

dr inż. Rafał Szydłowski
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych
Katedra Konstrukcji Sprężonych

Załącznik 2A

AUTOREFERAT

**Opis dorobku, ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięć naukowych
- w języku polskim**

Kraków, marzec 2016

Spis treści:

1. INFORMACJE OGÓLNE	5
1.1. Wykształcenie	5
1.2. Przebieg dotychczasowego zatrudnienia	5
1.3. Ogólna charakterystyka aktywności publikacyjnej w zakresie naukowym i inżynierskim	5
2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO 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.)	7
2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	7
2.2. Opis celu naukowego	7
2.3. Opis osiągnięcia naukowego	8
2.4. Znaczenie i wkład osiągnięcia naukowego w rozwój dziedziny naukowej	11
3. OPIS INNYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-WDROŻENIOWYCH	12
3.1. Płyty wag samochodowych jako przykład zarysowanych elementów sprężonych ciągnami bez przyczepności, pracujących pod obciążeniem cyklicznie zmiennym	12
3.1.1. Pomost wagi 60 tonowej	13
3.1.2. Płyta wagi 30 tonowej	15
3.2. Strunobetonowe płyty kanałowe	17
3.3. Kablobetonowy strop transferowy w budynku na warszawskiej Starówce	19
3.4. Zastosowanie po raz pierwszy w Polsce sprężenia w budynkach kościołów	21
3.5. Opracowanie systemu monitoringu stanów zagrożenia stropów kablobetonowych oraz wprowadzenie do ich monitorowania technologii pomiaru opartej na drgającej strunie	22
3.6. Zastosowanie nietypowego układu konstrukcyjnego w budynku, inspirowanego przekrojem mostowym	23
3.7. Opracowanie koncepcji półprefabrykowanego stropu na deskach strunobetonowych.....	24
4. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA, EDUKACYJNA, POPULARYZACJA NAUKI	26
4.1. Doświadczenie dydaktyczne	26
4.2. Promotorstwo prac dyplomowych	27
4.3. Działalność dydaktyczna poza programem studiów i popularyzacja nauki	27
4.4. Opieka dydaktyczna i naukowa nad studentami	28
4.5. Opieka naukowa nad doktorantami	29
5. UDZIAŁ W PROJEKTACH BADAWCZYCH	30
5.1. Praca w dużych projektach badawczych	30
5.2. Kierowanie projektami badawczymi dla przemysłu	31
5.3. Przygotowane wnioski grantowe	31
6. DZIAŁALNOŚĆ ZAWODOWA	31

1. INFORMACJE OGÓLNE

1.1. Wykształcenie

Jestem absolwentem Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej.

Dyplom magistra inżyniera specjalności *Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie* uzyskałem na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej w 2001 roku.

Pracę magisterską pt. **„Analiza obliczeniowa wzmocnienia silosu żelbetowego na cukier przez sprężenie w ujęciu: PN-89/B-03262 i PrPN-B-03262”** obroniłem z wyróżnieniem w czerwcu 2001 roku. Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Krzysztof Dyduch.

Pracę doktorską pt. **„Zastosowanie stalowych cięgien bez przyczepności przeciw powstawaniu rys w młodym betonie”** obroniłem z wyróżnieniem 15 lutego 2010 roku (potwierdzono uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Lądowej z dnia 17 lutego 2010 r., nr 7.3/SO/01/2010). Promotorem pracy doktorskiej był dr hab. inż. Andrzej Seruga prof. PK (obecnie profesor zwyczajny) a recenzentami prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński oraz prof. dr hab. inż. Krzysztof Dyduch.

1.2. Przebieg zatrudnienia i sprawowane funkcje

Od października 2001 jestem zatrudniony na Politechnice Krakowskiej w Instytucie Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, gdzie do 31 marca 2010 r. pracowałem na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego a od 1 kwietnia 2010 r. jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego w Katedrze Konstrukcji Sprężonych.

W okresie od 1 października 2013 do 30 września 2017 roku pełniłem funkcje kierownika Pracowni Konstrukcji Sprężonych.

1.3. Ogólna charakterystyka aktywności publikacyjnej w zakresie naukowym i inżynierskim

Mój dorobek publikacyjny obejmuje **58 oryginalnych, twórczych prac naukowych i inżynierskich**, opublikowanych łącznie jako **72 publikacje** polsko i anglojęzyczne, w tym:

- **monografię: *Stropy płytowe sprężone cięgnami bez przyczepności. Teoria, projektowanie, badania.* Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2019, str. 264,**
- 40 artykułów w czasopismach (w tym 36 po doktoracie),
- 17 oryginalnych referatów na konferencjach międzynarodowych (w tym 12 po doktoracie) opublikowanych w 7 czasopismach (uwzględniono powyżej), 7 jako rozdziały w monografii i 2 jako materiały konferencyjne,
- 27 oryginalnych referatów na konferencjach krajowych (w tym 20 po doktoracie); 13 z nich opublikowano w czasopismach (uwzględniono powyżej), 12 jako rozdziały w monografii a dwa jako materiały konferencyjne,
- jeden wykład zamawiany opublikowany jako rozdział w monografii (o objętości 71 stron).

Samodzielnie przygotowałem 9 publikacji a w 33 publikacjach współautorskich byłem wiodącym współautorem.

Wygłosiłem 23 referaty na konferencjach i seminariach krajowych oraz 11 na konferencjach międzynarodowych.

Sumaryczna liczba punktów wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r. wynosi **558**, w tym **480 po doktoracie**.

W okresie od 2010 do 2019 roku (po doktoracie) moja działalność naukowa i publikacyjna prowadzona była równolegle w następujących obszarach:

1) Kablobetonowe stropy płytowe

- monografia (poz. 65 w załączniku 4)
- 7 rozdziałów w monografiach (poz. 33, 42, 43, 56, 57, 58, 60)
- 5 oryginalnych artykułów w czasopismach (poz. 45, 48, 51, 54, 55)
- 4 referaty w materiałach konferencyjnych indeksowanych w bazach Scopus i WoS (poz. 67, 68, 71, 72)
- łącznie **222 punkty** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

2) Kablobetonowe płyty wag samochodowych

- 1 rozdział w monografii (poz. 35)
- 2 oryginalne artykuły w czasopismach (poz. 36, 50)
- łącznie **15 punktów** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

3) Kablobetonowe stropy transferowe

- 4 rozdziały w monografiach (poz. 34, 41, 56, 60)
- 2 artykuły w czasopismach (poz. 47, 63)
- łącznie **25 punktów** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

4) Żelbetowe i sprężone zbiorniki na ciecze i silosy

- 1 rozdział w monografii (poz. 59)
- 3 oryginalne artykuły w czasopismach (poz. 24, 25, 38)
- 1 referat w materiałach konferencyjnych indeksowanych w bazie Scopus (poz. 66)
- łącznie **33 punkty** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

5) Sprężone nawierzchnie dróg i lotnisk

- 3 rozdziały w monografiach (po. 22, 23, 26)
- łącznie **15 punktów** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

6) Awarie, diagnostyka, naprawy i wzmocnienia konstrukcji żelbetowych i sprężonych

- 2 rozdziały w monografiach (poz. 17 i 21)
- 8 oryginalnych artykułów w czasopismach (poz. 18, 19, 28, 29, 31, 40, 52, 53)
- łącznie **71 punktów** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

7) Badania i monitoring konstrukcji żelbetowych i sprężonych

- 2 rozdziały w monografiach (poz. 42 i 46)
- 1 oryginalny artykuł w czasopiśmie (poz. 30)
- łącznie **18 punktów** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

8) Nietypowe rozwiązania konstrukcyjne w budynkach

- 1 rozdział w monografii (poz. 60)
- 6 oryginalnych artykułów w czasopismach (poz. 27, 32, 44, 45, 48, 61)
- 1 referat w materiałach konferencyjnych indeksowanych w bazach Scopus i WoS (poz. 69)
- łącznie **71 punktów** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

9) Prace studialne obejmujące nowatorskie i prototypowe zastosowania sprężenia w konstrukcjach z betonu

- 1 rozdział w monografii (poz. 20)
- 3 oryginalne artykuły w czasopismach (poz. 37, 39, 62)
- 1 referat w materiałach konferencyjnych indeksowanych w bazach Scopus i WoS (poz. 70)

- łącznie **43 punkty** wg ujednoliconej punktacji MNiSW z 2015 r.

2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO 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.)

2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Przedstawianym osiągnięciem naukowym jest monografia „STROPY PŁYTOWE SPRĘŻONE CIĘGNIAMI BEZ PRZYZCZEPNOŚCI. TEORIA, PROJEKTOWANIE, BADANIA” opublikowana w 2019 roku przez Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, ISBN 978-83-65991-56-0. Objętość monografii wynosi 264 strony.

2.2. Opis celu naukowego

Kablobetonowe stropy płytowe zostały wprowadzone do budownictwa już w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia w USA, a później w innych krajach. W Polsce miały one utrudnioną drogę rozwoju. Pierwszy taki strop w budynku, sprężony płaskimi kablami z iniekcją, zrealizowano w 2002 roku. Pierwszy płaski strop sprężony cięgnami bez przyczepności wykonano dopiero w 2008 roku w budynku Platinum Towers w Warszawie. Rozwój tych stropów, jest ściśle związany z rozwojem sprężenia cięgnami bez przyczepności, jako efektywnego zbrojenia tego typu konstrukcji.

Przyczyn takiej sytuacji można upatrywać w kilku czynnikach, takich jak:

- brak w Polsce opracowanej technologii sprężania cięgnami bez przyczepności, które jest efektywną formą aktywnego zbrojenia cienkich płyt, szeroko wykorzystywaną w świecie do konstruowania kablobetonowych stropów płytowych,
- ograniczony dostęp do specjalistycznego oprogramowania, brak krajowej i ograniczony dostęp do zagranicznej literatury tematycznej,
- brak wiedzy i umiejętności projektantów, wykwalifikowanej kadry wykonawczej; sytuacja gospodarcza i polityczna przed 1989 rokiem nie sprzyjała w Polsce międzynarodowej wymianie doświadczeń, wiedzy i kapitału, co miało znaczący wpływ na rozwój nowoczesnych konstrukcji w naszym kraju, a przez to zakorzeniło się przyzwyczajenie do sprawdzonych przez wiele lat, tradycyjnych rozwiązań.

Od początku obecnego millennium, w krajowych czasopismach pojawiło się kilka publikacji, ukazujących między innymi zagraniczne wytyczne projektowania kablobetonowych stropów płytowych oraz, na przykładzie nielicznych krajowych realizacji, techniczne i ekonomiczne korzyści z ich stosowania. Celem tych prac było przełamanie bariery stosowania i popularyzacja kablobetonowych stropów w Polsce. Prace te choć wartościowe, nie przyczyniły się w dużym stopniu do wzrostu popularności tego typu stropów.

Kilka lat temu, jako naukowiec i aktywny projektant, postawiłem sobie za cel nadrobienie zaległości w tej dziedzinie w stosunku do krajów lepiej rozwiniętych gospodarczo. Niezbędne było w tym celu zebranie, doprecyzowanie i opracowanie kompleksowych wytycznych projektowania takich stropów, popartymi licznymi przykładami realizacji, badaniami oraz analizami obliczeniowymi ukazującymi możliwości konstruowania kablobetonowych stropów płytowych oraz ułatwiającymi projektowanie czy też podejmowanie decyzji zmierzających do ich popularyzacji.

2.3. Opis osiągnięcia naukowego

Przedstawiana monografia, o której mowa w punkcie 2.1, powstała częściowo na bazie moich 16 prac poświęconych tej tematyce, opublikowanych w krajowych i zagranicznych czasopismach oraz w materiałach konferencyjnych. Prócz zebrania i usystematyzowania dostępnych w literaturze zagranicznej wytycznych oraz przeglądu znaczących dla rozwoju zagadnienia realizacji i badań stropów kłobetonowych, zawiera też wiele treści, rezultatów badań i analiz niepublikowanych wcześniej, a będących moim oryginalnym osiągnięciem naukowo-badawczym w tej dziedzinie.

W pierwszym rozdziale (wstępie) zamieściłem krótką historię stosowania w świecie kłobetonowych stropów oraz systemu sprężania cięgnami bez przyczepności. Wstęp zawiera również opis konstrukcyjnych, ekonomicznych i ekologicznych zalet stosowania kłobetonowych stropów w budynkach, wraz z danymi ilościowymi i liczbowymi, oraz uzasadnienie potrzeby ich stosowania i rozwijania w Polsce.

W rozdziale drugim scharakteryzowałem materiały stosowane do konstruowania kłobetonowych stropów płytowych, tj. beton, stal i armaturę do sprężania. Podrozdział poświęcony betonowi zawiera opis ważnych dla pracy stropów sprężonych cech, takich jak skurcz, pękanie i moduł sprężystości oraz ich zależności od czynników materiałowych i technologicznych. Zawarłem w nim ponadto opracowane przeze mnie nomogramy oraz tabele liczbowe (opracowane w oparciu o normę PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2) końcowych odkształceń skurczowych, końcowego współczynnika pękania oraz rozwoju pękania w czasie dla najpopularniejszych klas betonu i kilku grubości płyt kłobetonowych. Podrozdział ten zawiera ponadto wyniki mojej analizy pokazujące udział ciężaru własnego w całkowitym obciążeniu stropu uzasadniające potrzebę redukcji ciężaru płyty oraz wyniki analizy porównawczej ugięć stropu kłobetonowego wykonanego z betonu zwykłego i lekkiego o podobnej wytrzymałości, która pokazuje zasadność stosowania do takich płyt lekkich betonów kruszywowych. W podrozdziale dotyczącym stali i armatury do sprężania scharakteryzowałem różnice w pracy cięgien z i bez przyczepności oraz wynikające z tego zagrożenia, cechy stali do sprężania, cechy cięgien bez przyczepności oraz dostępne systemy sprężania.

Rozdział trzeci zawiera dostępne w literaturze i wytycznych zagranicznych kryteria doboru geometrii stropu (układu podpór, typu stropu, dopuszczalnych rozpiętości oraz stosunku rozpiętości do grubości płyty). Tę część wzbogaciłem o moją analizę obliczeniową efektywności różnych typów przekrojów (pełny, uźebrowany, z wkładami odcciążającymi) w zastosowaniu do kłobetonowych stropów dużej rozpiętości. Przedstawione wyniki analizy pokazują, że w przeciwieństwie do dotychczas istniejącej opinii, iż najmniejszą grubość płyty można uzyskać stosując płytę o pełnym przekroju jako najlepszy akumulator naprężeń ściskających, efektywniejsze pod tym względem jest rozwiązanie z wewnętrznymi wkładami odcciążającymi. Dzieje się tak za sprawą znacznie większej redukcji ciężaru płyty w stosunku do redukcji sztywności na zginanie.

Specyficzną i trudną w analizie formą stropu kłobetonowego jest płyta płaska. Rozdział czwarty poświęciłem tej formie stropów, opisując zasadę ich pracy, rozkład momentów zginających oraz zasadę doboru sprężenia w stropach płaskich.

Rozdział piąty poświęcony jest doborowi sprężenia, tj. liczby kabli sprężających, profilu cięgna oraz rozmieszczenia cięgien na rzucie. Rozdział szósty zawiera informacje o modelowaniu stropów kłobetonowych. W części poświęconej modelowaniu działania sprężenia przedstawiłem trzy sposoby odwzorowania działania sprężenia w modelach MES, zaopatrzone w komentarze wynikające z mojej praktyki projektowej. Część druga zawiera

opis efektów II rzędu powstających w konstrukcjach statycznie niewyznaczalnych i sposób ich uwzględniania. W części trzeciej zawarłem opis dwóch metod analizy statycznej stropów (metodę ram zastępczych i MES) wraz ze sposobem interpretacji i wykorzystania otrzymanych wyników oraz moimi komentarzami wynikającymi z obliczeniowego porównania obu metod. Zawarte w rozdziale szóstym wywody, będące wynikiem moich własnych analiz obliczeniowych, mają duże znaczenie praktyczne przy braku dostępności do zaawansowanego oprogramowania modelującego sprężenie automatycznie przy pomocy wbudowanego ciągu i wykorzystaniu do tego celu powszechnie dostępnego oprogramowania do analizy statycznej konstrukcji prętowych i powłokowych.

W rozdziałach 7 i 8 zebrałem dostępne w normach i literaturze zagranicznej warunki weryfikacji stanów granicznych nośności i użytkowości, ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki cięgien bez przyczepności. Ma to szczególne znaczenie, gdyż brak zgodności odkształceń stali i betonu w przypadku wykorzystania cięgien bez przyczepności, co generuje trudności w oszacowaniu przyrostu naprężeń w cięgnach, jest zazwyczaj pomijany w ogólnych procedurach weryfikacji stanów granicznych nośności. W rozdziale poświęconym weryfikacji stanów granicznych nośności, zawarłem schemat blokowy weryfikacji nośności na zginanie, przystosowany przez mnie do konstrukcji sprężonych cięgnami bez przyczepności.

Rozdział dziewiąty prezentuje sposoby rozwiązywania ważnych dla prawidłowego wykonania i funkcjonowania stropów szczegółów konstrukcyjnych takich jak: rozmieszczenie cięgien nad słupami, dozbrojenie stref zakotwień, stabilizację cięgien ... itp. Część rozwiązań została zaczerpnięta z wytycznych zagranicznych lecz niektóre (stabilizacja cięgien, dozbrojenie otworów) zostały wymyślone i zweryfikowane przeze mnie w licznych projektach i realizacjach stropów.

W rozdziale dziesiątym opisałem trzy wybrane przeze mnie (w moim uznaniu najbardziej śmiało i w największym stopniu pokazujące możliwości płyt kablobetonowych w osiąganiu dużych rozpiętości) zagraniczne realizacje kablobetonowych stropów płytowych.

Rozdział jedenasty prezentuje dorobek światowy w zakresie badania zagadnień ważnych dla konstruowania tego typu stropów. Prowadzone od 1956 roku badania pogrupowałem w zależności od analizowanych zagadnień. Przedstawiłem po kilka najciekawszych badań obejmujących: badania płyt przy zginaniu, badania przebicia płyt, badania zachowania się płyt w warunkach pożaru, badania stropów w skali naturalnej, analizy teoretyczne stropów oraz badania płyt z betonu lekkiego. W przypadku większości grup podsumowałem praktyczne znaczenie otrzymanych wyników i ich wkład w stan wiedzy o poruszanych zagadnieniach.

Dwa ostatnie rozdziały (nie licząc podsumowania) są w całości moim dorobkiem badawczym i konstruktorskim w dziedzinie kablobetonowych stropów płytowych sprężonych cięgnami bez przyczepności. Rozdział dwunasty poświęcony jest badaniom zaprojektowanych przeze mnie stropów kablobetonowych, które w większości wybiegają poza obowiązujące przez lata za granicą standardy realizacji takich konstrukcji. W podpunkcie pierwszym zawarłem opis stosowanych technik i przetworników pomiarowych wraz z ich krótką charakterystyką. Dwa kolejne podpunkty (drugi i trzeci) opisują dwa przykłady budynków, w których prowadziłem (i prowadzę do tej pory) doraźne i długotrwałe badania stropów. W podpunkcie drugim zamieściłem badania płaskiego stropu wykonanego w budynku Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego. Był to pierwszy zaprojektowany przeze mnie strop kablobetonowy, na przykładzie którego zostało zweryfikowane w warunkach budowy szereg problemów konstrukcyjnych i technologicznych. W przypadku tego projektu, niezwykle było wykonanie sprężonego

stropu płaskiego o niemałych rozmiarach z niskiej jakości betonu towarowego. Przeprowadzone badania pokazały, iż możliwe jest projektowanie kablobetonowych płyt o takich rozmiarach (rozpiętość największego przęsła wynosi 10,0 m a grubość płyty 250 mm) z betonów wykonanych z kruszyw niskiej jakości. Do betonu zastosowano kruszywo żwirowe, przez co wartość modułu sprężystości betonu po 28 dniach wynosiła zaledwie 25,8 GPa a w chwili sprężania 23,1 GPa. Stosując naciąg jednostronny oraz siłomierz zainstalowany na zakotwieniu biernym ciągną o wielokrotnie zmiennej krzywiznie, wykazałem niski współczynnik tarcia używanych powszechnie cięgien sprężających, wynoszący poniżej 0,02 oraz możliwość stosowania naciągu jednostronnego (co upraszcza proces sprężania) nawet przy ciągnach o dużych krzywiznach, bez nadmiernych spadków sił w wyniku tarcia. Przeprowadzone badania pokazały również, że przy zbyt mocnym sprężeniu płyta może zwiększać swoje wygięcie w górę w wyniku reologii betonu.

Po podrozdziale trzecim przedstawiłem rezultaty czteroletnich badań trzech bardzo smukłych płyt stropowych zrealizowanych w budynku centrum Kulturalno-Artystycznego w Kozienicach. W budynku tym zaprojektowałem trzy kablobetonowe płyty, w tym jednokierunkową płytę stropową (mocno obciążoną ciężkimi ściankami działowymi) o rozpiętości 11,15 m, grubości 200 mm i stosunku rozpiętości do grubości 55,8 oraz dwukierunkową płytę stropodachu o rozpiętości $17,65 \times 19,6$ m, grubości 350 mm i stosunku rozpiętości do grubości 50,4. W przypadku wszystkich trzech płyt zostały przekroczone zalecane jako maksymalne wartości stosunku rozpiętości do grubości oraz rozpiętości (zdefiniowane jako nie więcej niż 45 i 13,6 m). Druga z wymienionych płyt jest prawdopodobnie największym zrealizowanym w świecie kablobetonowym przęsłem stropu o pełnym przekroju. Z uwagi na niespotykane rozpiętości i smukłości płyt, z wyjątkiem pierwszej wymienionej płyty gdzie pomiary prowadziłem przez 7 miesięcy, monitoruję ugięcia opisanych płyt już 4 lata od ich wykonania. Prezentowane w tym punkcie wyniki ugięć pokazują, iż możliwe jest projektowanie kablobetonowych płyt o rozpiętościach i smukłościach znacznie większych niż dotychczas uważano. Tak duże rozpiętości i smukłości płyt osiągnąłem dzięki zauważeniu i uwzględnieniu efektu przyrostu sił od sprężenia w wyniku ugięcia stropu i deformacji cięgien.

W podrozdziale tym zamieściłem również wyniki próbnego obciążenia największej z opisanych powyżej płyt, dwukierunkowej płyty nad salą kinową o rozpiętości $17,65 \times 19,6$ m. Decyzję o przeprowadzeniu takich badań podjąłem po umocnieniu się w przekonaniu, że jest to największe w świecie przęsło stropu tego typu. Badania zrealizowałem wykorzystując 9 basenów ogrodowych. W trakcie próby obciążenia monitorowałem ugięcia oraz przyrost naprężeń w splotach sprężających. Wykorzystując otrzymane wyniki pomiarów, wykazałem znaczący wpływ deformacji stropu oraz powstający w jej wyniku przyrost obciążenia od sprężenia na redukcję ugięć. Jest to efekt, który w moim przekonaniu tłumaczy możliwość konstruowania większych stropów niż były dotychczas wykonywane.

W podrozdziale 12.4 zamieściłem wyniki badań skurczu i pęcznienia betonu lekkiego rozpoczętych w celu jego zastosowania do płyt kablobetonowych. Przeprowadzone analizy obliczeniowe, zamieszczone w rozdziale drugim, oraz badania stropu wykonanego z betonu na słabym kruszywie żwirowym (zamieszczone w podrozdziale 12.2) pokazały, że przy odpowiednim kształtowaniu sprężenia niski moduł sprężystości nie wpływa niekorzystnie na ugięcia a zmniejszenie ciężaru płyty przez zastosowanie betonu lekkiego zmniejszy trwałe ugięcie płyty nawet pomimo niższego o 30% modułu sprężystości w stosunku do betonu zwykłego o podobnej wytrzymałości. Próby zastosowania w Polsce betonu lekkiego do konstrukcji kablobetonowych w mostach, podjęte wiele lat temu, skończyły się

niepowodzeniem, głównie z uwagi na słabe własności reologiczne betonu (wysoki skurcz i pełzanie). W świecie beton lekki stosowany jest czasami w konstrukcjach kablobetonowych, głównie w mostach czy belkach dużych rozpiętości pozwalając uzyskać mniejsze przekroje elementów. Nieznane są natomiast zastosowania lekkiego betonu kruszywowego do konstruowania płyt kablobetonowych dużych rozpiętości. Kilka lat temu, postawiłem sobie za cel, skonstruowanie w Polsce pierwszej w świecie kablobetonowej płyty w budynku wykonanej w całości z betonu lekkiego. Rozpoczęte przez mnie badania betonu lekkiego, z krajowym sztucznym kruszywem nowej generacji Certyd, są pierwszym etapem zmierzającym do osiągnięcia tego celu. W podrozdziale 12.4 przedstawiłem wyniki badania skurczu i pełzania, oraz pomiaru siły sprężającej, w okresie 420 dni. Uzyskałem bardzo obiecujące wyniki, tj. niski skurcz i pełzanie (znacznie niższe niż przewidywane normą dla uzyskanego betonu lekkiego oraz betonu zwykłego o podobnej klasie wytrzymałości). Spadki siły sprężającej w badanym okresie były nie większe niż 15%, co nie dyskryminuje zastosowania użytego betonu do konstrukcji kablobetonowych.

W ostatnim (nie licząc podsumowania) trzynastym rozdziale zamieściłem trzy przykłady własnych projektów kablobetonowych płyt z ciągami bez przyczepności, o nietypowych formach: w budynku Samorządowego Centrum Kultury w Busku-Zdroju, w Pawilonie Muzycznym w Muszynie oraz w kościele pw. św. Jacka w Krakowie. W przypadku każdej z nich podałem podstawowe założenia projektowe oraz uzasadnienie obliczeniowe. Pierwszy z prezentowanych stropów stanowi jednokierunkowa, wolnopodparta płyta o rozpiętości 21,26 m i grubości 550 mm. W celu redukcji ugięć w płycie tej zastosowałem wewnętrzne wkłady odciażające w postaci kul o średnicy 360 mm. Strop ten nie został jeszcze zrealizowany, lecz ze względu na duże wymiary będzie miał również charakter unikatowy. Tak dużą rozpiętość udało się uzyskać dzięki zastosowaniu wkładów odciażających redukujących ciężar płyty 22%, a sztywność przekroju o 11,7%. Pozytywny wpływ wkładów na ugięcie wykazałem w pracy prezentując wyniki krótko i długotrwałych ugięć płyty w wersji z i bez zastosowanych wkładów. O słuszności i poprawności projektu tak dużego stropu przekonały mnie pozytywne wyniki badań największego badanego stropu w budynku w Kozienicach, opisanego w podrozdziale 12.3.

Dwa pozostałe, opisane w ostatnim rozdziale stropy, w Pawilonie Muzycznym w Muszynie oraz w kościele pw. św. Jacka w Krakowie, nie mają wprowadzić tak dużych i unikatowych rozmiarów jak poprzednie opisywane, lecz nietypowe i rzadko spotykane są ich kształty.

2.4. Znaczenie i wkład osiągnięcia naukowego w rozwój dziedziny naukowej

Mojej kilkuletnie badania nad stropami kablobetonowymi sprężonymi ciągami bez przyczepności, oraz opracowana na podstawie uzyskanych wyników monografia, wnoszą następujące elementy w rozwój tej dziedziny nauki i inżynierii:

- zebranie, usystematyzowanie i kompleksowe przedstawienie, po raz pierwszy w języku polskim, wytycznych projektowania i weryfikacji kablobetonowych płyt sprężonych, ze szczególnym uwzględnieniem obecności ciągów bez przyczepności,
- opracowanie nomogramów skurczu i pełzania oraz porównawczych analiz obliczeniowych dotyczących, między innymi efektywności różnych typów przekrojów, wspomagających podejmowanie decyzji w projektowaniu stropów,
- wykazanie doświadczalne niskiego współczynnika tarcia stosowanych współcześnie ciągów bez przyczepności (poniżej 0,02), co umożliwia jednostronny naciąg ciągów nawet przy dużej krzywiznie, bez nadmiernych spadków siły w wyniku tarcia,

- wykazanie, iż możliwe jest konstruowanie stropów kablobetonowych o znaczących rozpiętościach i smukłościach (rozpiętość przeszła 10,0 m, grubość płyty 250 mm) z niskiej jakości kruszyw rzecznych bądź kopalnych (żwir, pospółki),
- wykazanie doświadczalne wzrostu działania sprężenia na płytę w wyniku jej ugięcia i jego pozytywnego wpływu na redukcję ugięć,
- wykazanie, obliczeniowe oraz doświadczalne na przykładach zrealizowanych i badanych stropów, iż możliwe jest konstruowanie z dobrym skutkiem kablobetonowych płyt o rozpiętościach i smukłościach znacznie większych niż dotychczas stosowano,
- opracowanie i doprowadzenie do wykonania największej w świecie (z dużym prawdopodobieństwem) kablobetonowej płyty o pełnym przekroju (o rozpiętości 17,65×19,6 m i grubości 350 mm),
- obliczeniowe wykazanie pozytywnych aspektów zastosowania lekkiego betonu kruszywowego do konstruowania kablobetonowych płyt dużej rozpiętości oraz doświadczalne wykazanie dobrych właściwości reologicznych (niski skurcz i pęcznienie) betonu z krajowym kruszywem nowej generacji Certyd, dające możliwość jego zastosowania w płytach kablobetonowych; pozytywne wyniki są przyczynkiem do podjęcia kolejnych długotrwałych badań elementów kablobetonowych tj. kablobetonowych belek (badania rozpoczęte) oraz płyt (badania planowane) (patrz punkt 4.5 autoreferatu).

3. OPIS INNYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-WDROŻENIOWYCH

3.1. Płyty wag samochodowych jako przykład zarysowanych elementów sprężonych ciągnami bez przyczepności, pracujących pod obciążeniem cyklicznie zmiennym

Problem projektowania elementów częściowo sprężonych był przedmiotem zainteresowania wielu badaczy. Od lat 60. Ubiegłego stulecia opublikowano w tym zakresie wiele prac i raportów z badań prowadzonych głównie w USA, a w mniejszym stopniu w Europie, np. [1-6]. W znacznie mniejszym stopniu analizowane było zachowanie elementów częściowo sprężonych pod obciążeniem cyklicznym [7, 8]. Działania w tym zakresie podejmowane były m. in. Przez polskich badaczy z Politechniki Krakowskiej [9]. Rzadko podejmowanym i niezbadanym zagadnieniem jest zachowanie się elementów sprężonych, a zwłaszcza zarysowanych, ciągnami bez przyczepności pod obciążeniem cyklicznym. Doświadczalne rozwiązanie problemu i określenie wpływu liczby cykli obciążeniowych na zachowanie się elementów (głównie przyrostu ugięć i szerokości rys) pozwoliło mi opracować cienkie, lekkie, trwałe i tanie w wykonaniu kablobetonowe płyty wag samochodowych.

Wagi samochodowe, służące do statycznego, legalizowanego ważenia pojazdów wraz z ładunkiem, wykorzystywane są w wielu sektorach gospodarki. Głównym elementem nośnym wagi jest pomost, którego zadaniem jest przeniesienia obciążenia od ważonego pojazdu na przetworniki pomiarowe. Od pomostów takich wymaga się równoczesnego spełnienia trzech warunków: powinny być lekkie, sztywne i trwałe. Pomosty takie zazwyczaj wykonywane są jako konstrukcje stalowe, stalowo-żelbetowe (belki stalowe z wypełnieniem płytą żelbetową) bądź żelbetowe. Pomosty stalowe są wprawdzie lekkie i sztywne, jednak są podatne na korozję i uszkodzenia mechaniczne przy nieprzewidzianych obciążeniach skupionych. Zapewnienie wysokiej trwałości pomostu stalowego jest kosztowne. Znacznie większą odporność na korozję, a przez to trwałość, mają pomosty żelbetowe lub stalowo-żelbetowe. Te są jednak znacznie cięższe, a w przypadku pomostów żelbetowych znacznie wyższe. Odmianą konstrukcyjną, która w najlepszym stopniu zapewnia spełnienie wszystkich

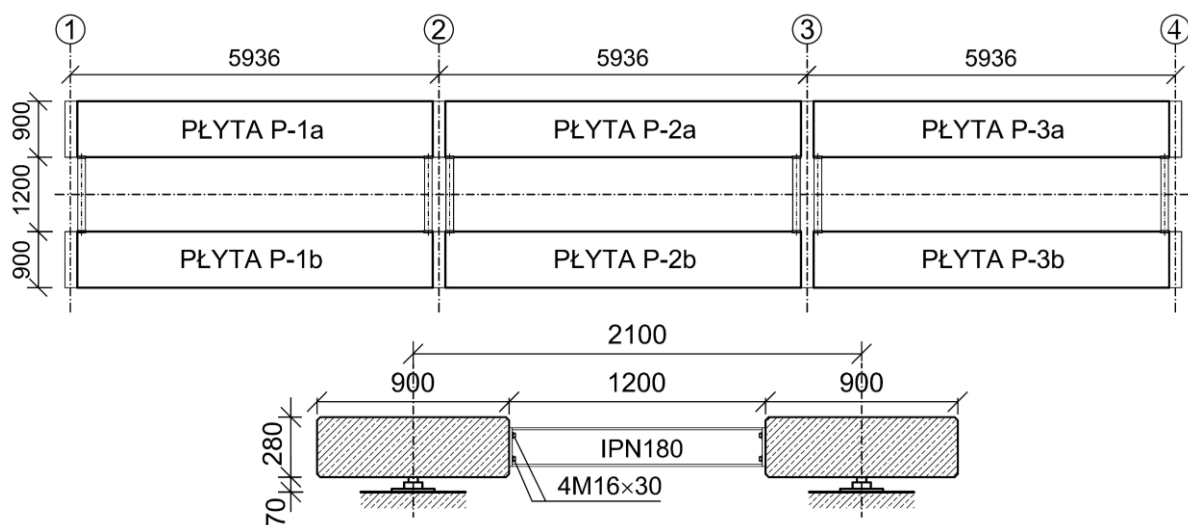
trzech wymagań są pomosty wykonane z betonu sprężonego. Takie rozwiązania są stosowane na całym świecie od wielu lat, głównie w wersji strunobetonowej, a rzadziej w wersji kablobetonowej. Tymczasem w Polsce, przez wiele lat (aż do 2012 roku) nie stosowano pomostów z betonu sprężonego. Wynikało to z braku krajowych rozwiązań i zbyt wysokich kosztów sprowadzania płyt zagranicznych.

3.1.1. Pomosty wagi 60 tonowej

W 2011 roku, po przeprowadzeniu przeze mnie wstępnych analiz obliczeniowych, wspólnie z lokalnym dostawcą wag, podjęliśmy decyzję o opracowaniu pierwszych krajowych pomostów wag samochodowych wykonanych z betonu sprężonego. Najważniejszymi założeniami, prócz zapewnienia wymaganej trwałości i nośności, były niska masa kompletnego pomostu (nie większa niż 24 tony), umożliwiająca transport całego pomostu jednym samochodem lub w jednym 20-stopowym kontenerze, oraz jak najniższy koszt wykonania płyt. Z tego względu, pomost o całkowitej długości wynoszącej 18,0 m postanowiliśmy wykonać z sześciu płyt o przekroju $0,90 \times 0,28$ m, zlokalizowanych tylko pod kołami pojazdu (rys. 1). Po wykonaniu pierwszych pomostów okazało się jednak, iż szerokość płyty $0,90$ m jest zbyt mała w praktycznym zastosowaniu i została zwiększona do $1,00$ m. Spowodowało to jednak wzrost ciężaru pomostu o blisko 6 ton, co naruszyło przyjęte początkowo założenia. Jako rozwiązanie problemu zaproponowałem zastosowanie czterech wewnętrznych kanałów wykonanych z rur PCV $110 \times 2,2$ mm (rys. 2). Pozwoliło to zredukować ciężar każdej płyty o blisko 1000 kg a ciężar całego pomostu o 6 ton. Powstały w ten sposób kanałowe płyty kablobetonowe, na wzór popularnych płyt strunobetonowych HC.

Z uwagi na potrzebę ograniczenia kosztów wykonania płyt, podjąłem decyzję o zaprojektowaniu ich jako częściowo sprężonych, z cięgnami bez przyczepności (z uwagi na uniknięcie kosztów iniekcji i ich perfekcyjne zabezpieczenie antykorozyjne), pracujących w stanie zarysowanym. Z tego względu, prócz 4 cięgien, w każdej płycie zastosowałem 12 prętów zwykłych o średnicy 16 mm (rys. 2). Płyty zostały zaprojektowane z założeniem zachowania szerokości rysy $0,20$ mm.

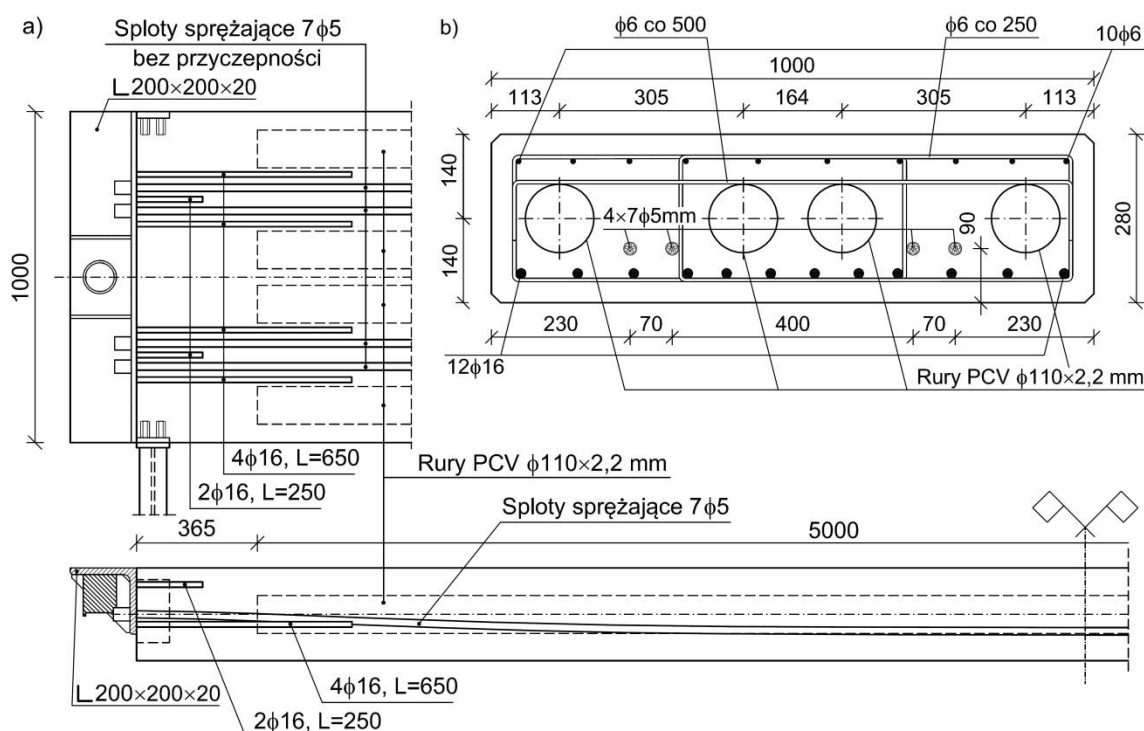
Zaprojektowane płyty pracują pod obciążeniem cyklicznie zmiennym, w stanie zarysowanym, przy kilkukrotnie większym obciążeniu użytkowym w stosunku do ciężaru płyty. Płyty zostały zaprojektowane na okres użytkowania 10 lat. Z uwagi na trudności w obliczeniowym przewidzeniu przyrostów szerokości rysy oraz ugięcia wraz z liczbą cykli



Rys. 1 rzut i przekrój pomostu wagi samochodowej 60-tonowej.

obliczeniowych (brak w tej dziedzinie wyników badań bądź jednoznacznych procedur obliczeniowych) zdecydowałem o wykonaniu badań dwóch płyt pod obciążeniem cyklicznym wynoszącym 1 000 000 cykli (rys. 3). Wartością zmienną w obu płytach był maksymalny poziom obciążenia, w pierwszej płycie było to 150 kN a w drugiej 180 kN. Wartość 180 kN uwzględnia przeciążenie płyty o 20% i na takie obciążenie płyty zostały zaprojektowane. Na rysunku 4 przedstawiłem wyniki rozwoju kluczowych dla pracy płyty wielkości wraz z liczbą cykli. Zarejestrowano niewielki wpływ liczby cykli zarówno na ugięcie jak i szerokość rysy, co potwierdziło prawidłowość założeń projektowych. Szczegółowe informacje konstrukcyjne oraz wyniki badań zamieściłem w publikacjach poz. 35, 36 wg załącznika 4. Kopia publikacji poz. 36 znajduje się w załączniku 5.

Ostateczna forma płyt i całego pomostu dojrzewała przez około 3 lata, była w tym okresie kilkakrotnie modyfikowana, uwzględniając problemy wykonawcze oraz wymagania

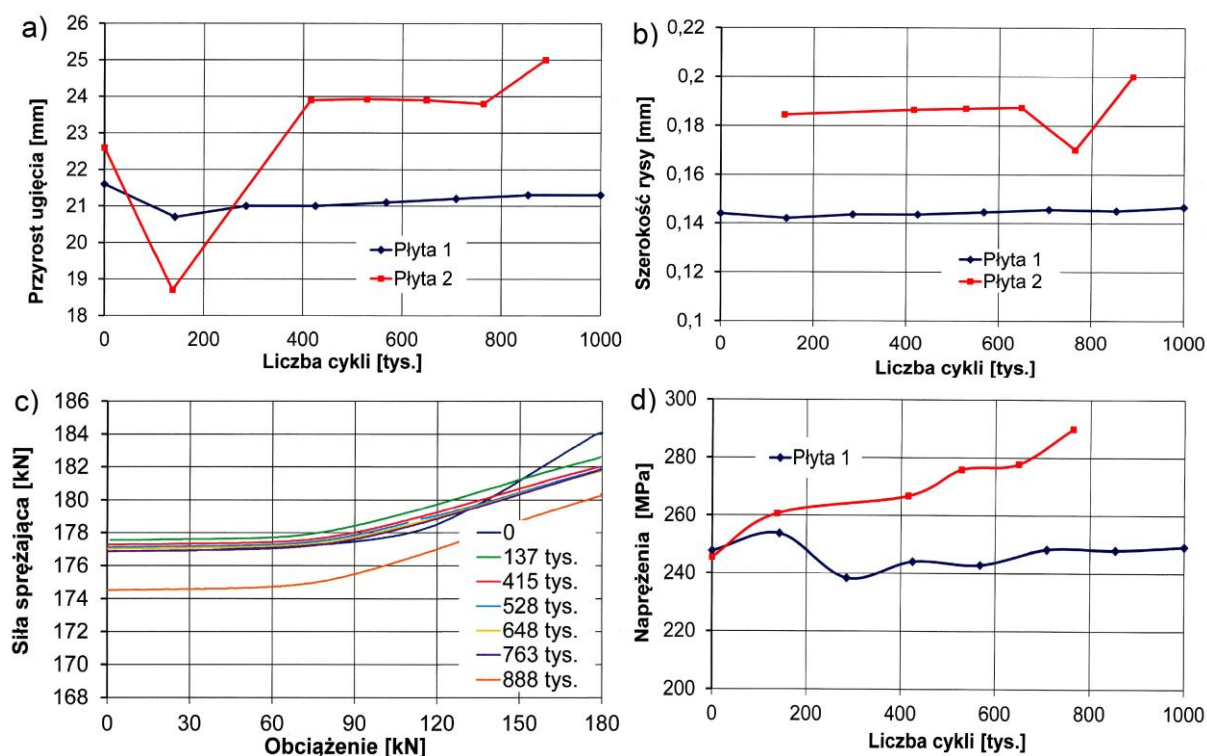


Rys. 2 Fragment rzutu i przekrój podłużny (a) oraz przekrój poprzeczny (b) ostatecznej wersji płyty.



Rys. 3 Widok płyty wagi 60-tonowej na stanowisku badawczym.

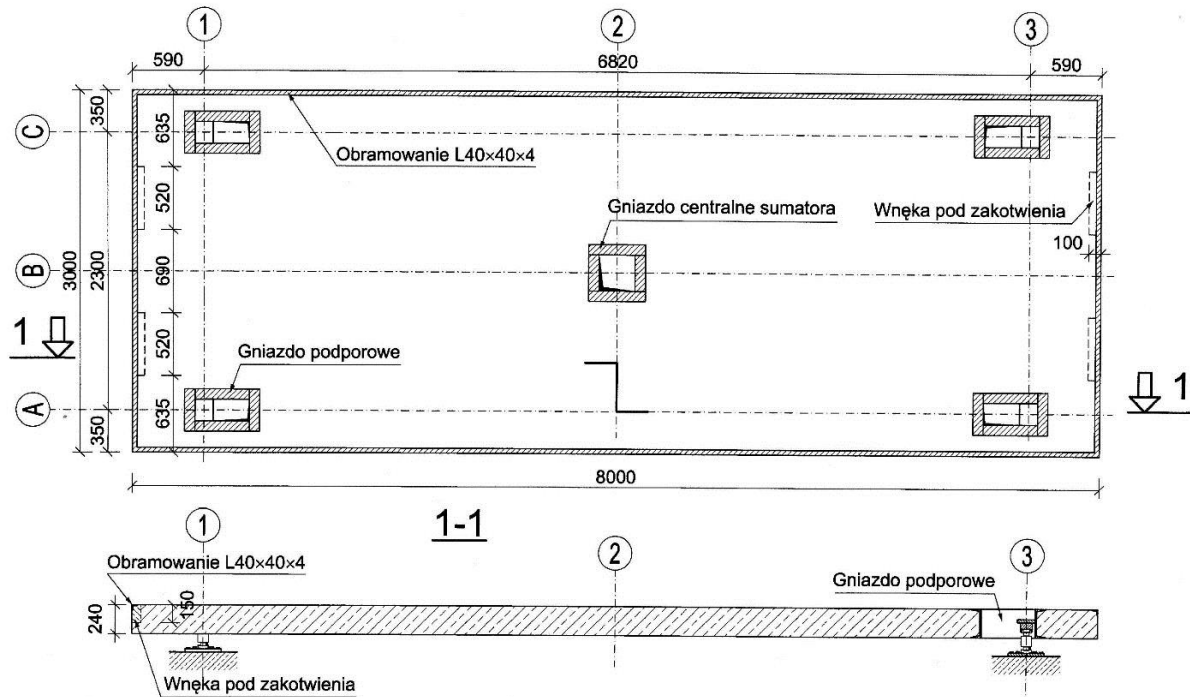
eksploatacyjne. Opracowane przez mnie pomosty są sprzedawane i użytkowane w Polsce od 2012 roku, w ostatecznej formie od 2015 roku. Jest to bardzo smukła płyta, gdyż stosunek rozpiętości do grubości wynosi ponad 21, co jest wysoką wartością dla elementu wolnopodpartego. Należy nadmienić, iż w Niemczech opatentowano kablobetonowe płyty wag o podobnej rozpiętości i nośności, lecz o grubości 450 mm, podczas gdy „moje” płyty mają 280 mm wysokości.



Rysunek 4. Przyrost ugięcia (a), zmiana szerokości rysy (b), zmiana średniej siły w kablu dla płyty 2 (c) oraz napężenie w stali zwykłej (d) pod obciążeniem kontrolnym.

3.1.2. Płyta wagi 30 tonowej

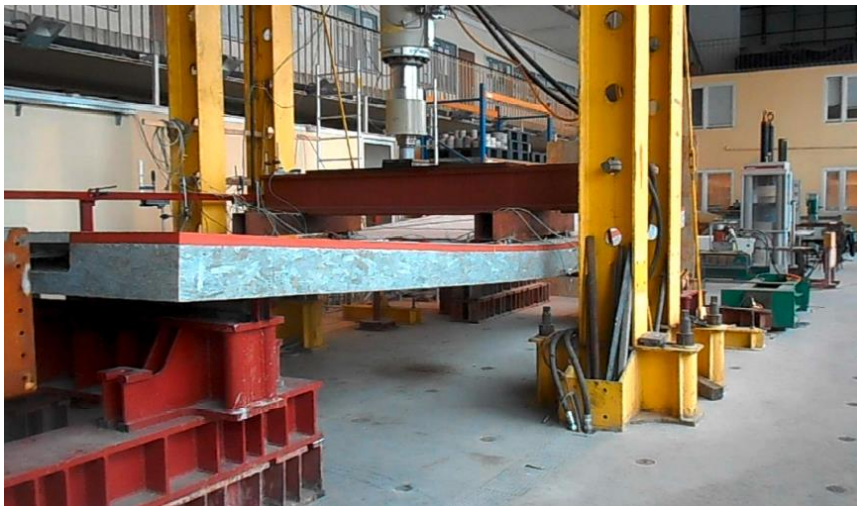
Drugą wersją opracowanego pomostu była płyta wagi 30 tonowej. Tej wersji narzucono nieco inne wymagania niż poprzedniej. Zaprojektowałem płytę pełną o rzucie $8,00 \times 3,00$ m i grubości 240 mm (rys. 5). Bazując na doświadczeniach, wykonanych badaniach oraz wynikach kilkuletniej eksploatacji poprzednich płyt, postanowiłem zastosować podobne rozwiązanie czyli konstrukcję częściowo sprężoną cięgnami bez przyczepności, pracującą w stanie zarysowanym. Płyta sprężona jest dziesięcioma cięgnami zlokalizowanymi w dwóch pasach (rys. 6) oraz zbrojona 22 prętami żebrowanymi $\phi 16$ mm. Po wykonaniu projektu, w Laboratorium Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych Politechniki Krakowskiej wykonano prototyp płyty (rys. 6) oraz poddano go badaniom pod obciążeniem cyklicznym



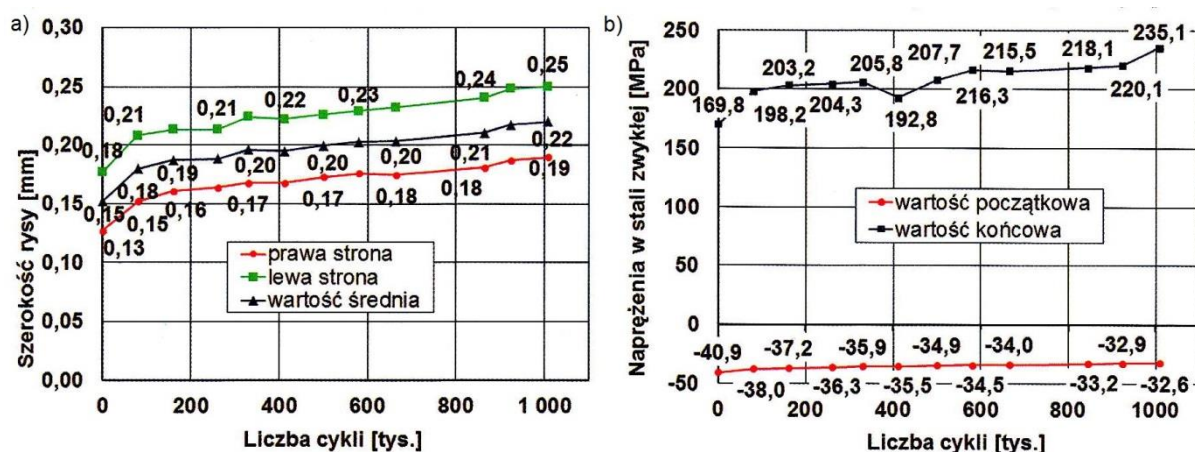
Rys. 5 Rzut i przekrój podłużny płyty wagi samochodowej 30 tonowej.



Rys. 6 Widok prototypu płyty wagi 30 tonowej przed i po zabetonowaniu.



Rys. 7 Płyta pod obciążeniem w chwili uzyskania maksymalnej nośności 525 kN przy ugięciu 168 mm.

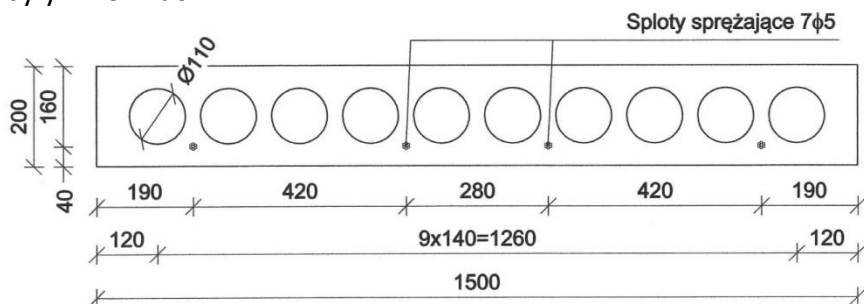


Rys. 8 Zmiana przyrostu ugięcia pod obciążeniem oraz szerokości rysy wraz z liczbą cykli obciążenia.

w liczbie 1 000 000 cykli, zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 7. W prototypie zastosowałem dwa dodatkowe ciągną(rys. 6), które nie zostały napięte. Były to ciągną awaryjne, na wypadek, gdyby zachowanie płyty nie potwierdziło się z obliczeniami. W badaniach uzyskałem zadowalające wartości ugięć i szerokości rys nawet po milionie cykli obciążenia (rys. 8). Przyrost ugięcia w wyniku przyłożenia obciążenia wynosił 28,5 mm czyli 1/239 rozpiętości a średnia szerokość rysy 0,22 mm. Otrzymane wyniki potwierdziły przydatność zaprojektowanego rozwiązania nawet przy 10 letnim okresie eksploatacji (milion cykli obciążeniowych). Więcej szczegółów dotyczących konstrukcji płyty i jej badań zamieściłem w pracy poz. 50 wg załącznika 4, jej kopia znajduje się w załączniku 5.

3.2. Strunobetonowe płyty kanałowe z lekkiego betonu kruszywowego jako wynik doświadczalnej weryfikacji cech reologicznych betonu

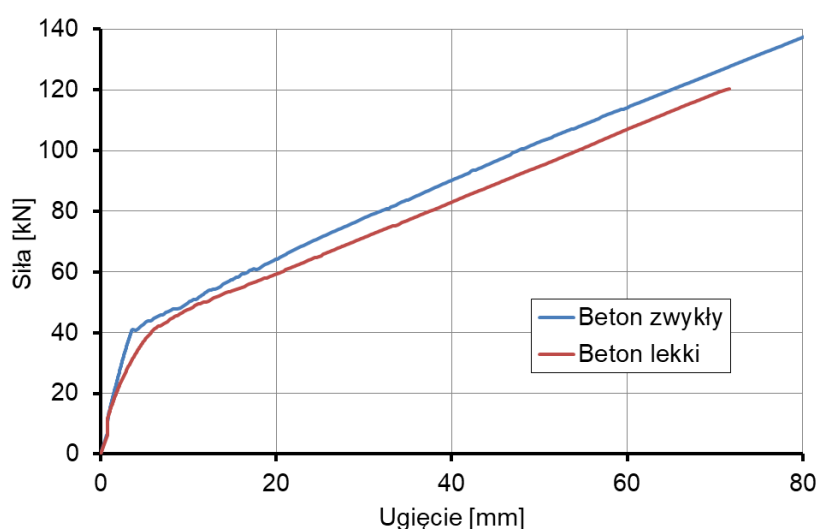
W 2017 roku, wspólnie z krajowym zakładem prefabrykacji, podjęliśmy próbę wykonania eksperymentalnych, strunobetonowych płyt kanałowych z lekkiego betonu kruszywowego. Próby konstruowania i badania sprężonych płyt z betonu lekkiego były już w świecie podejmowane [10, 11] lecz nigdy w wersji strunobetonowej, kanałowej. Pozytywne wyniki podjętych przeze mnie badań skurczu i pęcznienia betonu lekkiego (monografia, podrozdział 12.4) zachęciły do podjęcia takich prób. Zaprojektowałem w tym celu płytę, o szerokości 1,50 m, wysokości 200 mm i długości 6,00 m (rys. 9). Do uformowania kanałów wykorzystałem rury PCV 110×2,2 mm. Płyta sprężona została czterema splotami 15,5 mm, napiętymi na zbudowanym w tym celu torze naciągowym. Wykonano dwie identyczne płyty: jedną z betonu lekkiego o gęstości w stanie suchym 1820 kg/m³, drugą z betonu zwykłego o gęstości 2190 kg/m³. Uzyskano betony o klasach odpowiednio LC40/44 i C50/55. Płyty betonowane były w formach.



Rys. 9 Przekrój zaprojektowanej i wykonanej płyty z lekkiego betonu kruszywowego.



Rys. 10 Widok płyty na stanowisku badawczym przed obciążeniem i po zniszczeniu.



Rys. 11 Uzyskana w badaniach zależność siły i obciążenia dla płyt z betonu lekkiego i zwykłego.

Obydwie płyty zostały obciążone w próbie czteropunktowego obciążenia aż do zniszczenia (rys. 10). Na rysunku 11 pokazano uzyskaną zależność obciążenia i ugięcia dla obu płyt. W tabelicy 1 zestawiono natomiast zarejestrowane nośności płyt przy ugięciu wynoszącym $L/500$ i $L/250$. I tak, przy ugięciu $L/500$ zarejestrowane nośności wynosiły 49,9 i 52,7 kN odpowiednio dla betonu lekkiego i zwykłego a dla ugięcia $L/250$ nośności wynosiły odpowiednio 63,3 i 69,0 kN. Uzyskano wprowadzić mniejszą nośność płyty z betonu lekkiego w stosunku do podobnej z betonu zwykłego lecz interesujący jest stosunek nośności do ciężaru, wyznaczony jako iloraz nośności płyty przy ugięciu $L/500$ i ciężaru całej płyty. Wartość tego stosunku wynosi 2,23 dla betonu lekkiego i 1,96 dla betonu zwykłego. Korzystniej wypada więc beton lekki.

Prezentowane płyty nie zostały do tej pory wprowadzone do produkcji. Uzyskane pozytywne rezultaty z badań i zdobyte doświadczenia stały się jednak przyczynkiem do podjęcia starań uruchomienia linii do ich produkcji. Do rozwiązania pozostaje jeszcze wiele problemów technologicznych.

Tablica 1 Porównanie obciążenia oraz szerokości rys przy granicznych ugięciach dla płyt z betonu zwykłego i lekkiego.

	Ugięcie graniczne	Siła [kN]	Obciążenie [kN/m ²]	Szerokość rysy [mm]
Beton zwykły	L/250	69,0	7,9	0,20
	L/500	52,7	6,1	0,09
Beton lekki	L/250	63,3	7,3	0,25
	L/500	49,9	5,7	0,12

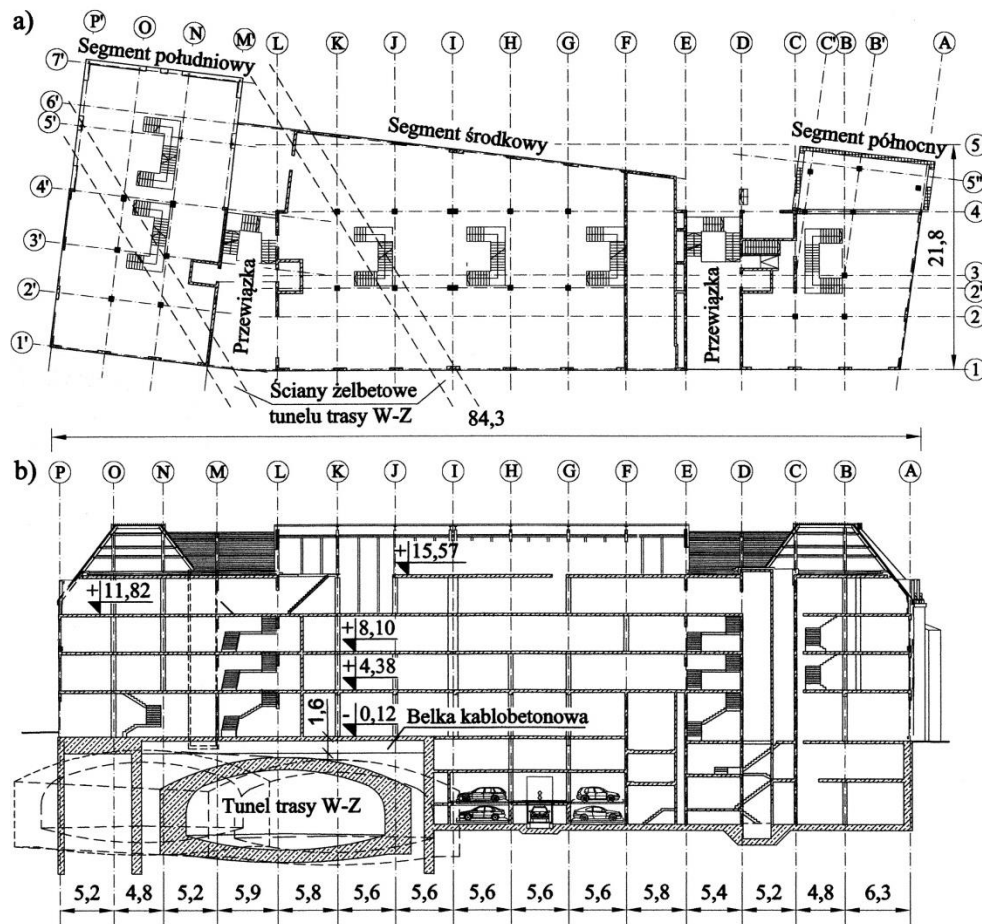
3.3. Kablobetonowy strop transferowy w budynku na warszawskiej Starówce

Jednym z większych moich osiągnięć w dziedzinie inżynierii lądowej jest projekt kablobetonowego stropu transferowego w budynku przy skrzyżowaniu ulic Miodowej i Senatorskiej w Warszawie (rys. 12). Pod końcowym fragmentem budynku przebiega tunel trasy W-Z (rys. 13), wobec czego, konieczne było skonstruowanie dużej rozpiętości stropu transferowego nad tunelem, o wysokości nieprzekraczającej 1,60 m, zdolnego przenieść obciążenie od 5 kondygnacji. Zostałem zaproszony do rozwiązania problemu, przy narzuconej przez projektantów budynku geometrii stropu.

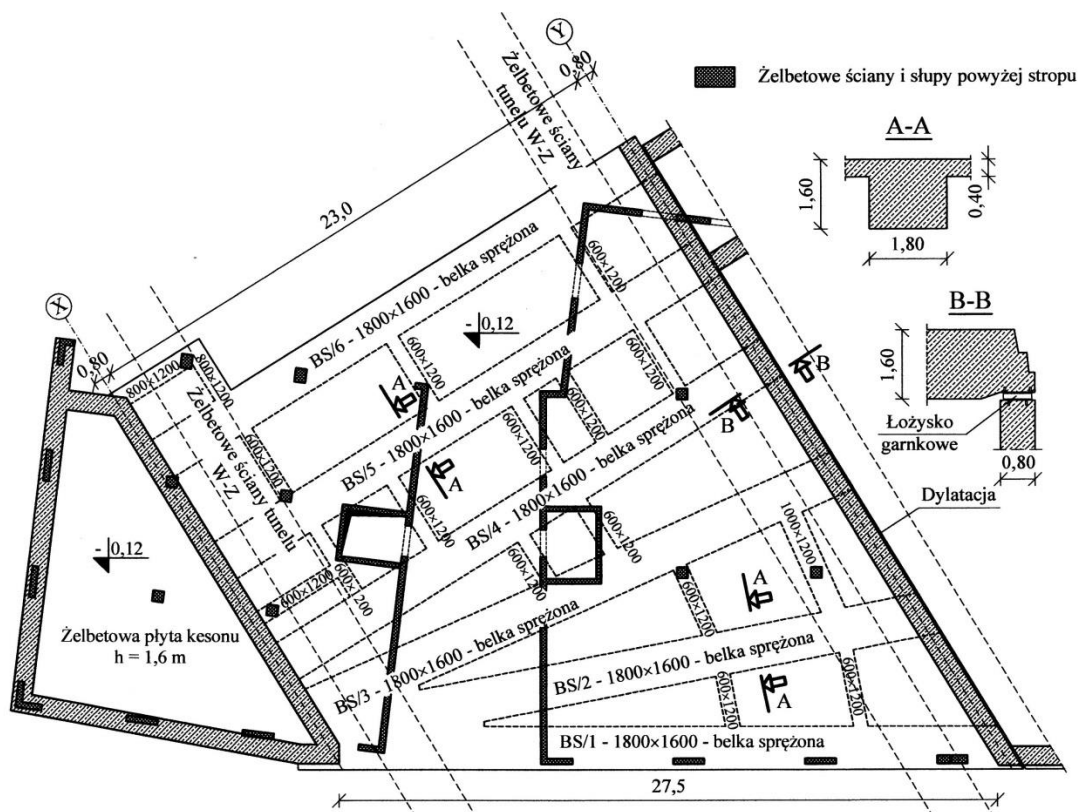
Zaproponowano 6 kablobetonowych belek o przekroju $1,8 \times 1,6$ m połączonych płytą grubości 0,40 m (rys. 14). Trzy z belek biegną równolegle do siebie a trzy zbiegają się we wspólnym węźle. Na strop projektanci budynku narzucili bardzo rygorystyczne warunki dotyczące ugięć. Amplituda ugięć stropu, uwzględniająca reologiczny przyrost ugięć, nie mogła przekraczać 30 mm. Przy rozpiętości najdłuższej belki wynoszącej w osiach podparcia 28,5 m, jest to 1/950 rozpiętości. W celu dotrzymania postawionych warunków zastosowałem kilka niespotykanych i kontrowersyjnych rozwiązań, jak czteroetapowe wprowadzanie sprężenia czy naciąg kabli w belkach zabetonowanych bez płyty w trakcie betonowania płyty (pod ciężarem mokrego betonu). Dzięki zastosowaniu takich zabiegów udało się skonstruować strop o stosunku rozpiętości do wysokości belki wynoszącym aż 17,8 i obciążony 5 kondygnacjami (trzema pełnymi i dwoma ukrytymi w poddaszu). Powodzenie realizacji zawdzięczam odpowiedniemu (etapowemu) modelowaniu zagadnień reologicznych betonu w programie do sprężystej analizy konstrukcji, poprzez odpowiednią modyfikację modułu sprężystości betonu. Szczegóły konstrukcyjne i technologiczne omówionego stropu publikowałem w pracach poz. 34, 41, 47, 56, 60, 63 wg załącznika 4. Kopia pracy 41 znajduje się w załączniku 5.



Rys. 12 Widok budynku przy skrzyżowaniu ulic Miodowej i Senatorskiej w Warszawie.



Rys. 13 Rzut i przekrój podłużny budynku.

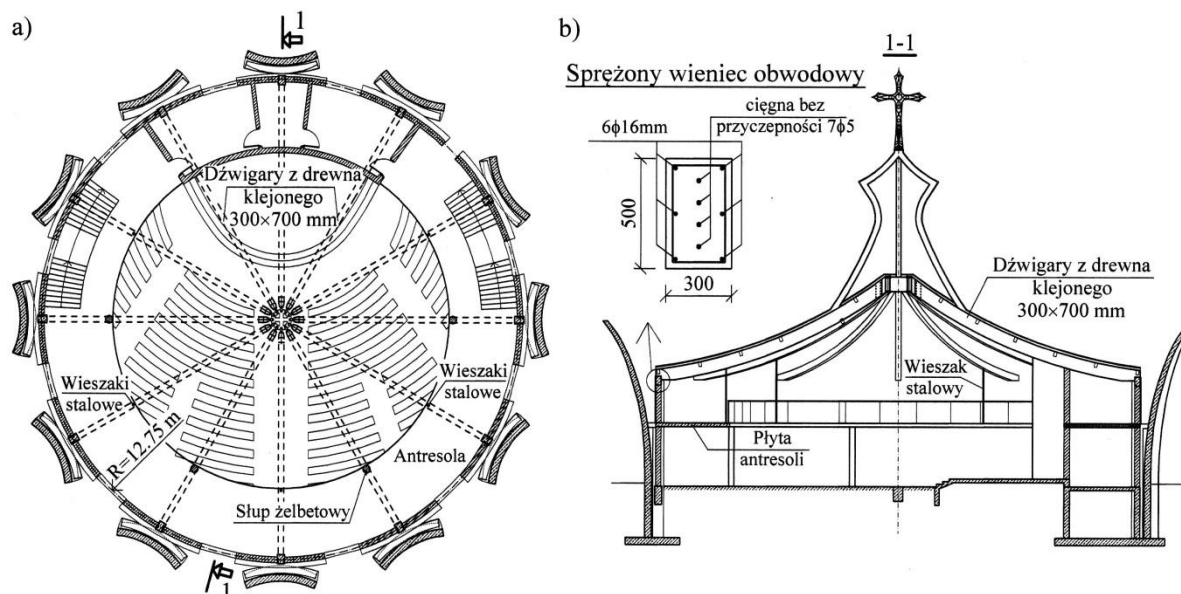


Rys. 14 Plan konstrukcyjny stropu.

3.4. Zastosowanie po raz pierwszy w Polsce sprężenia przy wznoszeniu kościołów

Konstrukcje z betonu sprężonego, z niewielkim opóźnieniem w stosunku do innych krajów, rozwijano w Polsce już od początku lat pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Od tego okresu rozwijano i szeroko wykonywano dźwigary dachowe dużych rozpiętości, prefabrykowane elementy w budynkach, obiekty mostowe i zbiorniki na cieczę. Późno zaczęto stosować kablobeton w budynkach. Pierwszy strop kablobetonowy w budynku wykonano dopiero w 2002 roku. Stosunkowo niedawno, w 2017 roku, wprowadziłem natomiast po raz pierwszy w Polsce sprężenie do wznoszenia kościołów. W pierwszym zrealizowanym projekcie kościoła pw. św. Piotra i Pawła w Bodzanowie zastosowałem 4 ciąga bez przyczepności do sprężenia obwodowego wieńca dachowego o promieniu 13,10 m (rys. 15 i 16). Zastosowanie takiego rozwiązania pozwoliło skonstruować kopulasty dach o smukłej konstrukcji, bez dodatkowych ściągów stalowych. Sprężenie pozwoliło wykonać ukryty w ścianie wieniec o niewielkim przekroju, co poprawiło efekty wizualne.

Drugim zastosowaniem betonu sprężonego jest płyta antresoli dla chóru, w budowanym właśnie kościele św. Jacka przy ul. Radzikowskiego w Krakowie (rys. 17). We wnętrzu kościoła architekci przewidzieli pierścieniową płytę antresoli dla chóru, o bardzo smukłej konstrukcji, wspartą na słupach z rur stalowych rozchodzących się na kształt konaru drzewa

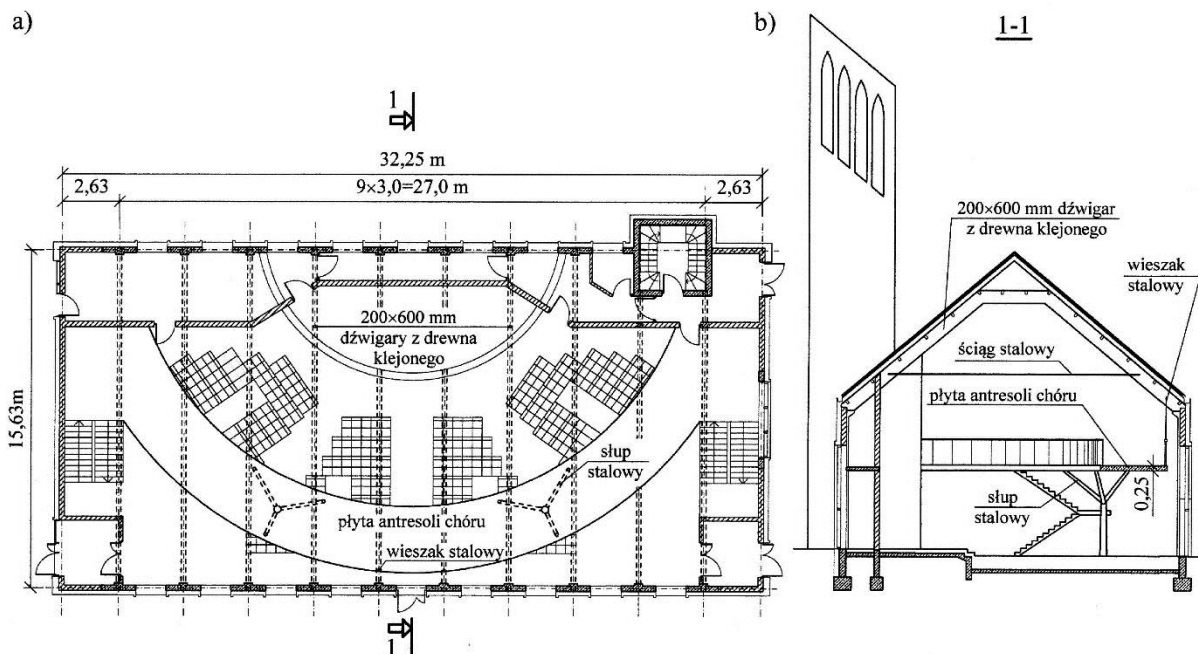


Rys. 15 Rzut i przekrój konstrukcyjny budynku kościoła w Bodzanowie.

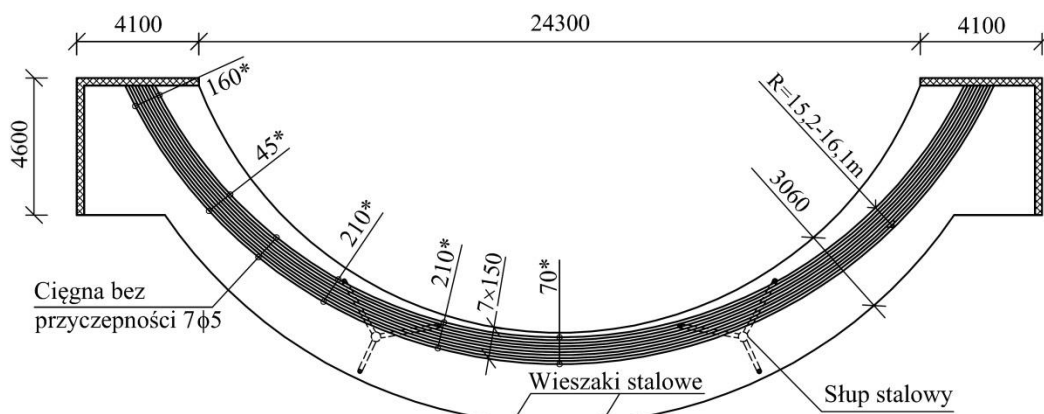


Rys. 16 Widok wieńca sprężonego i wnęki kotwiącej.

i odchodzących od niego gałęzi. Duża rozpiętość płyty, wynosząca w osiach słupów 12,35 m, przy grubości 250 mm została osiągnięta dzięki zastosowaniu 10 cięgien bez przyczepności, rozmieszczonych w układzie pokazanym na rysunku 18. Szczegóły zastosowanych rozwiązań opublikowałem w pracach poz. 45, 48, 56, 60, 69 wg załącznika 4. Kopia pracy 69 znajduje się w załączniku 5.



Rys. 17 Rzut (a) oraz przekrój (b) kościoła pw. św. Jacka w Krakowie.



* odległość środka ciężkości cięgna sprężającego od spodu płyty

Rys. 18 Rzut płyty antresoli wraz ze sprężeniem.

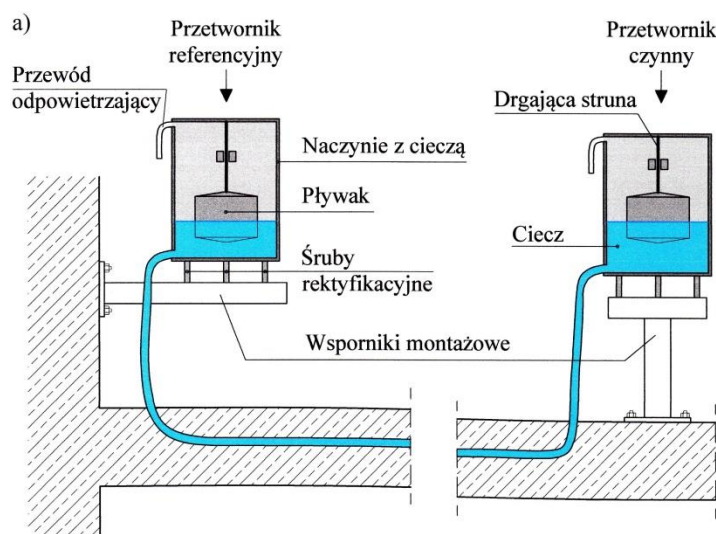
3.5. Opracowanie systemu monitoringu stanów zagrożenia stropów kablobetonowych oraz wprowadzenie technologii pomiaru opartej na drgającej strunie do ich monitorowania

Konstruowanie stropów o rozpiętościach i smukłościach wykraczających poza granice podawane w zaleceniach jako maksymalne, i o rozmiarach niewykonywanych dotąd, wymaga dogłębnego poznania pracy płyt. W tym celu opracowałem i zastosowałem system monitoringu kluczowych dla pracy płyt wielkości, tj. ugięcia, odkształceń betonu i sił sprężających. Zdefiniowałem dopuszczalne poziomy naprężenia rozciągających w punktach środkowych przęseł (tablica 2), ich znaczenie w projektowaniu stropów kablobetonowych oraz sposoby ich monitorowania.

Do monitoringu stropów zastosowałem technologię pomiarów opartą na drgającej strunie. Jest ona wykorzystywana od kilkudziesięciu lat w świecie a w niewielkim zakresie również w Polsce, głównie w mostownictwie i geotechnice. Po raz pierwszy wykorzystałem ją do badania stropów kablobetonowych. System pomiaru ugięć, zbudowany z naczyń połączonych (rys. 19), został sprowadzony przeze mnie i po raz pierwszy wykorzystany przy badaniach stropu w budynku Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego w Krakowie. Zastosowanie monitoringu pozwoliło mi na doprowadzenie do wykonania największej w świecie płyty kablobetonowej o pełnym przekroju oraz innych płyt o dużej smukłości w budynku Centrum Kulturalno-Artystycznego w Kozienicach (monografia – p. 12.3) oraz jednokierunkowej płyty wolnopodpartej o rozpiętości 21,3 m w budynku Samorządowego Centrum Kultury w Busku-Zdroju (monografia – p.13.1). Szczegóły i rezultaty stosowania monitoringu zamieściłem w pracach poz. 30, 42 i 46 w załączniku 4 oraz w rozdziale 12 monografii. Kopie prac poz. 30 i 42 znajdują się w załączniku 5.

Tablica 2 Poziomy naprężen i ich wartości graniczne zdefiniowane w płytach kablobetonowych.

Poziomy naprężen	Naprężenia graniczne
I	$w_k \leq 0,4$ or $0,3$ mm
II	$\sigma \geq -f_{ctm}$
III	$\sigma \geq 0$



Rys. 19 System pomiaru ugięć oparty na naczyniach połączonych i drgającej strunie.

3.6. Zastosowanie nietypowego układu konstrukcyjnego w budynku, inspirowanego przekrojem mostowym

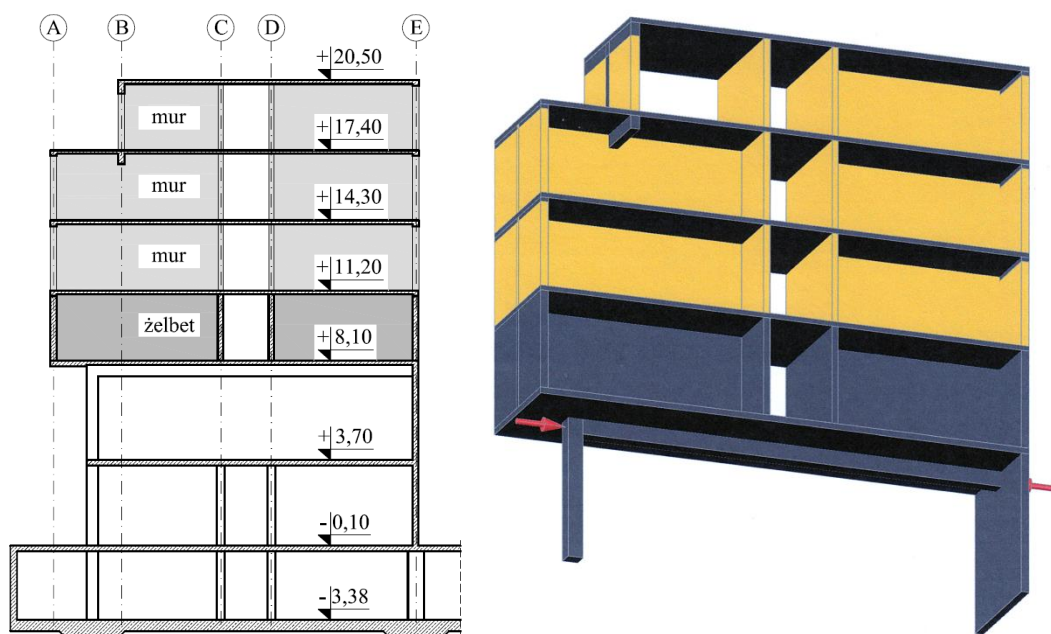
Od projektowanych obecnie budynków hotelowych, budynków użyteczności publicznej, a czasami również budynków mieszkalnych, wymaga się ich wielofunkcyjności. Wymaganie to stwarza natomiast konieczność odmiennych układów konstrukcyjnych na różnych kondygnacjach. Przykładowo, typowym rozwiązaniem funkcjonalnym jest lokalizacja dużych, otwartych przestrzeni w dolnych kondygnacjach, wymuszonych lokalizacją sal konferencyjnych, restauracji, sal wystawowych czy też recepcyjno-reprezentacyjnych przestrzeni hotelowych. Natomiast w wyższych kondygnacjach ich funkcja mieszkalna,

a przez to gęsty układ ścian wewnętrznych, nie wymaga stosowania kosztownych stropów dużych rozpiętości.

Najprostszym i najtańszym sposobem uzyskania dużych rozpiętości, a przez to wolnych od podpór powierzchni niższych kondygnacji, byłoby wykonywanie belek żelbetonowych bądź sprężonych niosących górne kondygnacje. Przy rozpiętościach takich belek rzędu kilkunastu metrów i obciążeniu kilkoma kondygnacjami niezbędna wysokość belki, wykonanej nawet z betonu sprężonego, znacznie przekracza akceptowalne rozmiary ograniczone dopuszczalną wysokością stropu.

Częstym rozwiązaniem jest stosowanie sprężonych stropów dużej rozpiętości na wszystkich kondygnacjach bądź w wersji strunobetonowej (najczęściej z płyt kanałowych) bądź w wersji kablobetonowej. Każdy ze stropów przenosi wówczas niezależnie obciążenia zlokalizowanej na nim kondygnacji. Rozwiązanie takie choć proste i skuteczne, znacząco podnosi koszty wykonania konstrukcji budynku i jest niechętnie widziane przez inwestorów.

W jednym z zaprojektowanych budynków hotelowych zastosowałem nieco inne i niecodzienne rozwiązanie powyższego problemu. Z dwóch stropów oraz łączących je ścian utworzyłem przekrój dwuteowy, a z kilku takich belek rozmieszczonych co 4,2 m przekrój skrzynkowy, na wzór zamkniętych przekrojów mostowych. Ze względu na obecność dużego otworu w środku rozpiętości belki, powstałego w wyniku lokalizacji korytarza hotelowego, w dolnym stropie zastosowałem kablobetonowe ściągę. Powstało w ten sposób przekrycie o rozpiętości 13,5 i wysokości konstrukcyjnej dolnego stropu tylko 700 mm, co przy takich obciążeniach nie było możliwe przy tradycyjnym, niezależnym potraktowaniu stropów. Szczegóły konstrukcyjne wraz z wynikami analiz obliczeniowych opublikowałem w pracach poz. 20, 27 i 44. Kopia pracy poz. 27 znajduje się w załączniku 5.



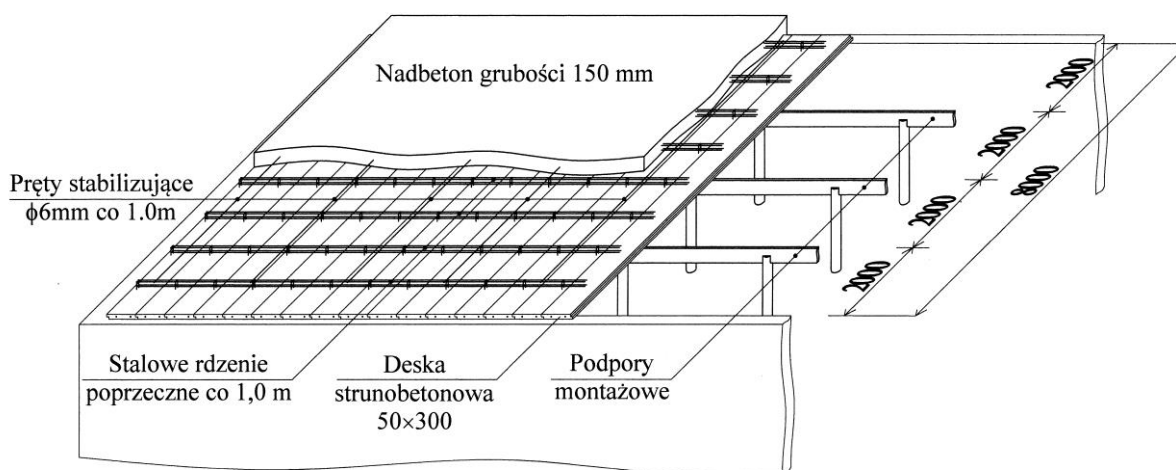
Rys. 20 Przekrój i schemat zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego w budynku hotelowym.

3.7.Opracowanie koncepcji półprefabrykowanego stropu na deskach strunobetonowych

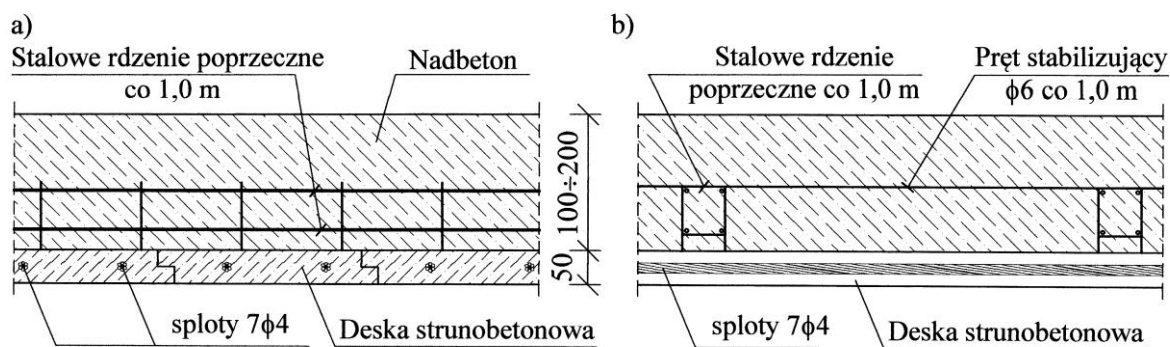
Na rynku polskim dostępnych jest kilka prefabrykowanych bądź półprefabrykowanych systemów stropowych opartych na elementach strunobetonowych. Pierwszą grupę stanowią stropy gęstożebrowe o belkach rozstawionych co maksimum 60 cm z wypełniającymi pustakami z betonu na kruszywach lekkich, ceramicznych bądź nawet z odpadów

drewnianych. Druga grupa to systemy składające się z elementów wielkowymiarowych (płyty kanałowe czy płyty TT). Każdy z tych systemów posiada swoje wady i zalety. Stropy gęstożebrowe wprawdzie nie wymagają szczelnych szalunków czy angażowania ciężkiego sprzętu, są jednak czasochłonne w wykonaniu, mało sztywne dla dużych rozpiętości, zajmują dość znaczącą wysokość oraz ze względu na swoją niską masę przenoszą hałas. Stropy z elementów wielkowymiarowych chociaż są szybkie w montażu, nie wymagają dużych ilości betonu na mokro, są jednak dość kosztowne w transporcie i montażu. Dwa lata temu podjąłem próbę opracowania nowego typu stropu złożonego z betonowych deskowań w postaci sprężonych desek strunobetonowych oraz warstwy betonu wylewanego na mokro. Proponowane rozwiązanie w niektórych rozwiązaniach może okazać się efektywniejsze w porównaniu z istniejącymi systemami. Nie będzie wymagało szczelnych deskowań, strop stanowić będzie betonowa płyta o pełnym przekroju (pożądana ze względów akustycznych). Ponieważ transportowana będzie z zakładu prefabrykacji na budowę jedynie cienka warstwa dolna stropu, pozwoli to znacząco obniżyć koszt transportu metra kwadratowego stropu. Niska masa elementów składowych nie będzie wymagała angażowania ciężkich dźwigów, co ma duże znaczenie w przypadku niewielkich budów.

Wykorzystanie desek strunobetonowych w budownictwie jako dolnego zbrojenia w elementach zginanych zostało zaproponowane przez W. Grzegorzewskiego w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia [12]. Po okresie prób laboratoryjnych i eksperymentów w skali naturalnej przeprowadzono szersze badania oraz zrealizowano wiele obiektów, np. około 20 mostów drogowych o rozpiętości do 10 m oraz sprężone zbiorniki na ciecze. Ze względu jednak na trudności w produkcji desek i brak ich standaryzacji, rozwój takich konstrukcji został w tamtych czasach zaniechany. Obecnie wzmożony okres zastosowania



Rys. 21 Konfiguracja analizowanego stropu.



Rys. 22 Przekrój poprzeczny proponowanego stropu: prostopadły do desek (a), równoległy do desek (b).

betonu sprężonego w stropach może być przyczynkiem podjęcia prób reaktywacji desek strunobetonowych.

Jako reaktywację strunobetonowych desek zaproponowałem rozwiązanie stropu polegające na szczelnym ułożeniu desek jako deskowanie oraz warstwy nadbetonu wylewanego na budowie (rys. 21 i 22). Przeprowadzone szczegółowe symulacje obliczeniowe uwzględniające wymaganą odporność ogniową wykazały, że możliwe jest uzyskanie konfiguracji o deskach grubości 50 mm, całkowitej grubości stropu 200 mm i rozpiętości stropu 8,0 m. Takie rozwiązanie nie wymaga stosowania pełnych szalunków, jedynie podparć liniowych, i pozwala transportować standardowym samochodem aż 192 m² prefabrykatów. Szczegóły konstrukcyjne zaproponowanego rozwiązania wraz z uzasadnieniem obliczeniowym opublikowałem w pracach poz. 62 i 70 wg załącznika 4. Kopia pracy poz. 70 znajduje się w załączniku 5.

4. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA, EDUKACYJNA, POPULARYZACJA NAUKI

4.1. Doświadczenie dydaktyczne

W okresie mojego zatrudnienia na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej od 2001 roku moja działalność dydaktyczna obejmowała prowadzenie zajęć z następujących przedmiotów:

- *Konstrukcje betonowe* (zajęcia projektowe)
- *Konstrukcje sprężone i prefabrykowane I* (I stopień – zajęcia projektowe i laboratoryjne)
- *Konstrukcje sprężone i prefabrykowane II* (II stopień – wykłady i zajęcia projektowe)
- *Konstrukcje betonowe specjalne, sprężone i prefabrykowane* (II stopień – wykłady i zajęcia projektowe)
- *Seminaria dyplomowe* (II stopień)

Od roku 2013, kiedy to Wydział Inżynierii Lądowej uruchomił studia w języku angielskim, na studiach magisterskich prowadziłem (i prowadzę) następujące przedmioty:

- *Prestressed and precast concrete structures* (wykład)
- *Design of selected prestressed structures* (wykład i zajęcia projektowe)
- *Diploma seminary*

oraz wykłady z przedmiotu *Structures for Building and Industrial Building* na studiach I stopnia.

4.2. Promotorstwo prac dyplomowych

Od 2010 roku, kiedy zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego, prowadzę przygotowywanie prac dyplomowych na studiach I i II stopnia. W tym okresie, byłem promotorem:

- 55 prac inżynierskich w języku polskim i jednej w języku angielskim,
- 75 prac magisterskich w języku polskim i 16 w języku angielskim.

Prowadzone przez mnie prace dyplomowe dotyczą zagadnień projektowania i realizacji konstrukcji żelbetowych i sprężonych. W wielu przypadkach są to analizy, projekty zamienne czy alternatywne rozwiązania zaprojektowanych przeze mnie obiektów. W wielu przypadkach dyplomanci mają możliwość uczestniczyć w procesie projektowania, realizacji bądź badań tych obiektów. Kilka moich prac naukowych, oraz badań przytoczonych w monografii, powstało przy współpracy studentów, a efektem tej współpracy były prace dyplomowe, referaty na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz artykuły w czasopismach.

4.3. Działalność naukowa poza programem studiów i popularyzacja nauki

Oprócz działalności naukowej przewidzianej programem studiów biorę aktywny udział w dodatkowej działalności dydaktycznej oraz działalności popularyzujące naukę, głównie konstrukcje z betonu sprężonego. W tym celu, kilka lat temu, zaprojektowałem i wykonałem dydaktyczny model betonowej belki sprężonej w zmniejszonej skali (rys. 23 i 24). Belka w trakcie pokazu jest sprężana stalową linką napinaną siłownikiem elektrycznym, po czym jest obciążana (najczęściej zapraszani są widzowie do wejścia na belkę). Na monitorze, na wykresach prezentowane są zmiany ugięcia oraz siły w ciągnię. Na belce można natomiast zaobserwować układ rys pod obciążeniem bez i ze sprężeniem. Pokaz zazwyczaj cieszy się dużym zainteresowaniem odwiedzających.



Rys. 23 Pokaz sprężania na Festiwalu Nauki na Rynku Głównym w Krakowie w 2012 roku.



Rys. 24 Stoisko Koła Naukowego Konstrukcji Sprężonych na Fesiwalu Nauki na Rynku Głównym w Krakowie w 2012 roku.

Wykorzystując opisany powyżej model belki sprężonej, wraz ze studentami, uczestniczyliśmy w licznych imprezach naukowych, takich jak:

- Festiwal Nauki organizowany na placu Rynku Głównego w Krakowie (w latach 2012, 2013, 2014, 2015, 2017),
- Noc Naukowców organizowana w hali Laboratorium Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych Politechniki Krakowskiej w 2013 roku,
- Dzień Ładowca na dziedzińcu Politechniki Krakowskiej w 2014 roku.

Ponadto, prowadziłem wykłady i pokazy sprężania betonu na następujących przedsięwzięciach edukacyjnych:

- Małopolska Chmura Edukacyjna (wykład „Dlaczego sprężamy beton?” i pokaz sprężania on-line dla szkół średnich w latach 2015, 2016, 2017 i 2018),
- Wykład i pokaz sprężania dla grupy studentów z Belgii w 2013 roku.

4.4. Opieka naukowa i dydaktyczna nad studentami

W roku 2012 zarejestrowałem na Politechnice Krakowskiej, i od tego czasu jestem opiekunem Studenckiego Koła Naukowego Konstrukcji Sprężonych 7 ϕ 5. Do koła w każdym roku przyłącza się 8-10 nowych studentów (podobna liczba odchodzi kończąc studia). W każdym roku w działalności koła uczestniczy około 25-30 studentów różnych lat studiów. Co roku organizujemy weekendowe warsztaty koła - wizyty na budowach połączone z konkursem referatów, które odbywają się zazwyczaj w górskich miejscowościach. I tak, od 2012 roku odbyły się następujące warsztaty:

- 26 – 28 października 2012 roku w schronisku Trzy Korony w Sromowcach Niżnych,
- 10-12 maja 2013 roku w schronisku Wisła-Malinka w Wiśle,
- 25-27 kwietnia 2014 w Zawoi,
- 24-26 kwietnia 2015 roku w Chatce Studenckiej Rogacz w Wilkowicach,
- 4-6 grudnia 2015 roku w Bazie Szkoleniowo-Wypoczynkowej „Lubogoszcz” w Kasince Małej,
- 26-28 maja 2017 roku w Gdańsku,

- 18-20 maja 2018 roku w Bazie Szkoleniowo-Wypoczynkowej „Lubogoszcz” w Kasince Małej.

W warsztatach zazwyczaj bierze udział 25-40 studentów, oprócz wizyt na budowie organizujemy konkursy referatów, dyskusje inżynierskie i wycieczki górskie.

Ponadto, od 2013 roku organizuję wyjazdy studentów na ogólnopolskie konferencje studentów i doktorantów, w których biorę udział jako opiekun. Do tej pory odbyły się wyjazdy na konferencje:

- 18-20 października 2013 do Szklarskiej Poręby,
- 27-29 marca 2015 roku do Szklarskiej Poręby,
- 22-22 kwietnia 2016 roku do Poznania,
- 17-19 marca 2017 roku do Szklarskiej Poręby
- 25-27 maja 2018 roku do Lewina Kłodzkiego.

W konferencjach tych uczestniczy 5-8 studentów wygłaszając przygotowane referaty, których zazwyczaj jestem opiekunem naukowym. Wiele z przygotowanych referatów kończy się publikacją w czasopiśmie, (poz. 39, 49, 51, 52, 61, 64, 69 wg załącznika 4).

Oprócz wymienionych wyżej przedsięwzięć wyjazdowych organizuję również liczne zamiejscowe wyprawy i spotkania koła. Co najmniej dwa razy w roku organizowane jest wyjście na budowę, czasami połączone z oglądaniem procesu sprężania, a 5-10 (w zależności od roku) razy w roku organizowane są spotkania, na których prezentowane są ciekawe referaty studentów i zaproszonych gości.

4.5. Opieka nad doktorantami

W ramach opieki naukowej nad doktorantami jestem opiekunem w dwóch doktoratach tj. mgr inż. Małgorzaty Mieszczak i mgr inż. Barbary Łabuzek. Obydwie pracy są moją inicjatywą i dotyczą badania lekkiego betonu kruszywowego i wykonanych z nich elementów kablobetonowych poddanych długotrwałemu obciążeniu. Prace są wynikiem szerszego, zainicjowanego w Politechnice Krakowskiej przeze mnie, programu badawczego zmierzającego do wykonania w Polsce, po raz pierwszy w świecie, stropu kablobetonowego w budynku, wykonanego z lekkiego betonu kruszywowego, o rozpiętości przekraczającej 15 m.

1) Praca mgr inż. Małgorzaty Mieszczak „Ocena zachowania belek z betonu lekkiego pod obciążeniem stałym”. Otwarcie przewodu doktorskiego zostało zatwierdzone przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej w dniu 18.04.2018 r. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Lucyna Domagała, prof. PK. Ja pełnię funkcję promotora pomocniczego.

Przedmiotem pracy jest ocena zjawisk reologicznych betonu wykonanego na nowej generacji krajowym kruszywie sztucznym Certyd, otrzymywanym przez spiekanie popiołów lotnych, na pracę kablobetonowych belek, w szczególności na ugięcie trwałe i trwałość siły sprężającej. Oprócz inicjatywy podjęcia tematu oraz współudziału w określeniu programu badań, zaprojektowałem stanowisko badawcze do długotrwałego obciążenia czterech belek o rozpiętości 5,8 m (rys. 25). Na stanowisku, pod stałym obciążeniem, wywołanym systemem siłowników hydraulicznych, umieściliśmy 4 belki: 2 z betonu lekkiego i 2 z betonu zwykłego. Obciążenie utrzymywane będzie przez okres minimum jednego roku. Dodatkowo, na elementach o wymiarach 0,20 × 0,20 × 1,00 m badany jest skurcz i pęcznienie betonu (również pod obciążeniem sprężeniem).



Rys. 25 Zaprojektowane stanowisko badawcze do długotrwałego obciążenia belek kablobetonowych.

2) Praca mgr inż. Barbary Łabuzek „Ocena właściwości reologicznych lekkiego betonu kruszywowego pod kątem jego zastosowania do płyt kablobetonowych dużej rozpiętości (tytuł roboczy)”. Jest to kolejna zainicjowana przez mnie praca doktorska w ramach programu badań betonu lekkiego w celu wykonania kablobetonowego stropu z betonu lekkiego. Otwarcie przewodu doktorskiego ustalono na dzień 10 kwietnia 2019 roku. W przewodzie tym promotorem będzie prof. dr hab. inż. Andrzej Seruga, ja będę pełnił funkcje promotora pomocniczego. W tej pracy doktorskiej przewidzieliśmy badanie skurczu i pęcznienia betonu zgodnie z projektami przygotowywanych właśnie norm ujednolicających te badania. W oparciu o uzyskane doświadczalnie wyniki skurczu i pęcznienia przeprowadzone zostaną numeryczne analizy płyt o naturalnych rozmiarach a uzyskane wyniki będą porównane z uzyskanymi z analizy identycznych płyt wykonanych z betonu zwykłego. Podjęte badania mają na celu wykazanie przydatności lekkiego betonu kruszywowego do konstruowania kablobetonowych płyt dużej rozpiętości, i jego przewagi w stosunku do betonu zwykłego (co podkreślałem w moich pracach i wykazywałem w licznych analizach obliczeniowych).

5. UDZIAŁ W PROJEKTACH BADAWCZYCH

5.1. Praca w dużych projektach badawczych

W trakcie pracy w Politechnice Krakowskiej uczestniczyłem w trzech dużych projektach krajowych i jednym zagranicznym. Były to:

1) Projekt badawczy nr 5 T07E 012 23 pt. ***Badania modelu pracy typowych dźwigarów kablobetonowych w prefabrykowanych przykryciach hal przemysłowych.*** Okres realizacji: styczeń – październik 2003. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Krzysztof Dyduch.

Mój udział polegał na opracowaniu metodologii badań i techniki kontrolowanego zniszczenia sprężonych dźwigarów dachowych, realizacji i kierowaniem pracami badawczymi w tym zakresie oraz wykonaniu modeli i analizy numerycznej konstrukcji.

2) Projekt badawczo-rozwojowy NCBiR nr N R04 0009 04 pt. ***Zastosowanie ciągów bezprzyczepnościowych do realizacji prefabrykowanych zbiorników cylindrycznych na ciecie i nawierzchni lotniskowych z betonu sprężonego.*** Okres realizacji: 2008-2009. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Andrzej Seruga.

Mój udział polegał na wykonaniu projektu konstrukcji, opracowaniu programu i metodyki badań oraz realizacją badań sprężonych płyt na gruncie oraz cylindrycznego zbiornika na ścieki sprężanego po 2 dobach, ciągami bez przyczepności, w celu uniknięcia zarysowań termicznych ściany utwardzonej w dnie.

- 3) **Development of Service Quality for Air Transport Infrastructure**, EUREKA Project No E!3366. Okres realizacji: 2004 –2007. Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Włodzimierz Czyczuła.

Mój udział polegał na projektowaniu i realizacji badań doświadczalnych betonowych płyt sprężonych we wczesnym okresie dojrzewania betonu, z zamiarem zastosowania nawierzchni z betonu sprężonego do budowy płyt lotniskowych.

- 4) Projekt MRPO pt. **Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego**. Okres realizacji: 2007-2013. Kierownik projektu: dr hab. inż. Marcin Furtak, prof. PK

Mój udział polegał na opracowaniu rozwiązań konstrukcyjnych budynku, projektu i realizacji badań posadowienia budynku na płytach XPS oraz stropu płaskiego sprężonego cięgnami bez przyczepności.

5.2. Kierowanie projektami badawczymi dla przemysłu

Nie licząc projektów realizowanych w ramach działalności statutowej, podczas pracy w Politechnice Krakowskiej kierowałem dwoma projektami badawczymi, tj:

- **Opracowanie kablobetonowej płyty wagi samochodowej o nośności 30 ton, wraz z wykonaniem prototypu i jego przebadaniem pod obciążeniem cyklicznie zmiennym.** Umowa nr L-1/82/2016/P zawarta z firmą MIKROWAG Wagi Samochodowe Łukasz Rogowski ul. Węgierska 239A, 33-300 Nowy Sącz. Okres realizacji: marzec-październik 2016.
- **Badania prototypowych strunobetonowych płyt kanałowych z betonu lekkiego i zwykłego.** Umowa nr L-1/302/2018/P zawarta z firmą TOMBUD Tomasz Bról, Kozenin 53C, 26-332 Sławno.

5.3. Przygotowane wnioski grantowe

W okresie 2007-2018 samodzielnie przygotowałem następujące wnioski grantowe zarejestrowane w systemie OPI:

- 2007 - **Sprężenie cięgnami bezprzyczepnościowymi jako metoda eliminacji rys w młodym betonie ścian zbiorników utwierdzonych w dnie.** Grant promotorski. ID: 19489
- 2018 - **Pękanie i skurcz betonu lekkiego z kruszywem ze spiekanych popiołów lotnych.** Konkurs: OPUS 15. ID: 408253. Wniosek przygotowany przy współpracy z dr hab. inż. Lucyną Domagałą, prof. PK
- 2018 - **Przyczepność splotów sprężających do lekkiego betonu z kruszywem ze spiekanych popiołów lotnych.** Konkurs: MINIATURA 2. ID: 417628

6. DZIAŁALNOŚĆ ZAWODOWA

Poza działalnością naukowo-badawczą prowadzona na Politechnice Krakowskiej jestem aktywnie działającym projektantem i inżynierem budowlanym. Posiadam uprawnienia do projektowania bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej od 2008 roku. Od 2009 roku (pod obecną nazwą od 2011 roku) prowadzę własną pracownię inżynierską TCE Structural Design & Consulting. W okresie 10 lat (od uzyskania uprawnień budowlanych) wykonałem około 50 większych projektów (oraz kilkanaście drobnych) obiektów budowlanych, projektów napraw, wzmocnień konstrukcji ... itp. (budynki użyteczności publicznej, zbiorniki i silosy, obiekty sakralne, wzmocnienia stropów, estakad przemysłowych ... itp.). Wykaz ważniejszych projektów zamieściłem w punkcie Z 4.C załącznika 4. Do mojej

pracowni często trafiają projekty trudne, nietypowe, czasami fragmenty bądź pojedyncze elementy konstrukcji, których rozwiązanie sprawia trudności innym projektantom.

Działalność inżynierska mojej firmy, w połączeniu z działalnością naukowo-badawczą prowadzoną na Politechnice Krakowskiej, doprowadziła do powstania kilku nowatorskich rozwiązań, takich jak największa w świecie stropowa płyta kablobetonowa o pełnym przekroju, kablobetonowe płyty wag samochodowych, czy inne opisane w punkcie 3.

Drugą formę aktywności inżynierskiej stanowi działalność ekspercka, w szczególności w zakresie konstrukcji żelbetowych i sprężonych, lecz również w zakresie innych konstrukcji budowlanych. Jestem często zapraszany do oceny stanów przed i poawaryjnych konstrukcji, oceny stanu technicznego i nośności konstrukcji ale również do weryfikacji wykonanych już projektów, ekspertyz czy opinii. W tym zakresie, w ciągu ostatnich 10 lat wykonałem około 40 większych opracowań eksperckich (oraz wiele mniejszych). Wykaz ważniejszych z nich zamieściłem w punkcie Z 4.D załącznika 4.

Prowadzona przeze mnie praca odgrywa również znaczącą rolę dydaktyczną. Do prac projektowych często angażuję studentów Politechniki Krakowskiej, którzy zdobywają doświadczenie inżynierskie, praktykę zawodową do uprawnień budowlanych i realizują prace dyplomowe. W oparciu o praktykę projektową odbytą w mojej pracowni uprawnienia budowlane zdobyło 9 absolwentów Politechniki Krakowskiej.

Bibliografia przywołana w autoreferacie:

- [1] ABELES P. W.: Design of Partially-Prestressed Concrete Beams, *ACI Journal*, V. 64, No.10, October 1967, pp. 669-677.
- [2] LIN T. Y.: Partial Prestressing Design Philosophy and Approach, *FIP Notes 69*, July-August 1977, pp. 5-9.
- [3] MOUSTAFA S. E.: Design of Partially Prestressed Concrete Flexural Members, *PCI Journal*, V. 22, No.3, May-June 1977, pp. 12-29.
- [4] NAAMAN A. E., SIRIAKSORN A.: Serviceability Based Design of Partially Prestressed Beams, Part 1: Analytic Formulation, *PCI Journal*, V. 24, No. 2, March-April 1979, pp. 64-89.
- [5] PETERSON D. N., TADROS M. K.: Simplified Flexural Design of Partially Prestressed Concrete Members, *PCI Journal*, May-June 1985, pp. 50-69.
- [6] NAAMAN A. E., HARAJLI M. H.: Evaluation of the Ultimate Steel Stress in Partially Prestressed Flexural Members, *PCI Journal*, September-October 1985, pp. 54-80.
- [7] HARAJLI M. H., NAAMAN A. E.: Deformation and Cracking of Partially Prestressed Concrete Beams Under Static and Cyclic Fatigue Loading, Research Report No. UMCE 85-2, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, April 1985.
- [8] KRIPANARAYANAN K. M., BRANSON D. A.: Short-term deflections of beams under single and repeated load cycles, *ACI Journal*, V. 69, No. 2, February 1972.
- [9] DYDUCH K., TWOREK J.: Zginane elementy częściowo sprężone poddane obciążeniom wielokrotnie zmiennym, *Materiały XXXII Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZITB*, T. 2, Krynica 1986, s. 11-16.
- [10] YANG K. H., LEE Y., JOO D. B.: Flexural Behavior of Post-tensioned Lightweight Concrete Continuous One-Way Slabs, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol. 10, No. 4, December 2016, 425–434.
- [11] YANG K. H., MUN J. H., KIM G. H.: Flexural behavior of post-tensioned normal-strength lightweight concrete one-way slabs, *Engineering Structures*, 56, 2013, 1295–1307.
- [12] GRZEGORZEWSKI W.: *Deski strunobetonowe w budownictwie*, Arkady, 1965.