

Fundamenty palowe pod konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej

JUSTYNA CZERWONOGRODZKA*, ARKADIUSZ ARCISZEWSKI
Trakcja S.A.

Streszczenie: Konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej są w Polsce posadawiane na prefabrykowanych fundamentach palowych, udarowo wbijanych w grunt do określonej rzędnej. Fundamenty te są wyrobem budowlanym, wprowadzanym do obrotu w oparciu o obowiązujące przepisy prawa. Jednocześnie, Zarządca Infrastruktury określa własne szczegółowe wymagania dotyczące różnego rodzaju robót, urządzeń i materiałów, w tym wspomnianych fundamentów palowych. Wymagania te określono w Dokumentie Normatywnym 01-10/ET/2017 Fundamenty konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej Iet-112. Fundamenty prefabrykowane, produkowane przez jednego z producentów, a zabudowywane m.in. przez spółkę Trakcja, choć spełniały wymagania prawne, nie były w pełni zgodne z wytycznymi Zarządcy. W związku z tym, elementy te poddano szczegółowym analizom i badaniom, które miały na celu weryfikację, czy zaistniała niezgodność stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa konstrukcji. W pracy przedstawiono wyniki tychże analiz i badań oraz płynące z nich wnioski.

Słowa kluczowe: pale, fundamenty, nośność, sieć trakcyjna, konstrukcje wsporcze, wyrób budowlany

1. Wymagania ogólne

W ramach inwestycji kolejowych wykonywane są różne rodzaje robót budowlanych, które do właściwej realizacji wymagają współpracy specjalistów poszczególnych branż. Przykładem takich prac powinny być te dotyczące sieci trakcyjnej oraz konstrukcji wsporczych pod tę sieć wraz z ich posadowieniem. Typowe rozwiązanie stosowane w warunkach naszego kraju stanowi sieć trakcyjna zawieszona na słupie stalowym lub bramownicy. Konstrukcje wsporcze pod sieć trakcyjną posadowione są za pomocą prefabrykowanych fundamentów palowych udarowo wbijanych w grunt do określonej rzędnej. Aktualnie wszystkie wymienione prace realizowane są pod nadzorem specjalistów branży elektroenergetycznej.

Prefabrykowane pale fundamentowe są wyrobem budowlanym w rozumieniu Rozporządzenia UE nr 305/2011 [1] i powinny być wprowadzane do obrotu zgodnie z przepisami obowiązującymi w tym zakresie, a więc w oparciu o wyżej wymienione rozporządzenie europejskie lub krajową Ustawę o wyrobach budowlanych [2]. To, jakie przepisy mają w danym przypadku zastosowanie, zależy od właściwego dokumentu odniesienia. Jeżeli na dany wyrób jest obowiązująca i mająca zastosowanie norma zharmonizowana z rozporządzeniem 305/2011 lub producent uzyskał Europejską Ocenę Techniczną to wyrób wprowadzany

*Autor do korespondencji: J.Czerwonogrodzka@grupatrakcja.com

jest do obrotu zgodnie z przepisami europejskimi. W przypadku, gdy norma wyrobu nie ma statusu normy zharmonizowanej lub producent uzyskał Krajową Ocena Techniczną (dawniej Aprobata Techniczną), zastosowanie ma Ustawa o wyrobach budowlanych.

PKP Polskie Linie Kolejowe jako główny zarządca infrastruktury kolejowej i jednocześnie zamawiający w przetargach na odnowienie i modernizację linii kolejowych opublikował szereg instrukcji i wytycznych, do których stosowania zobligował Wykonawców realizujących prace na jego zlecenie. Jednym z takich dokumentów jest instrukcja Iet-112 [3]. Określa ona wymagania stawiane fundamentom pod konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej.

2. Fundamenty

Prefabrykowane fundamenty palowe pod konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej są zgodnie z instrukcją Iet-112 wykonywane w trzech typach, o określonym, zmiennym na długości pala, przekroju poprzecznym (wg Tablicy 1). Mogą one mieć długość od 2,5 do nawet 5 m, ze skokiem co 0,5 m.

Tablica 1. Wymiary geometryczne przekroju poprzecznego poszczególnych typów pali

Typ fundamentu	Przekrój głowicy [mm]	Przekrój trzonu [mm]
I	450´320	320´320
II	520´360	360´360
III	580´400	400´400

Wskazano również bardzo szczegółowe wymagania materiałowe, w tym minimalną średnicę zbrojenia głównego – 28 mm, taką samą dla wszystkich typów pali, przy czym dla fundamentów typu I i II mają mieć zastosowanie 4 pręty zbrojeniowe, a typu III – 6 prętów zbrojeniowych.

Instrukcja Iet-112 dla każdego typu fundamentu określa wymaganą nośność przekroju poprzecznego badanego podczas zginania wspornikowego wg procedury określonej w teście instrukcji. Wymagane przez nią wartości przedstawiono w Tablicy 2. Dodatkowo, wskazano, że dla tych wartości zastosowanie ma współczynnik bezpieczeństwa równy 1,3.

Tablica 2. Dopuszczalne obciążenie obliczeniowe fundamentów zgodnie z Instrukcją Iet-112

Typ fundamentu	Dopuszczalne obciążenie obliczeniowe	
	Moment zginający [kNm]	Siła osiowa [kN]
I	156,9	99,6
II	156,9	99,6
III	180,5	99,6

Jak łatwo zauważyć wartość dopuszczalnego obciążenia jest taka sama dla fundamentów typu I i II, pomimo różnych geometrii (przy takim samym minimalnym przekroju poprzecznym zbrojenia). Podane w wytycznych wartości obciążeń oraz wskazana metodyka badania wskazuje, że w formułowaniu wytycznych nie uwzględniono faktu współpracy pala z gruntem, a potraktowano go jako samodzielnie pracujący element żelbetowy,

Stosowany typ fundamentu zależy od rodzaju słupa trakcyjnego, który ma być posadowiony na fundamencie, a ten, od typu zabudowywanej sieci trakcyjnej. W procesie projektowym dobierana jest długość fundamentu palowego (zależnie od panujących warunków wodno-gruntowych oraz obciążeń pala w konkretnej lokalizacji). Tego aspektu Instrukcja Iet-112 nie reguluje.

W ramach prowadzonych działań kontrolnych, wskazano, że fundamenty palowe zabudowywane przez spółkę Trakcja, nie spełniają wymagań Instrukcji Iet-112. Głównym podnoszonym zarzutem, była mniejsza średnica zbrojenia głównego fundamentów. Okazało się, że w palach typu I i II producent stosował minimalną średnicę zbrojenia głównego 22 mm, a w palach typu III – 25 mm.

Stosowane fundamenty były produkowane w oparciu o normę PN-EN 12794, mającą status normy zharmonizowanej z rozporządzeniem 305/2011. Na swoją produkcję wytwórca uzyskał Certyfikat Zakładowej Kontroli Produkcji, wystawiony przez uprawnioną jednostkę zgodnie z rozporządzeniem 305/2011. Norma PN-EN 12794 nie specyfikuje wymagań co do minimalnej średnicy zbrojenia.

W związku ze stwierdzonymi rozbieżnościami, nasza spółka zwróciła się do renomowanych jednostek badawczych i naukowych, w celu weryfikacji, czy mogą one stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa pod kątem trwałości konstrukcji.

3. Badania fundamentów palowych

Badania fundamentów palowych na zlecenie Trakcja S.A. wykonali: Instytut Badawczy Dróg i Mostów oraz Instytut Kolejnictwa.

Instytut Badawczy Dróg i Mostów wykonał badania nośności fundamentów, wyprodukowanych ze średnicą mniejszą niż to wskazano w wytycznych Iet-112, zgodnie z procedurą w tymże dokumencie. Rezultaty tych badań przedstawiono w Tablicy 3.

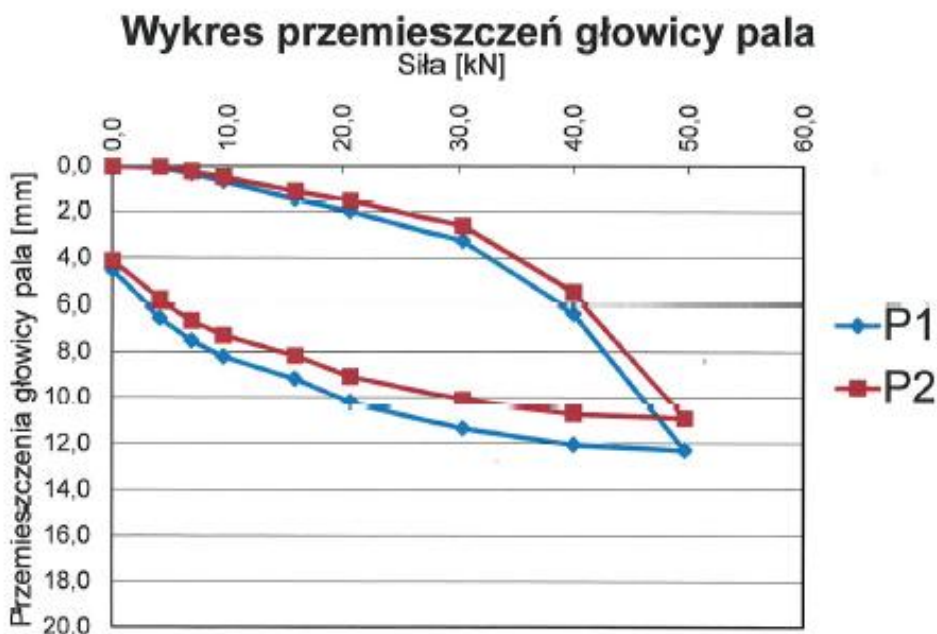
Tablica 3. Stwierdzona nośność przekroju fundamentów ze zmniejszoną średnicą zbrojenia (IBDiM).

Typ fundamentu	Moment niszczący [kNm]	Współczynnik bezpieczeństwa w stosunku do Iet-112
I, 22 mm	184,3	1,17
II, 22 mm	221,8	1,41
III, 25 mm	348,5	1,93

Dodatkowo, wykonane zostały badania porównawcze pracy w gruncie pali w różnych wariantach zbrojenia według procedury opracowanej przez Zakład Geotechniki Instytutu Badawczego Dróg i Mostów. Na terenie jednej z realizowanych przez Spółkę budów zabudowano 3 pary fundamentów palowych typu I. W każdej parze znalazł się fundament zbrojony prętami o średnicy 22 oraz 28 mm. W celu zminimalizowania wpływu zmiany warunków gruntowych na wyniki pomiarów elementy zabudowano w odpowiedniej odległości od siebie.

Na palach zamontowano specjalnie wykonane konstrukcje stalowe, które były równomiernie obciążane siłą poziomą, na zasadzie akcji i reakcji. Siła przyłożona na ramieniu wywoływała obciążenie momentem zginającym. Podczas przykładania coraz większego obciążenia na zainstalowanej aparaturze pomiarowej odczytywano przemieszczenia dla każdego pala z badanej pary. Warto również podkreślić, że ze względu na przyjętą metodę badawczą pale były podczas badań obciążone siłą ścinającą o wartości niemal 50 kN, która nie występuje w normalnych warunkach eksploatacji.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski: „Przeprowadzone badania trzech par pali różniących się wbudowanym uzbrojeniem głównym wykazały, że każdy z pali o uzbrojeniu Ø22 i Ø8 [mm] przejmował poziomą siłę obciążającą i przekazywał ją na ośrodek gruntowy podobnie jak odpowiadający mu w parze pal uzbrojony prętami Ø28 i Ø10 [mm].” [4]



Rys. 1. Przykładowy wykres zależności obciążenie/przemieszczenie głowic pali wg [4]

W oparciu o wszystkie przeprowadzone przez siebie badania Instytut Badawczy Dróg i Mostów opracował opinię [5] w której podsumowaniu stwierdzono: „Uzyskane wyniki badań pali fundamentowych żelbetowych, prefabrykowanych sieci trakcyjnej (...) potwierdzają, że spełniają one deklarowane parametry wytrzymałościowe i trwałościowe oraz, że zostały wykonane zgodnie z dokumentacją techniczną producenta. Mogą być bezpiecznie stosowane zgodnie z ich przeznaczeniem, a po zabudowaniu ich trwałość będzie odpowiednia do wymagań PKP PLK przez okres min 50 lat eksploatacji. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że stosowanie zbadanych pali jest bezpieczne i technicznie równoważne do rozwiązań i wymagań przedstawionych w dokumencie normatywnym 01-10/ET/2017 Fundamenty konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej Iet-112, PKP PLK S.A., Warszawa 2017 r.”.

Do analizy poprawności przyjętego rozwiązania zaprosiliśmy również Instytut Kolejnictwa, który badaniom poddał zarówno elementy nowe, które nie były zabudowywane w tor, jak i elementy, które były eksploatowane w normalnych warunkach pracy w torze kolejowym. Badania te obejmowały aspekty ujęte w Iet-112 oraz dodatkowe, wskazane w toku rozmów przez PKP PLK S.A. jako istotne dla rozpatrywanego zagadnienia. Do tej pory, została zakończona większość tychże badań i sporządzona opinia o palach nowych [6] oraz część I ekspertyzy dotyczącej pali eksploatowanych [7].

Badania pali oprócz aspektów ujętych w Iet-112 obejmowały również kwestie połączenia śrub ze stali nierdzewnej (na których posadawiane są konstrukcje ze stali węglowej) ze zbrojeniem głównym fundamentu. Dotychczas przeprowadzone badania wskazują, że aspekt ten, choć nieuregulowany w Iet-112, może być istotny dla trwałości fundamentu palowego.

Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań wskazują, że pomimo procesu zabudowy w tor (udarowe wbijanie w grunt), eksploatacji, oraz wydobywania pali z gruntu, różnica w nośności przekroju jest nieznacząca.

Tablica 4. Stwierdzona nośność przekroju fundamentów nowych (IK)

Typ pala	Wymagana wartość momentu zginającego wg Iet-112 [kNm]	Uzyskany średni moment zginający [kNm]	Współczynnik bezpieczeństwa wg Iet-112	Uzyskany średni współczynnik bezpieczeństwa
I, $\varnothing 22$	156,9	184,80	1,30	1,18
II, $\varnothing 22$		212,04		1,35
I, $\varnothing 25$		219,12		1,40
II, $\varnothing 25$		270,00		1,72
III $\varnothing 25$	180,9	365,52		2,02

Tablica 5. Stwierdzona nośność przekroju fundamentów po eksploatacji (IK, część I)

Typ pala	Wymagana wartość momentu zginającego wg Iet-112 [kNm]	Uzyskany średni moment zginający [kNm]	Współczynnik bezpieczeństwa wg Iet-112	Uzyskany średni współczynnik bezpieczeństwa
I	156,9	171,00	1,30	1,09
II		212,76		1,36
III	180,9	323,65		1,79

Zgodnie z uzyskanymi wynikami, wszystkie pale nawet po eksploatacji osiągnęły wartości wymagane w Iet-112 dla fundamentów nowych. W przypadku fundamentów typu I nie został zachowany narzucony współczynnik bezpieczeństwa. Należy jednak pamiętać, że wartości wskazane w Iet-112 są takie same dla pali typu I i II oraz, że w wytycznych nie uwzględniono faktu współpracy pala z gruntem.

Część I ekspertyzy dotyczącej pali eksploatowanych podsumowano w sposób następujący: „Z uzyskanych wyników badań dla eksploatowanych fundamentów palowych (na podstawie przebadanych 15 próbek) można stwierdzić, że zabudowa pali, okres eksploataowania w torze, wybudowanie (z uszkodzeniami powstałymi w czasie ich użytkowania) nie powodują, znaczącego spadku właściwości mechanicznych w zakresie granicznej nośności na zginanie fundamentów palowych.”. Ostateczną opinię Instytut Kolejnictwa wyda po zakończeniu badań uzupełniających.

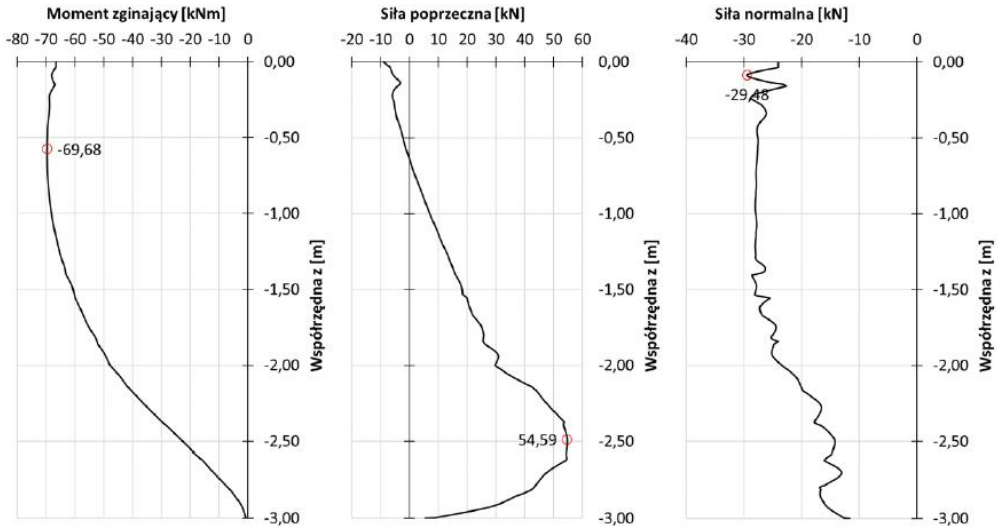
4. Ekspertyzy obliczeniowe

Na zlecenie spółki Trakcja przeprowadzono również szereg analiz obliczeniowych, opartych o metodę elementów skończonych. Analizy takie wykonały Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej oraz Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej.

Politechnika Gdańska przeprowadziła analizy numeryczne dla wybranych pali, posadowionych w najbardziej niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych oraz sprawdziła dla nich wszystkie stany graniczne nośności, przy uwzględnieniu współpracy fundamentu z ośrodkiem gruntowym. Obliczenia zostały wykonane w układzie przestrzennym z zastosowaniem systemu Metody Elementów Skończonych (MES) Plaxis. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że: „Przekroje żelbetowe, przy uwzględnieniu zastosowanych prętów zbrojenia podłużnego oraz prętów zbrojenia poprzecznego spełniają warunki stanu granicznego nośności wg PN-EN ze znacznym zapasem. Zaprojektowane zbrojenie uznaje się za poprawne” [8]. Analogiczne wnioski sformułowano dla każdego z odcinków linii kolejowej, dla którego przeprowadzono obliczenia.

Ze względu na zmniejszenie współczynnika bezpieczeństwa pala typu I w stosunku do wymagań DN Iet-112 dla tego typu pala przeprowadzono dodatkowe obliczenia. Zostały one

zlecone Politechnice Warszawskiej. Polegały one na zasymulowaniu możliwie najbardziej niekorzystnych warunków gruntowych oraz maksymalnych obciążeń, jakie mogą występować w przypadku tego typu pała. Również w tym przypadku obliczenia zostały wykonane w programie Plaxis. Ich wyniki zawarto w opinii [9], opracowanej w lutym 2020 r.



Rys. 2. Szczegółowe wykresy sił przekrojowych w pału I-300 zgodnie z opinią [9]

Na podstawie wykonanych obliczeń można stwierdzić, że maksymalne momenty zginające występujące w palach przy uwzględnieniu współpracy z gruntem są kilkukrotnie niższe od wartości wskazanych w DN Iet-112.

Opinia Politechniki Warszawskiej została zakończona postulatem wycofania dokumentu Iet-112 jako niekompletnego i niespełniającego wymagań grupy norm PN-EN 1997. Stwierdzono również, że zmniejszenie wymiarów zbrojenia w prefabrykowanych palach fundamentowych pod konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej nie wpływa na obniżenie bezpieczeństwa ich eksploatacji.

Politechnika Warszawska przeprowadziła również analizę nośności połączenie śrub ze stali nierdzewnej ze zbrojeniem głównym. Dodatkowo, ze względu na przypadki pojawiania się zarysowań w okolicy śrub w palach różnych producentów zwróciliśmy się do Politechniki z prośbą o analizę możliwych przyczyn ich powstawania. W efekcie powstała opinia [10].

Obliczenia nośności połączenia śruby ze zbrojeniem głównym wykonano w programie IDEASTATICA v20.0. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że nośność prętów gwintowanych jest wystarczająca we wszystkich analizowanych przypadkach oraz, że posiadają one wystarczające rezerwy nośności. W tabeli 6 przedstawiono stopień wykorzystania nośności elementu zgodnie z przywoływaną pracą. Jak widać, pomimo zmniejszenia średnicy zbrojenia głównego, elementy połączenia są wyćężone w niewielkim stopniu, zachowując duży zapas bezpieczeństwa.

Tablica 6. Stopień wykorzystania nośności połączenia śruby ze zbrojeniem zgodnie z opinią [10]

Typ pała	Stopień wykorzystania nośności	
	Pręt gwintowany	Pręt zbrojeniowy
I	51%	33%
II	45%	49%
III	61%	53%

W zakresie przyczyn powstawania zarysowań w okolicy śrub ze stali nierdzewnej, wskazano, że możliwe przyczyny są różnorakie i bez dokładnej analizy konkretnych przypadków nie jest możliwe jednoznaczne określenie przyczyny. Zwrócono jednak uwagę na kwestię połączenia dwóch różnych materiałów – stali nierdzewnej z węglową, co może powodować występowanie korozji elektrochemicznej.

5. Podsumowanie

Mimo literalnej niezgodności z wytycznymi PKP PLK S.A. pod postacią instrukcji Iet-112 zarówno obliczeniowo jak i empirycznie wykazano poprawność rozwiązania stosowanego przez producenta pali. W proces oceny zaangażowanych było wiele niezależnych autorytetów, które wydały spójne opinie. Żadne ze zleconych badań czy sprawdzeń nie wykazały, aby istniało jakiegokolwiek zagrożenie dla ruchu kolejowego spowodowane zmniejszeniem średnicy zbrojenia.

Podobne wnioski wysunęły Wojewódzkie Inspektoraty Nadzoru Budowlanego, które prowadziły postępowania w powyższej sprawie. We wszystkich zamkniętych do tej pory postępowaniach, zakończyły się one umorzeniem, ponieważ w całości zostały one uznane za bezprzedmiotowe. Cytując jedną z decyzji w tej sprawie: „Bezpieczeństwo użytkowania fundamentów palowych konstrukcji wsporczej sieci trakcyjnej na przedmiotowym odcinku jest zapewnione, co zostało potwierdzone w materiale dowodowym zgromadzonym w aktach sprawy.”.

PKP PLK S.A. jak Zamawiający na kontraktach, które zostały zrealizowane z zastosowaniem pali o zmniejszonej średnicy zbrojenia wysłała do Trakcji żądania wymiany pali zarówno na kontraktach zakończonych jak i będących w czasie realizacji. Pomimo szeregu badań i ekspertyz PKP PLK powołując się na sprawę pali odmawia odbiorów oraz żąda przedłużania zabezpieczeń należytego wykonania oraz gwarancyjnych. Jednocześnie z powodu pali nie wstrzymano ruchu kolejowego na żadnej linii kolejowej, nie przekazano żadnych zgłoszeń reklamacyjnych dotyczących niewłaściwego stanu fundamentów.

Ostatnie ze zleconych badań, dotyczące pali po okresie eksploatacji zmierzają właśnie ku końcowi. Być może staną się one tym ostatnim argumentem, który pozwoli stronom sporu na zamknięcie sprawy fundamentów palowych niezgodnych z instrukcją Iet-112 w jej literalnym brzmieniu, choć wedle wszelkich argumentów technicznych, pozwalających na osiągnięcie zamierzonego celu i równoważnym rozwiązaniu opisanym w dokumentacji Zamawiającego.

Literatura

1. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EEG (Dz.U. L 88 z 4.4.2011, str. 5–43) z późn. zm.
2. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (t.j. Dz.U. 2021 poz. 1213).
3. Dokument Normatywny 01-10/ET/2017 Fundamenty konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej Iet-112, Załącznik do uchwały Nr 1122/2017 Zarządu Spółki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 21 listopada 2017 r.
4. Raport techniczny „Badania porównawcze pali prefabrykowanucj pod kolejową sieć trakcyjną obciążonych statycznie siłą poziomą i momentem zginającym”, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, grudzień 2019 r.
5. Opinia nr TB-1/81/19-2 Instytutu Badawczego Dróg i Mostów na temat wyników badań wykonanych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów próbek betonu, zbrojenia stalowego oraz całych elementów pali fundamentowych żelazowych, prefabrykowanych sieci trakcyjnej, Warszawa, 22.01.2020 r.
6. Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań i Materiałów i Elementów Konstrukcji, Praca nr 001135/22, Badania nowych fundamentów palowych, Warszawa, 30.02.2021 r.

7. Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań i Materiałów i Elementów Konstrukcji, Praca nr 0001698, Badania eksploatowanych fundamentów palowych, Część 1, Warszawa, listopad 2021 r.
8. Opinia Techniczna Politechniki Gdańskiej w zakresie wymaganego zbrojenia fundamentów palowych dla modernizacji linii kolejowej E30, odcinek nr 2: stacja Jaworzno Szczakowa (km 0,000– 1,150 linii nr 134, km 15,810 – 19,500 linii nr 133), Gdańsk, październik 2020 r.
9. Opinia na temat poprawności posadowienia i bezpieczeństwa posadowienia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej na prefabrykowanych palach fundamentowych, Instytut Dróg i Mostów, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, luty 2020 r.
10. Opinia na temat nośności połączenia śrub ze stali nierdzewnej ze zbrojeniem głównym w palach fundamentowych (...) wraz z analizą przyczyn powstawania zarysowań w okolicy śrub, Instytut Dróg i Mostów, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, październik 2020 r.

Pile foundations for supporting structures of contact line system

Summary: Railway constructions here in Poland are clamped to prefabricated pile foundations, ictally impaled into the ground up to a specific ordinate. These particular pile foundations are a construction product within the meaning of effective laws. Concurrently the Infrastructure Administrator specifies its own requirements for various types of work, devices and materials, including earlier mentioned pile foundations. These requirements are specified in Technical Standard Document 01-10/ET/2017 entitled “Foundations of the overhead line support structures let-112.” Prefabricated foundations manufactured by one of the producers and being applied by plenty, including Trakcja, even though they have met the legal requirements, were not fully compatible with Administrator’s guidelines. Thereupon, these elements were subjected to detailed analyzes and researches which aim was to authenticate whether existed incompatibility is posing a threat to the safety of the construction. The paper presents the examination findings and conclusions resulting from comprehensive analyses.

Key words: piles, foundations, lifting capacity, contact line system, supporting constructions, construction product