

**Rys. 4.** Postać zniszczenia słupa kratowego PL: zniszczenie krawężników nóg ściskanych na połączeniu trzonu i kolumny

korozyjne, wandalizm (odkręcanie elementów, obciążanie konstrukcji maszynami rolniczymi itp.), obciążenia klimatyczne o charakterze wielokrotnie zmiennym – nadmierne zmniejszanie jej zapasu bezpieczeństwa jest nieracjonalne i niewskazane. Ze względu na konieczność ograniczenia nominalnego zakresu zmienności naprężeń od obciążeń częstych

(por. [7], p. 8(1)) oraz uwzględnienia wymagań p. 7.3.5.1.1 normy [2], a także pozostawienie w normie [3] dotychczasowych wielkości współczynników częściowych po stronie oddziaływań, sugeruje się celowość zachowania w dotychczasowej wysokości współczynników częściowych po stronie materiałów, tj.  $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,15$ .

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Standardowe Specyfikacje Techniczne. Linia napowietrzna 400 kV. Załącznik 10. Projektowanie słupów i fundamentów linii na podstawie norm europejskich. Polskie Sieci Elektroenergetyczne Operator S.A., Konstancin-Jeziorna, Grudzień 2011 r.
- [2] PN-EN 50341-1:2005 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne
- [3] PN-EN 50341-3-22:2010 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV – Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych
- [4] PN-EN-60652:2006 Badania obciążeniowe konstrukcji wsporczych elektroenergetycznych linii napowietrznych
- [5] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [6] PN-EN 1993-3-1:2008 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [7] PN-EN 1993-1-9:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-9: Zmęczenie
- [8] PN-B-03200:1990 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [9] PN-B-03205:1996 Konstrukcje stalowe. Podpory linii elektroenergetycznych. Projektowanie i wykonanie
- [10] PN-EN 1991-1-4 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru

## Zabezpieczenie strukturalne i powierzchniowe betonu w słupach elektroenergetycznych i oświetleniowych

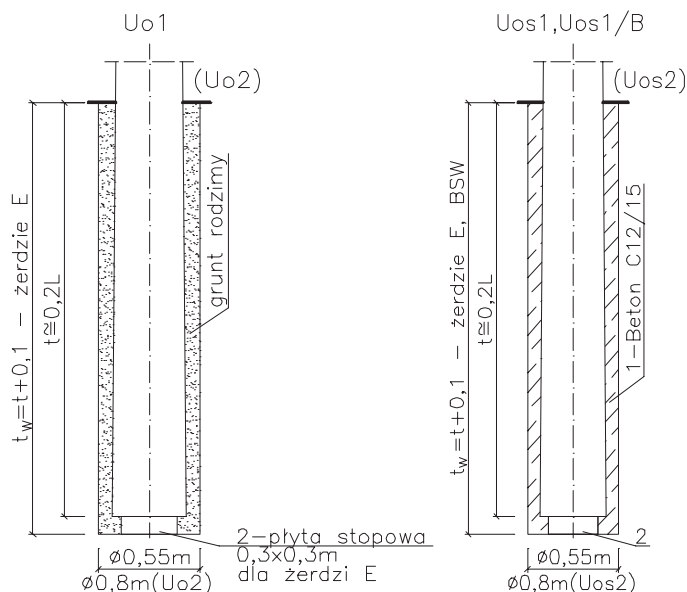
Dr inż. Janusz Kubiak, dr inż. Aleksy Łodo, dr inż. Jarosław Michałek,  
Politechnika Wroclawska

### 1. Konstrukcje wsporcze dla napowietrznych linii elektroenergetycznych

Napowietrzne linie elektroenergetyczne średnich napięć SN buduje się obecnie w Polsce głównie na słupach strunobetonowych z żerdzi wi-

rowanych typu E [1, 5]. W przeszłości stosowano strunobetonowe żerdzie ażurowe typu BSW [3], a przy ich braku żerdzie żelbetowe ŻN [4]. W liniach niskich napięć nn używane są w dalszym ciągu żerdzie żelbetowe ŻN (zmodernizowane w 1995 r. [4]) i w coraz szerszym zakresie wi-

wane typu E. Słupy oświetleniowe można wykonywać z wirowanych żerdzi strunobetonowych EOP, EOC i EO [6] (jednak dominujące są słupy stalowe). Zamocowanie w gruncie żerdzi strunobetonowych E i żelbetowych ŻN realizuje się na podstawie rozwią-



**Rys. 1.** Fundamenty słupowe wykonywane w otworach wierconych dla słupów przelotowych z żerdzi typu E (ustoje Uo1 i Uo2), mocnych z żerdzi E (ustoje Uos1 i Uos2) i BSW (ustoje Uos1/B)

zań podanych w projektach typowych (np. wymienionych w artykule [1]) albo projektuje się indywidualnie według zaleceń normy [8]. Dla sił wierzchołkowych  $P_k \leq 10$  kN słupy elektroenergetyczne i oświetleniowe mogą być osadzone bezpośrednio w gruncie w otworze wierconym  $\phi 0,5 \div 0,8$  m (rys. 1) bądź kopanym metodami tradycyjnymi na głębokość  $A = 0,2 L$ , gdzie  $L$  jest długością całkowitą żerdzi.

W przypadku gruntów mocnych, wystarczy przestrzeń między słupem a gruntem zasypać niespoistym gruntem rodzimym lub piaskiem ubijanym warstwami o grubości  $0,2 \div 0,3$  m. W gruntach średnich wykop powinien być zasypany piaskiem lub żwirem zagęszczanym warstwami. W gruntach słabych powinno się wykonać zasypkę z piasku stabilizowanego cementem (beton C12/15) albo zastosować dodatkowo płyty UP (rys.2). Na rysunku 2 cyframi oznaczono elementy fundamentu płytowego: 1, 2 – płyty żelbetowe U-85 lub U-130, 3 ocynkowane obejmy stalowe mocujące płytę U do żerdzi wirowanej E (5). W gruntach pylastych pod żerdzią (5) umieścić należy betonową płytę stopową (4).

Dla słupów mocnych o siłach wierzchołkowych powyżej  $P_k = 10$  kN sto-

suje się blokowe fundamenty betonowe lub żelbetowe (monolityczne lub prefabrykowane). Dość często stosuje się poziome belki mocowane do części podziemnej żerdzi za pomocą ocynkowanych obejm stalowych jak na rysunku 2 lub fundamenty prefabrykowane złożone z kilku płyt żelbetowych SP (elementy 1,2 i 3 na rys. 3), połączonych ze słupem stalowym łącznikami (5), a między sobą łącznikami (6).

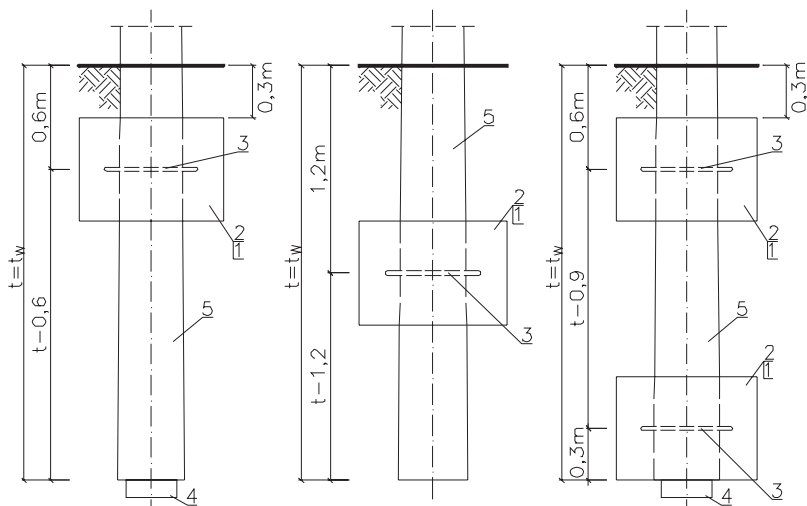
## 2. Korozja betonu w świetle danych literaturowych

Czynniki zewnętrzne z atmosfery bądź gruntu działające na słupy elektroenergetyczne i oświetleniowe mogą powodować pogorszenie się ich właściwości użytkowych w czasie. W procesie projektowania należy uwzględnić te czynniki, które powodują przyspieszenie destrukcji struktury betonu lub mogą niekorzystnie wpływać na obniżenie cech wytrzymałościowych i odkształcalnościowych betonu. Uwzględniając różne czynniki destrukcyjne na beton w słupach elektroenergetycznych i oświetleniowych można mówić (tak jak w innych obiektach budowlanych [7]) o trzech rodzajach korozji betonu.

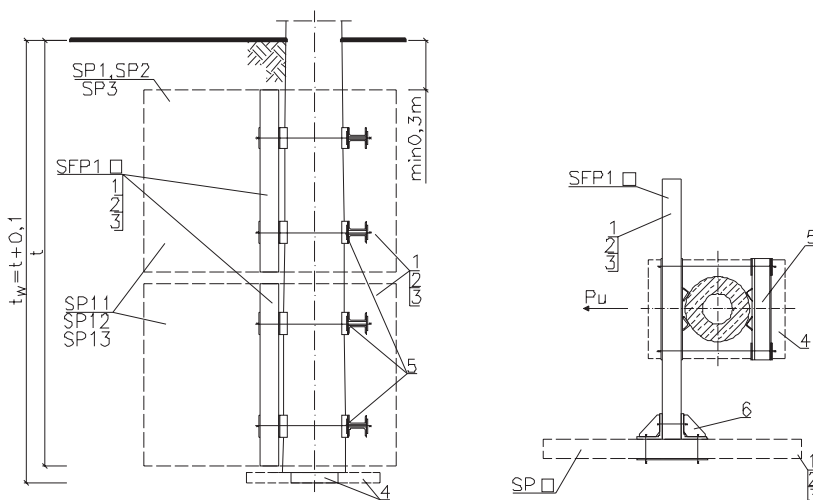
Pierwszy rodzaj korozji (korozja ługująca) polega na rozpuszczaniu i wymywaniu przez „miękką” wodę składowych części stwardniałego zaczynu cementowego – szczególnie z betonów porowatych o niskim stopniu szczelności i jednoczesnym występowaniu większych rys. Ługowanie wodorotlenku wapnia obejmuje najpierw warstwy powierzchniowe betonu, a następnie coraz głębsze. Obniżenie zawartości  $\text{Ca(OH)}_2$  w betonie grozi naruszeniem równowagi zaczynu cementowy – ciecz w porach, a w konsekwencji rozkładem uwodnionych związków stanowiących szkielet zaczynu cementowego. Zjawisku przesączenia się wody przez beton towarzyszą pojawiające się na jego powierzchni białe naloty wodorotlenku wapnia zamieniającego się po styczności z  $\text{CO}_2$  z powietrza w węglan wapnia  $\text{CaCO}_3$ .

Drugi rodzaj korozji betonu (korozja kwasowa) polega głównie na wymianie jonów między betonem a środowiskiem. W wyniku reakcji powstają związki dobrze rozpuszczalne w wodzie lub o zmniejszonej wytrzymałości. Takie zjawiska mogą wystąpić wskutek działania na beton kwasów i soli. Wody naturalne rzadko zawierają wolne kwasy. Wyjątek stanowi kwas węglowy, który jest prawie stałym składnikiem wód naturalnych. Kwas siarkowy i siarkawy spotyka się w wodach torfowych. W gruntach spotyka się kwasy humusowe. W stojącej przybrzeżnej wodzie morskiej może wystąpić szereg kwasów organicznych i nieorganicznych.

Ze znacznymi ilościami kwasów w gruncie lub wodzie gruntowej można spotkać się dopiero wskutek złego działania instalacji przemysłowych lub z powodu uszkodzeń rur kanalizacyjnych. Kwasy nieorganiczne (azotowy, solny, siarkowy) i organiczne (octowy, mrówkowy, mlekowy, humusowy) reagują z  $\text{Ca(OH)}_2$  oraz z krzemianami i glinianami wapnia, powodując całkowite zniszczenie struktury betonu. Przyjmuje się [7] dla kwasów nieorganicznych  $\text{pH} = 4$  za wartość progową, poniżej której każdy beton powinien być odizolowany od środowiska kwaśnego.



**Rys. 2.** Fundamenty słupowe z płytami UP dla słupów przelotowych z żerdzi wirowanych typu E



**Rys. 3.** Prefabrykowane fundamenty płytowe typu SFP i SP dla słupów mocnych z żerdzi wirowanych E o nośnościach użytkowych  $P_k \geq 10$  kN

Trzeci rodzaj korozji (korozja pęczniająca) polega na powstawaniu w porach betonu soli, w wyniku reakcji agresywnych substancji zawartych w środowisku (np. w wodzie gruntowej przenikającej w głąb betonu) ze składnikami betonu. Krystalizujące sole w porach betonu powiększają swoją objętość, co w początkowym okresie uszczelnia beton i zwiększa jego wytrzymałość. W miarę upływu czasu prowadzi to do powstania naprężeń rozciągających w betonie. W efekcie krystalizujące sole powodują niszczenie struktury betonu i spadek jego wytrzymałości. Typowym przykładem jest korozja siarczanowa, której sprawcami są rozpuszczal-

ne w wodzie gruntowej siarczany. Generalnie zawartość siarczanów w wodzie lub gruncie rzadko osiąga wartość mogącą powodować korozję siarczanową. Według [2] zawartość siarczanów nieprzekraczająca  $200 \text{ mg SO}_4^{2-} / \text{l}$  wody (odpowiednio  $2000 \text{ mg SO}_4^{2-} / \text{kg}$  w ziemi) uważana jest za całkowicie nieszkodliwą dla betonu. Skutecznym sposobem ochrony betonu przed korozją siarczanową jest stosowanie cementu portlandzkiego odpornego na siarczany, tj. cementu o ograniczonej zawartości glinianu trójwapniowego  $C_3A$ . Z krajowych cementów warunki ten spełniają cementy mostowe, w tym szczególnie z Cementowni Rejowiec.

### 3. Klasyfikacja oddziaływań środowiskowych na beton

Ze względu na trwałość konstrukcji z betonu w różnych warunkach użytkowania, czynniki środowiskowe oddziałujące na beton w normie [9] sklasyfikowano w sześciu grupach tworzących tzw. klasy ekspozycji. Podział na klasy ekspozycji w normie [9] jest następujący:

- 1) brak zagrożenia korozją i agresją chemiczną (klasa X0),
- 2) korozja spowodowana karbonatyzacją betonu (klasy XC1, XC2, XC3, XC4),
- 3) korozja spowodowana chlorkami (klasy XD1, XD2, XD3),
- 4) korozja spowodowana chlorkami z wody morskiej (klasy XS1, XS2, XS3),
- 5) agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania betonu (klasy XF1, XF2, XF3, XF4),
- 6) agresja chemiczna (klasy XA1, XA2, XA3).

Przedstawiona klasyfikacja została uzupełniona w normie [10] o agresję wywołaną ścieraniem betonu (klasy XM1, XM2, XM3). Łącznie wyróżnia się więc 21 klas ekspozycji.

Osobno potraktowano w normie [9] środowisko gruntowe agresywne chemicznie wobec betonu, podając graniczne zawartości jonów i wartości pH w środowisku gruntowym dla klas ekspozycji XA (tab.1). Podana w tabeli 1 klasyfikacja środowisk agresywnych chemicznie wobec betonu dotyczy gruntów naturalnych i wody gruntowej o temperaturze  $+5^\circ \div +25^\circ\text{C}$  z dostatecznie małym przepływem wody, takim aby można było uznać warunki za statyczne. Klasę ekspozycji określa najbardziej niekorzystna wartość dla dowolnej pojedynczej charakterystyki chemicznej. Gdy dwie lub więcej agresywnych charakterystyk wskazuje na tę samą klasę, środowisko należy zakwalifikować do klasy wyższej, chyba że specjalne badania dotyczące tego szczególnego przypadku wykażą, że nie jest to konieczne. Ustalając stopień agresywności środowiska wodno-gruntowego wobec fundamentów, należy rozważyć moż-

**Tabela 1.** Graniczne zawartości jonów i wartości pH w środowisku gruntowym dla klas ekspozycji agresji chemicznej gruntów naturalnych i wody gruntowej [9]

Charakterystyka chemiczna	Klasa ekspozycji		
	XA1 (słaba agresja)	XA2 (średnia agresja)	XA3 (silna agresja)
Woda gruntowa			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	≥ 200 i ≤ 600	> 600 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 6000
pH	≤ 6,5 i ≥ 5,5	< 5,5 i ≥ 4,5	< 4,5 i ≥ 4,0
CO <sub>2</sub> agresywny, mg/l	≥ 15 i ≤ 40	> 40 i ≤ 100	> 100 i do nasycenia
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l	≥ 15 i ≤ 30	> 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
Mg <sup>2+</sup> , mg/l	≥ 300 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 12000	> 12000 i ≤ 24000
Grunt			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> całkowite, mg/kg	≥ 2000 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 12000	> 12000 i ≤ 24000
Kwasowość, ml/kg	> 200 Baumann Gully	Nie spotykane w praktyce	

liwość zmian warunków eksploatacji obiektu w wyniku przyszłego zanieczyszczenia wód gruntowych na terenie planowanej inwestycji.

#### 4. Ochrona słupów z betonu przed korozją

W projektach żerdzi strunobetonowych i żelbetonowych [1,4÷6] oraz fundamentów (rys.1÷3) przeznaczonych do zamocowania w gruncie słupów elektroenergetycznych i oświetleniowych przyjęto zasadę, że trwałość części nadziemnej i fundamentowej zapewniona jest przez odpowiedni dobór składników mieszanki betonowej i grubości otuliny zbrojenia. Beton zabezpieczający stal przed korozją charakteryzowany jest wartościami granicznymi [9÷14], opisującymi między innymi ilość i jakość składników (np. zawartość cementu klasy CEM 42,5 – 350 ÷ 400 kg/m<sup>3</sup>), wskaźnik wodno-cementowy w/c ≅ 0,4 i klasyfikowane kompozycje płu-kanych kruszyw łamanych (granit, bazalt lub dolomit) oraz żwiru i piasku naturalnego. Beton musi mieć odpowiednią wytrzymałość na ściskanie (np. klasę ≥ C40/50 dla żerdzi wirowanych E [1,5] i C35/45 dla żerdzi żelbetonowych ŻN [4]) i nasiąkliwość poniżej 4%. Zastosowany w słupach elektroenergetycznych beton zapewnia w środowisku bezpośredniego oddziaływania czynników atmosferycznych (klasa ekspozycji środowiska XC4 i XF1 [11,14]) projektowaną trwałość wynoszącą 30 albo 50 lat (odpowiednio klasa A lub B otulenia betonem według punktu 4.3.7.4 normy [13]).

Dodatkowo normy [11, 12] określają minimalne grubości otulenia zbrojenia ze względu na korozję w danej klasie ekspozycji. W strunobetonowych żerdziach wirowanych E wykonywanych z betonu klasy ≥ C40/50 i projektowanych na 30-letni okres użytkowania, minimalna grubość otuliny strun od zewnątrz powinna wynosić  $c_{\min} = 20$  mm, a od wewnątrz kanału podłużnego minimum 15 mm [11, 13]. Wartości powyższe można stosować w prefabrykatach z betonu poddawanego kontroli jakości zgodnie z kryteriami podanymi w rozdziale 6 normy [11]. Ze względu na konieczną trwałość słupów energetycznych w warunkach zamrażania/rozmarzania (klasa ekspozycji XF1 dotycząca powierzchni pionowych narażonych na deszcz i zamrażanie [9,12]) nasiąkliwość betonu nie powinna przekraczać 5%. Warunek ten nie jest zapisany w normach [11,13] dla 30-letniego okresu użytkowania żerdzi, ale wydaje się być bardzo istotny dla trwałości mroźowej betonu w naszych warunkach klimatycznych.

W wirowanych słupach elektroenergetycznych i oświetleniowych wykonanych z betonu klasy ≥ C40/50 o nasiąkliwości poniżej 5%, minimalna grubość otuliny dla 50-letniego okresu użytkowania zgodnie z warunkami alternatywnymi punktu A.2 normy [11] wynosi:

- dla stali sprężającej (strun):  $c_{\min} = 25$  mm (np. otulina nominalna  $c_{\text{nom}} = 30 + 10 - 5$  mm),
- dla stali zwykłej (w tym spirala):  $c_{\min} = 15$  mm (np.  $c_{\text{nom}} = 20 + 10 - 5$  mm).

Obniżenie grubości minimalnej otuliny strun do  $c_{\min} = 20$  mm w żerdziach wirowanych o projektowanym okresie użytkowania 50 lat jest możliwe, jeśli producent uzyska beton wirowany klasy ≥ C50/60 o nasiąkliwości poniżej 4%.

#### 5. Kwestia izolowania części odziomkowej słupów

Jeżeli beton spełnia wymagania dotyczące wartości granicznych w danej klasie ekspozycji, to zgodnie z normą [9] należy uznać, że beton w konstrukcji spełnia wymagania trwałości dla przewidywanego okresu użytkowania obiektu w danej klasie środowiska. W praktyce o trwałości konstrukcji słupów z betonu zaprojektowanych zgodnie z normami [9÷14] decydują zastosowane materiały i jakość wykonania. W kraju żerdzie wirowane E i żelbetowe ŻN oraz elementy prefabrykowane fundamentów projektowane są na pięćdziesięcioletni okres użytkowania zgodnie z normami [9÷14].

W projektach żerdzi wirowanych elektroenergetycznych E [1, 5] i oświetleniowych [6] oraz żerdziach żelbetonowych ŻN [4] przyjęto klasę ekspozycji XC4 (korozja spowodowana karbonatyzacją betonu w środowisku cyklicznie mokrym i suchym) oraz XF1 (korozja spowodowana zamrażaniem i rozmrażaniem betonu bez środków odładowych w środowisku umiarkowanie nasyconym wodą). Nie przewidywano posadowienia słupów na terenach z wysoką agresywnością chemiczną gruntu i wód gruntowych (klasa ekspozycji

XA2 i XA3), gdyż napowietrzne linie elektroenergetyczne średnich i niskich napięć oraz słupy oświetleniowe budowane są głównie na terenach zamieszkałych, czyli nie skażonych chemicznie.

W obecnym kształcie żerdzie E [1, 5, 6] i ŻN [4] dopuszczone są na rynek zgodnie z wymaganiami norm [11,13,14]. Spełniają one również wymagania klasy środowiska XA [9] w zakresie wartości granicznych opisujących między innymi ilość i jakość składników betonu (np. minimalna zawartość cementu, wskaźnik wodno-cementowy w/c i klasyfikowane kruszywa) oraz wytrzymałość minimalną betonu na ściskanie i jego nasiąkliwość, a także pod kątem minimalnej otuliny zbrojenia [11 ÷ 14].

W podstawowych środowiskach eksploatacji żerdzi elektroenergetycznych i oświetleniowych XC4 i XF1 oraz w środowisku słabo agresywnym chemicznie XA1, beton w konstrukcji strunobetonowych żerdzi wirowanych E i żelbetowych ŻN spełnia wymagania trwałości dla przewidywanego okresu użytkowania [13,14]. Nie istnieje więc potrzeba izolowania ich powierzchni zewnętrznej zarówno w gruncie, jak i powyżej. Na podstawie kilkudziesięcioletnich doświadczeń w praktycznym stosowaniu słupów żelbetowych ŻN zauważono, że stosując do 2004 roku (tzn. do momentu ukazania się normy [9]) w żerdziach ŻN i płytach fundamentowych beton klasy B22,5 nie stwierdzono korozji betonu w gruncie. Równocześnie znacznie mniejsze otulenie zbrojenia w prefabrykatkach niż wymaga się obecnie [11] zabezpieczało skutecznie zbrojenie płyt fundamentowych i części podziemnej żerdzi przed korozją, co stwierdzić można było przy wymianie konstrukcji wsporczych po 40–50 latach eksploatacji. W Polsce grunty i wody gruntowe generalnie nie są agresywne wobec betonu i nie ma potrzeby izolowania części odziomkowej żerdzi i ustojów.

Użytkownik linii elektroenergetycznej może wymagać izolowania powierzchni zewnętrznych słupów zagłębionych w gruncie. Powinien

jednak pamiętać o kosztach inwestycji, które powinny wynikać z rzetelnej analizy warunków geotechnicznych posadowienia obiektu, a nie z wyobrażeń o trwałości (bądź z tego, że tak się czyni z fundamentami innych budowli z betonu). Zdaniem autorów tego opracowania, obligatoryjne wymaganie zabezpieczenia powierzchniowego w części odziomkowej wszystkich żerdzi wirowanych E i żelbetowych ŻN jest zbędne na etapie ich produkcji, a także podczas montażu. Jeśli przypadek wody gruntowej wystąpi na jakimś terenie kraju (np. zakładu przemysłowego), to należy zaprojektować odpowiednią ochronę powierzchniową betonu i wykonać ją na budowie podczas montażu konstrukcji wsporczych.

## 6. Podsumowanie

Beton w elektroenergetycznych słupach strunobetonowych typu E [1, 5] i żelbetowych ŻN [4] oraz oświetleniowych EO, EOP i EOC [6] ma zapewnione zabezpieczenie strukturalne przed korozją, gdyż spełnia wymagania dotyczące wartości granicznych określonych w normie [9] dla klas ekspozycji XC4 i XF1 [9,11 ÷ 14]. Można zatem uważać, że w konstrukcjach wsporczych z betonu spełnione są wymagania trwałości dla 30- lub 50-letniego okresu użytkowania w danym środowisku, jeśli zbrojenie ma minimalną otulinę zgodną z normami [11 ÷ 14], co powinno być zapisane w zakładowej kontroli produkcji i przestrzegane w procesie produkcyjnym elementów prefabrykowanych.

Przed przystąpieniem do projektowania nowych linii elektroenergetycznych niezbędne jest ustalenie warunków geotechnicznych posadowienia konstrukcji wsporczych na podstawie ogólnych informacji o środowisku na danym terenie. Jeśli istnieje podejrzenie wystąpienia na trasie projektowanej linii elektroenergetycznej agresywnego środowiska gruntowego i wodnego (klasy ekspozycji XA wg [9]), należy wówczas przepro-

wadzić badania wód gruntowych i ich oddziaływanie na konstrukcję w celu doboru właściwego środka zabezpieczającego beton przed korozją chemiczną w gruncie.

W przeważającej większości przypadków, grunt i wody gruntowe na terenie Polski nie należą do środowisk XA [9] agresywnych chemicznie wobec betonu. Nie ma więc potrzeby obligatoryjnego powlekania środkami izolacyjnymi odziomkowej części żerdzi E i ŻN, a także ustojów z płyt (rys. 2, 3) lub belek żelbetowych na etapie produkcji prefabrykatów bądź podczas ich montażu na budowie.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Arciszewski A., Kiwitt W., Zawodniak J. J., Strunobetonowe żerdzie wirowane w opracowaniach typizacyjnych i w praktycznym zastosowaniu. Przegląd Budowlany Nr 6/2011, s. 35–40
- [2] Fagerlund G., Trwałość konstrukcji betonowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1997
- [3] Kubiak J., Łodo A., Michałek J., Dwugątelizowe, strunobetonowe żerdzi elektroenergetyczne. Przegląd Budowlany Nr 6/2011, s. 50–54
- [4] Kubiak J., Łodo A., Michałek J., Żerdzie żelbetowe ŻN/200 i ŻN/300 dla elektroenergetycznych linii niskich napięć. Przegląd Budowlany Nr 6/2011, s. 40–44
- [5] Łodo A., Historia uruchomienia krajowej produkcji strunobetonowych żerdzi wirowanych. Przegląd Budowlany Nr 6/2011, s. 29–34
- [6] Michałek J., Słupy oświetleniowe z betonu. Przegląd Budowlany Nr 6/2011, s. 45–49
- [7] Ścisławski Z., Ochrona konstrukcji żelbetowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1999
- [8] PN-B-03322:1980 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Fundamenty konstrukcji wsporczych. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [9] PN-EN 206-1:2003 (z aneksami Ap1:2004, A1:2005 i A2:2006). Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [10] PN-B-06265:2004. Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003. Beton. Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [11] PN-EN 13369:2005 (z aneksami A1:2008 i AC:2008). Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu
- [12] 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
- [13] PN-EN 12843:2008 Prefabrykaty betonowe. Maszty i słupy
- [14] PN-EN 40-4:2008 Słupy oświetleniowe. Część 4: Wymagania dotyczące słupów oświetleniowych z betonu zbrojonego i sprężonego