

Nośność na skręcanie strunobetonowych żerdzi wirowanych

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

1. Wprowadzenie

Strunobetonowe żerdzie wirowane typu E o nośnościach użytkowych $P_k \geq 10$ kN stosowane są w napowietrznych liniach elektroenergetycznych głównie jako słupy mocne, tzn. słupy przeznaczone do przejmowania naciągu przewodów. Do słupów mocnych zalicza się:

- **słupy odporowe** przeznaczone do przejmowania naciągu przewodów w trakcie zakłóceń mechanicznych (np. zerwanie jednostronne jednego przewodu) albo w trakcie realizacji linii na szlaku prostym lub na załomie od linii prostej nie przekraczającym 5° (słup odporowy w trakcie normalnej pracy ma zrównoważone siły od naciągu przewodów),
- **słupy odporowo-narożne** przeznaczone do przejmowania siły wypadkowej z naciągu przewodów w normalnych warunkach pracy oraz naciągu przewodów w trakcie zakłóceń mechanicznych lub montażu linii, podczas których występuje zjawisko skręcania żerdzi,
- **słupy krańcowe** przeznaczone do przejmowania jednostronnego naciągu przewodów na zakończeniu linii elektroenergetycznej w normalnych warunkach pracy i w sytuacjach zakłóceń.

Do słupów mocnych zalicza się również słupy rozgałęźne, jeśli pełnią funkcję słupów odporowych lub krańcowych dla linii głównej, od której biorą początek rozgałęzienia linii. Cechą wspólną słupów mocnych jest konieczność obliczania ich na obciążenia w nor-

malnych i wyjątkowych warunkach pracy.

W liniach średnich napięć najczęściej projektuje się symetryczne zawieszenie przewodów, co zabezpiecza konstrukcje wsporcze przed powstawaniem momentów skręcających w normalnych warunkach pracy. W wyjątkowych warunkach pracy słupów mocnych zakłada się brak jednego z przewodów zewnętrznych, co powoduje spadek siły wypadkowej od naciągu przewodów, ale równocześnie powstają niekorzystne obciążenia żerdzi momentem skręcającym.

2. Obciążenia konstrukcji wsporczych w wyjątkowych warunkach pracy

W wyjątkowych warunkach pracy konstrukcje wsporcze należy obliczać na obciążenia zakłóceń i montażowe występujące przy montażu słupa. Za obciążenia zakłóceń w słupach mocnych należy przyjmować naciągi przewodów w temperaturze $+10^\circ\text{C}$ przy założeniu, że został zerwany przewód po jednej stronie słupa [1, 2]. Przyjęcie takiej zasady ustalania wartości naciągu charakterystycznego w przewodach niezerwanych jest korzystne dla konstrukcji słupa mocnego, gdyż wartość momentu skręcającego jest wówczas mniejsza od $1/3$ momentu jaki powstałby przy naciągu nominalnym P_k , tzn. w temperaturze -25°C .

Z wartości charakterystycznych naciągów przewodów w temperaturze $+10^\circ\text{C}$ dla słupów krańcowych i odporowo-narożnych

wykonanych z żerdzi E o siłach wierzchołkowych $P_k = 20 \div 35$ kN wynika, że redukcja siły naciągu w przewodach dla zakłóceń warunków pracy wynosi 48,8%, a w odporowo-narożnych – 23,8%. Ogólnie zakłada się, że wartość składowej poziomej P_{Ed} prostopadłej do wysięgnika, pochodzącej od siły naciągu w przewodzie zewnętrznym w temperaturze $+10^\circ\text{C}$ nie przekracza 25% nominalnego naciągu P_k w trzech przewodach fazowych. Można więc przyjąć $P_{Ed} = 0,25 P_k$, co przekłada się na następujące wartości sił skręcających:

- żerdź E/20 $\rightarrow P_k = 20$ kN $\rightarrow P_{Ed} = 0,25 \times 20 = 5,0$ kN,
- żerdź E/25 $\rightarrow P_k = 25$ kN $\rightarrow P_{Ed} = 0,25 \times 25 = 6,25$ kN,
- żerdź E/30 $\rightarrow P_k = 30$ kN $\rightarrow P_{Ed} = 0,25 \times 30 = 7,5$ kN,
- żerdź E/35 $\rightarrow P_k = 35$ kN $\rightarrow P_{Ed} = 0,25 \times 35 = 8,75$ kN.

Ponieważ ramię siły skręcającej r w słupach o trójkątnej układzie przewodów wynosi $r_1 = 1,0$ m, charakterystyczna wartość momentu skręcającego słup mocny o średnicy w szczycie 263 mm (np. E/25) nie przekracza $T_{Ed} = r_1 \times P_{Ed} = 6,25$ kNm. Odpowiednio dla słupów E/30 i E/35 o średnicy w szczycie 308 mm uzyskuje się $T_{Ed} = 7,5$ i $8,75$ kNm. Odpowiednio dla słupów o płaskim układzie przewodów dla $r_2 = 1,8$ m wartości momentów skręcających T_{Ed} będą o 80% większe.

W wyjątkowych warunkach pracy słupów mocnych, wartość momentu zginającego słup $M_{Ed,z}$ nie przekracza połowy wartości momentu

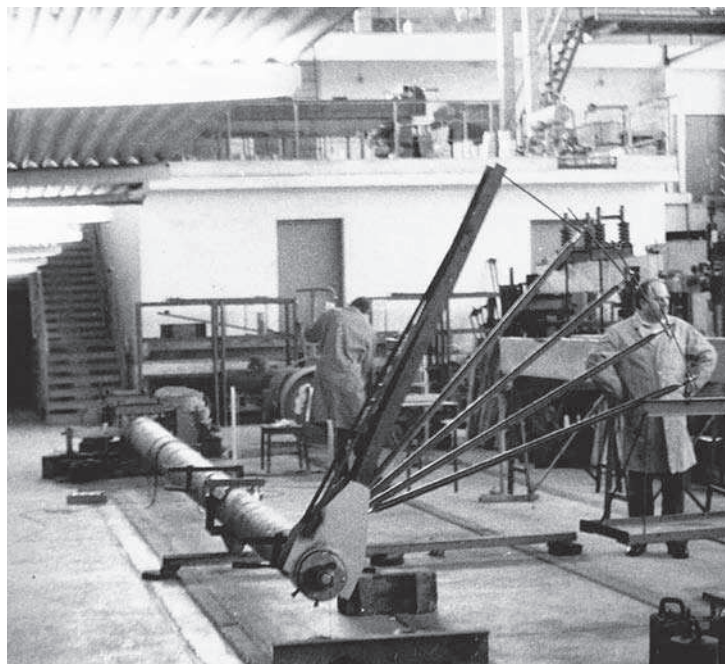


Rys. 1. Badania poligonowe strunobetonowych żerdzi wirowanych E12/10

charakterystycznego M_{Rd} , na jaki słup jest projektowany w normalnych warunkach pracy (zginanie od siły P_k w trzech przewodach). W żerdziach mocnych nie wystąpią więc rysy prostopadłe do osi elementu w chwili wystąpienia momentu skręcającego w warunkach zakłóceń lub w trakcie montażu przewodów, gdyż żerdzie są projektowane ze sprężeniem gwarantującym moment rysujący M_{cr} nie mniejszy niż 50% momentu nominalnego $M_{Ed} = h_z \times P_k$, gdzie h_z jest odległością znamionowej siły wierzchołkowej P_k od miejsca utwierdzenia słupa w gruncie.

3. Badania żerdzi wirowanych na skręcanie

Pierwsze badania poligonowe na skręcanie ze zginaniem krajowych żerdzi wirowanych typu E12/10 (rys. 1) wykonano latem 1990 roku [3]. Ze względu na trudności zniszczenia żerdzi na skrę-



Rys. 2. Stanowisko do badania laboratoryjnego żerdzi wirowanej E10,5/10 na skręcanie ze zginaniem

caniu siłami przyłożonymi do poprzecznika w odległości 1,0 m od osi żerdzi (zniszczył się poprzecznik) badania przeniesiono do laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, w którym zrealizowano między innymi obciążenia żerdzi momentem skręcającym (rys. 2) [4].

Z badań żerdzi E12/4,3 i E12/10 przeprowadzonych w latach 1990 – 1993 wynika [4]:

- żerdź E12/4,3 sprężona ośmioma cięgnami $\varnothing 7,5$ mm i obciążona tylko momentem skręcającym przyłożonym w odległości około 0,2 m od szczytu zarysowała się ukośnie przy momencie 3,0 kNm, a zniszczyła przy momencie $T_{n,e} = 5,0$ kNm;

- żerdź E12/10 z pocienionymi ściankami w szczycie ($t = 55$ mm, sprężenie 12 cięgien $\varnothing 7,5$ mm) obciążona w szczycie w odległości 0,2 m momentem skręcającym nie uległa nawet zarysowaniu przy momencie skręcającym $T_{Ed} = 1,3 \times 4,0 = 5,2$ kNm (obciążenie to było równe charakterystycznemu momentowi skręcającemu

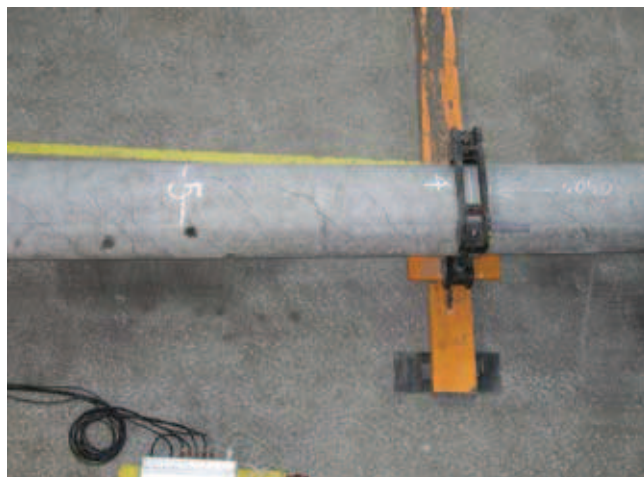
od siły $1/3 P_k = 1/3 \times 12 = 4,0$ kN dla żerdzi E12/12, pomnożonemu przez współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,3$).

Przeprowadzone wówczas badania [3, 4] w zupełności zadowolily projektantów napowietrznych linii elektroenergetycznych [4]. Uznano, że częściowo sprężone żerdzie wirowane typu E o znamionowych siłach wierzchołkowych $P_k = 10$ i 12 kN spełniają warunki słupów mocnych w zakresie przenoszenia momentów zginających od siły P_k i momentów skręcających w zakłóceńskich warunkach pracy. Brak awarii żerdzi wirowanych typu E w okresie dwudziestoletniej eksploatacji w napowietrznych liniach elektroenergetycznych świadczy o właściwie przyjętych wówczas założeniach projektowych.

Obecnie badania żerdzi mocnych typu E na skręcanie ze zginaniem (rys. 3÷6) wchodzi w zakres badań typu [5] niezbędnych do uzyskania certyfikatu dla zakładowej kontroli produkcji. Taki certyfikat upoważnia producenta żerdzi wirowanych do wystawienia deklaracji zgodności z normą wyrobu PN-EN 12843:2008 i oznaczania żerdzi znakiem budowlanym lub CE.



Rys. 3. Urządzenie do zaczeplenia siły P w celu realizacji badania żerdzi na skręcanie ze zginaniem



Rys. 4. Zarysowanie ukośne w strefie środkowej żerdzi



Rys. 5. Rysy ukośne w strefie szczytowej żerdzi



Rys. 6. Zbliżenie na miejsce zniszczenia żerdzi E na skręcanie

4. Rola betonu i zbrojenia w przeniesieniu momentów skręcających

Ocenia się, że zbrojenie poprzeczne (spirala) w żerdziach wirowanych nie odgrywa istotnej roli w przeniesieniu momentów skręcających. Związane jest to między innymi ze zmiennym kierunkiem działania momentu skręcającego przy jednoskrętnie umieszczonym zbrojeniu poprzecznym w postaci

spirali z drutu $\varnothing 3,5$ mm o przekroju $A_s = 9,62$ mm² oraz małej ilości tego zbrojenia. Zbrojenie poprzeczne pełni bardzo ważną rolę w strefie kotwienia strun (na odcinkach końcowych o długości około 0,4 m skok spirali jest zagęszczony do 50 mm), zabezpieczając beton przed zarysowaniem równoległym do strun. W strefach środkowych skok spirali wynosi 150 mm w żerdziach E o siłach wierzchołkowych $P_k \leq 12,0$ kN i 100 mm w żerdziach

o siłach wierzchołkowych $P_k \geq 15,0$ kN. Stopień zbrojenia poprzecznego ρ_1 [‰] w zależności od skoku spirali i grubości ścianki żerdzi podano w tabeli 1.

Stopień zbrojenia poprzecznego ρ_1 w żerdziach wirowanych typu E jest mały (w szczycie wynosi około 1‰ dla ścianki o grubości 60÷70 mm, a w nasadzie 0,5‰ – tabela 1). Zgodnie z normą [5] taki stopień zbrojenia poprzecznego w żerdziach wirowanych

Tabela 1. Stopień zbrojenia poprzecznego ρ_1 [‰] w żerdziach wirowanych

Skok spirali [mm]	Stopień zbrojenia ρ_1 [‰] w zależności od grubości ścianki t [mm]						
	$t = 60$	$t = 70$	$t = 80$	$t = 90$	$t = 100$	$t = 110$	$t = 120$
150	1,07	0,92	0,80	0,71	0,64	0,58	0,53
100	1,60	1,37	1,20	1,07	0,96	0,87	0,80

jest wystarczający, ale nie odgrywa istotnej roli w przenoszeniu momentu skręcającego po zarysowaniu. W żerdziach wirowanych typu E najistotniejszą rolę w przenoszeniu momentu skręcającego w stanach awaryjnych do czasu zarysowania ukośnego odgrywa beton sprężony, a po zarysowaniu – beton i zbrojenie podłużne.

W strefach z rysami prostopadłymi do osi elementu, zagadnienie jest bardziej skomplikowane [6]. W częściowo sprężonych żerdziach wirowanych rysy prostopadłe do osi elementu raczej nie występują po zerwaniu się jednego z trzech przewodów, gdyż zmniejszy się wówczas moment zginający do wartości poniżej $0,5 h_z \times P_k$.

5. Teoretyczna i doświadczalna nośność na skręcanie żerdzi wirowanych

Z dotychczasowych badań i obserwacji wynika, że najstabszą częścią żerdzi wirowanych na skręcanie jest wierzchołek (czyli strefa kotwienia cięgien). Wartość momentu skręcającego obliczona z kryterium głównych naprężeń rozciągających, zależna jest od wartości naprężeń ściskających w betonie, które zmieniają się na długości zakotwienia cię-

gien. Niżej przedstawiono analizę pracy żerdzi wirowanych typu E w przypadku przyłożenia momentu skręcającego na poziomie pierwszej pary otworów (w odległości $x_1 = 0,2$ m od szczytu żerdzi, czyli w strefie kotwienia cięgien) i drugiej w odległości $x_2 = 0,6$ m od pierwszej (czyli w strefie z pełnym sprężeniem).

W żerdziach wirowanych stosuje się beton klasy C40/50 [6, 7] i cięgna sprężające z drutu $\varnothing 7,5$ mm gatunku St1470/1670. Cięgna naciągane są siłą $P_o^1 = 51,67$ kN, co w strunie o przekroju $A_p^1 = 44,2$ mm² daje naprężenia $\sigma_{o,max} = 1169$ MPa. Naprężenia te stanowią 70% wytrzymałości charakterystycznej stali sprężającej na rozciąganie f_{pk} . W przekrojach szczytowych żerdzi całkowite straty siły sprężającej wynoszą około 30%, czyli siła w jednym cięgnię jest równa $P_{m,\infty}^1 = 0,7 \times 51,67 = 36,169$ kN.

Wytrzymałość średnia betonu wirowanego w chwili sprężania wynosi $f_{cm(to),10} \geq 35$ MPa, czyli $f_{cm(to),15} = 0,9 \times 35 = 31,5$ MPa, a wirowanego około 35% więcej, czyli $f_{wir_{cm(to),15}} = 1,35 \times 31,5 = 42,5$ MPa. W jednoosiowym stanie naprężeń średnia wytrzymałość betonu wirowanego na ściskanie w chwili sprężenia wynosi $f_{wir_{cm(to)}} = 0,8 \times 42,5 = 34,0$ MPa.

Wytrzymałość charakterystyczna betonu wirowanego w chwili sprężenia wynosi $f_{ck(to)}^{wir} = f_{ck(to)}^{wir} - 8 = 34,0 - 8 = 26,0$ MPa, co stanowi 65% wytrzymałości $f_{ck} = 40$ MPa dla betonu C40/50. Z tablicy 17 normy PN-B-03264:2002 odczytano $\beta_p = 75$ dla $f_{ck} = 25$ MPa. Długość zakotwienia cięgien $\varnothing 7,5$ mm wynosi więc $l_{bp} = \beta_p \times \varnothing = 75 \times 7,5 = 562,5$ mm. W odległości $x_1 = 0,2$ m od szczytu żerdzi w cięgnię występuje efektywna siła sprężająca o wartości: $P_{m,\infty}^{1,x_1} = (x_1 / l_{bp}) \times P_{m,\infty}^1 = (0,2 / 0,5625) \times 36,169 = 12,96$ kN.

Siłę taką pomnożoną przez liczbę cięgien należy uwzględnić przy wyznaczaniu naprężeń σ_{cp}^x w betonie od sprężenia w odległości $x_1 = 0,2$ m od szczytu. W odległości $x_2 = 0,2 + 0,6 = 0,8$ m > l_{bp} od szczytu w cięgnię wystąpi pełna wartość siły sprężającej $P_{m,\infty}^1 = 36,169$ kN. W przekrojach żerdzi wirowanych odległych o $x_1 = 0,2$ m i $x_2 = 0,8$ m od szczytu występują różne wartości naprężeń ściskających w betonie σ_{cp} i σ_{cp}^x , zależne od wymiarów przekroju żerdzi i ilości cięgien sprężających (tab. 2).

Naprężenia styczne τ_{xy} w szczytowej części żerdzi E dla różnych wartości momentów skręcających T_{Ed} zestawiono w tabeli 3. Wartości głównych naprężeń rozciągających w betonie $\sigma_{t,max}$ dla

Tabela 2. Wartości naprężeń od sprężenia w betonie σ_{cp} i σ_{cp}^x w przekrojach $x_1 = 0,2$ m i $x_2 = 0,8$ m od szczytu żerdzi

Rodzaj żerdzi	Ilość cięgien $n \times \varnothing 7,5$	Średnice przekroju d_z / d_w	Pole przekroju		Siła sprężająca		Naprężenia w betonie	
			A_c	A_{cs}	$P_{m,\infty}$	$P_{m,\infty}^x$	$x_2 = 0,8$ m	$x_1 = 0,2$ m
							$\sigma_{cp} = P_{m,\infty} / A_c$	$\sigma_{cp}^x = P_{m,\infty}^x / A_{cs}$
Symbol	szt.	mm	mm ²		kN		MPa	
E12/4,3	8	$\varnothing 173 / \varnothing 63$	20389	22054	289,35	103,34	13,12	4,69
E12/10	12	$\varnothing 218 / \varnothing 98$	29782	32280	434,03	155,01	13,45	4,80
E12/12	14	$\varnothing 218 / \varnothing 88$	31243	34158	506,37	180,85	14,82	5,29
E12/15	16	$\varnothing 263 / \varnothing 123$	42443	45774	578,70	206,68	12,64	4,51
E12/17,5	20			46607	723,38	258,35	15,52	5,54
E12/20								
E12/25								

Objaśnienia:

$A_c = 0,25 \pi (d_z^2 - d_w^2)$ – pole przekroju betonu,

$A_{cs} = A_c + (\alpha_e - 1,0) \times A_p$ – pole przekroju sprowadzonego dla $\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200 / 35 = 5,71$,

$A_p = n \times A_p^1$ – pole przekroju zbrojenia sprężającego ($A_p^1 = 44,2$ mm²),

$P_{m,\infty} = n \times P_{m,\infty}^1$ – średnia wartość siły sprężającej po uwzględnieniu strat całkowitych,

$P_{m,\infty}^1 = 0,7 \times 51,67 = 36,169$ kN – średnia wartość siły sprężającej w jednym cięgnię po uwzględnieniu strat całkowitych (około 30%),

$P_{m,\infty}^x = (x / l_{bp}) \times P_{m,\infty}^1$ – zredukowana wartość siły sprężającej na długości $l_{bp} = 0,56$ m zakotwienia strun w odległości $x_1 = 0,2$ m od wierzchołka.

Tabela 3. Naprężenia styczne τ_{xy} od czystego skręcania wierzchołka żerdzi momentem T_{Ed}

Rodzaj żerdzi	Średnice przekroju d_z/d_w	Wskaźniki wytrzymałości na skręcanie $W_t = \pi (d_z^4 - d_w^4)/16 \times d_z$	Naprężenia styczne $\tau_{xy} = T_{Ed} / W_t$					
			T_{Ed} [kNm]					
			2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Symbol	mm	mm ³	MPa					
E12/4,3	Ø173/Ø63	998763	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
E12/10	Ø218/Ø98	1951150	1,03	2,05	3,08	4,10	5,13	6,15
E12/12	Ø218/Ø88	1980213	1,01	2,02	3,03	4,04	5,05	6,06
E12/15	Ø263/Ø123	3401001	0,59	1,18	1,77	2,35	2,94	3,53
E12/17,5								
E12/20								
E12/25								

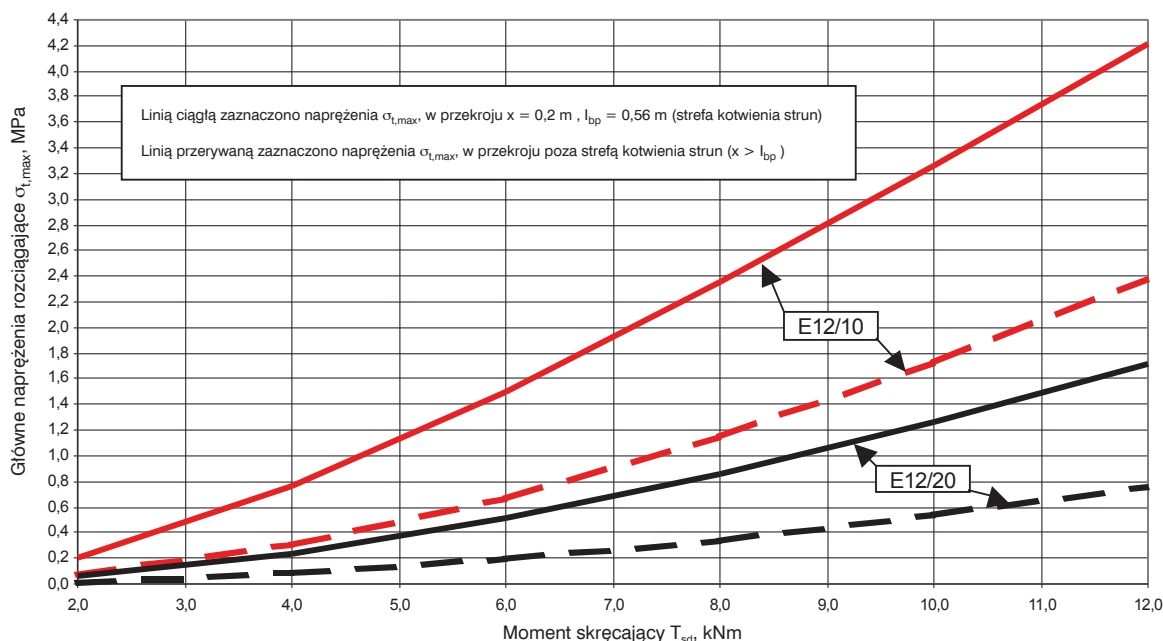
Tabela 4. Naprężenia główne rozciągające $\sigma_{t,max}$ [MPa] w wierzchołkowej części żerdzi wirowanych obciążonych momentem skręcającym T_{Ed}

Typ żerdzi	$\sigma_{t,max}$ w przekrojach poza strefę zakotwienia strun ($x > l_{bp}$)						$\sigma_{t,max}$ w przekroju $x = 0,2 \text{ m} < l_{bp} = 0,56 \text{ m}$ (strefa zakotwienia strun)					
	T_{Ed} [kNm]						T_{Ed} [kNm]					
	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
E12/4,3	-0,30	-1,12	-2,33	-3,79	-5,40	-7,12	-0,39	-2,29	-4,10	-5,99	-7,93	-9,88
E12/10	-0,08	-0,31	-0,67	-1,15	-1,73	-2,39	-0,21	-0,76	-1,50	-2,35	-3,26	-4,21
E12/12	-0,07	-0,27	-0,60	-1,03	-1,56	-2,16	-0,18	-0,68	-1,37	-2,18	-3,05	-3,96
E12/15	-0,03	-0,11	-0,24	-0,42	-0,65	-0,92	-0,08	-0,29	-0,61	-1,00	-1,45	-1,93
E12/17,5	-0,02	-0,09	-0,20	-0,35	-0,54	-0,77	-0,06	-0,24	-0,52	-0,86	-1,27	-1,72
E12/20												
E12/25												

$\sigma_x = \sigma_{cp}$ lub $\sigma_x = \sigma_{cp}^x$ (ze znakiem + przy ściskaniu – tab. 2) i τ_{xy} (tab. 3) wyznaczono z hipotezy największych naprężeń normalnych (G. Lamego i W. J. M. Rankine’a) ze wzoru $\sigma_{t,max} = 0,5 \times \sigma_x - 0,5 \times (\sigma_x^2$

$+ 4 \times \tau_{xy}^2)^{1/2}$. Wyniki obliczeń $\sigma_{t,max}$ dla kilku żerdzi wirowanych skręcanych w szczycie momentem $T_{Ed} = 2 \div 12$ kNm zestawiono w tabeli 4. Na rysunku 7 dla dwóch żerdzi mocnych E12/10 i E12/20 przed-

stawiono wykresy głównych naprężeń rozciągających w betonie $\sigma_{t,max}$ w zależności od momentu skręcającego T_{Ed} . Z rysunku tego można odczytać wartość momentu obliczeniowego na skręcanie T_{Rd}



Rys. 7. Zależność głównych naprężeń rozciągających w betonie $\sigma_{t,max}$ od momentu skręcającego T_{Ed} przyłożonego w szczycie żerdzi wirowanych E12/10 i E12/20

Tabela 5. Wyniki obliczeń wartości momentów skręcających dla żerdzi wykonanych z betonu C40/50 ($f_{ctm} = 2,5 \text{ MPa}$; $f_{ctd} = 1,8 \text{ MPa}$) i badań wytrzymałości żerdzi wirowanych na skręcanie [6, 7, 8]

Typy żerdzi	d_z / d_w mm	Ilość cięgien szt.	A_{cs} mm ²	$W_{ct} = W_t$ mm ³	$P_{m,\infty}^x$ kN	σ_{cp}^x MPa	T_{Rd}	Momenty niszczące	
								$T_{n,t}$	$T_{n,e}$
								[kNm]	
E/12	218/88	14	34,158	1.980.213	180,9	5,29	7,07	8,74	14,3 [7] 11,7 [8]
E/20	263/123	20	46,607	3.401.001	258,4	5,54	12,36	15,24	25,7 [6] 25,2 [7] 21,6 [8]
E/25									24,8 [7] 23,9 [8]
E/30	308/148	24	64,012	5.586.619	308,6	4,82	19,29	23,90	–
E/35									

w zależności od wartości naprężeń obliczeniowych w betonie żerdzi C40/50, przyjmując $\sigma_{t,max} = f_{ctd} = f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 2,5 / 1,4 = 1,8 \text{ MPa}$. Wartość skręcającego momentu obliczeniowego T_{Rd} można obliczyć bezpośrednio ze wzoru cytowanego w pracy [6]: $T_{Rd} = W_{ct} \times f_{ctd} \times (1 + \sigma_{cp} / f_{ctd})^{1/2}$. Chcąc policzyć moment niszczący na skręcanie T_n we wzorze powyższym w miejsce f_{ctd} należy wstawić f_{ctm} (średnią wytrzymałość betonu na rozciąganie). Przykładowe wyniki obliczeń momentów skręcających T_{Rd} i T_n oraz wyniki badań $T_{n,e}$ kilku żerdzi mocnych na skręcanie o średnicach w szczycie $\varnothing 218$ i $\varnothing 263$ mm [6, 7, 8] zestawiono w tab. 5. Różnice w wartościach sił niszczących na skręcanie z obliczeń $T_{n,t}$ i z badań $T_{n,e}$ wynikają z uproszczeń w modelu obliczeniowym nieuwzględniającym rzeczywistych cech wytrzymałościowych betonu na rozciąganie i naprężeń od sprężenia σ_{cp} . Wyznaczone ze wzoru w pracy [6] wartości obliczeniowych momentów skręcających T_{Rd} (tabela 5) są wystarczające do przeniesienia momentów skrę-

cających w żerdziach wirowanych od sił $P_{Ed} = 0,25 P_k$ (punkt 2) przy założeniu trójkątnego (ramię siła $r_1 = 1,0$ m) i płaskiego ($r_2 = 1,8$ m) układu przewodów w napowietrznych liniach elektroenergetycznych średnich napięć.

6. Podsumowanie

Aktualnie produkowane w kraju żerdzie wirowane typu E o siłach wierzchołkowych P_k podawanych w oznaczeniu żerdzi po kresce ukośnej są przystosowane do bezpiecznego przenoszenia momentów skręcających jako słupy mocne z poprzecznikami stalowymi o wysięgu $r_1 = 1,0$ m (układ trójkątny) i $r_2 = 1,8$ m (układ płaski) mocowanymi do otworów $\varnothing 26$ mm w odległości 0,2 i 0,8 m od szczytu. Momenty skręcające w wyjątkowych warunkach pracy $T_{Ed} = r \times 0,25 \times P_k$ są mniejsze od nośności obliczeniowej na skręcanie T_{Rd} (tabela 5).

BIBLIOGRAFIA

[1] PN-E-05100-1:1998 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi

[2] PN-EN 50423-1:2007

Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV do 45 kV włącznie. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne

[3] Kubiak J., Łodo A., Lisowski A., Kiciuła R., Poligonowe badania żerdzi E12/10 jako konstrukcji wsporczych słupowych stacji transformatorowych. Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Żerdzie energetyczne, oświetleniowe i trakcyjne. Zamek Czocha, 15-17.11.1990 r.

[4] Kubiak J., Łodo A., Badania wytrzymałościowe prototypowych, wirowanych żerdzi elektroenergetycznych. III Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Betonowe konstrukcje cienkościenne. Wrocław – Karpacz, 19-22.05.1993 r., s. 361-368

[5] PN-EN 12843:2008 Prefabrykaty z betonu. Maszty i słupy

[6] Szczygielski A., Mazurczuk R., Badania doświadczalne i weryfikacja obliczeniowa częściowo sprężonych żerdzi wirowanych na skręcanie połączone ze zginaniem i ścinaniem. Prace Instytutu Techniki Budowlanej 2/2007

[7] Kubiak J., Łodo A., Michałek J., Badania żerdzi wirowanych typu E10,5/25; E12/12 i E12/20 wyprodukowanych przez Strunobeton-Migacz Sp. z o.o. w Kuzkach. Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, raport serii SPR NR 53/2006

[8] Kubiak J., Łodo A., Badania częściowo sprężonych żerdzi wirowanych typu E wytwarzanych w P.P.S.Ż.W. WIRBET w Ostrowie Wielkopolskim. Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR Nr 6/99 (maszynopis)

Prenumerata
ulgowa tylko

102

zł

www.przegladbudowlany.pl