

dr inż. Janusz Kubiak\*  
 dr inż. Aleksy Łodo\*  
 dr inż. Jarosław Michalek\*

# Badania nośności splotów typu Y1860-S7 w zakotwieniach szczękowych

*The studies on load-bearing capacity of splices  
 of Y1860-S7 type in anchorages*

**W** dźwigarach strunobetonowych stosowane są w kraju głównie sploty siedmiodrutowe średnicy  $12,5 \pm 15,5$  mm wykonane z drutów gładkich  $\varnothing 4,0 \pm 5,5$  mm [1, 2]. W procesie wytwarzania elementów strunobetonowych zasadniczą rolę odgrywa niezawodność naciągu technologicznego kotwienia cięgien na kozłach oporowych (metoda długich torów) lub na czołach form (metoda form samonośnych) [3]. Przykładem powszechnie stosowanego zakotwienia technologicznego strun jest zacisk szczękowy Gifforda, składający się z tulei o stożkowej powierzchni wewnętrznej i stożkowych dwu- lub trójdzielnych szczęk [1, 3]. Szczególnie ważną cechą zakotwień jest precyzja wykonania gwintu w stożku kotwiącym, zapewniająca płynne i równomierne zazębienie się gwintu stożka na cięgnię i ograniczająca do minimum wpływ karbu na nośność cięgna w zakotwieniu.

Zgodnie z Eurokodem 2 [4], układ konstrukcyjny cięgno sprężające – zakotwienie technologiczne powinien mieć wytrzymałość, wydłużalność i charakterystyki zmęczeniowe odpowiednie do wymagań projektu, a ponadto:

- geometria i właściwości materiałów zakotwień powinny być zgodne z Europejskimi Aprobatami Technicznymi, a ich przedwczesne zniszczenie jest wykluczone;
- zniszczenie cięgna nie może być spowodowane przez połączenie cięgna z zakotwieniem;
- wydłużenie zestawu cięgno – zakotwienie przy zerwaniu musi być nie mniejsze niż 2%.

Ostatni warunek jest dyskusyjny ze względu na problem jednoznaczności określenia długości zestawu cięgno – zakotwienie. Raczej powinno się wymagać minimalnej wytrzymałości cięgna na zerwanie w zakotwieniu (np. minimum  $0,95 F_{pk}$ ).

## Zerwanie cięgien sprężających na torze naciągowym

Bezpośrednią przyczyną zainteresowania się tematem było zerwanie się wszystkich 18 splotów Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm na torze naciągowym długości 100 m przy produkcji trzech strunobetonowych dźwigarów dachowych rozpiętości 27 m każdy [5]. Dźwigary wykonywano w różnym czasie z wykorzystaniem jednej formy (w zasadzie jej boków). W pierwszej kolejności zabetonowano dźwigar nr 2 (licząc od kozłów oporowych strony biernej) i pozostawiono beton w formie bez podgrzewania. Na drugi dzień rano przestawiono boki formy na stanowisko dźwigara nr 1, zabetonowano go i rozpoczęto podgrzewanie betonu parą niskoprężną przez boki i spód (podkład) formy opartej

o kozłach oporowych strony biernej naciągu. Po południu przestawiono boki formy na dźwigar nr 3, zabetonowano go i pozostawiono beton wszystkich trzech dźwigarów w warunkach naturalnego dojrzewania. Z powierzchni betonu dźwigarów nr 1 i 2 mogła odparowywać woda niezwiązana, co sprzyjało zwiększonemu skurczowi betonu w dźwigarach.

Trzeciego dnia ok. godziny 14<sup>00</sup> (sobota) stwierdzono pęknięcie pierwszego drutu w jednym splocie przy zakotwieniach strony biernej, a po godzinie drutu w kolejnym splocie. W poniedziałek rano stwierdzono zerwanie wszystkich cięgien przy zakotwieniach strony biernej (fotografia a). Prawie dwudziestometrowy odcinek nieobetonowanych cięgien między dźwigarem nr 3 a kozłem oporowym strony czynnej „szarpnął” wszystkie trzy dźwigary, uszkadzając podpory z wibroizolatorami tworzące spód formy. Nie stwierdzono ucieczki cięgien do wnętrza betonu i zgniecenia betonu w strefie dolnej dźwigarów, co pośrednio świadczyło o wystarczającej wytrzymałości początkowej betonu w dźwigarach w chwili zerwania się cięgien (klasa projektowana betonu C50/60). Charakter zerwania się strun w zakotwieniach przedstawiono na fotografii b.



Zakotwienia z zerwanymi strunami: a) przy kozle oporowym od strony biernej, b) charakterystyczne typy zerwania się strun w zakotwieniu

Zainicjowanie zrywania się pojedynczych drutów w splotach wystąpiło po stronie biernej w miejscu największych naprężeń w zakotwieniach, gdyż po tej stronie spód formy opierał się o kozłach oporowy w celu ograniczenia jego przesuwu

\* Politechnika Wroclawska

w trakcie zwalniania grupowego naciągu technologicznego strun po stronie czynnej. Wiążący beton dźwigara nr 3 przez boki formy przytwierdził struny do spodu formy zapartej o kocioł oporowy strony biernej. Beton dźwigarów nr 1 i 2 kurczą się, zwiększył siłę naciągu w cięgnach głównie na odcinku między dźwigarem nr 1 a kozłem oporowym strony biernej. Siła z pękniętych pierwszych drutów zewnętrznych przeniosła się przez beton dźwigara nr 1 na cięgna nieuszkodzone, zwiększając naprężenia w drutach nieuszkodzonych. Po kilku pojedynczych pęknięciach drutów nastąpiło lawinowe ich zrywanie się w pozostałych cięgnach, a na końcu drutów wewnętrznych, które uległy częściowo wyciągnięciu z zakotwień (fotografia b). O gwałtowności zerwania się cięgien po stronie biernej toru naciągowego świadczyły rozrzucone zakotwienia z cięgnami i przesunięte dźwigary wraz z podkładem stalowym w kierunku strony czynnej zakotwienia strun.

### Badania zestawów cięgno sprężające – zakotwienie technologiczne

Do badań w Laboratorium Badawczym Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej wykorzystano sploty 7-drutowe o symbolu Y1860-S7-Ø15,2 mm produkcji zakładu A i B stosowane do produkcji dźwigarów. Wraz ze splotami pobrano zaciski szczękowe typu Gifforda produkcji firmy W, stosowane do zakotwienia technologicznego strun na torze naciągowym. W celu porównania nośności splotów A i B mocowanych w zakotwieniach firmy W z nośnościami splotów mocowanych w innych zakotwieniach, zdecydowano się na zastosowanie w badaniach porównawczych zakotwień szczękowych renomowanej firmy niemieckiej (umownie oznaczono je N).

Na podstawie oznaczenia splotów Y1860-S7 [1, 2] i danych w aprobatkach producentów A i B stwierdzono (tabela 1), że sploty mają wytrzymałość charakterystyczną na rozciąganie  $f_{pk} = 1860$  MPa i nominalną średnicę zewnętrzną Ø15,2 mm. Dostarczone do badań sploty oznaczono napisami stal A i B. Na podstawie atestów i aprobat określono podstawowe cechy fizyczne badanych splotów Y1860 S7-Ø15,2 mm.

Tabela 1. Właściwości mechaniczne splotów Y1860-S7-Ø15,2 mm

Cechy splotu Y1860-S7-Ø15,2 mm	Wg [1, 2]	Aprobata techniczna firmy A	Aprobata techniczna firmy B
Masa jednostkowa m [g/m]	1095	1086	1091
Pole przekroju $A_p$ [mm <sup>2</sup> ]	140	139	139
Średnica nominalna Ø [mm]	15,2		
Charakterystyczna siła zrywająca $F_{pk}$ [kN]	260	259	259
Wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie $f_{pk}$ [MPa]	1860		
Charakterystyczna siła odpowiadająca granicy plastyczności $F_{p0,1k}$ [kN]	224	228	223
Charakterystyczna granica plastyczności $f_{p0,1k}$ [MPa]	1600	1640	1600

Oznaczenia i parametry techniczne zacisków szczękowych produkcji W i N zastosowane podczas badań maksymalnej siły  $P_n$  na rozciąganie zespołu splot – zakotwienie zestawiono w tabeli 2.

**Parametry wytrzymałościowe cięgien i zakotwień.** Z charakterystyk zakotwień szczękowych firmy N wynika, że o nośności na rozciąganie zestawu splot Ø15,2 mm – zako-

Tabela 2. Oznaczenia i właściwości techniczne zakotwień szczękowych

Cecha	Katalog firmy W	Katalog firmy N
Oznaczenie na tulei zakotwienia	T21-Ø48-30-0,6	A45-34 220 kN
Oznaczenie na stożkach kotwiących	0,6	0,6
Długość tulei L [mm]	55	54
Średnica zewnętrzna tulei D [mm]	50	45
Średnica stożka kotwiącego d [mm]	30	34
Zastosowana długość stożków kotwiących $l_s$ [mm]	48	47
Zastosowane szczęki do kotwienia strun (splotów) Ø [mm]	≅15,2 mm (0,6")	14,7 + 15,3
Maksymalne obciążenie $P_{max}$ niszczące splot Ø15,2 mm w zakotwieniu	210	257
Dopuszczalne obciążenie użytkowe $P_d$ [kN] w splotach Ø15,2 mm przy wielokrotnym użyciu zakotwienia	brak danych	175

twienie decyduje wytrzymałość drutów w splocie i odpowiedni rodzaj zastosowanych szczęk kotwiących, dostosowanych średnicą gwintu do średnicy cięgna. Stożki kotwiące są dopasowane średnicą zewnętrzną  $d$  i długością  $l_s$  do danego typu tulei. Średnica zewnętrzna tulei i stożka kotwiącego podane są na tulei. Typ stożka kotwiącego odpowiada różnym rodzajom cięgien opisanych na danym stożku ich średnicą w calach (np. 0,6" odpowiada średnicy cięgna Ø15,2 mm). Z danych technicznych zakotwień podanych w katalogu firmy N wynika, że stosując zakotwienie typu V oznaczone A45-34 i stożki kotwiące typu 34 oznaczone 0,6" przeznaczone do kotwienia splotów S7 średnicy 14,7 + 15,3 mm, wytrzymałości charakterystycznej  $f_{pk} = 1860$  MPa i przekroju  $A_p = 140$  mm<sup>2</sup>, można osiągnąć obciążenie niszczące zestaw splot Ø15,2 mm – zakotwienie  $P_{max} = 257$  kN. Siła ta jest prawie równa charakterystycznej sile zrywającej splot Y1860-S7-Ø15,2 mm  $F_{pk} = 260$  kN (tabela 1). Dopuszczalna siła użytkowa w splocie Y1860-S7-Ø15,2 mm przy wielokrotnym stosowaniu zakotwień firmy N typu A45-34 ze stożkami 0,6" (140 mm<sup>2</sup>) wynosi  $P_d = 175$  kN (tabela 2).

Zgodnie z danymi katalogu firmy N dopuszczalna siła użytkowa w cięgnie na torze naciągowym podczas produkcji elementów strunobetonowych może być zwiększona o 15%, ale nie więcej niż do 85% siły  $P_{max}$  niszczącej cięgno w zakotwieniu. Oznacza to, że w splotach Y1860-S7-Ø15,2 mm kotwionych na torze naciągowym w zakotwieniach firmy N typu A45-34 ze szczękami 0,6" można dopuścić siłę:

$$P_d^N = 1,15 \times P_d = 1,15 \times 175 = 201,25 \text{ kN}$$

$$< 0,85 \times P_{max} = 0,85 \times 257 = 218,45 \text{ kN.}$$

Według normy [4] maksymalne naprężenia w cięgnach Y1860-S7 mogą wynosić:

$$\sigma_{p,max} \leq k_1 \times f_{pk} = 0,8 \times 1860 = 1488 \text{ MPa,}$$

$$\sigma_{p,max} \leq k_2 \times f_{p0,1k} = 0,9 \times 1600 = 1440 \text{ MPa.}$$

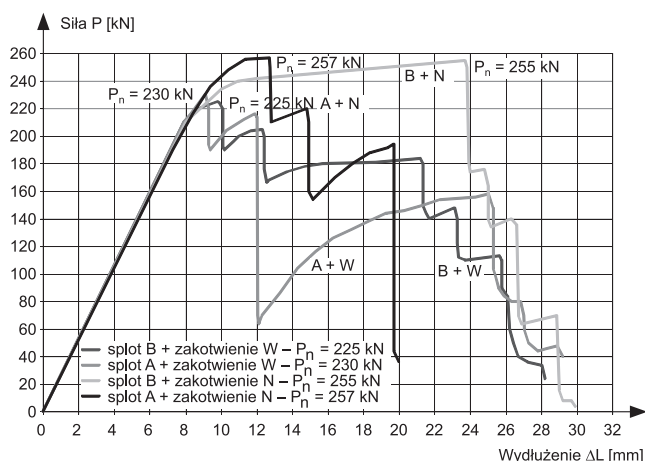
Zatem dla splotów o przekroju  $A_p = 140$  mm<sup>2</sup> wykonanych z drutów o wytrzymałości  $f_{pk} = 1860$  MPa maksymalna siła naciągu w jednym cięgnie na torze mogła wynosić:

$$P_o = A_p \times \sigma_{p,max} = 140 \times 1440 \times 10^{-3}$$

$$= 201,6 \text{ kN} > P_d^N = 201,25 \text{ kN.}$$

Porównując siłę  $P_{max} = 257$  kN (tabela 2) z siłą dopuszczalną w ciągnie na torze naciagowym  $P_d^N = 201,25$  kN można określić wartość współczynnika pewności  $s_n = P_{max}/P_d^N = 257/201,25 = 1,28$  na zniszczenie struny  $\varnothing 15,2$  mm kotwionej w zakotwieniu typu A45-34 ze szczękami 0,6". Ponieważ producent W zakotwień stosowanych przy produkcji analizowanych dźwigarów strunobetonowych nie podał tak szczegółowych informacji jak producent N, można ewentualnie określić nośność użytkową zakotwienia produkcji W typu T21- $\varnothing 48-30-0,6$  przez analogię do zakotwień N. Dopuszczalna siła w strunach Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm kotwionych w zakotwieniach W typu T21- $\varnothing 48-30-0,6$  wyniesie wówczas:  $P_d^W = P_{max}/s_n = 210/1,28 = 164$  kN  $< P_o = 201,6$  kN. Stąd wniosek, że na torze naciagowym zakotwienia W typu T21- $\varnothing 48-30-0,6$  mogły być bezpiecznie stosowane do naciagu strun Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm siłą maksymalną  $P_d^W \cong 164$  kN.

**Laboratoryjne badania na rozciąganie zestawu splot – zakotwienie.** Badania nośności  $P_n$  na rozciąganie zestawu splot  $\varnothing 15,2$  mm – zakotwienie przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej ZD 100 klasy 1 o maksymalnej sile rozciągającej 1000 kN na bazie pomiarowej 1050 mm. Sploty sprężające Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm produkcji A i B kotwiono w zaciskach szczękowych produkcji W i N (szczęki maszyny wytrzymałościowej były zablokowane). Podczas próby rozciągania próbek określano wydłużenie ciągnia oraz siłę zrywającą splot w zależności od producenta splotów i zastosowanych zakotwień szczękowych. Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie zestawu splot  $\varnothing 15,2$  mm – zakotwienie W lub N podano na rysunku. Wszystkie badane sploty Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm zerwały się w zakotwieniach szczękowych. Sposób zniszczenia był jednak różny i zależał głównie od zastosowanych zakotwień (rysunek).



**Wyniki badań nośności splotów Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm produkcyjnych A i B mocowanych w zakotwieniach szczękowych firmy W i N**

Uzyskane z badań nośności na rozciąganie strun A i B, kotwionych w zakotwieniach produkcji N, są większe odpowiednio o 11,7 i 13,3% w stosunku do nośności w zakotwieniach produkcji W (rysunek). Sploty A i B kotwione w zakotwieniach W niszczyły się przez ścięcie drutów zewnętrznych splotu, przy sile  $P_n = 230$  i 225 kN. W zakotwieniach N sploty niszczyły się przez rozciąganie drutów zewnętrznych z częściowym przewężeniem (4 druty) i przez ścięcie, reszta przy sile  $P_n = 257$  i 255 kN (czyli prawie przy takiej samej sile, jaką podaje katalog zakotwień N:  $P_{max} = 257$  kN – tabela 2).

**Podsumowanie**

Analiza przyczyn zerwania się wszystkich ciągnie podczas produkcji strunobetonowych dźwigarów dachowych oraz badania nośności na zerwanie splotów Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm A i B kotwionych w zaciskach szczękowych produkcji firm W i N (rysunek) pozwoliły na sformułowanie poniższych wniosków:

- decydując się wg Eurokodu 2 [4] na bardzo wysokie naprężenia początkowe w ciągnach sprężających na poziomie  $\sigma_{p,max} = 0,8 f_{p0,1k} = 1440$  MPa, powinno się przeprowadzić analizę czynników wpływających na bezpieczeństwo naciagu technologicznego strun na torze naciagowym, w tym szczególnie nośności strun w zakotwieniach z uwzględnieniem technologii betonowania i dojrzewania betonu;
- przedstawiony w artykule przypadek zerwania się splotów sprężających Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm podczas produkcji strunobetonowych dźwigarów dachowych był wynikiem zastosowania zakotwień W typu T21- $\varnothing 48-30-0,6$  obniżających nośność strun w wyniku działania karbu. Siła początkowa w pojedynczym splotie  $P_o = 200$  kN nie była większa od siły  $P_{max} = 210$  kN zrywającej splot w zakotwieniu, ale wskutek zastosowanej technologii betonowania trzech dźwigarów w różnym czasie w formie przestawianej zwiększyła się o ponad 10%, powodując zerwanie się wszystkich splotów w zakotwieniach;
- uzyskana z badań laboratoryjnych nośność na zerwanie splotów Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm mocowanych w zakotwieniach produkcji W była mniejsza o ok. 10,5% (struny A) i 11,8% (struny B) od nośności strun mocowanych w zakotwieniach N typu A45-34 220 kN ze szczękami 0,6";
- przyłożenie na torze naciagowym siły naciagu  $P_o = 200$  kN w jednym ciągnie Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm jest możliwa przy użyciu zakotwień N. Zakotwienia W mogłyby być stosowane do wielokrotnego kotwienia strun Y1860-S7- $\varnothing 15,2$  mm, jeśli siła w jednym ciągnie nie przekroczy 164 kN.

**Abstract**

In the paper selected topics concerning the load-bearing capacity of seven wires splices using in a production of pre-tensioned prestressed concrete elements were presented. On the basis of the own investigations on load-bearing capacity of tension member – anchorage systems and the analysis of anchorages information a few conclusions and guides concerning safety of string tension during production of pre-tensioned prestressed concrete girders were defined.

**Literatura**

[1] Ajdukiewicz A., Mames J.: Konstrukcje z betonu sprężonego. Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2004.  
 [2] EN 10138 Prestressing Steels. Part 1: General Requirements, Part 2: Wires, Part 3: Strands, Part 4: Bars, Part 5: Atte station of Conformity by Certification, Brussels 1994.  
 [3] Łodo A.: Strunobeton – sprzęt, technologie, możliwości produkcyjne, zalecenia konstrukcyjne. XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 2002, Konstrukcje żelbetowe. Tom II, s. 149 – 182.  
 [4] PN-EN 1992-1-1:2008 (z aneksem Ap1: 2010, NA:2010) Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.  
 [5] Kubiak J., Łodo A., Michałek J.: Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa strun na torze naciagowym, Konferencja Naukowo-Techniczna „Konstrukcje sprężone”, Kraków 21 – 23.03.2012, materiały konferencyjne s. 193 – 194.