścian niespełniających warunku minimalnego stopnia zbrojenia. Z kolei wyniki uzyskane z modelu pręta zamocowanego na przeciwległych końcach (PN-EN 1992-3<sup>1</sup>) są zdecydowanie bliższe wartościom otrzymanym z zaproponowanego modelu. Dla  $t = 10$  dni wartości są większe. Jednak w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> z uwagi na koniczność uwzględnienia odkształceń wymuszonych również dla betonu stwardniałego (np. skurczu) podważony jest sens przeprowadzania tych obliczeń dla obciążeń termicznych w okresie dojrzewania betonu (niezależnie od ich wartości), gdyż otrzymywane szerokości rys są tym większe, im większa jest wytrzymałość betonu. Finalnie w zaproponowanym modelu otrzymałem czterokrotnie większy rozstaw rys pierwszego rodzaju w stosunku do podejścia wg PN-EN 1992-3<sup>1</sup>. Ponadto, moim zdaniem w PN-EN 1992-3<sup>1</sup> wątpliwości budzi brak zapisu o konieczności określenia przyrostu szerokości rys powstałych od obciążeń wymuszonych na skutek obciążeń występujących w późniejszym czasie, zwłaszcza obciążeń zewnętrznych. W zaproponowanym modelu uwzględniam ponadto korzystny efekt pełzania podczas występowania obciążeń wymuszonych na zmniejszenie szerokości rys. Stąd też można wnioskować, iż w praktyce małe i powolne zmiany temperatury nie będą powodować zauważalnego wzrostu szerokości rys, gdyż pełzanie zmniejszy efekt działania obciążenia wymuszonego.

Drugi z przykładów dotyczy segmentu ściany, który został zrealizowany i przebadany na zbiorniku w Żywcu. Zaprezentowałem etapy zarysowania segmentu w okresie dojrzewania betonu, w okresie zimowym oraz po próbie szczelności. Przedstawiłem pomierzone zmiany temperatury przez okres czterech miesięcy od zabetonowania segmentu, jak również zmiany odkształceń betonu (stanowiące nieskrępowaną część odkształceń wymuszonych) oraz naprężenia w prętach zbrojeniowych. Poruszyłem bardzo istotny aspekt przyrostu modułu sprężystości betonu, który w początkowym okresie dojrzewania betonu okazuje się być zdecydowanie wolniejszy niż wynika to z wytycznych PN-EN 1992-1-1<sup>1</sup>. W stosunku do tego segmentu przeprowadziłem obliczenia w oparciu o zbadane parametry mechaniczne betonu klasy C30/37 oraz pomierzone wartości obciążenia wymuszonego. Wykazałem zadowalającą zgodność policzonych i pomierzonych szerokości rys, zarówno dla okresu wczesnego dojrzewania betonu oraz po dziewięciu miesiącach od zabetonowania segmentu. W analizowanym przypadku wykazałem zdecydowanie większy udział obciążenia wymuszonego niż zewnętrznego na wyężenie i zarysowanie segmentu ściany.

Na podstawie przeprowadzonych analiz, stwierdziłem, iż:

- według zaproponowanego modelu rozstaw i szerokości rys są zdecydowanie bliższe wartościom obserwowanym na obiektach naturalnych, niż w przypadku analogicznych obliczeń przeprowadzonych według PN-EN 1992-3<sup>1</sup>,
- w przypadku wysokiego stopnia zbrojenia, jak analizowałem w p. 7.4<sup>4</sup>, rozstaw rys pierwszego rodzaju jest porównywalny z rozstawem rys drugiego rodzaju. Wtedy mniejszy, lecz zasadniczy przyrost szerokości rysy, która powstaje jako pierwsza, występuje przy mniejszym/korzystniejszym rozstawie rys drugiego rodzaju. Wbrew pozorom w zaprezentowanym przykładzie (p.7.4<sup>4</sup>) bardzo korzystną rolę odgrywa nierównomierny skurcz od wysychania przyczyniający się do zmniejszenia rozstawu rys, wzrostu ich liczby i w konsekwencji do ograniczenia dalszego przyrostu ich szerokości,
- zmniejszenia szerokości rys należy oczekiwać w przypadku zmniejszenia obciążenia termicznego, utrzymania go na stałym poziomie i odprężenia w wyniku pełzania lub w okresie powstawania licznych rys od skurczu od wysychania betonu,
- w przypadku długich średniomasywnych ścian wewnętrznych wpływ obciążenia wymuszonego na zarysowanie w stosunku do wpływu obciążenia zewnętrznego jest zasadniczy,
- w badaniach oraz w modelu obliczeniowym rysy które powstają jako pierwsze mogą w poniższym czasie poszerzyć się ponad dwukrotnie.

**Rozdział ósmy** zawiera wnioski z całej pracy. W pierwszej kolejności dotyczą one aktualnych metod normowych kontroli zarysowania, metody uproszczonej, co do której wskazałem na ograniczenia jej praktycznego zastosowania. Następnie sformułowałem wnioski dotyczące metody ogólnej w zakresie sposobu wyznaczania rozstawu rys i średniej różnicy odkształceń pomiędzy stalą i betonem pod wpływem działania obciążeń wymuszonych. W dalszej kolejności przedstawiłem, jedno z najistotniejszych z praktycznego punktu widzenia, wnioski dotyczące technologii wykonywania ścian zbiorników żelbetowych, bez której moim zdaniem nie jest się w stanie świadomie zaprojektować i poprawnie wykonać zbiornik. Kolejne wnioski sformułowałem w odniesieniu do praktyki projektowej i dotyczyły one między innymi rozkładu zewnętrznego stopnia skrepowania w segmentach ścian prostych i cylindrycznych. Ostatnia grupa wniosków wynika

bezpośrednio z autorskiego modelu kontroli zarysowania oraz własnych badań *in situ* i skupia się na przedstawieniu podstawowych czynników decydujących o poprawnym wyznaczeniu szerokości rys.

Przedstawione powyżej informacje zawarte w poszczególnych rozdziałach stanowią spójne opracowanie nt.: uszczegółowienia zasad kontroli zarysowania wg PN-EN 1992-3, sposobie ich korekty oraz możliwości zastosowania dokładniejszych rozwiązań autora uwzględniających dodatkowe czynniki m. in.: geometryczne, technologiczne i obciążeniowe.

### c) autoocena dorobku publikacyjnego

Mój całkowity dorobek publikacyjny stanowi 51 pozycji. W okresie po uzyskaniu stopnia doktora, obejmuje on 30 prac w tym 22 artykuły w czasopismach i jedną monografię. Wobec rzadko spotykanych prac indywidualnych publikowanych w czasopismach z ministerialnej listy A należy podkreślić, iż spośród 8 prac z listy A 5 z nich są pracami samodzielnymi. Jeden referat przedstawiłem na konferencji zagranicznej i 5 na konferencjach krajowych. Spośród wszystkich prac 43 % są pracami indywidualnymi. Łączny *Impact Factor* czasopism znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports*, w których opublikowałem artykuły wynosi, zgodnie z rokiem opublikowania 5,77 punkty. Łącznie, moje publikacje z okresu po uzyskaniu stopnia doktora uzyskały 260 punktów według punktacji MNiSW.

Zbiorcze ilościowe zestawienie dorobku publikacyjnego z podziałem na dorobek przed doktoratem i po doktoracie oraz sumaryczny *Impact Factor* według listy *Journal Citation Reports* (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania oraz punkty MNiSW przedstawiono w tabeli:

Rodzaj publikacji	przed doktoratem	po doktoracie
Publikacje w czasopismach posiadających wyliczony <i>Impact Factor</i> (IF)	-	8
Publikacje w czasopismach zagranicznych bez IF	-	-
Publikacje krajowe punktowane w j. polskim	3	13
Publikacje krajowe punktowane w j. angielskim	-	1
Publikacje w wydawnictwach konferencji międzynarodowych	7	1
Publikacje w wydawnictwach konferencji krajowych	8	5
Inne publikacje i raporty	3	2
<b>Razem</b>	21	30
	Sumaryczny <b>IF = 0</b>	Sumaryczny <b>IF = 5,77</b>
	Punkty <b>MNiSW= 12</b>	Punkty <b>MNiSW= 260</b>



Po obronie pracy doktorskiej prowadziłem w ramach działalności statutowej dalsze prace badawcze finansowane ze środków własnego projektu badawczego L-1/434/DS-M/2011 oraz L-1/263/DS-M/2012, koncentrując się na zagadnieniu związanym z wykonywaniem średniomasywnych nawierzchni betonowych dużych powierzchni. Efekty niniejszych prac przedstawiono na konferencjach krajowych i konferencji zagranicznej:

- Konferencja Naukowo-Techniczna. „*Konstrukcje Sprężone*”, Kraków, 2012 [48, 49], prace opublikowane również w czasopiśmie *Drogi – Budownictwo Infrastrukturalne* [50] oraz *Czasopiśmie Technicznym* [41].
- 10th *International Conference on Concrete Pavements*, Quebec, Canada 6-13 July 2012 [44].

Strona |  
22 z 30

Badania nawierzchni lotniskowej z betonu sprężonego zrealizowane w hangarze na lotnisku w Pyrzowicach przedstawiono w czasopiśmie *Inżynieria i Budownictwo* [42]. Za w/w pracę opublikowaną wspólnie z Prof. Andrzejem Serugą otrzymaliśmy wyróżnienie ze strony Wydawnictwa.

Odrębnymi w tym czasie zagadnieniami, którymi się zająłem były nieliniowe analizy zachowania się, wzmocnionych na terenie Browarów Książęcych w Tychach, dźwigarów poprzez sprężenie zewnętrzne kablami bez przyczepności oraz taśmami z włókien węglowych. Prace w tym zakresie były prezentowane na Konferencji Naukowo-Technicznej „*Konstrukcje Sprężone*”, Kraków, 2012 [46, 47], jak również zostały opublikowane w *Czasopiśmie Technicznym* 2012 [39, 40].

Kolejny cykl publikacji w latach 2015-2016 dotyczył poszerzonej i uszczegółowionej analizy zgromadzonych wyników badań doświadczalnych prowadzonych na zbiornikach średniomasywnych, w *American Society of Civil Engineers ASCE - Journal of Performance Construction Facilities* [24, 28] oraz badań materiałowych *Cement-Wapno-Beton* [23, 26], jak również dotyczył uszczegółowionych obliczeń/analiz numerycznych zbiorników prezentowanych w pracy doktorskiej *American Society of Civil Engineers ASCE - Journal of Performance Construction Facilities* [25, 29].

Czwartym, obecnie najistotniejszym kierunkiem moich prac naukowych były analizy postanowień aktualnej normy PN-EN 1992-3<sup>1</sup> „*Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze*” w zakresie spełnienia warunku szczelności średniomasywnych ścian zbiorników. Dysponując doświadczeniem badawczym oraz wiedzą w zakresie sposobu i warunków realizacji tego typu obiektów, w kolejnych artykułach *Materiały Budowlane* [31, 36], *Inżynieria i Budownictwo* [37], *Przegląd Budowlany* [38] oceniałem zasadność założeń normowych w stosunku do rzeczywistego zachowanie się konstrukcji. Pozwoliło mi to na zaprezentowanie szczegółowych komentarzy dotyczących uproszczonej i szczegółowej metody kontroli zarysowania. W przypadku metody uproszczonej zaproponowałem jej modyfikację *Structural Concrete, FIB* [22], *Materiały Budowlane* [32]. W kolejnych pracach *Periodica Polytechnica Civil Engineering* [27], *Inżynieria i Budownictwo* [34] przedstawiłem konieczny do uwzględnienia przez projektantów wpływ temperatury otoczenia w okresie dojrzewania betonu na wyteżenie, zarysowanie i wymagany stopień zbrojenia ścian. Niniejszy kierunek prac naukowych wraz z własną propozycją modelu kontroli zarysowania został w szerokim zakresie opisany w monografii (p. 5b).

  
M. Zych  
dr inż.

Liczba publikacji i ich cytowań według bazy Web of Science (WoS) oraz Scopus i Google Scholar:

Baza Cytowań	Liczba publikacji	Liczba cytowań
ISI Web of Science	9	5
Scopus	6	3
Google Scholar	57	74

Strona |  
23 z 30

- Indeks Hirscha charakteryzujący mój dorobek według baz Web of Science (WoS) oraz Scopus i Google Scholar:

Baza Cytowań	Indeks Hirscha
ISI Web of Science	1
Scopus	1
Google Scholar	5

Zestawienie wszystkich publikacji, których jestem autorem lub współautorem przedstawiono w *Załączniku 5. Wykaz wszystkich opublikowanych prac naukowych.*

d) kierowanie krajowym projektem badawczym, uczestnictwo w projektach

- projekty finansowane w ramach konkursów krajowych:

Wykonawca zadania - NR 04-0009-04/2008 "**The application of unbonded tendons to the construction of precast concrete cylindrical tanks for liquid and prestressed concrete pavements**". Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, ul. Nowogrodzka 47a, 00-695 Warszawa.

Wykonawca zadania – „**Development of Service Quality For Air Transport Infrastructure**”; DATIF-EUREKA project nr E!3366; 2004/07. Temat realizowany był przez kilka ośrodków naukowych – kierownikiem grantu był prof. dr hab. inż. W. Czeżuła. Zadaniem zespołu kierowanego przez dr hab. inż. Andrzeja Serugę było opracowanie technologii wykonywania nawierzchni lotniskowych z betonu sprężonego.

- projekty finansowane ze środków wydziałowych na działalność statutową i badania własne:

Kierownik projektu - "**Analiza rozkładu temperatury i odkształceń betonu we wczesnym okresie dojrzewania i sprężania nawierzchni betonowych**"; projekt badawczy własny, L-1/263/DS-M/2012, finansowanie Politechnika Krakowska; projekt zakończony w 2012 r.

Wykonawca zadania – L-1/224/2015/DS, „**Zaawansowane konstrukcje z betonu. Badania, analiza, diagnostyka i wzmocnienie konstrukcji**”, finansowanie Politechnika Krakowska; projekt zakończony w 2015 r.

  
M. Zych  
dr inż.

Kierownik projektu - **"Nawierzchnie drogowe i lotniskowe z betonu zbrojonego i sprężonego"**; projekt badawczy własny, L-1/434/DS-M/2011, finansowanie Politechnika Krakowska; projekt zakończony w 2011 r.

Wykonawca zadania - **"Przerwy konstrukcyjne i ich zbrojenie a szczelność ścian zbiorników żelbetowych"** projekt badawczy własny, L-1/509/BW/2007; finansowanie Politechnika Krakowska, zakończony w 2007 r.

Wykonawca zadania - **"Zbrojenie minimalne w żelbetowych ścianach, utwierdzonych w dnie zbiorników na cieczy"** projekt badawczy własny, L-1/457/BW/2006; finansowanie Politechnika Krakowska, zakończony w 2006 r.

e) patenty i międzynarodowe i krajowe

Brak

f) nagrody i wyróżnienia

Nagroda za rozprawę doktorską przyznana przez Wydział IV Nauk Technicznych Polskiej Akademii Nauk w grudniu 2011r. Nagroda ta jest corocznym, indywidualnym wyróżnieniem za twórczą pracę naukową lub cykl prac z dziedziny nauk technicznych.

Nagroda Rektora Politechniki Krakowskiej Indywidualna II stopnia za osiągnięcia naukowe. 2012.

Wyróżnienie Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa w konkursie autorskim artykułów wyróżniających się ujęciem tematyki i przydatnością praktyczną, opublikowanych na łamach czasopisma „Inżynieria i Budownictwo” w roku 2012. Wyróżnienie przyznano za artykuł pt. *„Wybrane problemy konstrukcyjno-technologiczne podłóg przemysłowych z betonu sprężonego”* opublikowany w nr. 11/2012.

Nagroda Rektora Politechniki Krakowskiej Indywidualna za osiągnięcia naukowe. Za cykl artykułów naukowych. 2015.

Nagroda za pracę pt. *„Analiza numeryczna naprężeń termicznych w segmencie ściany zbiornika żelbetowego”*, przedstawioną na VII Konferencji Naukowej Doktorantów Wydziałów Budownictwa w 2006 r.



## 6. Osiągnięcia w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego

### a) działalność dydaktyczna

Moja działalność dydaktyczna na wydziale Inżynierii Lądowej obejmuje prowadzenie wykładów, ćwiczeń projektowych i laboratoriów z przedmiotów prowadzonych na pierwszym i drugim stopniu studiów zarówno stacjonarnych jak i niestacjonarnych.

Obecnie prowadzę wykłady z Technologii Konstrukcji Sprężonych oraz zajęcia projektowe z Konstrukcji Sprężonych, Prefabrykowanych i Żelbetowych. Pracując w Zakładzie Konstrukcji Żelbetowych prowadziłem również ćwiczenia projektowe z Konstrukcji Murowych.

Realizuję także zajęcia laboratoryjne z przedmiotu Konstrukcje Betonowe, których jednocześnie jestem koordynatorem.

W 2009 rozpoczął się na moim rodzimym Wydziale projekt współfinansowany przez Europejski Fundusz Społeczny, Priorytet IV. Szkolnictwo wyższe i nauka, Działanie 4.1. Wzmocnienie i rozwój potencjału dydaktycznego uczelni oraz zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy: **"Rozwój potencjału dydaktycznego Politechniki Krakowskiej w zakresie nowoczesnego budownictwa"**. UDA-POKL.04.0101-00-051/09-00. W ramach tego projektu prowadziłem 5 prac magisterskich oraz recenzowałem 4 prace magisterskie w j. angielskim.

Dotychczas zrealizowane pod moją opieką prace inżynierskie w liczbie 22 i magisterskie 23 (w tym 6 w języku angielskim) dotyczyły: wyznaczania obciążeń wymuszonych na etapie wznoszenia konstrukcji, projektowania zbiorników żelbetowych i sprężonych, osłon reaktorów atomowych oraz stokażu amoniaku, projektowania stropów żelbetowych i sprężonych, fundamentów, układów tarczowo-płytowych. W zdecydowanej większości poszczególne prace opierały się na podkładach architektonicznych budynków użyteczności publicznej, jak również na geometrii zrealizowanych obiektów przemysłowych, takich jak: silosy, zbiorniki WKF, osadniki, osłony żelbetowe.

Pracując jako adiunkt naukowo - dydaktyczny byłem recenzentem 31 prac dyplomowych inżynierskich i 52 prac magisterskich (w tym 5 w języku angielskim) realizowanych na naszym Wydziale.

Oprócz czynnego udziału w egzaminach dyplomowych prowadzonych w rodzimym Zakładzie Konstrukcji Sprężonych jestem również w składzie komisji egzaminów dyplomowych w Instytucie Mechaniki Budowli, PK.

W ramach przedmiotu Betonowe Konstrukcje Specjalne organizowałem studenckie wycieczki na budowy zbiorników realizowanych na terenie Oczyszczalni Ścieków w Żywcu (2008) oraz na budowę sprężonych zbiorników na wodę pitną dla miasta Krakowa realizowanych na Górcie Narodowej (2014-2015).

Reprezentowałem Pracownię Konstrukcji Sprężonych, a zarazem rodzimy Wydział Inżynierii Lądowej podczas Festiwalu Nauki w Krakowie w dniach 19-21 maj, 2016.

b) działalność inżynierska

Poniżej zestawilem najistotniejsze prace projektowe i prace o charakterze ekspertyz. W przeważającej części prace te dotyczą żelbetowych i sprężonych zbiorników na ciecze i są w znacznym stopniu spójne z moimi zainteresowaniami naukowymi. Wśród tych prac za szczególnie pasjonujące uważam te, w których wymagana była analiza wpływu temperatury (hydratacji, otoczenia lub temperatury wynikającej z technologii użytkowania zbiornika) na zachowanie się konstrukcji. Ponadto, za istotne uważam prace dotyczące oceny stanu technicznego sprężonych konstrukcji nośnych wielkopowierzchniowych hal.

- *Opracowanie projektu technologii wykonywania ścian sprężonych zbiorników na wodę pitną w związku z realizacją inwestycji pt. „Zbiorniki wodociągowe Górka Narodowa Wschód” z przyszłą lokalizacją przy ul. Węgrzeckiej w Krakowie*, 2015 Zleceniodawca: ASIS Sp. z o. o. 30-732, Kraków ul. Biskupińska 2.

- *Ekspertyza techniczna: „Obliczanie rozwoju i zmiany temperatury w dojrzewającej płycie żelbetowej grubości 1,7 m”*. 2014. Zleceniodawca: ERBUD S.A., Oddział Katowice ul. Ligocka 103, budynek 1B, 40-568 Katowice.

- *Wykonanie projektu żelbetowych ścian sprężonych dla zbiornika na wodę pitną w Krakowie – Górka Narodowa Wschód* 2014. Zleceniodawca: ASIS Sp. z o. o. 30-732, Kraków ul. Biskupińska 2.

- *Ocena stanu istniejącego i opracowanie projektu wzmocnienia konstrukcji żelbetowego zbiornika wydzielonej komory fermentacyjnej na oczyszczalni ścieków w Czechowicach - Dziedzicach - obiekt 28*. 2014. Zleceniodawca: INSTAL Kraków S.A., ul. Konstantego Brandla 1, 30-732 Kraków.

- 6 miesięczny staż zawodowy na stanowisku inżyniera budowy w INTER-BUD DEVELOPER ul. Czerwone Maki 65 30-392 Kraków w okresie od 01-08-2011r do 31-01-2012r.

- *Opinia techniczna nt. dokumentacji projektowo-wykonawczej dla biogazowni w m. Buczek – analiza naprężeń termiczno-skurczowych w celu minimalizowania stopnia zbrojenia żelbetowych ścian zbiornika z uwagi na ograniczenie zarysowań w początkowym okresie dojrzewania betonu*. 2012. Zleceniodawca: FAMBUD Sp. z o. o. 96-100 Skierniewice, ul. Mszczonowska 73.

- *Projekt Budowlany i Wykonawczy zbiornika żelbetowego o ścianie z betonu sprężonego o pojemności 22000m<sup>3</sup>*. Zleceniodawca: PROZAP Sp. z o. o., Al. Tysiąclecia PP 13, 24-100, Puławy. L-1/173/2011 z dnia 14.04.2011. (Szczególne wyzwania stanowiła niska temperatura składowania ciekłego amoniaku -36 °C oraz zagadnienia związane z wybuchowymi i palnymi jego właściwościami. Jest to drugi i zarazem największy tego typu zbiornik dotychczas zrealizowany w Polsce).

- Współpraca z BBR Polska, w zakresie badań naukowych podczas rozbudowy lotniska w Pyrzowicach w 2011r. Wykonano badania nawierzchni sprężonej w hangarze. Badania dotyczyły pomiaru odkształceń wgłębnych betonu, pomiaru siły sprężającej oraz temperatury w dojrzewającej płycie nawierzchni.

- *Ekspertyza techniczna dotycząca zniszczenia zbiornika o ścianie z elementów prefabrykowanej sprężonej cięgnami zewnętrznymi nr 5 oraz ocena stanu technicznego wybudowanych zbiorników żelbetowych nr 2, 3 i 4 na terenie biogazowni rolniczej w miejscowości Uniechówek, gmina Debrzno, sierpień 2010*. POLDANOR S.A., ul Dworcowa 25, 77-320 Przechlewo.

  
M. Zych  
dr inż.

- *Ocena stanu technicznego konstrukcji nośnej przykrycia trzech hal zlokalizowanych na terenie JRG5 w Krakowie*, marzec 2008. Zlecenie: Komenda Miejska Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie, 31-033 Kraków, ul. Westerplatte 19.
- *Badania doświadczalne podczas sprężania zbiornika WKF w Oczyszczalni Ścieków w Żywcu*. L-1/468/2008. Zleceniodawca: ASIS Sp. z o. o. ul. Biskupińska 2, 30-732 Kraków, Zlecenie L.dz. 1331/2088 z dnia 24.06.2008.
- *Projekt pt. Modernizacja i rozbudowa oczyszczalni ścieków w Żywcu – konstrukcja sprężona ZKF*. 2006. Zleceniodawca: Doradztwo Inwestycyjne i Projektowe, 40-693 Katowice, ul Paproci 11.
- *Projekt wzmocnienia i nadzór nad wykonaniem sprężenia silosów żelbetowych na rzepak w Bodaczowie (Etap 1 - lipiec 2006, 2 - październik 2006 i 3 - listopad 2006)*. Zleceniodawca: ASIS Sp. z o. o. ul. Saska 4. L-1/431/2006 z dnia 19.06.2006.
- *Badania stanu technicznego głównych elementów konstrukcji nośnej dachu. Hala rozlewni linii L-3, L-4 i L-5 w Tychach*. L-1/636/2007. Zleceniodawca: Kompania Piwowarska S.A. 51-285 Poznań, ul. Szwajcarska 11, Tyskie Browary Książęce ul. Mikołowska 5, 43-100 Tychy. L-1/173/2006 z dnia 22.03.2006.

Tematyka części z wymienionych prac stanowiła podstawę publikacji w czasopiśmie: *Materiały Budowlane* [33], *Przegląd Budowlany* [35, 43] oraz na *Konferencji Naukowo-Technicznej KS 2015* [45].

- c) uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych

***Rozwój potencjału dydaktycznego Politechniki Krakowskiej w zakresie nowoczesnego budownictwa*** - Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Społecznego (wykonawca). **UDA-POKL.04.0101-00-051/09-00**. Prowadzenie 5 dyplomów magisterskich w języku angielskim.

Wykonawca zadania - NR 04-0009-04/2008 “**The application of unbonded tendons to the construction of precast concrete cylindrical tanks for liquid and prestressed concrete pavements**”. Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, ul. Nowogrodzka 47a, 00-695 Warszawa.

Wykonawca zadania – „**Development of Service Quality For Air Transport Infrastructure**”; EUREKA project nr E!3366; 2004/07. Temat realizowany był przez kilka ośrodków naukowych – kierownikiem grantu był prof. dr hab. inż. W. Czeczula. Zadaniem zespołu kierowanego przez dr hab. inż. Andrzeja Serugę było opracowanie technologii wykonywania nawierzchni lotniskowych z betonu sprężonego.

- d) udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych i publikacje w wydawnictwach konferencyjnych

Udział w konferencjach międzynarodowych i publikacje w ich materiałach (oznaczenia publikacji wg spisu Załącznik 5):

- 10th International Conference on Concrete Pavements, Quebec, Canada 6-13 July 2012. [44].

- 11th International Conference of Postgraduate Students, 04 February 2009, Brno [4, 5].
- 6th International Conference Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures, Łódź, 9-11 June 2008 [6, 7].
- 9th International Conference of Postgraduate Students, 23 January 2008, Brno [8].
- Proceedings of the 8th Conference Shell Structures: Theory and Applications, Gdańsk-Jurata, 12-14 sierpnia 2005, [9].
- 5th International Conference Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures, Gliwice - Ustroń, 12-14 lipiec 2005, [10].

Udział i publikacje w wydawnictwach konferencji krajowych:

- Konferencja Zbiorniki 2015, [31, 32].
- II Konferencja Naukowo-Techniczna „Konstrukcje Sprężone”, Kraków, 16-17 kwiecień 2015, [45].
- I Konferencja Naukowo-Techniczna. „Konstrukcje Sprężone”, Kraków, 21-23 marzec 2012 [46, 47, 48, 49].
- XIV Konferencja Żelbetowe i Sprężone Zbiorniki na Materiały Sypkie i Ciecze Kominy Przemysłowe oraz Obiekty Hydrotechniczne, Karpacz 24 ÷ 26 kwiecień 2012 [43].
- X Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Szczyrk, listopad 2009 [11].
- XX Konferencja Naukowa „Metody komputerowe w projektowaniu i analizie konstrukcji hydrotechnicznych”. Korbielów, 3-6 marzec 2008. Czasopismo Techniczne Ś/2008 Środowisko. [1].
- IX Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Szczyrk, listopad 2008 [12].
- XIX Konferencja Naukowa „Metody komputerowe w projektowaniu i analizie konstrukcji hydrotechnicznych”. Korbielów, 5-8 marzec 2007. Czasopismo Techniczne z.1-Ś/2007 Środowisko, [3].
- XIII Konferencja Żelbetowe i Sprężone Zbiorniki na Materiały Sypkie i Ciecze. Szklarska Poręba, 26-29 wrzesień 2007, [14, 15, 16].
- VIII Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Szczyrk, 9-10 listopad 2007. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo z.112, [13].
- VII Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Wisła, 9-10 listopad 2006. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo z.109, [17].
- VI Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa. Wisła, 17-18 listopad 2005. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo z.104, [18].

e) udział w konsorcjach i sieciach badawczych

Brak

f) udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Brak

- g) członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

Członek Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa (PZiTb) Oddział Małopolski w Krakowie.

- h) opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich  
Brak

- i) staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich  
inne:

udział w 16th Inter-Institute Seminar for Young Researchers from the Technical Universities of Budapest, Cracow and Vienna, Wiedeń, May 17-20, 2007, prezentowałem pracę pt.: „*Modelling of tightness in average - massive tanks during hardening of concrete using FEM in Diana*”

- j) udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Prace w zespole konkursowym podczas Wydziałowej Sesji Studenckich Kół Naukowych, maj 2015.

- k) recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopiśmie międzynarodowych i krajowych

Inne:

Recenzja dwóch prac do „*Zagadnienia Aktualnie Poruszane Przez Młodych Naukowców 5*” IX edycja – Kraków 5.12.2015 i Poznań 12.12.2015. Wydawca: CREATIVETIME ul. Mehoffera 10, 31-322 Kraków. ISBN: 978-83-63058-57-9.

Recenzja jednej pracy na V Ogólnopolską Konferencję Budowlaną Studentów i Doktorantów EUROINŻYNIER „*Nowoczesne projektowanie i realizacja konstrukcji budowlanych*”, Kraków, 10-12 kwiecień 2015.

Recenzja pracy do „*Dokonania Młodych Naukowców*” 3/2014 Nr 4. Wydawca: CREATIVETIME ul. Mehoffera 10, 31-322 Kraków. ISBN: 2300-4436.

Recenzja dwóch prac na IV Ogólnopolską Konferencję Budowlaną Studentów i Doktorantów EUROINŻYNIER, Kraków, 11-12 kwiecień 2014.

Recenzja jednej prac na III Ogólnopolską Konferencję Budowlaną Studentów i Doktorantów EUROINŻYNIER, Kraków, 12-14 kwiecień 2013.

- l) inna działalność organizacyjna na rzecz nauki lub szkolnictwa wyższego

Uczestnictwo w przygotowaniu wniosków grantowych o zasięgu krajowym:

**NR 04-0009-04/2008** “The application of unbonded tendons to the construction of precast concrete cylindrical tanks for liquid and prestressed concrete pavements” - Wykonawca zadania

Prowadzenie zajęć projektowych z konstrukcji murowych na filiach Politechniki Krakowskiej w latach 2003-2004 w miejscowości Andrychów oraz Żywiec.

  
M. Zych  
dr inż.

Współdział w opracowaniu programu dwóch przedmiotów dla profilu dyplomowania I i II stopnia w rodzimym zakładzie, tj.:

- *Betonowe Konstrukcje Specjalne*, na którym prowadzę komplet zajęć projektowych,
- *Projektowanie i konstruowanie betonowych nawierzchni i płyt na gruncie*, na którym w latach 2011-2013 prowadziłem zajęcia projektowe.

m) odbyte studia, kursy i szkolenia (chronologicznie)

Szkolenie: **Zbrojenie żelbetowych elementów ściskanych prętami ze stali wysokiej wytrzymałości SAS 670**. ATM SP. z o. o. Kraków 2013.

Warsztaty: **Istotne zagadnienia modelowania numerycznego konstrukcji sprężonych**. Warsztaty odbyły się w ramach Konferencji Naukowo-Technicznej KS2012 Konstrukcje Sprężone, 21-23 marca 2012, Kraków.

**Szkolenie z metod komputerowych**, Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Informatycznych w Inżynierii Lądowej, Kraków, marzec-maj, 2009.

**Studium pedagogiczne dla asystentów**, Politechnika Krakowska, Kraków, 2002/2003.



Kraków, 23 sierpnia 2017 r.