

Prefabrykowane belki mostowe z betonu sprężonego w Polsce – historia i stan obecny

Doc. dr inż. Juliusz Cieśla, Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, mgr inż. Mirosław Biskup, Andrzej Gałat, mgr inż. Marian Skawiński, Instytut Badawczy Dróg i Mostów – Ośrodek Badań Mostów w Kielcach

1. Wprowadzenie

Stosowanie belek prefabrykowanych z betonu sprężonego stanowi jedną z metod budowy przęseł przy zastosowaniu prefabrykatów i ogranicza się na ogół do przęseł małych i średnich rozpiętości. Ograniczenie to wynika z długości stosowanych belek, które odpowiadają na ogół długościom przęseł. Przy stosowaniu odcinków przęseł betonowanych na miejscu np. stref podporowych, rozpiętości przęseł mogą niekiedy przekraczać długości belek.

Umiejętne stosowanie belek prefabrykowanych pozwala na znaczną eliminację deskowania oraz mechanizację i przyspieszenie budowy obiektów mostowych. Zalety te wywołały zainteresowanie tą technologią już we wcze-

snym okresie rozwoju konstrukcji z betonu sprężonego.

W Polsce stosowanie belkowych prefabrykatów z betonu sprężonego do budowy mostów rozpoczyna się w latach pięćdziesiątych, kiedy to powstają pierwsze typy prefabrykatów wzorowane na stosowanych zagranicą, a szczególnie w Anglii [1, 2].

W latach sześćdziesiątych następuje dalszy, stopniowy rozwój prefabrykacji, którego apogeum następuje na przetomie lat 1970/1980 [3], kiedy to pojawia się słynne hasło obiekt mostowy w 100 dni, a za szczyt poziomu techniki przyjmowało się 100% prefabrykacji.

Tendencje te doprowadziły do znacznego obniżenia jakości obiektów mostowych, na którą złożyły się skutki wpływające zarówno z przyjętych

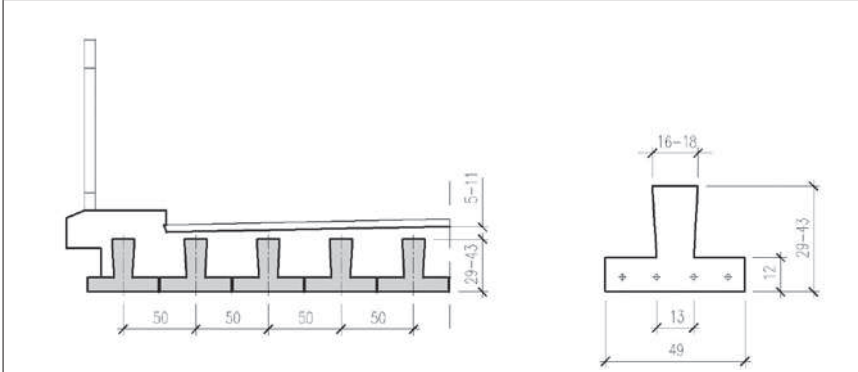
systemów konstrukcyjnych, jak i ze źle pojętej oszczędności i jakości stosowanych materiałów.

Doprowadziło to do niemalże całkowitego odrotu od prefabrykacji w latach dziewięćdziesiątych, czemu sprzyjały opinie części specjalistów, że obiekty z prefabrykatów są nietrwałe i w dodatku nieestetyczne, dlatego prawie całkowicie zaprzestano stosowanie ich w miastach.

Z czasem, na skutek znacznych potrzeb inwestycyjnych, następuje powrót do stosowania prefabrykatów belkowych, i to często z widocznym powodzeniem [4].

Celem niniejszego artykułu jest dokonanie selekcji stosowanych prefabrykatów i systemów konstrukcyjnych w aspekcie ich trwałości i walorów estetycznych.

Tabela 1. Belki kablobetonowe typu odwrócone T



Długość (m):	8,00 ÷ 12,00	Cięgna sprężające:	kable 10Ø5 i 12Ø5 mm
Wysokość (m):	0,29 ÷ 0,43	Liczba kabli:	2x10Ø5 + 2x12Ø5 ÷ 2x10Ø5 + 3x12Ø5
Objętość betonu (m ³):	0,64 ÷ 1,24	Stal sprężająca:	R _s = 16 500 kg/cm ²
Masa belki (t):	1,60 ÷ 3,00	Siła początkowa:	10Ø5 – 20,5 T, 12 Ø 5 – 24,7 T
Marka betonu:	R _w 500	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	250 kg/cm ²
Odmiany belek: Belki odwrócone T Nr 29/800/I, Nr 29/800/II, Nr 32/900/I, Nr 32/900/II, Nr 37/1000/I, Nr 37/1000/II, Nr 43/1200/I, Nr 43/1200/II – CBSiPTDiL oddz. Kraków, 1957			

2. Historia rozwoju produkcji belek prefabrykowanych w Polsce

Pierwsze prefabrykaty z betonu sprężonego znalazły zastosowanie przy budowie małych przęseł płytowych. Były to belki w kształcie odwróconej litery T, wzorowane na podobnych typach belek w Wielkiej Brytanii. Na belkach tych, po ułożeniu ich obok siebie i uzbrojeniu poprzecznym, betonowano płytę pomostu bez stosowania rusztowań, a deskowania ograniczały się jedynie do uformowania belek podporęczowych.

Prototypowy obiekt z wykorzystaniem tych belek wybudowano w miejscowości Kujan, skąd wzięta się późniejsza nazwa tego typu belek. Po pierwszych

Tabela 2. Belki strunobetonowe typu Kujan

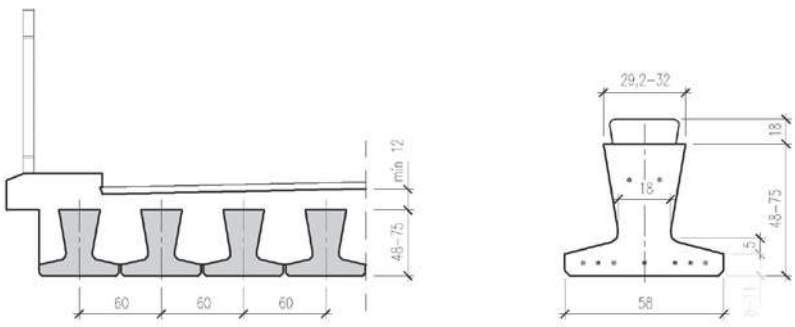
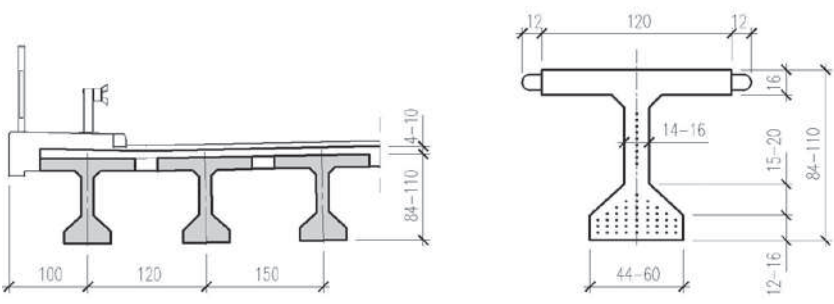
			
Długość (m):	8,64 ÷ 17,64	Cięgna sprężające:	liny 7Ø2,5 mm i 7Ø5 mm
Wysokość (m):	0,48 ÷ 0,75	Liczba cięgien:	9 ÷ 42
Objętość betonu (m ³):	1,22 ÷ 4,06	Siła początkowa:	4,42 T ÷ 14,6 T
Masa belki (t):	3,32 ÷ 11,00	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	325 ÷ 350 kg/cm ²
Marka betonu:	R _w 450 i 500		
Odmiany belek: Kujan 12, Kujan 15 – dok. KBPDiM – Kraków, 1971 Kujan 9/AB, 12/A, 12/B, 15/A, 15/B, 18/A, 18/B – dok. Transprojekt Gdańsk, 1988			

Tabela 3. Belki typu Płońsk

			
Długość (m):	14,94 ÷ 23,94	Cięgna sprężające:	liny 7Ø2,5 i 7Ø5 mm
Wysokość (m):	0,80 ÷ 1,06	Liczba cięgien:	26 ÷ 80
Objętość betonu (m ³):	5,06 ÷ 9,94	Siła początkowa:	4,03 T ÷ 13,5 T
Masa belki (t):	13,15 ÷ 26,84	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	350 kg/cm ²
Marka betonu:	R _w 500		
Odmiany belek: BSP15, BSS15, BSP18, BSS18 – dok. CBSiPTDiL Warszawa, 1970 BP15A, BP18A, BP15B – dok. CBSiPTDiL Warszawa, 1975. L-21, L-24 – dok. KBSiPDiM Kraków, 1987			

zastosowaniach, Centralne Biuro Studiów i Projektów Transportu Drogowego i Lotniczego – Oddział Kraków opracowało w 1957 roku pierwszą wersję typowych belek Kujan o długościach 8, 9, 10 i 12 m, przewidzianych do budowy przęseł dla I i II klasy obciążenia [1]. Głównym projektantem belek był mgr inż. Henryk Snarski.

Belki te produkowano początkowo w wersji kablobetonowej (tab. 1) z betonu o wytrzymałości R_w 400.

Do sprężania używano najczęściej kabli Freyssineta, złożonych z 10 lub 12 drutów Ø 5 mm ze stali o wytrzymałości R_t = 16500 kg/cm². Do formowania belek stosowano formy stalowe, a przyspieszone dojrzewanie stosowano poprzez nagrzewanie parą po przykryciu plandekami.

W latach sześćdziesiątych belki Kujan produkowane były już na dość dużą skalę przez KPRM, a następnie PPRM i wykorzystywane do budowy wielu obiektów jedno- i kilkuprzęsłowych, ponieważ jedną z zalet tych belek jest łatwe uciąganie poprzez dawanie zbrojenia w nadbetonie stref podporowych ustroju.

Zalety tych belek sprawiły, że pomimo nieprzemyślanych zakazów ich stosowania w latach osiemdziesiątych, z powodu rzekomej materiałochłonności, a zwłaszcza nadmiernego zużycia stali zbrojeniowej, belki te przetrwały i stosowanie ich kontynuowano.

W roku 1971 KBPDiM opracowało projekty belek Kujan w wersji strunobetonowej (tab. 2) o długościach 12 i 15 m, sprężonych linami 7Ø2,5 lub

7Ø5 mm. Belki te na dużą skalę stosowano do budowy mniejszych obiektów mostowych. Belki produkowano przeważnie w sztywnych formach oporowych, stanowiących jednocześnie formę z komorami doprowadzającymi parę do nagrzewania prefabrykatu oraz tor naciągowy. Belki produkowano również na nielicznych wówczas torach naciągowych.

W roku 1988 Transprojekt Gdańsk rozwinął tę koncepcję, opracowując typoszereg prefabrykatów Kujan o długościach od 8,64 do 17,64 m i objętości betonu: od 1,22 do 4,06 m³. Belki te były stosunkowo lekkie, o masie od 3,32 do 11,00 t.

Belki zaprojektowano z betonu o wytrzymałości R_w 400 i 500, sprężone cięgnami z lin 7Ø2,5 i 7Ø5 mm, przy wytrzymałości betonu w chwili sprężania od 325 do 350 kg/cm².

Strunobetonowe belki Płońsk (tab. 3), to następny rodzaj prefabrykatów przeznaczonych do budowy wiaduktów. Nazwa pochodzi od miejsca wybudowania obiektu prototypowego. Belki te o przekroju poprzecznym w kształcie litery T, ustawiane obok siebie łączone były za pomocą betonowanych na miejscu podłużnych szwów żelbetonowych.

Pierwszą wersję prefabrykatów o długościach 15 i 18 m z prefabrykowanymi poprzecznikami, zaprojektowało CBSiPTDiL w Warszawie w roku 1970. Dalszą wersję z poprzecznikami betonowanymi na miejscu, również o długościach belek 15 i 18 m, opracowało to samo biuro w roku 1975. Był to prawdopodobnie skutek zwątpienia w ideę 100% prefabrykacji.

W roku 1987 KBSiPDiM w Krakowie opracowało zmodernizowaną wersję prefabrykatów Płońsk o długościach 21 i 24 m z betonowaną na miejscu żelbetową płytą współpracującą, co stanowi dalszy odwrót od „pełnej” prefabrykacji.

Belki Płońsk wykonywano z betonu R_w 500, a w chwili sprężania wymagana wytrzymałość wynosiła 350 kg/cm². Jako cięgna sprężające stosowano liny 7Ø2,5 i 7Ø5 mm. Masa belek wynosiła od 13,15 do 26,84 t.

Doświadczenia z eksploatacji przęseł z belkami Płońsk, zwłaszcza I gene-

Tabela 4. Belki kablobetonowe typu WBS

Długość (m):	14,64 ÷ 41,95	Cięgna sprężające:	kable 18Ø5, 37Ø5, 61Ø5 mm
Wysokość (m):	1,20 ÷ 2,25	Liczba kabli:	4 ÷ 10
Objętość betonu (m³):	6,90 ÷ 27,45	Siła początkowa:	34,4 T ÷ 69,8 T
Masa belki (t):	18,63 ÷ 74,10	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	320 kg/cm²
Marka betonu:	R _w 400		
Odmiany belek: WBS21, WBS24, WBS30, WBS36, WBS42 – dok. WBSiPTDiL Warszawa, 1970			

Tabela 5. Belki segmentowe typu WBS

Długość (m):	29,40 i 35,40	Cięgna sprężające:	kable IBDM 7L15,5 i 12L15,5
Wysokość (m):	1,60 i 1,95	Liczba kabli:	8 i 6
Objętość betonu (m³):	16,03 i 25,56	Siła początkowa:	86,0 T i 153,0 T
Masa belki (t):	43,30 i 69,11	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	400 kg/cm²
Marka betonu:	R _w 500		
Odmiany belek: Belki WBS-30, WBS-36 – dok. CBSiPTDiL Warszawa, 1979			

racji, wypadły zdecydowanie negatywnie i wynikały głównie z niedostatecznej współpracy poszczególnych belek, ale również niskiej jakości elementów wyposażenia. Przeciekająca przez izolację oraz urządzenia dylatacyjne solanka niszczyła totalnie belki strunobetonowe. Dlatego wszystkie tego typu obiekty uległy rozbiórce. Belki kablobetonowe WBS (tab. 4) zostały zaprojektowane przez WBSiPTDiL w Warszawie w roku 1970, z przeznaczeniem do budowy zespolonych przęseł mostowych o długości od 21 do 42 m.

Współpracę poprzeczną dwuteowych belek zapewniała płyta żelbetowa o grubości 12 cm oraz betonowane na miejscu żelbetowe poprzecznice. Belki WBS wykonywano z betonu R_w 400, a w chwili sprężania wymaga-

na średnia wytrzymałość wynosiła 320 kg/cm². Jako cięgna sprężające stosowano kable Freyssineta 18Ø5 oraz kable z pojedynczych lin 37Ø5

Tabela 6. Belki strunobetonowe typu WBS

Długość (m):	14,64 ÷ 20,64	Cięgna sprężające:	liny Ø15,5 mm
Wysokość (m):	1,25	Liczba cięgien:	23 ÷ 37
Objętość betonu (m³):	5,29 ÷ 7,61	Siła początkowa:	126 kN
Masa belki (t):	14,28 ÷ 20,55	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	24,5 MPa i 28 MPa
Marka betonu:	B35 i B40		
Odmiany belek: WBS/S/15/B, WBS/S/18/B, WBS/B/21/B – dok. Transprojekt Warszawa, 1993			

i 61Ø5 mm (tzw. kable typu Polskiego). Masa belek wynosiła od 18,63 do 74,10 t.

Znaczna masa i wymiary zadecydowały o tym, że belki o długościach powyżej 24 m wykonywano w wytwórniach przyobiektowych.

Pomimo niskiej jakości stosowanych wówczas elementów wyposażenia, takich jak izolacje przeciwwodne i dylatacje, obiekty te wykazywały dość znaczną trwałość. Jedynym mankamentem była zbyt cienka płyta żelbetowa jezdni, co powodowało zdarzające się perforacje pod obciążeniem kół samochodów ciężarowych.

Kablobetonowe belki segmentowe WBS (tab. 5) zostały zaprojektowane przez WBSiPTDiL w Warszawie w roku 1979, z przeznaczeniem do budowy zespolonych przęseł mostowych o długości 30 i 36 m. Współpracę poprzeczną dwuteowych belek w ustroju, tak jak w przypadku belek monolitycznych, zapewniała płyta żelbetowa o grubości 12 cm oraz betonowane na miejscu żelbetowe poprzecznice.

Każda z belek składała się z 3 segmentów, które wykonywano z betonu R_w 500, a w chwili sprężania wymagana wytrzymałość wynosiła 400 kg/cm². Jako cięgna sprężające stosowano kable IBDM 7L15,5 i 12L15,5. Masa gotowych belek wynosiła 43,30 i 69,11 t.

Segmentową budowę belek przyjęto ze względu na możliwość przeniesienia produkcji belek do wytwórni. Gotowe segmenty po przewiezieniu ich na miejsce montażu miały być scala-

ne za pomocą betonowanych na miejscu styków żelbetowych, a następnie sprężane.

Badania belki segmentowej o rozpiętości 36 m, wraz z żelbetową płytą współpracującą, przeprowadzono na stanowisku badawczym IBDiM w Kielcach. Wyniki badań wypadły pozytywnie. Proponowano zamiast styków na styki „suche” z wykorzystaniem zaprawy epoksydowej do scalania prefabrykatów. Jednak realizacja obiektów na podstawie tej koncepcji nie wyszła poza sferę badań doświadczalnych.

Belki strunobetonowe WBS (tab. 6) zostały zaprojektowane przez Transprojekt w Warszawie w roku 1993, z przeznaczeniem do budowy zespolonych przęseł mostowych o długości od 15 do 21 m. Jako cięgna sprężające zastosowano liny $\varnothing 15,5$ mm. Masa belek wynosiła od 14,28 do 20,55 t. Współpracę poprzeczną dwuteowych belek, tak jak w przypadku wersji kablobetonowych, zapewniała płyta żelbetowa oraz betonowane na miejscu żelbetowe poprzecznice.

Belki WBS zaprojektowano z betonu klasy B35 MPa lub B40 MPa, a w chwili sprężania wymagana wytrzymałość miała wynosić od 24,5 lub 28 MPa. Pomimo niskiej jakości stosowanych elementów wyposażenia, takich jak izolacje przeciwwodne i dylatacje, obiekty te wykazywały dość znaczną trwałość, tym bardziej że zastosowano płytę żelbetową jezdni o grubości 24 cm.

Belki typu II (tab. 7), nazywane potocznie „korytkowe”, zostały zaprojektowane przez CBSIPTDiL w Warszawie w roku 1977. W ich produkcji oraz montażu wyspecjalizowało się PPRM, i stąd budowano je w północnej połowie Polski. W południowej dominowało KPRM ze „swoim” typem Płońsk.

Belki typu II przewidziane były do budowy wiaduktów z przęsłami o długościach od 15 do 21 m. W zasadzie budowano je jako obiekty o przęsłach swobodnie podpartych, zdylatowanych między sobą. Później budowano również ustroje ciągłe, wieloprzęsłowe.

Jako cięgna sprężające zastosowano liny $7\varnothing 2,5$ mm o trasie prostoliniowej i poligonalnej. Masa belek

Tabela 7. Belki typu II (korytkowe)

Długość (m):	14,94 ÷ 20,94	Cięgna sprężające:	liny $7\varnothing 2,5$ mm
Wysokość (m):	0,86 ÷ 0,96	Liczba cięgien:	70 ÷ 134
Objętość betonu (m ³):	6,42 ÷ 11,44	Siła początkowa:	4,03 T
Masa belki (t):	16,70 ÷ 29,70	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	300 kg/cm ²
Marka betonu:	R _w 400		
Odmiany belek: BSKP-15, BSKS-15, BSKP-18, BSKS-18, BSKP-21, BSKS-21 - CBSIPTDiL Warszawa, 1977			

Tabela 8. Belki typu U

Długość (m):	20,60 ÷ 23,96	Cięgna sprężające:	liny $\varnothing 15,5$ mm
Wysokość (m):	1,20	Liczba cięgien:	36 ÷ 46
Objętość betonu (m ³):	10,39 ÷ 12,09	Siła trwała:	104 kN
Masa belki (t):	28,05 ÷ 32,64	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	30 MPa
Klasa betonu:	B40		
Odmiany belek: U-21, U-24 – dok. Politechnika Gdańska, 1985			

wynosiła od 16,70 do 29,70 t. Współpracę poprzeczną belek uzyskiwano za pomocą zabetonowanych w nich stalowych łączników, które następnie łączono pomiędzy sąsiednimi belkami przez spawanie. Belki II zaprojektowano z betonu R_w 400, a w chwili sprężania wymagana wytrzymałość miała wynosić 300 kg/cm².

Produkcja prefabrykatów była bardzo uciążliwa, ponieważ wymagała dokonania naciągu w skrajnym przypadku 134 cięgien linowych z nadaniem części z nich tras wielokątnych za pomocą specjalnych odciągów oraz zabetonowanie przy minimalnej grubości 2 środników, wynoszącej 10 cm.

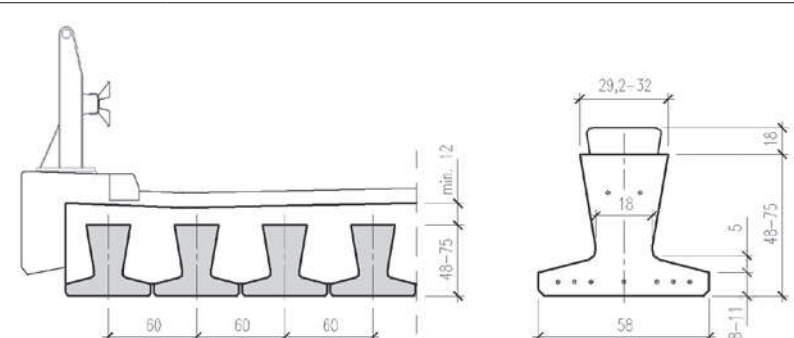
Do produkcji używano samonośnych form stalowych, spełniających jednocześnie rolę toru naciągowego. Oprócz belek II tu opisywanych, produkowano różne modyfikacje tych belek, między innymi belki używane do budowy

estakady na Trasie Eugeniusza Kwiatkowskiego.

Ogólnie doświadczenia z eksploatacji przęseł z belkami II, wypadły zdecydowanie negatywnie i wynikały głównie z niedostatecznej współpracy poszczególnych belek, ale również niskiej jakości elementów wyposażenia. Przeciekająca przez izolację oraz urządzenia dylatacyjne solanka, niszczyła totalnie belki strunobetonowe. Dlatego prawie wszystkie tego typu obiekty uległy rozbiórce.

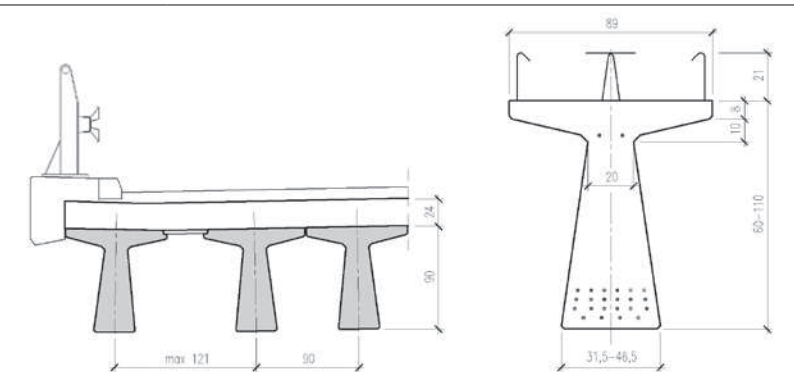
Belki strunobetonowe U (tab. 8) zostały zaprojektowane przez Politechnikę Gdańską w roku 1985, z przeznaczeniem do budowy zespolonych przęseł mostowych o długościach 21 i 24 m. Jako cięgna sprężające zastosowano liny $\varnothing 15,5$ mm. Masa belek wynosiła od 28,0 do 32,64 t. Współpracę poprzeczną belek zapewniała płyta żelbetowa o grubości 21 cm.

Tabela 9. Belki typu Kujan



Długość (m):	8,64 ÷ 17,64	Cięgna sprężające:	liny $\varnothing 15,5$ mm
Wysokość (m):	0,48 ÷ 0,75	Liczba cięgien:	9 ÷ 20
Objętość betonu (m ³):	1,22 ÷ 4,06	Siła początkowa:	138,8 kN ÷ 149,0 kN
Masa belki (t):	3,32 ÷ 11,00	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	31,5 MPa ÷ 36,0 MPa
Klasa betonu:	B35 i B40		
Odmiany belek: Kujan 9/AB, 12/A, 12/B, 15/A, 15/B, 18/A, 18/B – dok. Transprojekt Gdańsk, 1993 Kujan L = 9 m kl.A, L = 12 m kl.A, L = 15 m kl.A, L = 18 m kl.A – dok. Transprojekt Gdańsk, 2005			

Tabela 10. Belki typu T



Długość (m):	11,60 ÷ 26,60	Cięgna sprężające:	liny $\varnothing 15,5$ mm i $\varnothing 15,7$ mm
Wysokość (m):	0,60 ÷ 1,10	Liczba cięgien:	11 ÷ 28
Objętość betonu (m ³):	2,79 ÷ 11,20	Siła początkowa:	140,5 kN ÷ 196,0 kN
Masa belki (t):	7,01 ÷ 29,60	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	30,0 MPa ÷ 36,0 MPa
Klasa betonu:	B45 ÷ B60		
Odmiany belek: T12, T15, T18, T21, T24, T27 – dok. Mosty-Łódź, 2002; T24z, T27z – dok. Mosty-Łódź, 2005; T12/2010, T18/2010, T21/2010, T24/2010, T27/2010 – dok. Mosty-Łódź, 2002			

Belki U zaprojektowano z betonu klasy B40, a w chwili sprężania wymagana średnia wytrzymałość miała wynosić 30 MPa.

Przęsła z belkami U były jednym z najlepszych rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych w Polsce. Łatwe w produkcji, montażu i transporcie, o dużej sztywności skrętnej, zapewniały odpowiednią współpracę belek w ustroju i umożliwiały budowę ustrojów ciągłych wieloprzęsłowych. Przy ich wykorzystaniu wybudowano między innymi odcinki skrajne wiaduktu w ulicy ks. Popieluszki w Warszawie.

Niestety w dalszej perspektywie belki U przegrały z urzędnikami administracji

drogowej, ponieważ ich zdaniem nie umożliwiały inspekcji wewnątrz dźwigarów zespolonych w trakcie eksploatacji i w rezultacie ich produkcję zaniechano.

3. Współczesne belki prefabrykowane

Sprężone belki prefabrykowane produkowane współcześnie, to w większości przypadków modyfikacje belek wcześniej produkowanych. Przykładem mogą być belki Kujan o długościach od 9 do 18 m (tab. 9), zaprojektowane przez Transprojekt Gdańsk w roku 1993, a następnie zmodyfikowane

przez to biuro w 2005 roku, pod kątem ujednolicenia form do produkcji.

Belki zaprojektowano na obciążenie klasy A i B. Masa belki, w zależności od długości, wynosi od 3,32 do 11,00 t. Jako cięgna sprężające zastosowano prostoliniowe liny $\varnothing 15,5$ mm z zastosowaniem debondingu dla części cięgien.

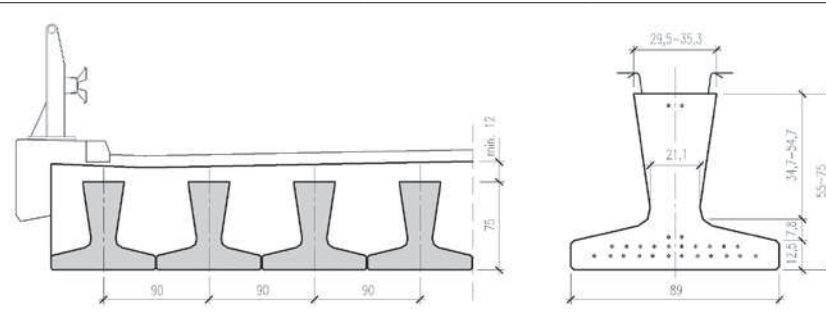
Do produkcji belek Kujan przewidziano stosowanie betonu klasy B35 i B40 MPa, o wytrzymałości w chwili sprężania 31,5 i 36 MPa.

Belki strunobetonowe typu T (tab. 10) zaprojektowano w firmie Mosty-Łódź, w roku 2002, z przeznaczeniem do budowy zespolonych przęseł mostowych o długości od 12 do 27 m. Pierwotna wersja dokumentacji została w 2005 roku poszerzona o wersję belek z mniejszą liczbą cięgien i większą siłą sprężającą. W 2010 roku opracowano dalszą modyfikację belek T uwzględniającą wymagania norm europejskich. Jako cięgna sprężające zastosowano liny $\varnothing 15,5$ mm lub $\varnothing 15,7$ mm. Masa belek wynosi od 28,0 do 32,64 t. Współpracę poprzeczną belek zapewnia płyta żelbetowa o grubości 21 cm. Belki T zaprojektowano z betonu klas od B45 do B60 MPa, a w chwili sprężania wymagana średnia wytrzymałość powinna wynosić odpowiednio od 30 do 36 MPa. Masa belek wynosi od 7,01 do 29,60 t.

Przęsła z belkami T są jednym z bardziej popularnych rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w Polsce. Łatwe w produkcji, montażu i transporcie, zapewniają odpowiednią współpracę belek w ustroju, dzięki wykonywanej na nich dość grubej żelbetowej płycie współpracującej. Umożliwiają budowę ustrojów ciągłych wieloprzęsłowych. Przy ich wykorzystaniu wybudowano wiele obiektów mostowych. Zaletą ich jest nieduża wysokość konstrukcyjna, wadą – ze względu na mały rozstaw belek – system w porównaniu z innymi systemami belkowymi jest mniej ekonomiczny.

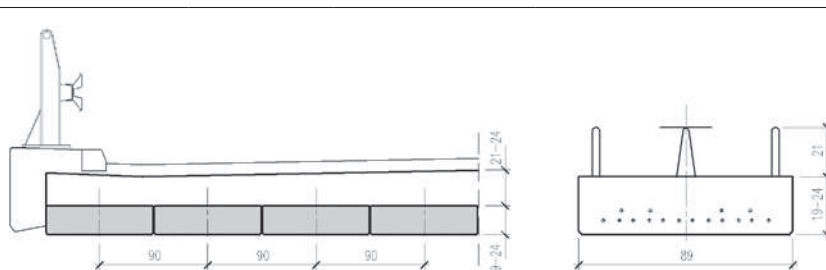
Belki typu Kujan NG (tab. 11) stanowią rozwinięcie idei budowy obiektów zespolonych przy użyciu prefabrykatów w kształcie odwróconej litery T. Projekt belek o długości od 12 do 18 m

Tabela 11. Belki typu Kujan NG



Długość (m):	11,70 ÷ 17,70	Cięgna sprężające:	liny $\varnothing 15,5$ mm
Wysokość (m):	0,55 ÷ 0,75	Liczba cięgien:	16 ÷ 30
Objętość betonu (m ³):	2,32 ÷ 5,36	Siła początkowa:	140,5 kN
Masa belki (t):	5,80 ÷ 13,40	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	35,0 MPa ÷ 50,0 MPa
Klasa betonu:	B50		
Odmiany belek: NG 12, 12W, 12/590, 15, 15W, 15/590, 18, 18W, 18/590 – Transprojekt W-wa, 2004			

Tabela 12. Belki DS



Długość (m):	5,70 ÷ 8,70	Cięgna sprężające:	liny $\varnothing 15,5$ mm
Wysokość (m):	0,19 ÷ 0,24	Liczba cięgien:	8 i 16
Objętość betonu (m ³):	0,93 ÷ 1,81	Siła początkowa:	140,5 kN
Masa belki (t):	2,30 ÷ 4,50	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	30,0 MPa i 40,0 MPa
Klasa betonu:	B45		
Odmiany belek: DS 6, DS 9 – dok. Transprojekt Warszawa, 2004 (w ramach katalogu belek Kujan NG)			

opracował Transprojekt w Warszawie w roku 2004.

Jako cięgna sprężające zastosowano liny $\varnothing 15,5$ mm. Masa belek wynosi od 5,80 do 13,40 t. Współpracę poprzeczną belek zapewnia wykonywany na nich nadbeton. Belki NG zaprojektowano z betonu klasy B50, a w chwili sprężania wymagana średnia wytrzymałość powinna wynosić od 35 do 50 MPa. Masa belek wynosi od 5,80 do 13,40 t.

Najpoważniejszą cechą odróżniającą belki NG od ich poprzedniczek jest szerokość, wynosząca 0,89 m. Umożliwia to szybszy montaż przy niezbyt wysokich wymaganiach w stosunku do sprzętu montażowego przy masie nieprzekraczającej 14 t. Duża trwałość obiektów Kujan powinna zachęcać do stosowania tego rozwiązania.

Prostokątne belki strunobetonowe typu DS (tab. 12) zaprojektowano przez Transprojekt w Warszawie,

w roku 2004, z przeznaczeniem do budowy małych zespolonych przęseł mostowych o długości 6 i 9 m. Jako cięgna sprężające zastosowano liny $\varnothing 15,5$ mm. Masa belek wynosi 2,30 i 4,50 t. Współpracę poprzeczną belek zapewnia płyta żelbetowa o grubości 21 cm, wykonywana na górnej powierzchni ułożonych obok siebie prefabrykatów. Belki DS zaprojektowano z betonu klas B45, a w chwili sprężania wymagana średnia wytrzymałość powinna wynosić 30 lub 40 MPa. Masa belek wynosi 2,30 i 4,50 t.

Przęsła z belkami DS stanowią uzupełnienie w stosunku do typu Kujan NG, posiadają tę samą szerokość i mogą być wykorzystywane do wbudowania w tym samym obiekcie w mniejszych przęsłach, np. przęsłach skrajnych, ponieważ przystosowane są do uciążlania.

Strunobetonowe belki typu IG (tab. 13) zostały opracowane przez firmę Er-

gon w roku 2009 i przypominają belki WBS. Belki o długości od 10 do 43 m przeznaczone są do budowy przęseł zespolonych (tab.13).

Jako cięgna sprężające zastosowano liny $\varnothing 15,2$ mm. Masa belek wynosi od 8 do 88 t. Współpraca poprzeczna belek zapewniana jest przez płytę żelbetową o grubości 26 cm. Belki NG zaprojektowano z betonu klasy B60, a w chwili sprężania wymagana wytrzymałość powinna wynosić 50 MPa.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że belki o wszystkich długościach mają być produkowane jako elementy strunobetonowe. W konsekwencji zachodzi wątpliwość, czy transport belek o długościach powyżej 30 m z wytwórni na miejsce wbudowania, jest z ekonomicznego punktu widzenia celowy. Wydaje się, że z uwagi na utrudnienia w transporcie, prefabrykaty o większej długości powinny być produkowane jako elementy segmentowe, sprężane docelowo kablami.

Prostokątne belki strunobetonowe typu GT (tab. 14) zaprojektowane przez firmę GTI w Warszawie, w roku 2010 z przeznaczeniem do budowy średnich zespolonych przęseł mostowych o długości od 18 do 31 m.

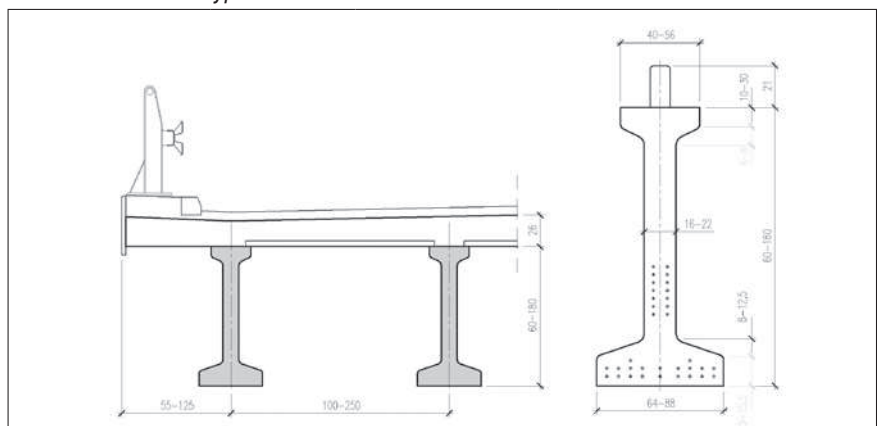
Jako cięgna sprężające zastosowano liny $\varnothing 15,7$ mm. Masa belek wynosi od 21,5 do 55,8 t. Współpracę poprzeczną belek zapewnia płyta żelbetowa o grubości 24 cm, wykonywana na górnej powierzchni prefabrykatów oraz deskowania. Belki GT zaprojektowano z betonu klas B60, a w chwili sprężania wymagana wytrzymałość betonu powinna wynosić od 45 do 60 MPa. Masa belek wynosi od 21,5 do 55,8 t.

Przy ocenie belek GT nasuwa się wątpliwość, czy prostokątny kształt belek, który ułatwia formowanie elementu, nie spowoduje nadmiernego przyrostu ich objętości i ciężaru.

4. Przewidywany rozwój prefabrykowanych przęseł belkowych

Wykorzystanie prefabrykatów z betonu sprężonego do budowy przęseł obiektów mostowych będzie kon-

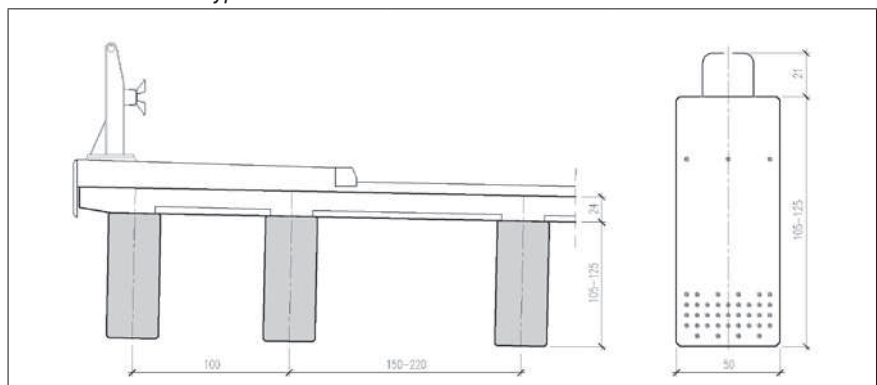
Tabela 13. Belki typu IG



Długość (m):	9,60 ÷ 42,80	Cięgna sprężające:	liny $\varnothing 15,2$ mm
Wysokość (m):	0,60 ÷ 1,80	Liczba cięgien:	16 ÷ 65
Objętość betonu (m ³):	3,00 ÷ 32,80	Siła początkowa:	172,4 kN
Masa belki (t):	8,00 ÷ 88,00	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	50,0 MPa
Klasa betonu:	B60		

Odmiany belek: IG600, IG1400, IG1600 – dok. Ergon Mszczonów, 2009

Tabela 14. Belki typu GT



Długość (m):	18,00 ÷ 30,90	Cięgna sprężające:	liny $\varnothing 15,7$ mm
Wysokość (m):	1,05 ÷ 1,25	Liczba cięgien:	23 ÷ 44
Objętość betonu (m ³):	8,25 ÷ 18,11	Siła początkowa:	212,0 kN
Masa belki (t):	21,45 ÷ 55,77	Wytrzymałość betonu w chwili sprężania:	45,0 MPa ÷ 60 MPa
Klasa betonu:	B60		

Odmiany belek: GT-S-180, s-213, S-256, S-291, S-300, S-309, P-244, P-253, P-256, P-259, W-215 – dok. GTI Warszawa, 2010

tynuowane niezależnie od poglądów lokalnych lub krajowych specjalistów lub decydentów. Dotychczasowe doświadczenia w dziedzinie projektowania i wykonawstwa wykazują, że racjonalne zastosowanie prefabrykacji może w istotny sposób przyspieszyć i obniżyć koszty budowy obiektów mostowych. Umiejętne zastosowanie prefabrykatów pozwoli również na budowę obiektów trwałych i estetycznych. Jako prefabrykaty można stosować zarówno konstrukcje strunobetonowe, jak i kablobetonowe. Prefabrykowane belki strunobetonowe mogą być wykonywane w całości w zakładzie prefabrykacji lub na miejscu wbu-

dowania, jak też scalane na budowie z żelbetowych elementów prefabrykowanych, wykonywanych w zakładzie prefabrykacji, i po przewiezieniu scalane poprzez sprężanie na budowie za pomocą kabli.

Przy obecnych możliwościach technologicznych, nie należy obawiać się wykonywania betonu na budowie, ponieważ dostawa z wyspecjalizowanej wytwórni betonu zapewnia jego odpowiednią jakość. Również nie należy unikać konstrukcji kablobetonowych, ponieważ niewalgiiczny zabieg w tej technologii – iniekcja kabli, został opatentowany całkowicie przez stosowanie odpowiednich technologii.

Nie każda z tych technologii może być stosowana przy użyciu dowolnej długości i ciężaru belek. Ze względu na mniejsze możliwości operowania prefabrykatami z powodu ograniczonych możliwości środków transportu, stosuje się prefabrykaty strunobetonowe krótsze, lżejsze i sprężone stosunkowo mniejszą siłą.

Dla przęseł dłuższych bardziej wskazane są prefabrykaty kablobetonowe, gdzie trasy kabli można prowadzić zgodnie z kierunkami sił wewnętrznych i w ten sposób zmniejszyć zużycie stali sprężającej, a na skutek stosowania kabli obniżyć pracochłonność prac związanych ze sprężaniem.

Takie prefabrykaty można wykonywać w zakładzie prefabrykacji, jak też w miejscu wbudowania. W tym drugim przypadku znacznie oszczędza się na kosztach transportu. Optymalnym rozwiązaniem przy długich prefabrykatkach wydaje się produkcja żelbetowych segmentów w zakładzie prefabrykacji i sprężanie po scaleniu na budowie.

5. Podsumowanie

Trudno o prostą receptę na uniwersalne rozwiązanie. O wyborze każdego systemu, w tym o przyjęciu optymalnego w danych warunkach typu prefabrykatu, powinien decydować rachunek ekonomiczny przy uwzględnieniu trwałości przyjętego rozwiązania.

Wiadomo, że część belek prefabrykowanych się sprawdziła, a część nie. Dlatego powinno się stosować rozwiązania sprawdzone pod względem trwałości, z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych. Prawie wszystkie wymienione w artykule, obecnie stosowane typy, można do takich zaliczyć.

BIBLIOGRAFIA

[1] Czernski Z., Zieliński J. L., Prefabrykowane mosty sprężone. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1970. ISBN 624.21.012.47:693.45
 [2] Kaufman S., Mosty sprężone. Wydawnictwa komunikacyjne, 1956
 [3] Ajdukiewicz A., Mames J., Konstrukcje sprężone. Arkady, 1984. ISBN 83-213-3181-5
 [4] Filipiuk S., Betonowe konstrukcje sprężone projektowane w Transprojekcie Gdańskim Seminarium Naukowo-Techniczne, Gdańsk 2010 „Technologia w mostownictwie”