

dr inż. Jarosław Michalek^{1*)}

ORCID: 0000-0002-4242-9054

dr inż. Aleksy Łodo

Krajowe żerdzie elektroenergetyczne z betonu wirowanego po ponad trzydziestu latach eksploatacji

Domestically produced spun concrete power poles after more than 30 years of exploitation

DOI: 10.15199/33.2024.02.06

Streszczenie. W artykule przedstawiono stan techniczny elektroenergetycznych żerdzi z betonu wirowanego po ponad trzydziestoletniej eksploatacji. Słupy te są jednymi z pierwszych wytworzonych w Polsce w technologii betonu wirowanego na laboratoryjnej linii produkcyjnej zlokalizowanej na terenie Politechniki Wrocławskiej. Na fotografiach przedstawiono istniejące uszkodzenia żerdzi, omówiono je oraz wskazano potencjalne przyczyny.

Słowa kluczowe: beton wirowany; słupy elektroenergetyczne; trwałość konstrukcji.

Abstract. The paper presents the technical condition of spun concrete power poles after more than thirty years of exploitation. The poles in question are among the first ones manufactured in Poland using the spun concrete technology on a laboratory production line located at the Wrocław University of Science and Technology. Existing damages to the poles, which are shown in photographs, are discussed and their potential causes are indicated.

Keywords: spun concrete; electricity poles; durability of structures.

Historia uruchomienia w Polsce przemysłowej produkcji strunobetonowych żerdzi wirowanych przeznaczonych na konstrukcje wsporcze linii elektroenergetycznych średniego i niskiego napięcia ma początek w 1974 r. Podjęto wówczas decyzję o zakupie w byłej Czechosłowacji urządzeń do produkcji słupów wirowanych w formach nierozbieralnych o długości $L = 12$ m i siłach wierzchołkowych $P_k = 2,5$ i $4,3$ kN. Wytwórnię o wydajności 2×30 tys. słupów rocznie planowano uruchomić w Mietkowie k. Wrocławia w sąsiedztwie pozyskiwania kruszyw naturalnych z dna zalewu na rzece Bystrzyca. Ta inwestycja niestety nie doczekała się realizacji pomimo sprowadzenia do Polski ok. 85% urządzeń [1], w tym 180 form i 4 wirówek. Przyczyną był kryzys gospodarczy w końcu lat osiemdziesiątych XX w. Dla porównania pierwsze słupy z betonu wirowanego zaczęto produkować w Niemczech na początku ubiegłego wieku [2, 3, 4].

W latach 1980 – 1984 podejmowano nieudane próby przekazania urządzeń

do produkcji żerdzi wirowanych z resortu energetyki do budownictwa, a następnie w 1984 r. zdecydowano się na ich złomowanie. Ostatecznie urządzenie, jako złom użytkowy, odkupił w 1986 r. Zakład Wykonawstwa Sieci Elektrycznych w Nysie. Jesienią 1986 r., po podpisaniu umowy z Instytutem Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, oceniono stan techniczny urządzeń pod kątem możliwości wykorzystania ich do produkcji żerdzi. Po uzyskaniu pozytywnej opinii urządzenia posegregowano (1987 r.) i zabezpieczono z myślą o uruchomieniu najpierw laboratoryjnej produkcji żerdzi wirowanych na miarę możliwości finansowych ZWSE Nysa i lokalizacyjnych Laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, a następnie produkcji przemysłowej.

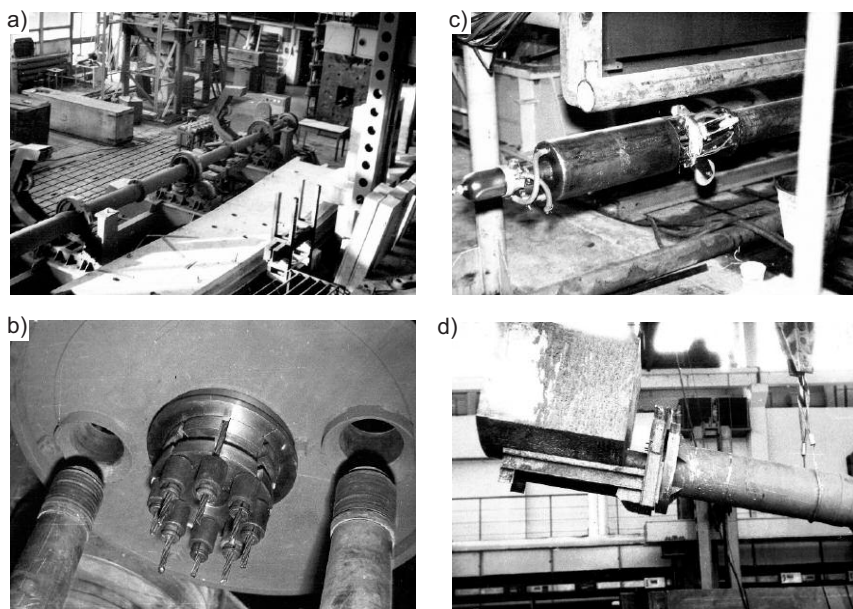
Za pierwsze krajowe wirowane żerdzie elektroenergetyczne należy uznać 15 żerdzi strunobetonowych i żelbetonowych o długości 12 i 15 m wykonanych na początku 1980 r. przy użyciu wirówki rolkowej adaptowanej z zaniechanej produkcji wirowanych rur kanalizacyjnych i własnej konstrukcji form rozbieralnych podłużnie w Zakładzie Prefabrykatów Betonowych Energetyki w Kozienicach [1]. Na kolejne 2 sztuki strunobetonowych żerdzi wirowanych

typu E12/2,5, ale w formach nierozbieralnych, musiano czekać aż do 1988 r. Żerdzie te wykonano w hali Laboratorium Instytutu Budownictwa na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w celu sprawdzenia przydatności form do produkcji żerdzi wirowanych po dziesięcioletnim ich magazynowaniu „pod chmurką”, ale z fachowo zabezpieczoną powierzchnią wewnętrzną przed korozją. Wykorzystano do tego celu niezbędne urządzenia z linii czechosłowackiej (wirówkę i kilka nierozbieralnych form – fotografia 1a oraz urządzenie do produkcji zbrojenia poprzecznego – spirali) zakupionej w latach siedemdziesiątych XX w. oraz głowice do grupowego naciągu strun (fotografia 1b) i urządzenie do natrysku form środkiem antyadhezyjnym (fotografia 1c) wykonane wg własnego projektu [1].

W roku następnym kontynuowano prace nad doskonaleniem natrysku powierzchni wewnętrznej formy środkiem antyadhezyjnym, sposobem przygotowania koszy zbrojeniowych i grupowego naciągu strun. Po opanowaniu pneumatycznego podawania masy betonowej do formy i uruchomieniu przesuwownicy pomostowej do automatycznego wkładania i wyjmowania form z wirów-

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Adres do korespondencji: jaroslaw.michalek@pwr.edu.pl



Fot. 1. Montaż niezbędnych urządzeń do produkcji sondażowej w Laboratorium Instytutu Budownictwa na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej prototypowych, polskich żerdzi wirowanych: a) wirówka z umieszczoną wewnątrz formą (1987 r.); b) prototyp głowicy do kotwienia splotów Y1860 S7 o średnicy 7,8 mm (1987 r.); c) prototyp dyszy do natrysku środka antyadhezyjnego na wewnętrzną powierzchnię formy (1987 r.); d) wlewanie mieszanki betonowej ze zbiornika do formy (1988 r.)

Fot. A. Lodo
 Photo 1. Installation of the necessary equipment for the test production in the Laboratory of the Institute of Building Engineering at the Faculty of Civil Engineering of the Wrocław University of Science and Technology of prototype Polish spun poles: a) centrifuge with a mold placed inside (1987); b) prototype head for anchoring strands with a diameter of 7.8 mm (1987); c) prototype nozzle for spraying separating agent onto the inner surface of the mold (1987 r.); d) pouring the concrete mix from the tank into the mold (1988) *Photo: A. Lodo*

ki, urządzenia zmontowano w ciąg technologiczny, tworząc na zapleczu Laboratorium Instytutu Budownictwa tzw. linię laboratoryjną wytwarzania struno-betonowych żerdzi wirowanych [1]. Zdolność produkcyjna linii wynosiła $6 \div 8$ żerdzi dziennie. Wyprodukowano tam z betonu klasy C40/50 jedenaście żerdzi wirowanych typu E12/2,5 o średnicy w szczycie 173 mm i dwie żerdzie wirowane typu E12/4,3 o średnicy w szczycie 218 mm, które następnie zainstalowano wzdłuż ulicy Adama Mickiewicza w Paczkowie w województwie opolskim. Żerdzie E12/2,5 zbrojone były podłużnie ośmioma, a żerdzie E12/4,3 czternastoma splotami siedmiodrutowymi Y1860 S7 o średnicy 7,8 mm ($1 \times 2,8 \text{ mm} + 6 \times 2,5 \text{ mm}$) rozmieszczonymi równomiernie na obwodzie (fotografia 1b). W dolnej części żerdzi E12/4,3 zastosowano dodatkowe zbrojenie zwykle podłużne z prętów żebrowanych ze stali 34GS o średnicy 12 mm, zwiększając ich nośność użytkową do 10 kN (uzyskano w ten sposób żer-

dzie wzmocnione E12/10 przydatne do realizacji nasłupowych stacji transformatorowych na pojedynczym słupie). Zbrojenie poprzeczne stanowiła spirala z drutu gładkiego o średnicy 3,5 mm i skoku 150 mm rozmieszczona wzdłuż żerdzi. Wykonawstwo żerdzi w warunkach hali laboratoryjnej było bardzo trudne do realizacji z powodu np. braku pompy pneumatycznej podającej mieszankę betonową do wnętrza form (mieszankę ostatecznie podawano w sposób grawitacyjny – fotografia 1d) w porównaniu z linią laboratoryjną, uruchomioną w późniejszym czasie na Politechnice Wrocławskiej, oraz produkcją w warunkach przemysłowych. Trzy żerdzie wmontowane w linię niskiego napięcia w Paczkowie od samego początku charakteryzowały się widoczną na zewnątrz spiralą. Mimo tego elementy zostały wbudowane w celu przekonania się, jak szybko przebiegać będzie korozja lokalnie odkrytego zbrojenia spiralnego lub z małą otuliną. Pozosta-

łe żerdzie były gładkie, proste, bez śladów środka antyadhezyjnego na powierzchni oraz bez rys.

Przeгляд żerdzi w Paczkowie

06.10.2023 r., czyli po 34 latach od produkcji, dokonano przeglądu trzynastu żerdzi elektroenergetycznych z betonu wirowanego wyprodukowanych w 1989 r. i zainstalowanych w Paczkowie. Żerdzie wykorzystywane są do podwieszenia instalacji niskiego napięcia, kabli telefonicznych, światłowódów oraz do realizacji oświetlenia ulicy (fotografia 2). Na końcach sekcji naciągowej ustawiono żerdzie krańcowe E12/10 o średnicy w szczycie 218 mm wzmocnione zbrojeniem zwykłym, natomiast pomiędzy nimi żerdzie przelotowe E12/2,5 o średnicy w szczycie 173 mm.



Fot. 2. Widok słupa przelotowego E12/2,5

Fot. J. Michalek
 Photo 2. View of the E12/2.5 suspension pole *Photo: J. Michalek*

Słupy bez wadliwego rozmieszczenia zbrojenia spiralnego są proste, o gładkiej powierzchni zewnętrznej od strony trawników i płotów, bez raków, pęknięć, rys i obcych ciał w betonie (poza jednym przypadkiem). Powierzchnia żerdzi od strony ulicy nosi miejscami ślady erozji powierzchniowej (wyflukana przez deszcz zewnętrzna powłoka skarbonatyzowanego zaczynu cementowego i odsłonięte kruszywo). W niektórych miejscach widoczne są powierzchniowe uszkodzenia betonu (fotografia 3), wynikające z transportu żerdzi

lub ich montażu. W jednej żerdzi stwierdzono wgłębienie w betonie, które powstało po wypłukaniu z niego ciała obcego (fotografia 4).

W miejscach z odkrytą spiralą pojawiły się odpryski betonu wynikające z korozji zbrojenia (fotografie 5 i 6). Słupy te pracują nadal. W słupie poka-



Fot. 3. Odłupanie krawędziowe betonu przy otworze wentylacyjnym powstałe podczas ustawiania słupa w pionie

Fot. J. Michalek

Photo 3. Edge spalling of the concrete at the ventilation opening, caused during vertical positioning of the pole Photo: J. Michalek



Fot. 4. Kawerna (wnęka) powstała w wyniku wymycia przez deszcz prawdopodobnie bryłki stwardniałego cementu

Fot. J. Michalek

Photo 4. Cavern (cavity), formed by the washing away of presumably a lump of hardened cement by rain Photo: J. Michalek

zanym na fotografii 6, w miejscu odsłoniętej spirali, nie stwierdzono korozji zbrojenia podłużnego, co świadczy o przesunięciu zbrojenia spiralnego od nasady w kierunku szczytu żerdzi podczas wlewania mieszanki betonowej do wnętrza formy (mieszanka betonowa przesunęła nieprzytrzymałą przez zbrojenie podłużne spiralę z nasady w kierunku wierzchołka słupa).



Fot. 5. Skorodowane zbrojenie uzwojające oraz podłużne w postaci splotu i pręta żebrowanego

Fot. J. Michalek

Photo 5. Corroded spiral and longitudinal reinforcement in the form of strand and ribbed bar Photo: J. Michalek



Fot. 6. Słup E12/4,3 z odsłoniętą i skorodowaną spiralą

Fot. J. Michalek

Photo 6. Reinforced pole E12/4.3 with exposed and corroded spiral Photo: J. Michalek

W trzecim słupie, w którym spirala została odsłonięta w jego szczycie (w wyniku przesunięcia jej przez masę betonową), stwierdzono pęknięcie podłużne o szerokości do 2 mm w części środkowej i dolnej (fotografia 7). Pęknięcie podłużne jest wynikiem przesunięcia spirali, ponieważ wówczas pozostało w tej strefie zbyt mało zbrojenia poprzecznego. Pomimo pęknięcia słup nadal pozostaje prosty. Pęknięcie pionowe słupa zmniejsza sztywność i nośność żerdzi na skręcanie, co jest ważne w żerdziach odporowych i krańcowych. W przypadku analizowanej żerdzi mamy do czynienia ze słupem przelotowym, w którym nie występuje skręcanie. Rysy podłużne (fotografia 7) są wywołane czynnikami skurczowymi betonu, termiczno-wilgotnościowymi oraz mrozowymi w wyniku małej ilości zbrojenia poprzecznego [5, 6]. Mogą również powstawać w wyniku błędów wykonawczych, takich jak np. nieszczelna forma na długości zamka podłużnego. W przedstawionym w artykule przypadku stosowano formy nieotwierane podłużnie. Jednoznaczna przyczyna powstawania tego typu rys nie jest do końca wyjaśniona. Rysy te mogą mieć różną długość i szerokość rozwarcia oraz być rozłożone na całej długości żerdzi.



Fot. 7. Wzdłużne pęknięcie na wysokości słupa przelotowego E12/2,5

Fot. J. Michalek

Photo 7. Longitudinal crack in the middle and lower part of the E12/2.5 suspension pole Photo: J. Michalek

Trwałość słupów wirowanych

W celu zapewnienia odpowiedniej trwałości konstrukcji z betonu należy uwzględnić m.in. warunki środowiskowe [7]. Oddziaływania środowiska są klasyfikowane wg norm [8, 9] za pomocą klas ekspozycji. Część nadziemna strunobetonowych żerdzi wirowanych podlega oddziaływaniu środowiska klasy XC4 (powierzchnie cyklicznie mokre i suche narażone na korozję spowodowaną karbonatyzacją betonu), natomiast żerdzi elektroenergetycznych i oświetleniowych, zlokalizowanych wzdłuż dróg i ulic na styku z gruntem w strefie rozbrygu środków odladzających oddziaływaniu środowiska klasy XC4, XD1 (umiarkowanie wilgotne powierzchnie betonu narażone na działanie chlorków z powietrza) i XF2 (umiarkowanie nasycone wodą pionowe powierzchnie betonowe narażone na zamrażanie/rozamrażanie i działanie z powietrza środków odladzających). Część dolna żerdzi elektroenergetycznych zagłębiona w gruncie [10] może być wyjątkowo narażona na działanie środowiska XA1 ÷ XA3 (agresywne środowisko chemiczne gruntów i wody gruntowej).

Ochrona stali przed korozją w strunobetonowych elementach wirowanych zapewniona jest otuliną odpowiedniej grubości. Beton zabezpieczający stal przed korozją charakteryzowany jest wartościami granicznymi [8, 9, 11, 12], opisującymi m.in. ilość i jakość składników (np. minimalna zawartość cementu, wskaźnik wodno-cementowy w/c, minimalna zawartość powietrza w mieszance betonowej i klasyfikowane kruszywa) oraz minimalną wytrzymałość betonu na ściskanie i jego małą nasiąkliwość.

W strunobetonowych żerdziach wirowanych wykonanych z betonu klasy $\geq C40/50$ o nasiąkliwości poniżej 6% minimalna grubość otuliny po pięćdziesięciu latach użytkowania powinna wynosić, zgodnie z warunkami alternatywnymi punktu A.2 w załączniku A normy [12] w przypadku:

- stali sprężającej (strun) $c_{\min} = 25$ mm (np. otulina nominalna $c_{\min} = 30^{+10}_{-5}$ mm);

- stali zwykłej (w tym spirala) $c_{\min} = 15$ mm (np. $c_{\min} = 20^{+10}_{-5}$ mm).

Zapewnienie minimalnej otuliny zbrojenia sprężającego i zwykłego w elementach wirowanych na etapie ich wykonywania i spełnienie tym samym wymagań norm [11, 12] nie powinno być kłopotliwe, gdyż zbrojenie sprężające kotwione jest na końcach w stalowych głowicach wykonanych z dokładnością ± 1 mm. Dostyc częstym zjawiskiem jest jednak powiększenie otuliny zbrojenia w środkowej części słupa powyżej granicy odchyłek dopuszczalnych. Wynika to ze zbyt ciasno nawiniętego zbrojenia spiralnego na cięgna sprężające. Przesunięcie zbrojenia podłużnego do środka przekroju (szczególnie w przekrojach o małej średnicy zewnętrznej) skutkuje zmniejszeniem nośności elementu nawet o ok. 10%. Dodatkowo przy cienkich ściankach przekroju pierścieniowego może skutkować skróceniem trwałości elementu w wyniku zmniejszenia otuliny od wewnątrz przekroju [13]. W przypadku widocznego ściągnięcia zbrojenia podłużnego przez spiralę należy dokonać korekty rozłożenia spirali, a nie wprowadzać wadliwie wykonanego kosza zbrojeniowego do formy. Problemem wykonawczym w elementach wirowanych może być również przesunięcie spirali w kierunku szczytu żerdzi w wyniku zepchnięcia jej przez rurę do napełniania formy betonem wsuwaną do jej wnętrza. Rura ta wciskana jest wówczas między formę a kosz zbrojeniowy powodując poważną awarię napełniania formy betonem.

Podsumowanie

Podczas sprawdzania przydatności magazynowanych przez 10 lat form i wirówki do produkcji przemysłowej wykonano 13 żerdzi, które w 1989 r. zastosowano w Paczkowie jako słupy elektroenergetyczne E12/2,5, E12/4,3 i wzmocnione E12/10. Mimo niedociągnięć technicznych słupy nadal pracują poprawnie. Stwierdzone uszkodzenia żerdzi są wynikiem niekompletności urządzeń na etapie wykonawstwa. Dotyczy to przede wszystkim przesunięcia spirali do szczytu żerdzi w wyniku gravitacyjnego napełniania nierozbieralnych form mieszanką betonową. Stwier-

dzone wady skutkują przede wszystkim pogorszeniem estetyki słupów oraz ich trwałości (szczególnie trzech słupów z nierównomiernie rozłożonym zbrojeniem spiralnym na wysokości). Po ponad trzydziestoletniej eksploatacji należy stwierdzić, że właściwe wykonawstwo jest podstawą do wypełnienia warunku odpowiedniej trwałości żerdzi. Wśród dziesięciu z analizowanych trzynastu żerdzi nie stwierdzono uszkodzeń. Żerdzie te mogą nadal pracować bezawaryjnie przez okres minimum kolejnych dwudziestu lat.

Literatura

- [1] Łodo A. Historia uruchomienia krajowej produkcji strunobetonowych żerdzi wirowanych. Przegląd Budowlany. 2011; 6: 29 ÷ 34.
- [2] Foerster M. Die Fabrikanlage zur Herstellung Stahlbewehrter Schleudermaste der Akt-Ges. Dyckerhoff und Widmann zu Cossebaude bei Dresden. Berlin. Armierter Beton, Monatschrift für Theorie und Praxis des Gesamten Betonbaues. Fünfter Jahrgang, Januar 1912: 26 – 29.
- [3] Foerster M. Neues von den Eisenbeton – Schleudermaste. Berlin. Armierter Beton, Monatschrift für Theorie und Praxis des Gesamten Betonbaues. Neunter Jahrgang. 1916: 214 – 218.
- [4] Kliukas R, Jaras A, Lukoševičienė O. Reinforced Spun Concrete Poles – Case Study of Using Chemical Admixtures. Materials. 2020; DOI: 10.3390/ma13020302.
- [5] Dilger WH. Improved concrete poles – part 1; Canadian Electrical Association, Montreal 1980.
- [6] Dilger WH, Ghali A. Improved technology for spun-cast concrete poles; Canadian Electrical Association, Montreal 1984.
- [7] Dittmar F, Bahous H. Spun pre-stressed concrete poles: alternative to wooden and steel poles for low, medium, and high voltage. 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, 6-9 June 2011, Paper 0392.
- [8] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [9] PN-EN 206+A2:2021-08. Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [10] Kubiak J, Michałek J, Łodo A. Zabezpieczenie strukturalne i powierzchniowe betonu w słupach elektroenergetycznych i oświetleniowych. Przegląd Budowlany. 2012; 5: 103 ÷ 107.
- [11] PN-EN 12843:2008. Prefabrykaty betonowe. Maszty i słupy.
- [12] PN-EN 13369:2018-05. Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.
- [13] Michałek J, Łodo A. Grubość ścianek w strunobetonowych żerdziach wirowanych. Materiały Budowlane. 2017; DOI: 10.15199/33.2017.06.05.

Przyjęto do druku: 02.02.2024 r.