Seria: BUDOWNICTWO z. 81

Nr kol. 1292

Marianna GLENSZCZYK

BADANIA SPRĘŻONYCH BELEK JAKO ELEMENTU STROPU SYSTEMU SBD

Streszczenie. Badane belki są częścią stropu systemu SBD [1]. Wypełniając przestrzeń między słupami, tworzą wraz z kanałowymi płytami poziomą tarczę (rys. 1). Celem badań było sprawdzenie stopnia zespolenia sprężonych belek z betonem złącza, a następnie porównanie własności odkształceniowych w ten sposób wykształconych elementów zespolonych z własnościami płyt kanalowych. Zastosowane rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne gwarantowały dobre zespolenie belek w całym zakresie obciążeń (rys. 3).

TESTS OF PRESTRESSED BEAMS AS AN ELEMENT OF THE FLOOR IN THE SBD SYSTEM

Summary. The tested beams are part of the floor in the system SBD [1]. Filling in the intercolumn space they make up, together with the hollow-ore slabs a horizontal shield (fig. 1). The object of the tests was to check the degree of cementation of the prestressed beams with the concrete of the core, and to compare the deformation characteristics of the bound elements obtained in this way with the characteristic of the hollow-core slabs. The applied constructional and technological solutions guaranteed good cementation of the beams under the whole range of loads (fig. 3).

ESSAIS DES POUTRES PRÉCONTRAINTES PRÉSENTANT DES ÉLEMENTS DU PLAFOND DE SYSTEME SBD

Resume. Les poutres testées font partie du plafond du systeme SBD [1]. En complétant le volume entre des poteaux ces poutres créent conjoitement avec des plaques munies par des canaux une plaque rigide (fig. 1). Le but des essais a été le contrôle du degré de la jonction des poutres précontraintes avec le béton du joint et ensuite faire la comparaison de leurs fleches. L'application d'une solution correcte constructive et technologique garantit une bonne jonction des poutres dans un intervalle des surcharges prevnes (fig. 3).

1. WPROWADZENIE

W ramach prac związanych z wdrożeniem do praktyki budowlanej prefabrykowanego, szkieletowego systemu SBD [6] w Instytucie Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej zrealizowano badania wybranych elementów nowego systemu [1, 2, 5]. Ostatnim badanym elementem konstrukcyjnym były międzysłupowe belki stropowe.

Zgodnie z założeniami [6], belki te wypełniają przestrzeń między słupami, przy czym odpowiednie wyprofilowanie ich przekroju poprzecznego umożliwia rozmieszczenie wzdłuż osi słupów różnego rodzaju instalacji pionowych. Podłużne wieńce sytuowane zwykle w osi słupów, w tym systemie przesunięto poza ich krawędź (rys. 1). Po ułożeniu zbrojenia, wieńce, złącza i styki wypełnia się betonem, monolityzując pokazane na rysunku 1 elementy konstrukcyjne.

Dla stropów rozpiętości od 6,0 do 7,8 m w systemie przewidziano zastosowanie płyt kanałowych, sprężonych metodą termiczną. Ponieważ wcześniej zrealizowane badania [1, 2] w pełni potwierdziły ich przydatność, wysunięto propozycję wykorzystania tejże technologii również do produkcji strunobetonowych belek stropowych.



Rys. 1. Elementy konstrukcyjne systemu SBD; 1 - belki międzysłupowe, 2 - płyta stropowa, 3 - rygiel, 4 - słup, 5 - zbrojenie belek wieńczących

Fig. 1. Constructional members of the SBD system; 1 intercolumn beams, 2 - floor slab, 3 - transom, 4 - column, 5 - reinforcement of the capping beams

Przedstawione niżej badania miały na celu rozpoznanie wytrzymałościowoodkształceniowych cech elementów zespolonych, złożonych z dwóch strunobetonowych belek oraz betonowego rdzenia, poddanych działaniu obciążeń doraźnych. Zaplanowano je w ten sposób, aby uzyskane wyniki mogły mieć charakter uniwersalny (relacja momentkrzywizna dla nietypowego elementu zespolonego, pełna dokumentacja zarysowań, charakterystyki materiałowe). W artykule przeanalizowano jedynie dwa zagadnienia, istotne dla pracy belek jako części składowej stropu systemu SBD; wpływ czynników konstrukcyjno-technologicznych na stopień zespolenia elementów tworzących zestaw,

 możliwość współpracy sprężonych elementów belkowych ze sprężonymi płytami stropowymi.

2. ZAKRES I PRZEBIEG BADAŃ

Przy sprawdzaniu stopnia zespolenia elementów tworzących zestaw uwzględniono następujące czynniki:

- konstrukcję przekroju poprzecznego sprężonych belek,

- kolejność monolityzowania elementów systemu.

Ostatecznie badania zrealizowano na pięciu zestawach pokazanych w tablicy 1. Dwa zestawy (poz. 3 i 4) złożono ze sprężonych belek z żebrami poprzecznymi (rys. 2), natomiast trzy pozostałe (poz. 1, 2 i 3) z belek bez żeberek. W obu typach belek, liczba i rozmieszczenie wkładek sprężających oraz przekrój poprzeczny (B - B) były identyczne.





Zmienne warunki technologiczne (kolejność monolityzowania elementów systemu) uwzględniono poprzez wprowadzenie siły zespalającej zestaw (poz. $1 \div 3$). Jej wartość określono na poziomie 1/3 wartości obciążeń pionowych działajacych na najbliżej położone płyty stropowe. Brak poziomej siły H, czyli zespalającego sprężenia poprzecznego (poz. 4 i 5) odzwierciedlał nieprawidłową sytuację na obiekcie; zabetonowanie rdzenia przy jednoczesnym niewypełnieniu betonem podłużnych wieńców.

Po upływie 28 dni od zabetonowania rdzenia wszystkie zestawy poddano działaniu dwóch sił skupionych przyłożonych w odległości 1,65 m od podpory (tabl. 1, kol. 6). Dla stopniowo zwiększających się obciążeń ($\Delta P = 2,5$ kN) w trzech ciągach pomiarowych (przekroje A, B, C na rys. 3) rejestrowano przemieszczenia punktów służące do wyznaczenia krzywizny. Pomiarów tych dokonywano w obszarze działania stałego momentu zginającego za pomocą czujników indukcyjnych o zakresie ± 25 mm. Ugięcia zestawów mierzono czujnikami indukcyjnymi o zakresie ± 100 mm oraz metodą geodezyjną.

Tablica 1

	ZES	STAWY BELEK	STROPOWYCH	WYSZCZEGÓLNIENIE BADAŃ				
Lp.	OZNACZENIE ZESTAWU	OZNACZENIE ELEMENTÓW TWORZĄCYCH ZESTAW	PRZEKRÓJ	RODZAJ	SCHEMAT			
1	2	3	4	5	6			
1	ZBS-1 /90	BS - 1 /90 BS - 11/90 ZŁĄCZE 1-11/90	H	krzywizny Ugięcia	N, Pi Pi N,			
2	ZBS-11/90	BS - 111/90 BS - 117/90 ZŁĄCZE 111-177/90	H	KRZYWIZNY UGIĘCIA	N, P, P, N,			
3	ZBS-I /91	BS - 1/91 BS - 11/91 ZŁĄCZE I-11/91	H.	KRZYWIZNY UGIĘCIA NOŚNOŚĆ				
4	ZBS-11/91	BS - 111/91 BS - 17/91 ZLACZE 111-17/91	<u>9 </u>	KRZYWIZNY UGIĘCIA NOŚNOŚĆ	N, JP, JP, N.			
5	ZBS-111/91	BS - V/91 BS - VI/91 ZLĄCZE V-VI/91	<u></u>	KRZYWIZNY UGIĘCIA NOŚNOŚĆ				

Zakres badań

Po zarysowaniu płyt na kilku poziomach zaawansowania obciążenia dokonywano pomiaru szerokości rozwarcia rys. Dla wszystkich zestawów utrwalano kolejne fazy zarysowania oraz obraz zniszczenia.

Oprócz badań zasadniczych (tabl. 1, kol. 5-6) określono również cechy wytrzymałościowe betonu elementów tworzących zestawy oraz zastosowanej stali sprężającej. Wszystkie belki wykonano przy zachowaniu takich samych parametrów technologicznych, jakie ustalono dla kanałowych sprężonych płyt stropowych [1,2].

3. ANALIZA WYNIKOW BADAN

Przebieg badań dosyć dobrze obrazują wartości przedstawione w tablicy 2. Oprócz momentów rysujących i niszczących, zestawiono w niej również wartości momentów wywołujących graniczne szerokości rozwarcia rys oraz wyniki badań betonu i stali.

Zniszczenie zestawów ZBS-I/91 i ZBS-II/91 miało miejsce na skutek wyczerpania nośności w przekrojach ukośnych, w strefie sumarycznego działania momentu i siły poprzecznej. W obu przypadkach nastąpiło gwałtowne zmiażdżenie strefy ściskanej równocześnie w obu belkach.

	Za	arysowanie			Wytrzymałość betonu na ściskanie, moduł sprężystości							
Zestaw	Moment rysujący	Mor wywo	oment volujący Moment		belka lewa			belka prawa			rdzeń	
	Mj	<i>af=</i> 0.1	<i>af</i> =0.3	Mn	R _{ф15}	VR	E _b 10 ⁻³	<i>R</i> _{↓15}	VR	$\overline{E_b}10^{-3}$	R _{\$\$15}	VR
	[kNm]	[kNm]	[kN m]	[kNm]	[MPa]		[MPa]	[MPa]		[MPa]	[MPa]	
ZBS-1/90	62.0	68.2	120.9	-	39.56	0.03	27.03	39.04	0.02	25.42	20.52	0.04
ZBS-11/90	52.7	65.1	102.3	-	41.53	0.06	24.83	37.63	0.05	25.43	18.45	0.03
ZBS-1/91	54.3	65.9	120.0	217.0	37.22	0.08	-	40.06	0.08	24.79	21.53	0.06
ZB S- II/91	62.0	65. 9	116.3	217.0	41.05	0.10	29.85	37.78	0.11	26.91	20.57	0.06
ZBS-Ш/91	58.1	65. 9	120. 1	217.0	37.62	0.11	26.97	33.72	0.09	23.09	16.77	0.03
STAL SPRĘŻAJĄCA St 140/160		Ŕ	Granic a=1404 []	a plastycz MPa]	ności v _R ≃0,01	sści Wytrzymałość na rozci: $v_R=0,01$ $\overline{R_r}=1715$ [Mpa]			na rozciąg	ganie ∨ _R =0,02		

Wyniki badań zestawów

Tablica 2

ślono na poziomie 1/3 wartości obciążeń pionowych działajacych na najbliżej położone płyty stropowe. Brak poziomej siły H, czyli zespalającego sprężenia poprzecznego (poz. 4 i 5) odzwierciedlał nieprawidłową sytuację na obiekcie; zabetonowanie rdzenia przy jednoczesnym niewypełnieniu betonem podłużnych wieńców.

Po upływie 28 dni od zabetonowania rdzenia wszystkie zestawy poddano działaniu dwóch sił skupionych przyłożonych w odległości 1,65 m od podpory (tabl. 1, koi. 6). Dla stopniowo zwiększających się obciążeń ($\Delta P = 2,5$ kN) w trzech ciągach pomiarowych (przekroje A, B, C na rys. 3) rejestrowano przemieszczenia punktów służące do wyznaczenia krzywizny. Pomiarów tych dokonywano w obszarze działania stałego momentu zginającego za pomocą czujników indukcyjnych o zakresie ± 25 mm. Ugięcia zestawów mierzono czujni-kami indukcyjnymi o zakresie ± 100 mm oraz metodą geodezyjną.

Tablica 1

	ZES	TAWY BELEK	WYSZCZEGÓLNIENIE BADAŃ				
Lp,	OZNACZENIE ZESTAWU	OZNACZENIE ELEMENTÓW TWORZĄCYCH ZESTAW	PRZEKRÓJ	RODZAJ	SCHEMAT		
1	2	3	4	5	6		
1	ZBS-I /90	BS - I /90 BS - 11/90 ZŁĄCZE I-11/90	H	KRZYWIZNY UGIĘCIA			
2	ZBS-11/90	BS - 111/90 BS - IV/90 ZŁĄCZE 111-1V/90	H	KRZYWIZNY UGIĘCIA			
3	ZBS-1 /91	BS - 1/91 BS - 11/91 ZŁĄCZE I-11/91	H	KRZYWIZNY UGIĘCIA NOŚNOŚĆ			
4	ZBS-11/91	BS - 111/91 BS - 1V/91 ZŁĄCZE 111-1V/91	E. B.	KRZYWIZNY UGIĘCIA NOŚNOŚĆ	N, IP, IP, N,		
5	ZBS-III/91	BS - V/91 BS - V1/91 ZŁĄCZE V-VI/91		KRZYWIZNY UGIĘCIA NOŚNOŚĆ	N, J P, J P, N,		

Zakres badań

Po zarysowaniu płyt na kilku poziomach zaawansowania obciążenia dokonywano pomiaru szerokości rozwarcia rys. Dla wszystkich zestawów utrwalano kolejne fazy zarysowania oraz obraz zniszczenia.

Oprócz badań zasadniczych (tabl. 1, kol. 5-6) określono również cechy wytrzymałościowe betonu elementów tworzących zestawy oraz zastosowanej stali sprężającej. Wszystkie belki wykonano przy zachowaniu takich samych parametrów technologicznych, jakie ustalono dla kanałowych sprężonych płyt stropowych [1,2].

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Przebieg badań dosyć dobrze obrazują wartości przedstawione w tablicy 2. Oprócz momentów rysujących i niszczących, zestawiono w niej również wartości momentów wywołujących graniczne szerokości rozwarcia rys oraz wyniki badań betonu i stali.

Zniszczenie zestawów ZBS-I/91 i ZBS-II/91 miało miejsce na skutek wyczerpania nośności w przekrojach ukośnych, w strefie sumarycznego działania momentu i siły poprzecznej. W obu przypadkach nastąpiło gwałtowne zmiażdżenie strefy ściskanej równocześnie w obu belkach.

	Zarysowanie				Wytrzymałość betonu na ściskanie, moduł sprężystości							
Zestaw	Moment rysujący	Mo	ment dujący	Moment niszcz.	belka lewa			belka prawa			rdzeń	
	Mf	<i>aj</i> =0.1	<i>af</i> =0.3	Mn	Rīģis	VR	E _b 10 ⁻³	<i>R</i> _{¢15}	VR	Ē _b 10 ⁻³	R _{\$\phi15}	VR
	[kNm]	[kNm]	[kN m]	[kNm]	[MPa]		[MPa]	[MPa]		[MPa]	[MPa]	
ZBS-I/90	62.0	68.2	120.9	-	39.56	0.03	27.03	39.04	0.02	25.42	20.52	0.04
ZBS-Ⅱ/90	52.7	65.1	102.3	-	41.53	0.06	24.83	37.63	0.05	25.43	18.45	0.03
ZBS-I/91	54.3	65.9	120.0	217.0	37.22	0.08	1	40.06	0.08	24.79	21.53	0.06
ZBS-II/91	62.0	65.9	116.3	217.0	41.05	0.10	29.85	37.78	0.11	26.91	20.57	0.06
ZBS-Ⅲ/91	58.1	65.9	120. 1	217.0	37.62	0.11	26.97	33.72	0.09	23.09	16.77	0.03
STAL SPRĘZAJĄCA St 140/160		R	Granic = 1404 []	a plastyczr MPa]	ności v _R =0,01	ości Wytrzymałość na rozciąga $v_{R}=0,01$ $R_{r}=1715$ [Mpa] v_{r}			unie v _R =0,02			

Wyniki badań zestawów

Tablica 2

Zdecydowanie inaczej przebiegało zniszczenie zestawu ZBS-III/91. Przy poziomie obciążenia $P_i \approx 0,6 P_n$ zaobserwowano biegnącą od czoła zestawu w kierunku haka transportowego rysę między rdzeniem a jedną ze sprężonych belek. Belka BS-IV/91 w miarę wzrostu obciążenia stopniowo odspajała się od reszty zestawu. Mimo zdecydowanie innego zniszczenia, zestaw ZBS-III/91 osiągnął taką samą nośność jak dwa pozostałe.

• Stopień zespolenia sprężonych belek ze rdzeniem oszacowano analizując pracę zestawów w przekroju poprzecznym. W tym celu w całym zakresie obciążeń przetestowano trzy ciągi pomiarowe, porównując krzywizny wyznaczone w przekrojach A, B, C (rys. 3).



Rys. 3. Zależność moment - krzywizna uzyskana z badań zestawów belek stropowych Fig. 3. Dependence moment - curvature obtained from the investigation of floor bams sets

Okazało się, że do obciążenia równego 0.7 ÷ 0,8 obciążenia niszczącego nie występowały statystycznie istotne różnice w wartościach krzywizn wyznaczonych w poszczególnych przekrojach. Zestawy złożone z dwóch belek sprężonych i betonowego rdzenia zachowywały się jak element monolityczny. Taką sytuację obrazują pokazane na rysunku 3 przebiegi zależności moment - krzywizna, wyznaczone dla zestawu ZBS-I/90 i ZBS-II/91. Analogicznie przebiegały omawiane zależności dla zestawu ZBS-II/90 i ZBS-I/91.

Wyjątek stanowił zestaw ZBS-III/91, pozbawiony zespalajacej siły poziomej, a złożony z belek bez żeberek poprzecznych. Zestaw ten jedynie do poziomu $P_i \approx 0,4 P_n$ zachowywał się jak element w pełni zmonolityzowany (rys. 3). Powyżej tego poziomu obciążenia krzywizna wyznaczona dla belki BS-VI/91 (ciąg A - A) była istotnie większa od dwóch pozostałych, co znalazło odzwierciedlenie w nietypowym sposobie zniszczenia. Tak więc okazało się, że określenie krzywizny na podstawie bezpośrednio pomierzonych przemieszczeń, na odpowiednio dobranej bazie pomiarowej, jest czułą miarą zachowania się elementu zespolonego.

Z kolei poddano analizie współpracę zestawów belek z kanałowymi płytami stropowymi poprzez porównanie ich ugięć. Do analizy tej wybrano trzy charakterystyczne zestawy (ZBS-1/90, ZBS-I/91 i ZBS-II/91) oraz dwa typy płyt (....-SK/III - płytę sprężoną trzema strunami w każdym żeberku i - SK/IV - płytę sprężoną czterema strunami).

Ugięcia tych elementów wyznaczono doświadczalno-obliczeniową metodą [3, 4], wykorzystując sztywności płyt (bezpośrednio uzyskane z badań [1]) oraz sztywności zestawów (z relacji moment - krzywizna, rys. 3).

Na rysunku 4 przedstawiono ugięcia od obciążenia równomiernie rozłożonego, uzyskane dla elementów długości 6,0 m, a na rysunku 5 ugięcia uzyskane dla elementów długości 7,2 m.

Z porównania przebiegu ugięć elementu długości 6,0 m wynika, że jedynie dla niewielkich obciążeń (rzędu 5 kN/m²) ugięcia zestawów złożonych z belek międzysłupowych są porównywalne z ugięciami kanałowych płyt stropowych. W miarę wzrostu obciążeń różnice pomiędzy porównywanymi ugięciami gwałtownie rosną. Dla elementów długości 7,2 m (rys. 5) ugięcia zestawów dla wszystkich analizowanych obciążeń są 1,5 \div 2 razy większe od ugięć płyt kanałowych zbrojonych trzema strunami oraz około 2,5 razy większe od ugięć płyt kanałowych zbrojonych czterema strunami. Tak znaczna różnica sztywności sąsiadujących ze sobą elementów może zagrażać ich współpracy.

Z drugiej strony z opisywanych badań wynika, że proste rozwiązania konstrukcyjne (trzy żebra poprzeczne na długości 6,0 m) oraz prawidłowa technologia zespalania są skutecznym zabiegiem umożliwiającym pełną monolityzację elementów.





a

Fig. 4. Comparison of the deflactions of the floor beams sets with the deflection of the hollow-core slabs (lengh of 6.0 m)

I = 7.2 m





Fig. 5. Comparison of the deflactions of the floor beams sets with the deflection of the hollow-core slabs (lengh of 7.2 m)

4. PODSUMOWANIE

 Przeprowadzone badania wykazały równorzędny wpływ analizowanych czynników na stopień zespolenia belek międzysłupowych. W równym stopniu korzystny wpływ na zespolenie sprężonych belek z betonem rdzenia mają odpowiednio wykształcone żebra porzeczne (czynnik konstrukcyjny), jak i prawidłowa monolityzacja elementów systemu (czynnik technologiczny). Każdy z analizownych czynników gwarantował pełne zespolenie sprężonych belek w całym zakresie obciążeń.

 Przeprowadzona analiza ugięć wykazała istotną różnicę pomiędzy sztywnością zestawów złożonych ze sprężonych belek międzysłupowych a sztywnością sprężonych płyt kanałowych, z którymi te zestawy mają współpracować w stropie systemu SBD.

• Dla zapewnienia prawidłowej współpracy przylegających do siebie elementów stropu, w zależności od rozpiętości i typu płyt stropowych, konieczne jest zastosowanie odpowiednich zabiegów niwelujących zaobserwowane różnice sztywności.

LITERATURA

- Glenszczyk M., Starosolski W.: Badania kanałowych płyt stropowych sprężonych metodą termiczną. XXXIV Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZiTB, t. II, Krynica 19988, s. 85-90.
- [2] Glenszczyk M., Starosolski W.: Badania sprężonych płyt stropowych z wycięciami technologicznymi. XXXVI Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZiTB, t. II, Krynica 1990, s. 35 -40.
- [3] Glenszczyk M.: Application of an experimental-computational method of construction testing to analyse the prestressed hollow-core floor slabs behaviour. Proceedings of the International Conference of "Analytical models and new concepts in mechanics of structural concrete". Białystok 1993, s. 245-252.
- [4] Glenszczyk M.: Experimental-Computational Method of Reinforced Concrete Construction Testing. CEB 27th Plenary Session, Paris 1990. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Budownictwo z. 71, s. 29-48.
- [5] Pająk Z.: Badania elementów i konstrukcyjnych połączeń systemu SBD. Przegląd Budowlany, 1990, nr 10, s. 399-402.
- [6] Starosolski W.: System SBD, geneza i kształtowanie rozwiązań konstrukcyjnych. Przegląd Budowlany, 1990, nr 10, s. 395-399.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Biliszczuk,

Prof. Politechniki Wrocławskiej

Wpłynęło do Redakcji 3.06.1995 r.

Abstract

The paper shows the results of testing prestressed beams being an element of the floor in the system SBD [6]. According to the assumptions [6], the beams fill in the intercolumn space (Fig. 1), which makes it possible locate various installations alongside the axis of the columns. Because the use of hollow-core floor slabs prestressed with the thermal method was anticipated in the system for floors of the span 6,0 - 7,8 m [1,2], this prestressing method was also used for the manufacture of the beams.

The object of the tests was to find out the resistance-deformation characteristics of the bound elements composed of two prestressed beams and a concrete core exposed to an increasing level of immediate loads. The diversification of the sets was considered in the testing procedures (table 1) structuraly (beams with or without lateral ribs) and technologically (the order in which the constructional elements of the system are monolithized). The simultaneous monolithozation of the neighbouring parts of the elements of the floor (the capping beams and the core) was modelled in the tested set by introducing a combining horizontal force H (table 1).

In addition of the main tests (table 1, column 6), the resistance parameters of both the concrete used for the making of the elements of the set.

The results of the tests have shown that the degree of the cementation of the set elements depends equally on the constructional and technological factors (Fig. 3). Up to the level of 0,6 M_a the values of the curvatures evaluated in three measuring sequences were practically identical.

A rigidity analysis has shown a significant difference between the rigidity of the beam sets and the rigidity of the hollow-core floor slabs that the sets are to work with in the construction (Fig. 4, 5).