

Wybrane projekty i realizacje z betonu sprężonego powstałe w ostatnich latach w Polsce

Barbara Łabuzek¹

TCE Structural Design & Consulting

Rafał Szydłowski²

Politechnika Krakowska

Streszczenie: W ostatnich latach w Polsce nastąpił znaczny rozwój konstrukcji sprężonych, a w szczególności kablobetonowych. Współpraca Politechniki Krakowskiej z biurem projektowym TCE Structural Design & Consulting zaowocowała opracowaniem i realizacją wielu dotąd niespotykanych rozwiązań konstrukcyjnych, wykraczających poza wieloletnie, wypracowane, zarówno w kraju jak i na świecie, schematy projektowe. Nowsze, śmielsze i bardziej uzasadnione ekonomicznie rozwiązania pozwoliły na opracowanie niespotykanych w formie, rozpiętościach czy technologii wykonania konstrukcji kablobetonowych. W pracy krótko scharakteryzowano najciekawsze projekty zrealizowane w ciągu ostatnich kilku lat.

Słowa kluczowe: belki sprężone, ciągną bez przyczepności, kablobeton, stropy sprężone

1. Wstęp

W Polsce historia konstrukcji kablobetonowych w budynkach, ale także innych konstrukcji, w szczególności sprężonych cięgnami bez przyczepności jest stosunkowo młoda na tle europejskim czy światowym. Pierwsze kablobetonowe stropy zrealizowano dopiero w obecnym stuleciu. Za przełomowy, dla polskich konstrukcji sprężonych, uznajemy rok 2002, kiedy wykonano pierwsze stropy płytowe sprężone kablami płaskimi [1]. Od tego czasu zrealizowano wiele płyt stropowych, posadzek przemysłowych, a także nieliczne fundamenty kablobetonowe, które zostały zaprojektowane bazując głównie na zagranicznych, wypracowanych przez wiele lat, wytycznych. W ostatnich kilku latach, w wyniku współpracy inżyniersko-naukowo-badawczej pomiędzy pracownią projektową TCE Structural Design & Consulting, a Politechniką Krakowską zaprojektowano i zrealizowano w Polsce kilka innowacyjnych, na skalę światową, konstrukcji kablobetonowych, znacznie wykraczających poza dotychczasowe schematy poprzez niespotykane dotąd w świecie: formy, rozpiętości czy technologie wykonania.

Do tej pory z ośrodka krakowskiego wyszły projekty kilku stropów sprężonych [2-6], belek o niestandardowej geometrii, stropu transferowego [8,9], a także inne konstrukcje takie jak pomosty wag samochodowych [10,11]. W pracy przedstawiono krótką charakterystykę dotychczasowych pomysłów umożliwiając ich propagację oraz dalsze udoskonalenie.

¹ mgr inż., blabuzek@tce-building.com

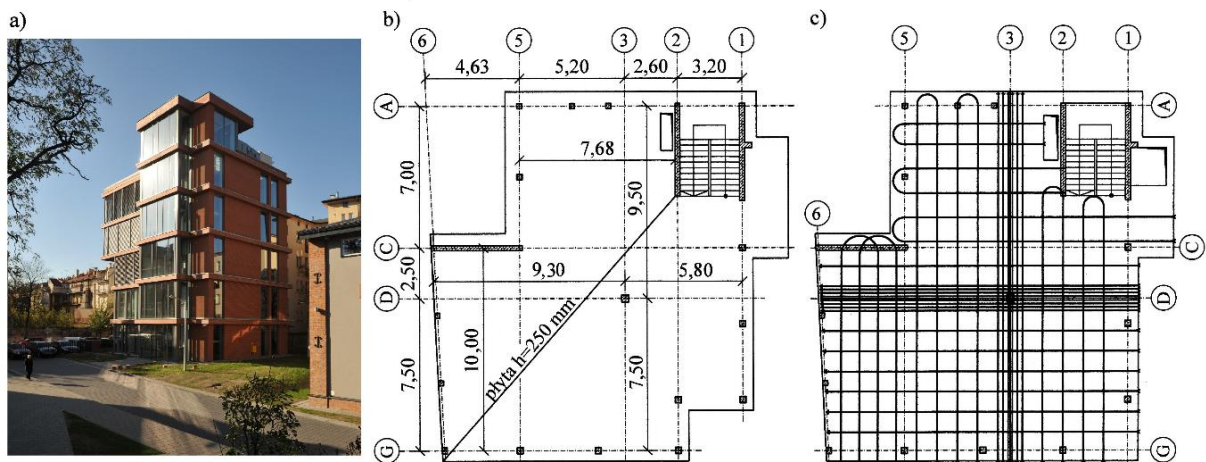
² dr inż., rszydowski@edu.pk.pl

2. Stropy sprężone w budynkach

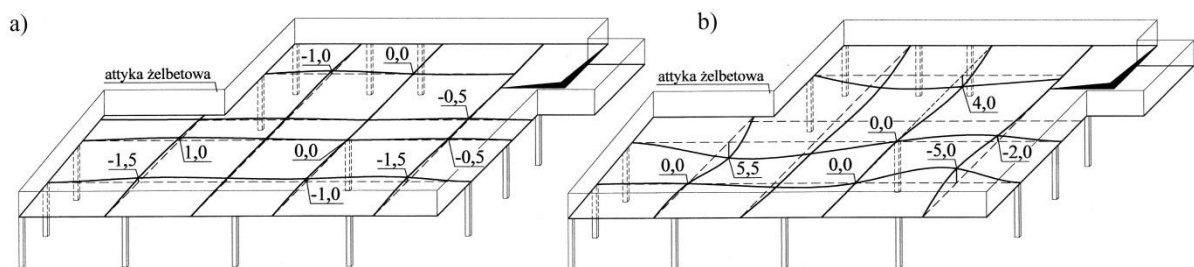
2.1 Płyta płaska stropodachu w budynku Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego w Krakowie

Pięciokondygnacyjny budynek o konstrukcji szkieletowej (rys. 1) zaprojektowano na planie prostokąta o wymiarach $16,1 \times 18,2$ m. Ze względów funkcjonalnych zredukowano liczbę słupów na ostatniej kondygnacji zwiększając rozpiętość największego przęsła do $9,30 \times 10,0$ m. Płytę stropodachu zaprojektowano jako płaską, kablobetonową o grubości 250 mm. Rysunek 1a przedstawia widok budynku, 1b rzut stropu z wymiarami, a rysunek 1c układ kabli sprężających. W płycie zastosowano kotwienie cięgien przęsłowych w postaci pętli. W celu określenia wpływu zastosowanego rozwiązania kotwienia na wartość strat siły sprężającej oraz spadków siły w czasie, na dwóch splotach zainstalowano siłomierze strunowe pod zakotwieniami. Pomierzone wartości sił przedstawiono i omówiono w pracy [12].

Kablobetonową płytę płaską o stosunku rozpiętości do grubości największego przęsła równym 44,4 wykonano z betonu na kruszywie żwirowym o uziarnieniu 16 mm, cemente CEM II/B-V 32,5R i wskaźniku wodno-cementowym równym 0,47. Zastosowanie kruszywa niskiej jakości spowodowało niski moduł sprężystości, a dodatkowo cement o wydłużonym tempie hydratacji wpłynął na wydłużenie w czasie przyrostu wytrzymałości. Po 28 dniach dojrzewania betonu, średnia wytrzymałość na ściskanie, badana na walcach $\phi 150 \times 300$ mm, wynosiła 34,2 MPa, natomiast moduł sprężystości 25,8 GPa. Wartość modułu sprężystości stanowiła więc zaledwie 80,6% wartości 28-dniowej definiowanej normą dla betonu klasy C30/37 (32 GPa). W chwili sprężenia (15 dni po zabetonowaniu) średnia wytrzymałość walcowa wynosiła 28,8 MPa, a moduł sprężystości 23,1 GPa. Na rysunku 2 zaprezentowano deformację stropu tuż po sprężeniu (rys. 2a) i 4 lata po wykonaniu stropu (rys. 2b). Pomimo tak wysokiego stosunku rozpiętości do grubości i niskiej jakości betonu największe przęsło jest po blisko 4 latach ugięte o 5,5 mm w stosunku do poziomu szalunków, a 6,5 mm licząc od chwili po sprężeniu. Przyrost ugięć w czasie w okresie niecałych 4 lat wynosi zatem $1/1431$ rozpiętości przęsła.



Rysunek 1: Kablobetonowa płyta płaska: widok budynku (a), rzut stropu (b), układ splotów (c)



Rysunek 2: Deformacja rozważanego stropu w milimetrach: po sprężeniu (a), po blisko 4 latach od wykonania (b)

2.2 Stropy sprężone w budynku Centrum Kulturalno-Artystycznym w Kozienicach

Budynek oddany do użytkowania w 2015 roku (rys. 3), zaprojektowano na rzucie prostokąta o wymiarach 61,5×42,5 m. Obiekt podzielony jest na dwa oddylatowane segmenty, różniące się układem konstrukcyjnym. W jednym z segmentów zastosowano żelbetowe stropy płytowo-słupowe o grubości 0,25 m i rozstawach słupów nieprzekraczających 7 m. W segmencie drugim (rys. 3b i c), w którym zlokalizowano salę sceniczną oraz salę kinowo-widowiskową, zaprojektowano trzy kablobetonowe płyty pełne:

- płytę sprężoną jednokierunkowo P1-1 nad salą sceniczną w poziomie +9,68 m, rozpiętości 11,15 m i grubości 200 mm, o stosunku rozpiętości do grubości równym 55,8, w której przyjęto 44 cięgna w rozstawie 300 mm;
- płytę sprężoną jednokierunkowo P1-2 w poziomie +14,08 m, jako przęsło stropodachu nad salą sceniczną, o rozpiętości 12,65 m i grubości 250 mm, o stosunku rozpiętości do grubości 51,4, którą sprężono 74 cięgnami w rozstawie 250 mm;
- płytę sprężoną dwukierunkowo P1-3 nad salą kinowo-widowiskową w poziomie +13,68 m o wymiarach rzutu 17,65×19,6 m i grubości 350 mm, o stosunku rozpiętości do grubości 50,4 w której na dłuższym boku rozmieszczono 80 cięgien, a na krótszym 72 cięgna, w obu kierunkach w rozstawie co 220 mm.

Wszystkie płyty sprężono po 14±1 dniach od zabetonowania cięgnami bez przyczepności 15,5 mm ze stali Y1860S7, napinając je siłą 220 kN. Wyniki pomiarów ugięć płyt w trakcie realizacji budynku oraz w okresie 3 lat od ich wykonania zamieszczono w pracach [2-4]. Pomimo przekroczenia podawanych w licznych wytycznych maksymalnych rozpiętości i smukłości stropów, ich ugięcia są na zadowalająco niskim poziomie. Przykładowo całkowite ugięcie płyty P1-3 po 3 latach od wykonania, liczone od pozycji zabetonowania, wynosi 24 mm, czyli 1/538 rozpiętości. Przyrost ugięcia od chwili rozdeskowania, który jest istotniejszy z uwagi na wyposażenie zalegające na płycie, wynosi natomiast 19,5 mm czyli 1/649 rozpiętości.

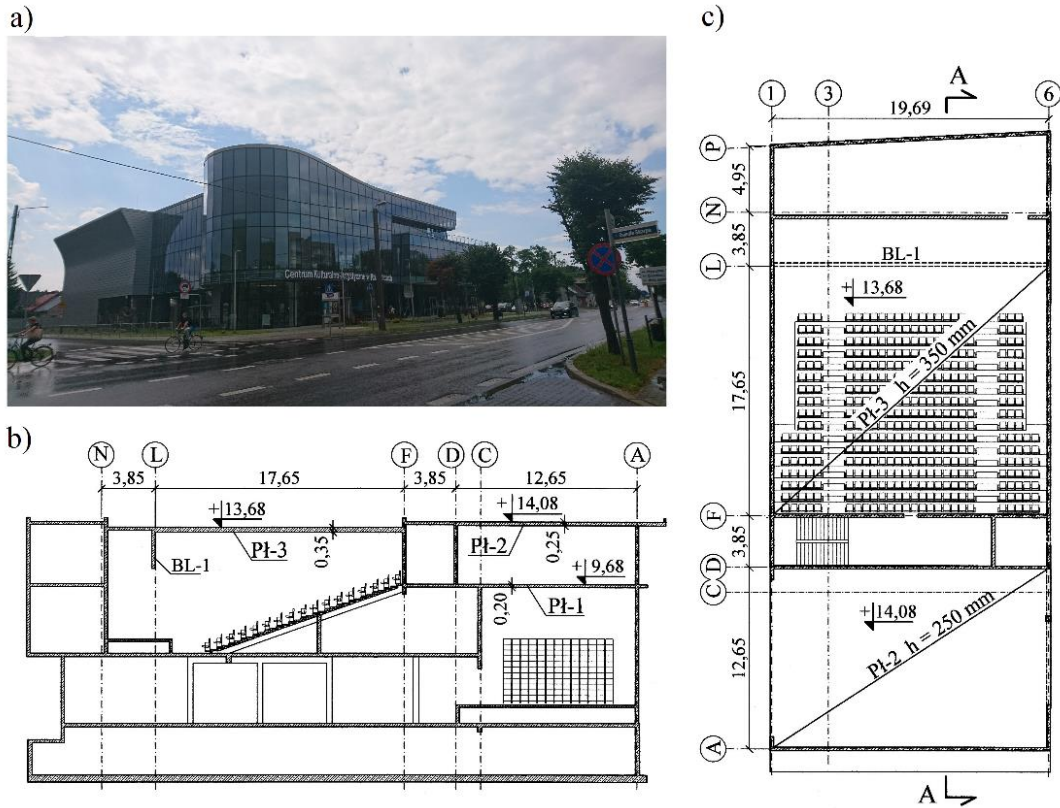
2.3 Kablobetonowy stropodach Pawilonu Muzycznego w Muszynie

Wizja architektoniczna oraz chęć niezachwiania charakteru miejsca w którym zlokalizowano projektowany budynek spowodowała, że powstały obiekt został wpisany w istniejący teren, a całość konstrukcji wraz z jej otoczeniem przypomina pieczarę. Efekt ten uzyskano poprzez częściowe przysypanie budynku gruntem a częściowe przeszklenie. Obiekt zaprojektowano na planie koła o średnicy 19,40 m, a zaproponowany przez architekta układ podpór oraz obciążenie stropodachu zasugerowało zaprojektowanie go w technologii kablobetonu. Ostatecznie przyjęto płytę grubości 250 mm, sprężoną pojedynczymi cięgnami bez przyczepności 7φ5 mm. Sumarycznie przyjęto 44 sploty o średnicy 15,5 mm ze stali Y1860. Ponadto, zaprojektowane przeszklenie na niemal 1/3 obwodu wymusiło skonstruowanie belki obwodowej o kącie opasania 140 stopni i rozpiętości 16,1 m. Ponownie, rozpiętość ta wymusiła zaprojektowanie belki sprężonej o przekroju 0,30×1,40 m. Na podstawie przeprowadzonej analizy obliczeniowej do sprężenia belki zastosowano 15 splotów bez przyczepności ze stali Y1860. Na rysunku 4a i b pokazano geometrię i przekrój przez obiekt, dodatkowo na 4a oraz c przedstawiono rozmieszczenie splotów w płycie i belce wraz z jej charakterystycznymi przekrojami.

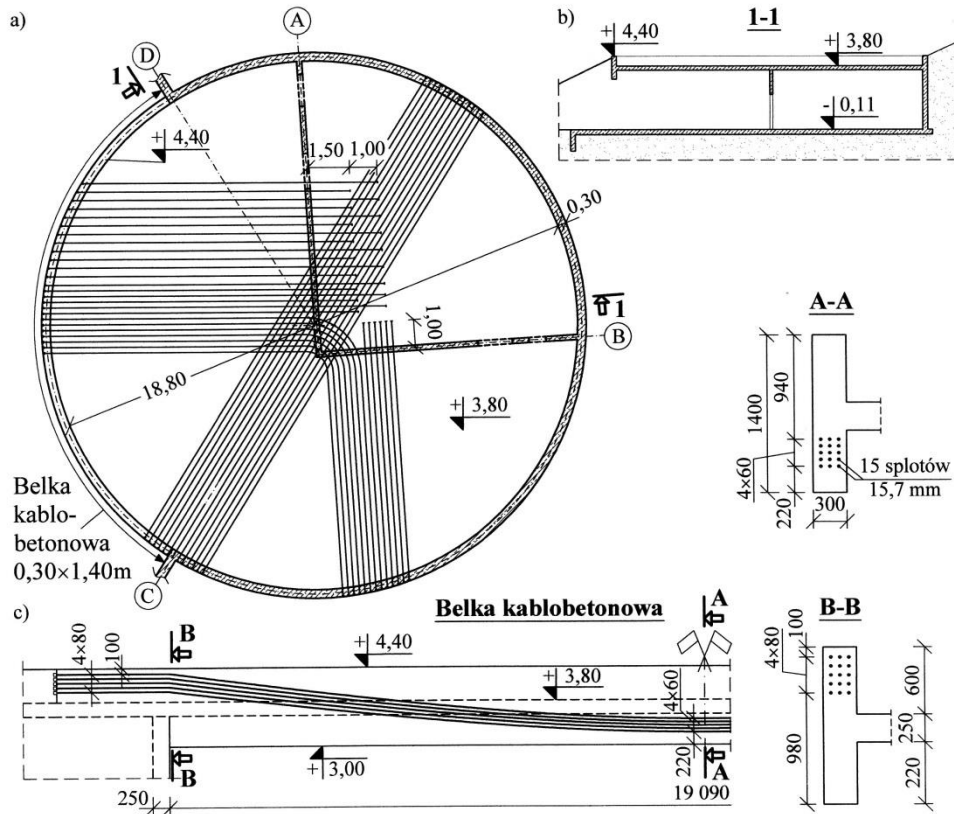
2.4 Płyta stropodachu z wewnętrznymi wkładami odciążającymi w Samorządowym Centrum Kultury w Busku-Zdroju

Pewnym osiągnięciem konstrukcyjnym autorów pracy w dziedzinie projektowania stropów kablobetonowych jest płyta stropodachu Samorządowego Centrum Kultury w Busku-Zdroju. W budynku tym, w sali widowiskowo-scenicznej, z uwagi na dużą liczbę sprzętu nagłośnieniowego i oświetleniowego oraz konieczność zapewnienia przestrzeni do jego obsługi (rys. 5c), szukano możliwości skonstruowania stropu o jak najmniejszej grubości konstrukcyjnej. Zaprojektowano jednokierunkową płytę kablobetonową o rozpiętości w osiach podpór 21,26 m i grubości 550 mm (rys. 5). Ze względu na dużą rozpiętość, w płycie zastosowano okrągłe wkłady odciążające o średnicy 360 mm. Kule rozmieszczono w rzędach w rozstawie osiowym 510 mm. Rozstaw kul w rzędzie w kierunku nośnym wynosi 400 mm. Zastosowane rozwiązanie zredukowało ciężar płyty o 300 kg czyli o 22%. Sztywność przekroju na zginanie spadła natomiast o 12%. Pomędzy rzędami kul

rozmieszczono wiązki sprężenia złożone z 7 cięgien bez przyczepności 15,7 mm, umieszczone w dwóch warstwach: 4 w warstwie dolnej i 3 w warstwie górnej. Siła naciągu jednego splotu wynosi

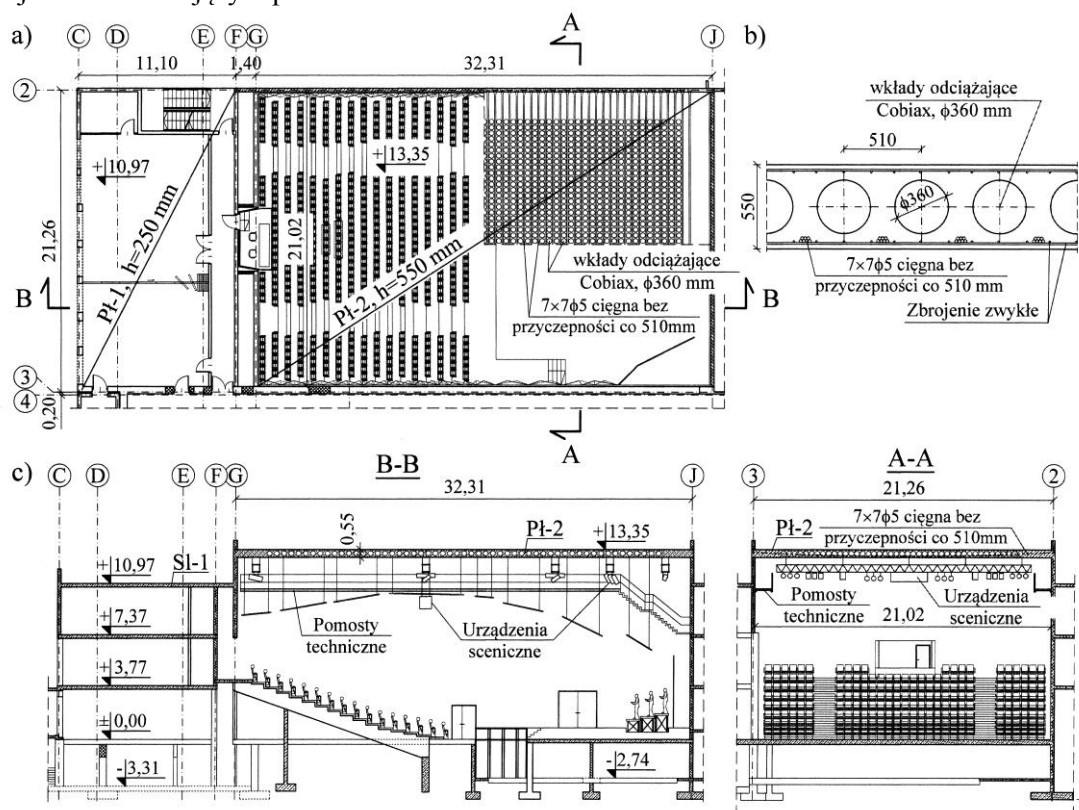


nek 3: Budynek Centrum Kulturalno-Artystycznego w Kozienicach wg projektu konstrukcji autorów: widok ogólny (a), przekrój poprzeczny (b), rzut jednego segmentu (c) (w m)



Rysunek 4: Pawilon Muzyczny w Muszynie: rzut stropu i sprężenia (a), przekrój budynku (b), belka kablobetonowa (c) (przekroje w mm)

220 kN. Zastosowanie wewnętrznych wkładów pozwoliło zredukować spodziewane ugięcia płyty i utrzymać je na zadowalającym poziomie.



Rysunek 5: Kablobetonowa płyta z wkładami odciążającymi Cobiax w budynku Samorządowego Centrum Kultury w Busku-Zdroju

3. Beton sprężony w kościołach

3.1 Antresola dla chóru w Kościele św. Jacka w Krakowie

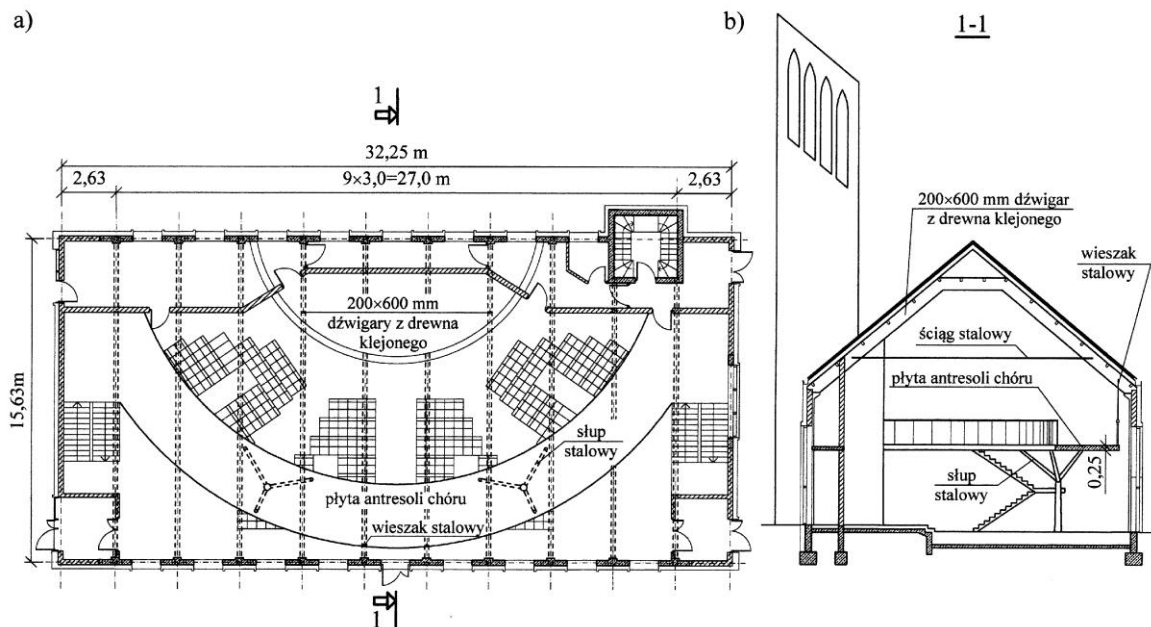
Obiektem sakralnym, który obecnie znajduje się w przygotowaniu do realizacji jest kościół św. Jacka w Krakowie [5, 6]. Wizualizację obiektu pokazano na rysunku 6. Kościół ten zaprojektowano na planie prostokąta o wymiarach $32,3 \times 15,5$ m (rys. 7) z wyniesioną wieżą dzwoniczną o wysokości 25,0 m od poziomu terenu.



Rysunek 6: Wizualizacja kościoła św. Jacka w Krakowie

Konstrukcję budynku stanowią poprzeczne ramy zbudowane z żelbetowych ścian pomiędzy oknami i usztywniających słupów o przekroju 350×380 mm oraz wspartych na nich przegubowo dźwigarów z drewna klejonego o przekroju 200×600 mm ze ściągiem stalowym. Wewnątrz budynku zaprojektowano antresolę dla chóru o kształcie fragmentu pierścienia o szerokości 3,06 m (rys. 8). Płyta oparta jest na końcowych krawędziach na ścianach murowanych grubości 250 mm oraz na dwóch podporach pośrednich w postaci smukłych słupów stalowych. Słup wykonany jest z rury

stalowej $\phi 159 \times 6$ mm, która w dwóch trzecich wysokości rozdziela się na trzy gałęzie z rur $\phi 114,3 \times 10$ mm, przypominając kształtem rozwidlone drzewo. W celu zmniejszenia ugięć środkowego przęsła obciążonego organami płyta została dodatkowo podwieszona do więźby dachowej dwoma ściągnięciami stalowymi $\phi 30$ mm. Maksymalna rozpiętość przęsła w osiach podpór wynosi 12,2 m. Zdecydowano płytę antresoli wykonać w technologii kablobetonu o grubości 250 mm. Zastosowano 10 cięgień bez przyczepności 15,5 mm ze stali Y1860, biegnących po łuku kołowym o średnim promieniu 15,7 m i zwisie wynoszącym 165 mm dla przęsła skrajnego. Siła naciągu każdego splotu wynosi 220 kN.



Rysunek 7: Rzut (a) oraz przekrój poprzeczny (b) kościoła



Rysunek 8: Rzut projektowanej antresoli wraz z układem cięgień sprężających

3.2 Kablobetonowy wieniec w Kościele św. Piotra i Pawła w Bodzanowie

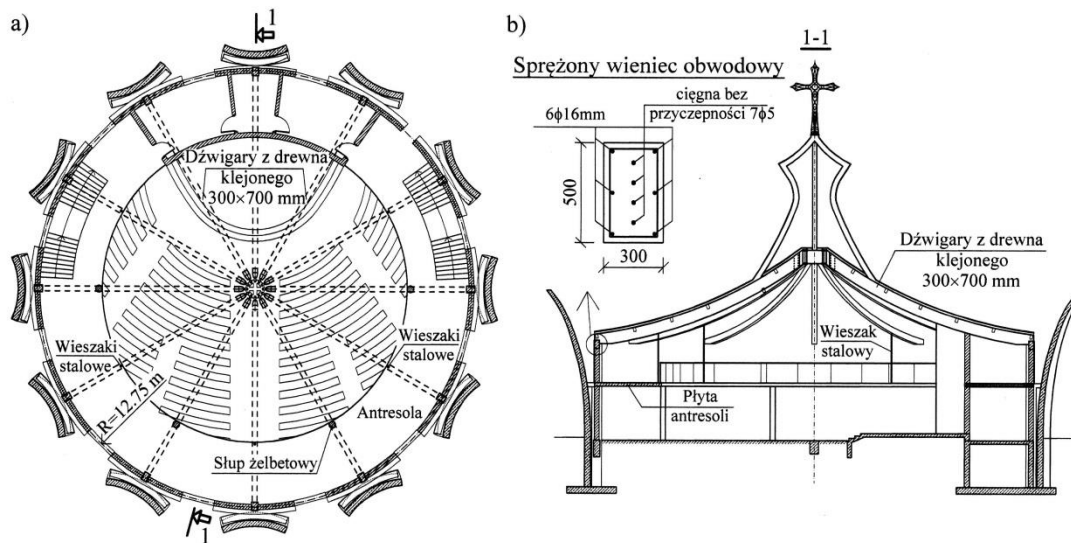
Kolejnym obiektem sakralnym, ale pierwszym w pełni zrealizowanym, jest kościół św. Piotra i Pawła w Bodzanowie, w okolicach Wieliczki [5-7] – rys. 9. Bryłę kościoła zaprojektowano na planie koła o średnicy 26,2 m (rys. 10). Konstrukcję budynku tworzy 12 równomiernie rozmieszczonych na obwodzie słupów o przekroju $0,4 \times 0,6$ m, na których wsparto promieniście rozchodzące się dźwigary dachowe z drewna klejonego. Obciążenia poziome z dźwigarów dachowych przejmuje obwodowy wieniec kablobetonowy o przekroju 300×500 mm, ukryty w ścianie wypełniającej. Wieniec sprężono 4 wewnętrznymi cięgnięciami bez przyczepności 15,5 mm (rys. 11).

4. Strop transferowy w budynku nad tunelem trasy W-Z na Warszawskiej Starówce

Krajowym przykładem zastosowania stropu transferowego jest budynek na terenie Warszawskiej Starówki przy skrzyżowaniu ulic Miodowej i Senatorskiej (rys. 12a). W rejonie budynku, pod fragmentem Starego Miasta ograniczonym ulicami Miodową i Krakowskim Przedmieściem zlokalizowano podziemny tunel drogowy trasy W-Z, którym przebiega Aleja Solidarności (rys. 12b). Obecność tunelu pod budynkiem zrodziła trudność w jego posadowieniu.



Rysunek 9: Wizualizacja oraz stan praca w grudniu 2017 kościoła św. Piotra i Pawła w Bodzanowie



Rysunek 10: Kościół św. Piotra i Pawła w Bodzanowie: rzut pierwszego piętra (a), przekrój poprzeczny (b)



Rysunek 11: Widok wieńca sprężonego i wnęki kotwiącej

Problem rozwiązano przez skonstruowanie kablobetonowego stropu transferowego.

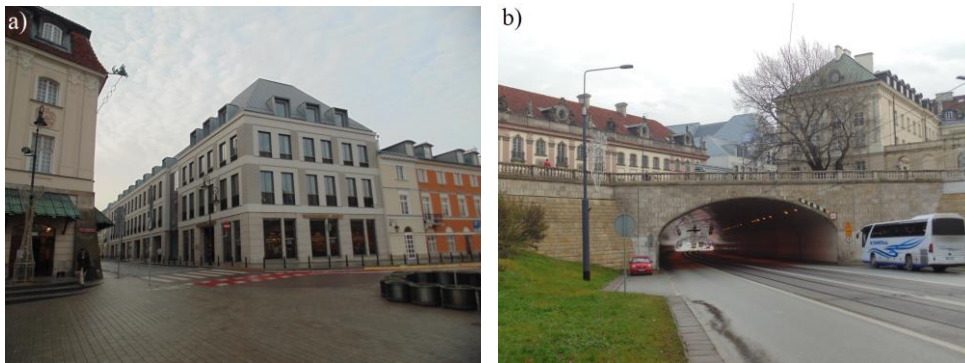
Budynek stanowią 2 kondygnacje podziemne (przerwane tunelem) oraz 3 kondygnacje nadziemne. Dodatkowo, w dachu ukryto 2 kondygnacje poddasza. Rzut i przekrój fragmentu budynku pokazano na rysunku 13.

Konstrukcja stropu transferowego wynika z warunków obciążenia, podparcia i konstrukcji budynku zalegającego powyżej tunełu. Na stropie oprócz ukośnie biegnących ścian wsparto liczne, mocno obciążone słupy ustrojów płytowo-słupowych. Uwzględniając charakter obciążenia i podparcia, zaproponowano 6 kablobetonowych belek o przekroju 1800×1600 mm. Układ belek przedstawiono na rysunku 14.

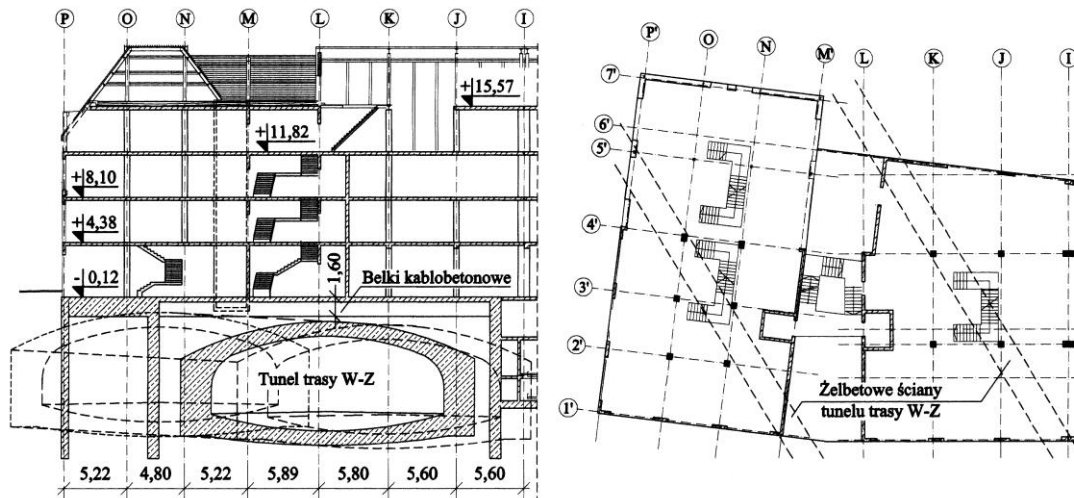
Z uwagi na wrażliwość zalegającej na stropie konstrukcji na deformację podłoża, na strop

nałożono rygorystyczny warunek dotyczący całkowitej amplitudy ugięć, ograniczając ją do 30 mm, co przy rozpiętości najdłuższej belki 28,5 m stanowi 1/950 rozpiętości. Zapewnienie tak małego ugięcia było czynnikiem decydującym o doborze sprzężenia. W belkach zastosowano zróżnicowane sprzężenie od 4 kabli 19-splotowych do 5 kabli 22-splotowych. Sploty 15,5 mm ze stali o wytrzymałości 1860 MPa napinano siłą 200 kN każdy. Maksymalna siła sprzężająca dla belek BS/1, BS/3 i BS/4 wyniosła 22,0 MN.

Przy realizacji stropu zastosowano kilka dyskusyjnych i niestosowanych powszechnie rozwiązań technologicznych. Ze względu na dużą moc sprzężenia, było ono wprowadzane w 4 etapach. W pierwszym etapie napięto po jednym kablu w każdej belce, zabetonowanej do spodu płyty, co miało uczynić belki nośnymi dla później betonowanej płyty i uniknąć obciążania nią tunelu. Drugi kabel w każdej belce napięto tuż po zabetonowaniu płyty, przed rozpoczęciem wiązania betonu. Kolejny trzeci kabel napięto po wykonaniu części konstrukcji budynku (3 kondygnacje segmentu końcowego o 1 kondygnacja segmentu środkowego), a ostatnie kable po wykonaniu kompletnej konstrukcji budynku. Na rysunku 15 pokazano wybrane etapy realizacji konstrukcji. Dzięki zastosowaniu, opisanym szerzej w pracach [8,9], rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych udało się skonstruować kablobetonowe belki o stosunku rozpiętości do wysokości 17,2 niosące 6 kondygnacji, co czyni to rozwiązanie unikalnym na tle innych zagranicznych realizacji [13].



Rysunek 12: Widok budynku od Placu Zamkowego (a), widok wjazdu do tunelu od strony ulicy Miodowej (b)

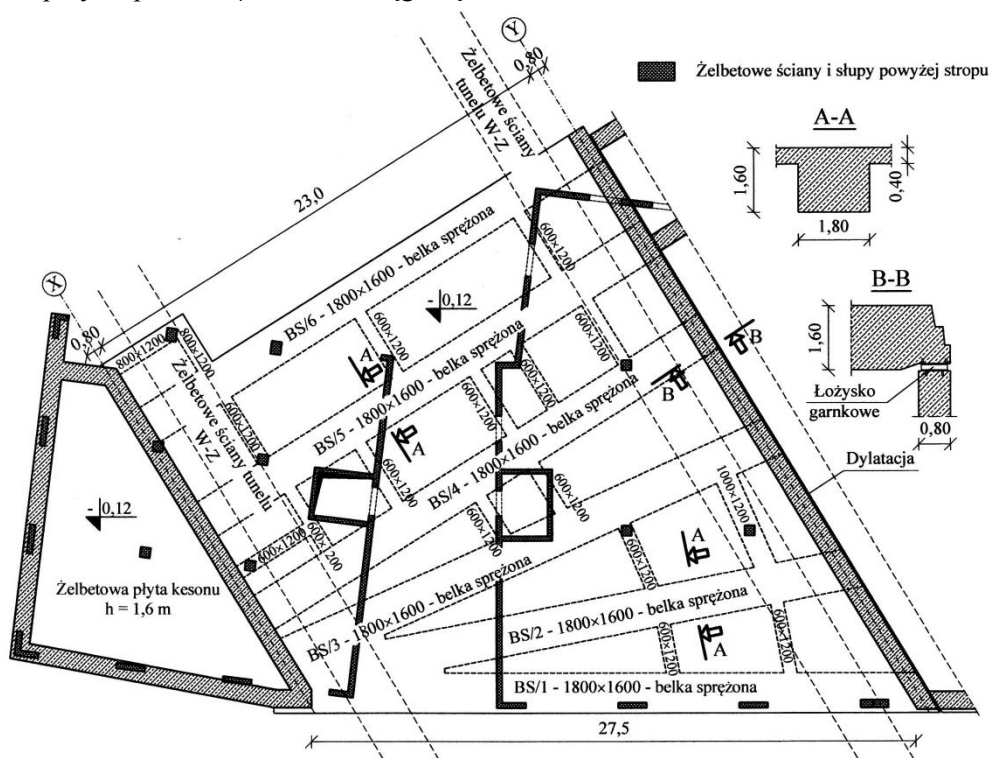


Rysunek 13: Przekrój podłużny (z lewej) i rzut budynku (z prawej)

5. Belki wspornikowe dachu w budynku „Bilcza-Park”

Konstrukcję obiektu kulturalno-sportowego w Bilczy zaprojektowano na planie elipsy o długości przekątnych 50,20 m i 33,60 m oraz całkowitej wysokości 8,59 m (rys. 16). Na parterze i w piwnicy zlokalizowano pomieszczenia użytkowe oraz dodatkowo w poziomym parterze wydzielono scenę wraz z widownią. Konstrukcję nośną obiektu stanowią żelbetowe ściany zewnętrzne i wewnętrzne, słupy oraz żelbetowa tarcza. Całość obiektu przykrywa żelbetowa monolityczna konstrukcja wsparta na ścianach,

słupach, belkach żelbetowych oraz w części scenicznej na czterech belkach wspornikowych o szerokości 500 mm i wysokości wynikającej z krzywizny powłoki żelbetowej. Ze względu na niemal 11 metrowy wysięg wspornika belek, zaprojektowano je jako kablobetonowe przyjmując sprężenie 15 splotami bez przyczepności 7 ϕ 5 mm i naciąg siłą 220 kN.



Rysunek 14: Plan konstrukcyjny stropu transferowego nad tunelem



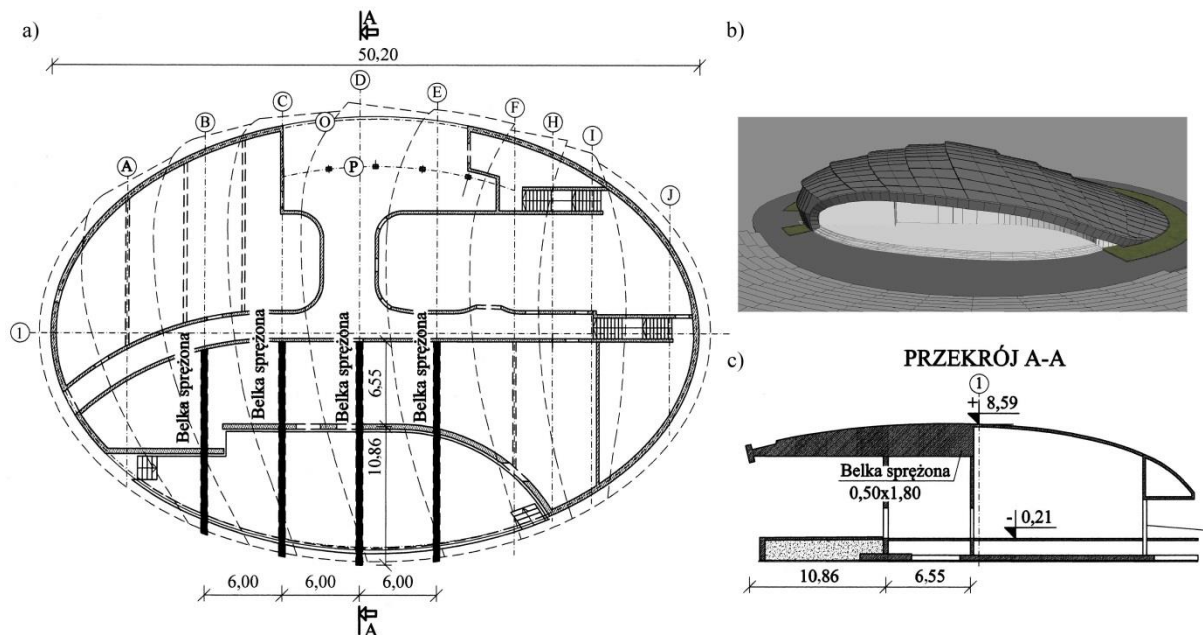
Rysunek 15: Widok belek zabetonowanych bez płyty (z lewej), sprężenie (z prawej)

6. Kablobetonowe pomosty wag samochodowych

Wagi samochodowe, urządzenia służące do statycznego ważenia pojazdów wraz z transportowanym na nich materiałem, obecnie wykorzystywane są niemal w każdym sektorze gospodarki. Głównym elementem nośnym urządzenia jest pomost, który w całym okresie eksploatacji poddawany jest działaniu obciążeń cyklicznie zmiennych, znacznie przewyższających jego ciężar własny. W okresie od 2011 do 2016 roku autorzy opracowali dwa pomosty wag z betonu sprężonego, dla wagi 60 i 30 tonowej. Obie wersje przebadano w laboratorium Politechniki Krakowskiej pod obciążeniem cyklicznie zmiennym.

6.1 Pomost o nośności 60 ton

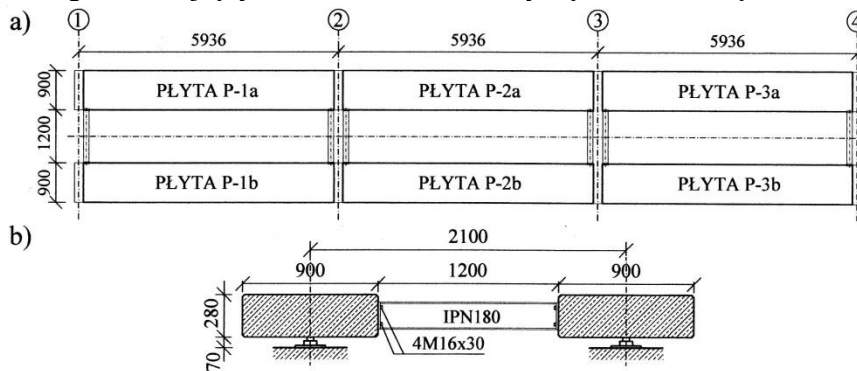
Pomost o całkowitych wymiarach 3,00×18,00 m zbudowany jest z trzech przęseł długości 6 m (rys. 17). Podejmując próbę pogodzenia takich czynników jak: lekkość, trwałość i niski koszt produkcji elementów, zdecydowano zaprojektować pomost w technologii kablobetonu ze sprężeniem bez przyczepności. Zaproponowano płyty o przekroju 1,0 × 0,28 m, tylko pod koła pojazdów. Środek



Rysunek 16: Rzut (a), wizualizacja (b) i przekrój (c) przez obiekt „Bilcza-Park”

wypełniony jest pomostem stalowym.

Płyta została zaprojektowana jako częściowo sprężona pracująca w stanie zarysowanym (duże przyrosty naprężeń pod wpływem ważonego pojazdu). Projektowanie konstrukcji sprężonych zarysowanych jest szczególnie korzystne w przypadku elementów, w których obciążenie użytkowe jest znacznie większe niż ich ciężar własny, gdyż rysy zamykają się po ustaniu obciążenia. W każdej płycie zastosowano 4 cięgna bez przyczepności 15,5 mm. W celu odciążenia pomostu, dodatkowo zastosowano 4 kanały uformowane z rur kanalizacyjnych PCV $110 \times 2,2$ mm. Takie rozwiązanie dało oszczędność ok. 1000 kg na każdej płycie i blisko 6 ton na całym pomoście, dzięki temu może on być



Rysunek 17: Geometria wagi samochodowej z pierwszym w kraju pomostem z betonu sprężonego, widok z góry (a), przekrój poprzeczny (b)

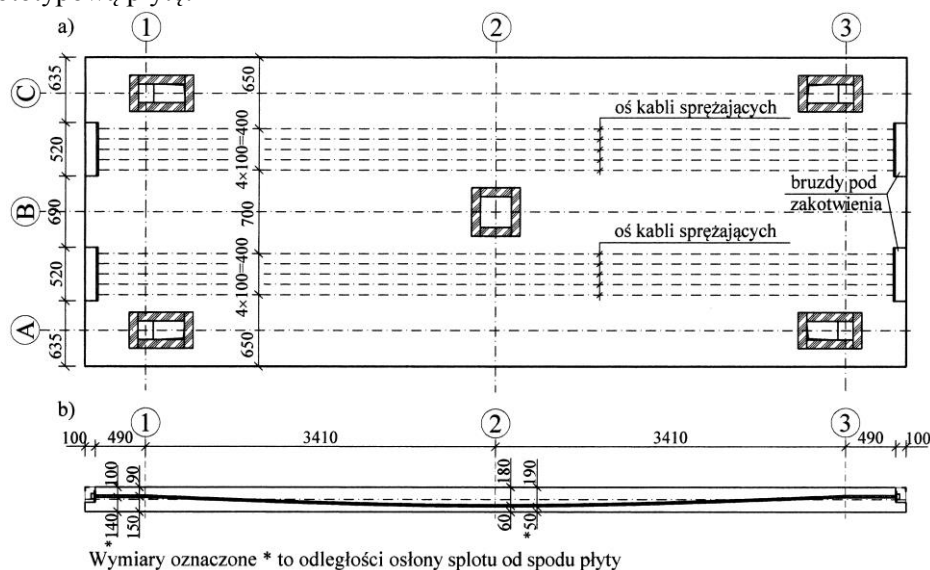


Rysunek 18: Płyta przygotowana do betonowania (z lewej), zrealizowany pomost w wersji wyniesionej (z prawej)

w całości transportowany jednym standardowym samochodem i w 20 tonowym kontenerze. Więcej szczegółów konstrukcyjnych wraz z wynikami badań pod obciążeniem cyklicznym zamieszczono w pracy [13]. Na rysunku 18 pokazano płytę prototypową przygotowaną do betonowania oraz zrealizowany pomost w wersji wyniesionej.

6.2 Pomost o nośności 30 ton

Wykorzystując doświadczenia z projektowania, badań i użytkowania poprzedniego pomostu, w roku 2016 opracowano kablobetonową płytę dla wagi 30 tonowej [11]. Geometrię zaprojektowanej płyty o wymiarach $8,00 \times 3,00 \times 0,24$ m przedstawiono na rysunku 19. W płycie ukształtowano 5 otworów wykonanych z zespawanych ceowników stalowych C240. W płycie zastosowano sprężenie 10 cięgnami bez pryczepności 15,5 mm ze stali Y1860S7 (rys. 19). W strefach czołowych przewidziano wnęki kotwiące służące do montażu zakotwień. Podobnie jak w przypadku płyty 60 tonowej, przygotowano element prototypowy oraz przeprowadzono badania poddając ją 1 000 000 cykli obciążenia i kończąc badania próbą zniszczenia. Na rysunku 20a pokazano przygotowaną, a na 20b badaną prototypową płytę.



Wymiary oznaczone * to odległości osłony splotu od spodu płyty

Rysunek 19: Rzut (a) i przekrój przez płytę pomostu (b)



Rysunek 20: Wykonana płyta prototypowa (a), płyta podczas badań (b)

7. Podsumowanie

W pracy przedstawiono kilka wybranych projektów obiektów kablobetonowych opracowanych przez autorów oraz zrealizowanych w ostatnich latach. Być może w przypadku niektórych z nich nie ma nic niezwykłego, ale niektóre niewątpliwie są dużym osiągnięciem w skali światowej. Zaprezentowane rozwiązania pokazują jak połączenie myśli naukowej i inżynierskiej pozytywnie wpływa na rozwój konstrukcji kablobetonowych w Polsce.

Bibliografia

- [1] PIEKARSKI J. 1994-2004. 10 konstruktywnych lat, BBR Polska. *Inżynieria i Budownictwo*, str. 175-176, 4/2014.
- [2] SZYDŁOWSKI R., ŁABUZEK B. Współczesne rozwiązania kablobetonowych konstrukcji sprężonych w *Innowacyjne i współczesne rozwiązania w budownictwie. Konstrukcje żelbetowe*. Tom II, Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa Oddział w Gliwicach, str. 317-388 oraz wykład na *XXXIII Ogólnopolskich Warsztatach Pracy Projektanta Konstrukcji*, Szczyrk, 6-9 marca 2018.
- [3] SZYDŁOWSKI R., MIESZCZAK M. Gdzie jest granica smukłości sprężonych płyt stropowych? O projekcie i badaniach stropów sprężonych w budynku Centrum Kulturalno-Artystycznego w Koziennicach. *Konferencja Naukowo-Techniczna Konstrukcje Sprężone KS2015*, Kraków, 16-17 kwietnia 2015.
- [4] SZYDŁOWSKI R., ŁABUZEK B.: Post-tensioned Concrete Long-Span Slabs in Project of Modern Building Construction. World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, 12-16 June 2017, Prague, Czech Republic oraz *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245 (2017) 022065.
- [5] SZYDŁOWSKI R., ŁABUZEK B. Zastosowanie betonu sprężonego w projektach kościołów w Polsce. *Przegląd Budowlany*, str. 24-30, 2-B/2016.
- [6] SZYDŁOWSKI R., ŁABUZEK B. Prestressed concrete usage in church buildings construction in Poland. *Technical-Transactions*, str. 185-195, 2/2017.
- [7] SZYDŁOWSKI R., ŁABUZEK B., TURCZA M. Prestressed Ring Beam in the Church of St. Peter's and Paul's in Bodzanow, Design and Realization. World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium, 12-16 June 2017, Prague, Czech Republic oraz *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245 (2017) 022066.
- [8] SZYDŁOWSKI R. O projekcie i realizacji sprężonych belek transferowych w budynku przy Placu Zamkowym w Warszawie. *Przegląd Budowlany*, str. 34-39, 1/2017.
- [9] SZYDŁOWSKI R. About the Project and Study of Post-tensioned Transfer Beams Under the Five-storey Building in the Centre of Warsaw. *Proceedings of 4th Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2016)*, str. 464-470, Singapore, 25-26 April 2016.
- [10] SZYDŁOWSKI R., OGRODNICZEK M. Pierwsze krajowe pomosty wag samochodowych z betonu sprężonego. *Przegląd Budowlany*, str. 100-104, 6/2015.
- [11] SZYDŁOWSKI R., ŚLAGA Ł., ŁABUZEK B. Płyta wagi samochodowej 30-tonowej z betonu sprężonego ciągniami bez przyczepności. *Przegląd Budowlany*, str. 33-39, 6/2017.
- [12] SZYDŁOWSKI R. Concrete properties for long-span post tensioned slabs. *2nd International Symposium on Advanced Material Research (ISAMR 2018)*, Jeju Island, South Korea, 16-18 March 2018.
- [13] Post-tensioning in building. *FIB-Bulletin No 31*, 2005.

Selected projects and realizations from prestressed concrete created in recent years as a result of cooperation between TCE Structural Design & Consulting and Cracow University of Technology

Abstract: Cooperation of the Cracow University of Technology with the TCE Structural Design & Consulting, in recent years has contributed to the significant development of prestressed concrete structures in Poland. Cooperation in the field of consulting and research of design solutions resulted in the development and implementation of many unique structural solutions. Modern and more economically justified solutions allowed for the development of post-tensioned structures. The most interesting projects completed in the last few years have been briefly characterized in the work.

Keywords: post-tensioned beam, post-tensioned slab, unbonded tendon