

dzenie wspornika nie jest związane z wyężeniem elementu. Prawdopodobną przyczyną jego powstania jest uszkodzenie struktury betonu w wyniku oddziaływania wody, która przedostała się pod podstawę łożyska. Przyjęte w projekcie technicznym zbrojenie główne jest wystarczające do przeniesienia występujących obciążeń. Stan techniczny elementu wymagał naprawy, która oprócz odtworzenia stanu projektowanego zwiększyła poziom jego bezpieczeństwa poprzez zastosowanie dodatkowych elementów stalowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Boretti Z., Bogucki W., Gajowniczek S., Hryniewiecka, Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych. Arkady, Warszawa 1997
- [2] Czarnecki L., Emmos P. H., Naprawa i korozja konstrukcji betonowych. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2002
- [3] Imiełowska A., Instrukcja techniczna ujęcia wody na zbiorniku Witka. BOT Elektrownia Turów S.A, Bogatynia 2007
- [4] Kledyński Z., Remonty budowli wodnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006
- [5] Łapko A., Projektowanie konstrukcji żelbetonowych według Eurocodu 2. Arkady, Warszawa 2001
- [6] Runkiewicz L., Badania konstrukcji żelbetonowych. Biuro Gamma, Warszawa 2002.
- [7] Starosolski W., Konstrukcje żelbetowe. PWN, Warszawa 2006
- [8] PN-EN 206-1 Beton Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [9] PN-84/B-03264 Konstrukcje betonowe żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [10] PN-B-03264: 2002. Konstrukcje betonowe żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [11] PN-2000/B-032001 Konstrukcje stalowe w budownictwie wodnym śródlądowym. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [12] Projekt obiektu D-6423. Warszawskie biuro projektów energetycznych, Warszawa 1958.
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie, Dz. U. 2007 Nr 86 poz. 579

Strunobetonowe słupy trakcyjne z betonu wirowanego

Dr inż. Janusz Kubiak, dr inż. Aleksy Łodo, dr inż. Jarosław Michałek,
Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

Linie kolejowe w Polsce mają długość około 24 tys. km, z tego prawie połowa to linie o znaczeniu podstawowym. Około 5 tys. km linii podstawowych przewidzianych jest do modernizacji w celu zintegrowania ich z siecią międzynarodową o podwyższonych prędkościach pociągów osobowych (minimum 160 km/h) i towarowych (minimum 120 km/h). Modernizacja głównych linii kolejowych w Polsce rozpoczęta ponad 15 lat temu związana jest między innymi z wymianą słupów trakcji kolejowej.

Istniejąca trakcja kolejowa w kraju zawieszona jest na żelbetonowych słupach prostokątnych typu ŻK i dwuteowych STŻ (tab. 1) albo stalowych wykonanych z ceowników (słupy kratowe zabezpieczone powłokami malarskimi) bądź z dwuteowników szerokostopo-

wych typu HEB (np. ze stali trudnordzewiejącej – linia CMK). Słupy te były utwierdzone w blokowych fundamentach prefabrykowanych bądź monolitycznych, których montaż wymagał wykonania głębokich wykopów naruszających strukturę podtorza. Słupy stalowe ulegały ponadto stosunkowo szybkiej korozji w miejscu połączenia z masywnymi fundamentami (wpływ destrukcyjny oddziaływania prądów błędnych i drgań słupów), a żelbetonowe niszczyły się na wysokości wskutek zbyt małej otuliny betonowej zbrojenia (nie przestrzegano elementarnych zasad dotyczących zachowania minimalnej grubości otuliny zbrojenia). Od 1997 r. w modernizowanych liniach kolejowych stosowane są fundamenty palowe (rys. 1 i tab. 2), do których przytwierdza się słupy stalowe ocynkowane ogniowo i malowane farbami nawierzchniowymi (rys. 2).

2. Krajowe słupy trakcyjne z betonu wirowanego w fazie zastosowań próbnych

Technologia wirowania betonu od wielu dziesięcioleci zdominowała w Europie i na świecie przemysłową produkcję strunobetonowych żerdzi elektroenergetycznych i słupów trakcji kolejowej. W Polsce ta technologia została wprowadzona dopiero na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku [1]. Funkcjonująca przy Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej w latach 1990–1997 linia laboratoryjna produkcji żerdzi wirowanych pozwoliła na wykonanie w 1995 i 1996 r. kilkudziesięciu słupów trakcyjnych z betonu wirowanego typu ET-1 i ET-2 o długości 9,5 m, które zastosowano jako elementy prototypowe (rys. 3) na linii kolejowej E 59 w rejonie stacji Wrocław – Osobowice

Tabela 1. Charakterystyka żelbetonowych słupów trakcyjnych ŻK i STŻ utwierdzonych w betonowych fundamentach blokowych

Rodzaj danych		Typ słupa			
		prostokątne			dwuteowe
		ŻK 1	ŻK 2	ŻK 3	STŻ
Przeznaczenie		przelotowy	krzyżowy	kotwowy	przelotowy
Wymiary słupa	długość	9500			8750
	przekrój w nasadzie a × b	450 × 210			385 × 210
	przekrój w szczycie c × d	180 × 210			175 × 210
Zużycie stali	stal podłużna	80,3	128,2	166,0	91,0
	stal poprzeczna	5,7	10,0	8,8	11,0
Masa słupa		1570			965
Momenty obliczeniowe M_{Rd}	utwierdzenia w fundamencie	69,08	106,16	139,95	70,54
	zamocowania wysięgnika	35,12	53,97	47,74	22,33

Tabela 2. Podstawowe wymiary fundamentów palowych typu B

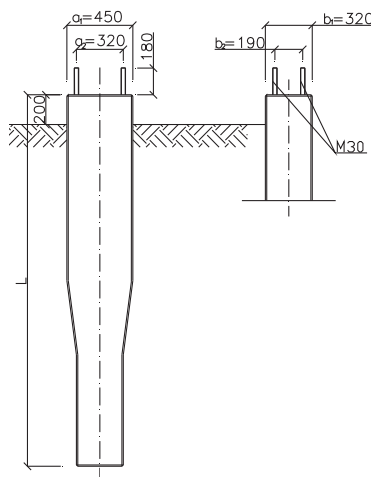
Typ fundamentu palowego	Wymiary górnej części fundamentu		Rozstaw osiowy śrub fundamentu		Średnica otworów w głowicy	Śruby
	mm					
	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂	d	
BI	450	320	320	190	43	M30
BII	520	360	385	225	49	M36
BIII	580	400	435	255	55	M42

(5 słupów) i na torze doświadczalnym w Węglewie koło Żmigrodu (cała sekcja naciągowa licząca 21 słupów zamontowana na zewnątrz łuku o promieniu R = 900 m – rys. 4). Słupy ET-1 i ET-2 utwierdzone w typowych fundamentach blokowych, takich samych jak słupy żelbetonowe typu ŻK lub STŻ.

Po 15 latach eksploatacji można stwierdzić, że słupy trakcyjne z betonu wirowanego zachowują się właściwie, a zauważone uszkodzenie powierzchni betonu na jednym ze słupów jest efektem wstrzeliwania stalowego kołka przez „eksperymentatora” nie zdającego sobie sprawy z możliwości uszkodzenia otuliny betonowej zbrojenia. Słupy mają powierzchnię gładką bez oznak zarysowań i wymywania zaczynu z betonu. Słupy na szlaku linii E 59 są eksploatowane jako słupy trakcyjne z LPN (Linia Potrzeb Nietrakcyjnych – rys.3), czyli mają obciążenia o ponad 20%

większe od słupów trakcyjnych bez LPN (rys. 4).

Na wspomnianej wyżej linii laboratoryjnej wykonano w 1996 r. kilka-naście wirowanych słupów trakcyj-



Wymiary	Wykonanie					
	1	2	3	4	5	6
L [cm]	250	300	350	400	450	500
Masa [kg]	785	910	1030	1155	1275	1400

Rys. 1. Żelbetonowy fundament palowy typu BI

nych typu ETG o długości 8,2 m z głowicami stalowymi (rys. 5), przeznaczonych do montażu na palach fundamentowych typu B produkcji włoskiej (rys. 1 i tab. 2) oraz kilka słupów na palach słowackich (głowice kwadratowe słupów widoczne na drugim planie rys. 5). Słupy ETG przystosowano do utwierdzenia na palach żelbetonowych typu B w sposób identyczny jak słupy stalowe (rys. 6, 7). Kompatybilność tego połączenia w stosunku do słupów stalowych polega między innymi na zasto-



Rys. 2. Połączenie stalowego słupa trakcyjnego serii 1611 z fundamentem palowym typu BI



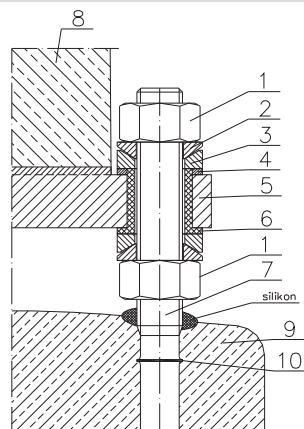
Rys. 3. Słup krzyżowy ET-2 z betonu wirowanego na linii E 59 w rejonie stacji Wrocław – Osobowice (montaż: lipiec 1995 r.)



Rys. 4. Sekcja naciągowa na torze doświadczalnym w Węglewie k. Żmigrodu zmontowana na słupach wirowanych typu ET-1 i ET-2 (montaż: sierpień 1996 r.)



Rys. 5. Słupy ETG z głowicami stalowymi wykonane w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej (czerwiec – lipiec 1996 r.)



- 1 – nakrętka
- 2 – podkładka kulista wypukła
- 3 – podkładka stożkowa
- 4 – podkładka izolacyjna
- 5 – głowica stalowa
- 6 – tulejka izolacyjna
- 7 – śruba fundamentu palowego
- 8 – beton słupa wirowego
- 9 – beton pala żelbetowego
- 10 – połączenie zgrzewane śruby ze zbrojeniem

Rys. 6. Szczegół połączenia głowicy słupa trakcyjnego typu ETG ze śrubą fundamentu palowego



Rys. 7. Połączenie słupa ETG-3 z fundamentem palowym typu B III

widoczne ugięcia i rysy prostopadłe o rozwarciu 0,1 mm w strefie 1 – 3 m od podstawy (głowicy). Zdaniem autorów tego artykułu duże odkształcenia tych słupów wynikają ze zbyt małej odległości między słupem krzyżowym i kotwowym (wystąpił duży kąt odgięcia przewodów nośnych i jezdnych – rys. 8) oraz małego promienia łuku toru. Na drugim końcu sekcji naciągowej pokazanej na rys. 4 słupy kotwowe i krzyżowe typu ET-2 z betonu wirowanego (mające takie same wymiary i zbrojenie jak słupy ETG na rys. 8) nie wykazują rys prostopadłych i ugięć (prawdopodobnie popełniono błąd w lokalizacji pali fundamentowych słupów pokazanych na rys. 8).

3. Aktualny stan prac nad wdrożeniem wirowanych słupów trakcyjnych w polskim kolejnictwie

Prawie po 15 latach od zastosowania pierwszych słupów trakcyjnych z betonu wirowanego na szlaku kolejowym (rys. 3) i na torze doświadczalnym (rys. 4, 7 i 8) wraca się do tego tematu, czego dowodem jest projekt słupów trakcyjnych typu ETG [2] i badania [3] wykonane zgodnie z normami PN-EN [4÷9], EN [10, 11] i PN [12, 13].



Rys. 8. Wirowane słupy trakcyjne typu ETG (kotwowy, krzyżowy, przelotowy) na torze doświadczalnym w Węglewie koło Żmigrodu

Średnice zewnętrzne słupów ETG przyjęte w projekcie [2] zwiększają się ze stałą zbieżnością 15 mm/1 m (tak jak w słupach elektroenergetycznych [1]). Słupy ETG o długości $L = 8,2$ m przeznaczone tylko dla trakcji (czyli bez LPN) wykonuje się w formach słupów $L = 9,0$ m poprzez skrócenie form od szczytu o 0,8 m. Parametry geometryczne, nośności i zużycie materiałów w projektowanych słupach ETG przedstawiono w tabeli 3. Kształty i podstawowe wymiary słupa przelotowego ETG-1 o długości $L = 9,0$ m pokazano na rys. 9.

Zestawienie momentów zginających dla poszczególnych słupów trakcyjnych (przelotowego, krzyżowego, kotwowego, środkowego i kotwienia środkowego) sekcji naciągowej na prostej z siecią typu YC120-2C150 zamieszczono w tab. 4 (obliczenia zawarte są w projekcie [2]).

Z zestawionych w tabeli 4 momentów charakterystycznych i obliczeniowych wynika, że w słupach trakcyjnych przelotowych z LPN występują momenty około 46% większe niż w słupach obciążonych tylko trakcją. Ta różnica jest

niewielka w słupach środkowych i kotwienia środkowego (wynosi około 40%), a najmniejsza w słupach krzyżowych (około 20%) i kotwowych (około 15%). Z ekonomicznego punktu widzenia nie opłaca się więc stosowanie słupów trakcyjnych projektowanych na obciążenia trakcją i LPN jeśli nie przewiduje się montażu na słupach trakcyjnych sieci LPN.

W projektowanych słupach trakcyjnych typu ETG [2] wykonywanych z betonu klasy C40/50 o przewidywanym okresie użytkowania nieprzekraczającym 30 lat minimalna

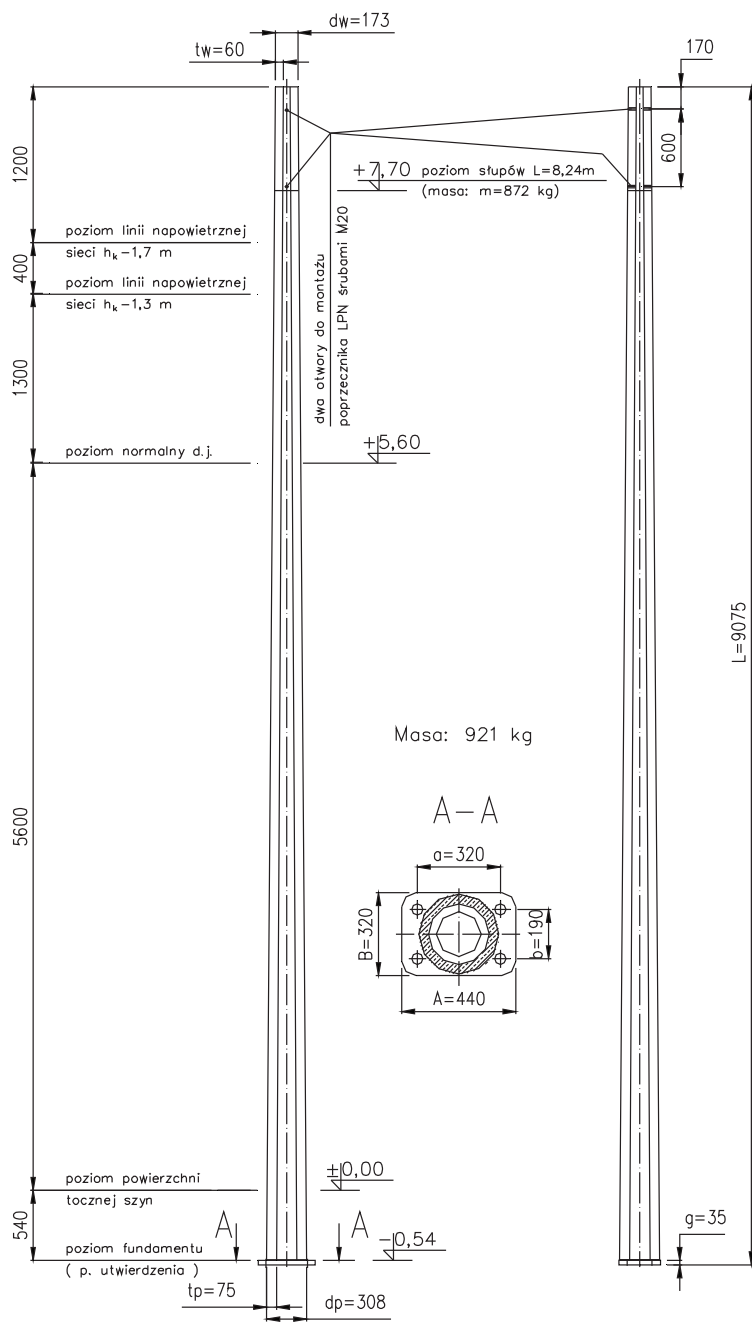
Tabela 3. Dane techniczne słupów trakcyjnych typu ETG o długościach 9,0 i 8,2 m

L.p.	Charakterystyka słupa		Oznaczenie handlowe słupów			
			ETG-1c	ETG-1	ETG-2	ETG-3
1	Długość słupów (łącznie z głowicą stalową) L [mm]		9,075 (8,240) ± 20			
2	Średnica zewnętrzna	wierzchołek d_w [mm]	150 (162) ± 2	173 (185) ± 2	218 (230) ± 2	
		podstawa d_p [mm]	285 ± 2	308 ± 2	353 ± 2	
3	Grubość ścianki	wierzchołek t_w [mm]	50 (52) $^{+nieogr.}_{-5}$	60 (61) $^{+nieogr.}_{-10}$	65 (67) $^{+nieogr.}_{-10}$	
		podstawa t_p [mm]	70 $^{+nieogr.}_{-10}$	75 $^{+nieogr.}_{-10}$	80 $^{+nieogr.}_{-10}$	85 $^{+nieogr.}_{-10}$
4	Wymiary głowicy stalowej $a \times b$ [mm] o grubości $g = 35$ mm		440 \times 310	440 \times 320	505 \times 365	555 \times 375
5	Masa nominalna słupów (razem z głowicą stalową) m [kg]		765 (725)	921 (872)	1222 (1151)	1268 (1195)
6	Projektowana klasa betonu wirowanego		\geq C 40/50 (B50)			
7	Zastępcze siły wierzchołkowe w słupach o długości $L = 9,0$ m	znamionowa P_k [kN]	5,0	6,0	7,0	9,0 11,0*
		rzeczywista (użytkowa) P_{kr} [kN]	5,15	5,86	7,25	9,18 11,04*
		niszcząca teoretyczna P_n [kN]	9,27	10,55	13,05	16,52 19,87*

Uwagi: 1) Wymiary różniące słupy ETG o długości 8,2 m od słupów o długości 9,0 m podano w nawiasach, Wartości P_k , P_{kr} i P_n dla słupa ETG-3 oznaczone gwiazdką dotyczą słupa wzmocnionego (trakcja + LPN)

Tabela 4. Zestawienie momentów zginających dla poszczególnych słupów w poziomie utwierdzenia

Funkcja słupa na prostej	Moment zginający od obciążeń charakterystycznych [kNm]		Moment zginający od obciążeń obliczeniowych [kNm]	
	bez LPN	z LPN	bez LPN	z LPN
przelotowy	32,20	46,92	40,53	59,68
krzyżowy	50,50	60,09	64,44	76,92
kotwowy	69,48	79,90	88,78	102,35
środkowy	38,12	52,83	48,22	67,37
kotwienia środkowego	36,70	51,41	47,40	66,55



Rys. 9. Słup trakcyjny ETG-1 z betonu wirowanego

grubość otuliny strun od zewnątrz powinna wynosić $c_{\min} = 20$ mm, a od wewnątrz kanału podłużnego minimum 15 mm [4, 5]. Wartości powyższe można stosować w prefabrykacjach z betonu poddawane kontroli jakości zgodnie z kryteriami podanymi w rozdziale 6 normy [5]. Ze względu na konieczną trwałość słupów trakcyjnych w warunkach zamrażania/rozmarzania (klasa ekspozycji XF1 dotycząca powierzchni pionowych

narażonych na deszcz i zamarzanie [6, 7, 12]) nasiąkliwość betonu nie powinna przekraczać 5%. Warunek ten nie jest zapisany w cytowanych wyżej normach [4, 5] dla 30-letniego okresu użytkowania słupów z betonu, ale wydaje się być bardzo istotny dla trwałości mrozowej betonu w naszych warunkach klimatycznych.

W wirowanych słupach trakcyjnych wykonanych z betonu klasy $\geq C40/50$ o nasiąkliwości poniżej

5% minimalna grubość otuliny dla 50-letniego okresu użytkowania zgodnie z warunkami alternatywnymi punktu A.2 normy [5] wynosi:

- dla stali sprężającej:

$$c_{\min} = 25 \text{ mm (np. otulina nominalna } c_{\text{nom}} = 30^{+10}_{-5} \text{ mm)},$$

- dla stali zwykłej (w tym spirala):

$$c_{\min} = 15 \text{ mm (np. } c_{\text{nom}} = 20^{+10}_{-5} \text{ mm)}.$$

Obniżenie grubości minimalnej otuliny strun do $c_{\min} = 20$ mm w wirowanych słupach trakcyjnych ETG o projektowanym okresie użytkowania 50 lat jest możliwe, jeśli producent uzyska beton wirowany klasy C50/60 o nasiąkliwości poniżej 4% (warunki alternatywne punktu A.2 normy [5]). Osiągnięcie betonu wirowanego o takich cechach jest realne, o czym świadczą wyniki badań betonu wirowanego [3].

Badanie na zginanie wirowanych słupów trakcyjnych typu ETG zrealizowano na specjalnym stanowisku badawczym [3], pozwalającym na przeprowadzenie obciążeń próbnych w położeniu poziomym (rys. 10). Obciążenia próbne słupów (próba sprężystości i próba do zniszczenia) zrealizowano zgodnie z wytycznymi normy PN-B-03265:1997 [13], z uwzględnieniem zaleceń normy PN-EN 12843:2008 [4]. Na rys. 11 pokazano zniszczenie słupa ETG-1c po badaniu na zginanie.

Badanie słupów trakcyjnych ETG na skręcanie ze zginaniem wykonano na stanowisku do badań na zginanie w położeniu poziomym. Moment skręcający T_s zrealizowano za pomocą ramienia przytwierdzonego prostopadłe w szczycie słupa i liny zaczepionej do tego ramienia (rys. 12 i 13).

Ugięcia a_1 wierzchołka słupów ETG (pomiar tych ugięć wynika z zakresu badań cech odkształcalnościowych i wytrzymałościowych [4]) oraz wskaźniki porównawcze dla badanych słupów ETG zestawiono w tab. 5. W tab. 6 podano uzyskane z badań wartości niszczących momentów skręcających.

Ze względu na wymagania eksploatacyjne trójfazowej ograni-



Rys. 10. Słup trakcyjny ETG na stanowisku badawczym do badań na zginanie

czające maksymalne przesunięcie przewodu jezdnego w stosunku do wartości projektowanej o wartość nie większą niż ± 60 mm [14], bardzo istotna jest rzeczywista wartość ugięcia słupów a_2 na poziomie przewodu jezdnego podana w tab. 7.

4. Wnioski

Na podstawie obserwacji słupów trakcyjnych z betonu wirowanego eksploatowanych przez okres 15 lat i aktualnie wykonanych badań [3] sformułowano kilka wniosków przedstawionych niżej.

4.1. Wygląd zewnętrzny oraz wymia-



Rys. 11. Widok na zniszczony po badaniu na zginanie słup ETG-1c

ry gabarytowe wirowanych słupów trakcyjnych typu ETG wykonanych 15 lat temu jako elementy prototypowe (rys. 3, 4, 7, 8) i nowych badanych w 2009 r. [3] są zgodne z założeniami projektowymi [2]. Odchyłki wymiarów mieszczą się w granicach dopuszczalnych, określonych w projekcie [2] i normie [4].

4.2. Przyjęta w projekcie słupów ETG [2] i potwierdzona doświadczalnie minimalna grubość otuliny cięgien $c_{\min} = 20$ mm gwarantuje elementom trwałość 30-letnią dla betonu wirowanego klasy C40/50 o nasiąkliwości poniżej 5%. Trwałość 50-letnią dla betonu klasy

C40/50 można osiągnąć zwiększając otulinę c_{\min} do 25 mm albo dla otuliny $c_{\min} = 20$ mm stosując beton wirowany klasy C50/60 o nasiąkliwości poniżej 4%.

4.3. Badania wytrzymałościowe wirowanych słupów trakcyjnych typu ETG [3] (obciążenie do siły użytkowej P_{kr} i przeciążenie o 30% w stosunku do tej siły) wykazały ich bardzo dobre cechy sprężyste ($a_t / a_c < 0,1$ – tab. 5), poza jednym wyjątkiem (słup ETG-3) zaznaczonym gwiazdką w tabeli 5 (przyczyną jest deformacja głowicy słupa w wyniku przeciążenia powyżej wymaganej nośności).



Rys. 12. Słup trakcyjny ETG-1 na stanowisku do badania skręcania ze zginaniem



Rys. 13. Zniszczenie słupa ETG-1 podczas badania skręcania ze zginaniem

Tabela 5. Wyniki badań cech odkształcalnościowych i wytrzymałościowych wirowanych słupów trakcyjnych typu ETG

L.p.	Typ słupa	P_{kr}	P_{nt}	P_{cr}	P_n	a_k	a_c	a_t	a_n	w_k	$s = P_n/P_{kr}$	a_t/a_c	$P_2 \rightarrow a_2$		Opis miejsca zniszczenia na zginanie
		kN				mm				kN			mm		
1	ETG-1c	5,15	9,27	5,0	11,0	237	420	24	1330	0,08	2,14	0,057	3,5 → 50		Zniszczenie przy głowicy
2	ETG-1	5,86	10,55	6,0	12,0	273	464	33	1050	0,08	2,05	0,071	4,0 → 56		Zniszczenie przy głowicy
3	ETG-2	11,37	20,47	8,0	20,51	274	455	34	1100	0,10	1,804	0,075	6,0 → 55		Zniszczenie przy głowicy
4	ETG-3	11,04 12,96	19,87 23,33	9,0	22,0 -	221 330	370 527	36 121*	978 -	0,15 0,18	1,99 1,80	0,097 0,23*	7,0 → 49 8,0 → 61		Zniszczenie w odległości 2,9 m od nasady

* - duże wartości wynikają z deformacji plastycznej głowicy stalowej
 P_{kr} , P_{nt} , P_n – zastępcze siły wierzchołkowe odpowiednio: rzeczywista użytkowa, niszcząca teoretyczna i niszcząca z badań;
 a_k , a_c – ugięcie wierzchołka słupa utwierdzonego w fundamencie palowym spowodowane siłą wierzchołkową odpowiednio P_{kr} i $1,3 P_{kr}$,
 a_t – ugięcie trwałe słupa po próbie sprężystości,
 a_n – ugięcie maksymalne słupa obciążonego siłą niszczącą P_n ,
 w_k – szerokość rozwarcia rysy przy obciążeniu słupa siłą P_{kr} ,
 $P_2 \rightarrow a_2$ – siła wierzchołkowa P_2 i odpowiadające jej ugięcie a_2 na poziomie przewodu jezdnego (wg normy ZN-89/MTZiŁ CBP-11 [14]:
 $a_2 \leq a_{2lim} = 60$ mm)
Wymagania wg [13] dotyczące cech sprężystych:
 $a_k \leq a_{lim}$, gdzie a_{lim} dla elektroenergetycznych słupów przelotowych można przyjąć $a_{lim} = L/33 = 9075/33 = 275$ mm,
 $s = P_n/P_{kr} \geq 1,8$ – współczynnik pewności na zniszczenie przy zginaniu,
 $a_t/a_c < 0,1$ – ugięcie trwałe a_t po próbie sprężystości nie powinno przekraczać 0,1 ugięcia całkowitego a_c przy przeciążeniu słupa siłą $1,3P_{kr}$,
 $w_k \leq 0,1$ mm – szerokość rozwarcia rys w słupach częściowo sprężonych obciążonych siłą użytkową P_{kr} .

Tabela 6. Wynik badania słupów ETG-1 i ETG-2 na skręcanie ze zginaniem

L.p.	Typ słupa	Ramię skręcające r	Siły skręcające		Momenty skręcające		Moment charakterystyczny $T_k = T_{cr} / s_t$ dla $s_t = 2,1$
			rysująca P_{cr}	niszcząca P_n	rysujący T_{cr}	niszczący T_n	
		m	kN		kNm		
1	ETG-1	0,89	5,0	6,5	4,45	5,79	2,12 (2,75)
2	ETG-2		12,5	16,5	11,13	14,69	5,30 (7,00)

Tabela 7. Proponowany dobór słupów ETG w zależności od funkcji słupa

Funkcja słupa na prostej w linii bez LPN	Momenty charakterystyczne w utwierdzeniu M_k	Zastępcza siła wierzchołkowa P_{kz}	Ugięcie a_2 [3] od siły P_{kz} ($a_2 \leq a_{2lim} = 60$ mm)	Przewidywany typ słupa ETG (z uwagami dotyczącymi dalszych prac wdrożeniowych)
	kNm	kN	mm	
przelotowy	32,20	32,20 / 8,8 = 3,66	50 (53)	ETG-1 (ETG-1c) (pogrubić ścianki)
krzyżowy	50,50	50,50 / 8,8 = 5,74	53	ETG-2 (zredukować zbrojenie zwykłe)
kotwowy	69,48	69,48 / 8,8 = 7,90	60	ETG-3 (pogrubić ścianki)
środkowy	38,12	38,12 / 8,8 = 4,33	41	ETG-2 (zredukować sprężenie i ewentualnie zbrojenie zwykłe)
kotwienia środkowego	36,70	36,70 / 8,8 = 4,17	40	

4.4. W celu oceny poziomu bezpieczeństwa eksploatacji słupów trakcyjnych w warunkach obciążeń wyjątkowych (skręcanie ze zginaniem) należy porównać charakterystyczne momenty skręcające T_k określone na podstawie wyników badań na skręcanie ze zginaniem (tab. 6), z momentami T_{sd} jakie mogą wystąpić w słupie w wyniku zerwania się przewodu jezdnego bądź nośnego.

4.5. Ugięcia a_2 (poziom przewodu jezdnego) badanych słupów ETG wywołane siłami użytkowymi P_{kz} (tabela 7) nie przekraczają wartości $a_{2lim} = 60$ mm przyjętej w normie ZN-89/MTZiŁ CBP-11 [14] za dopuszczalną. Proponowany wstępny dobór słupów ETG w linii bez LPN ze względu na nieprzekroczenie ugięć $a_{2lim} = 60$ mm przedstawiono w tabeli 7.

LITERATURA

- [1] Kubiak J., Łodo A., Polska wersja technologii wytwarzania strunobetonowych żerdzi wirowanych. Konstrukcje Betonowe. XXXVIII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1992, s. 185–190
- [2] Kubiak J., Łodo A., Michałek J., Projekt wirowanych słupów trakcyjnych typu ETG o długościach 8,2 i 9,0 m przystosowanych do przytwierdzania na palach żelbetonowych typu B lub P. Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport serii U Nr 43/2009
- [3] Kubiak J., Łodo A., Michałek J., Badania wirowanych słupów trakcyjnych typu ETG-1c, ETG-1, ETG-2 i ETG-3. Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR Nr 51/2009
- [4] PN-EN 12843:2008 Prefabrykaty z betonu. Maszty i słupy
- [5] PN-EN 13369:2005 (z aneksami A1:2008 i AC:2008) Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu
- [6] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguly ogólne i reguly dla budynków

- [7] PN-EN 206-1:2003 (z aneksami Ap1:2004, A1:2005 i A2:2006) Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [8] PN-EN 197-1:2002 z aneksami A1:2005 i A3:2007 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
- [9] PN-EN 10080:2007 Stal do zbrojenia betonu. Spajalna stal zbrojeniowa. Postanowienia ogólne
- [10] PrEN 10138-1:2000 Stale sprężające. Wymagania ogólne
- [11] PrEN 10138-2:2000 Stale sprężające. Druty
- [12] PN-B-03264:2002 (z aneksem Ap1:2004) Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [13] PN-B-03265:1987 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Żelbetowe i sprężone konstrukcje wsporcze. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [14] ZN-89/MTZiŁ-CBP-11 Sieć trakcyjna kolejowa. Stalowe konstrukcje wsporcze. Obliczenia statyczne i projektowanie

www.sika.pl



Od fundamentów po dach



Innovation & Consistency since 1910