

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 461–473  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 461–473  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.40

**Joanna WITKOWSKA-DOBREV<sup>1</sup>, Olga SZLACHETKA<sup>2</sup>,  
Anna BRZEZIŃSKA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Inżynierii Lądowej

<sup>2</sup>Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Centrum Wodne

<sup>3</sup>PRK 7 NIERUCHOMOSCI Sp. z o.o.

## **Najczęściej występujące uszkodzenia fundamentów słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć i sposoby ich napraw**

### **The most common damage to the foundations of poles of extra high voltage power lines and the methods of their repair**

**Słowa kluczowe:** trwałość konstrukcji, korozja, badanie *pull-off*, naprawy niekonstrukcyjne, badanie zagęszczenia gruntu

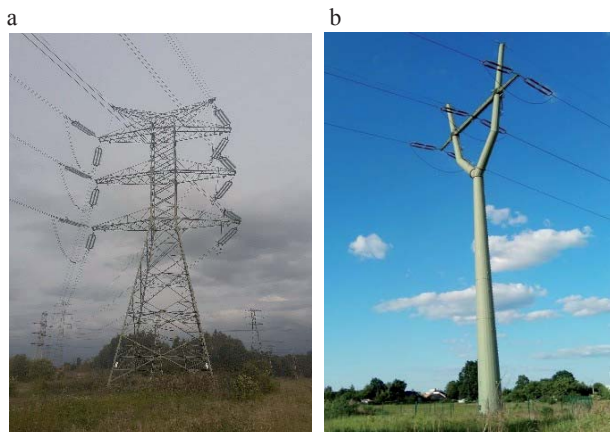
**Key words:** durability of the structure, corrosion, pull-off test, non-structural repair, soil compaction test

#### **Wprowadzenie**

W polskiej sieci elektroenergetycznej istnieje łącznie ponad 40 000 km linii 110–750 kV, z czego około 14 000 km stanowią linie najwyższych napięć (NN), tj. o napięciu 220, 400 lub 750 kV (Dołowy, Kraszewski i Różycki, 2015; PN-EN 50341-1:2013-03). W skład sieci elektroenergetycznej wchodzi połączone ze sobą linie i stacje elektroenergetyczne, których zadaniem jest rozdzielanie

i przesyłanie energii elektroenergetycznej. Cała sieć charakteryzuje się dużą jednolitością stosowanych rozwiązań słupów i fundamentów (Zawodniak, 2015). Konstrukcję wsporczy linii NN stanowią zazwyczaj stalowe słupy kratowe (rys. 1a), a w przypadku nowo budowanych linii coraz częściej są to słupy rurowe (rys. 1b).

Rodzaj fundamentu zależy głównie od wielkości podstawy konstrukcji wsporczej. W przypadku słupów kratowych na ogół wykonuje się fundamenty pod każdą nogą konstrukcji wsporczej, tak zwane fundamenty rozdzielone (wiełostopowe) (Scheibe i Szwarczewski, 2019). Wówczas każdy fundament pracuje niezależnie, a nieduża współpraca między nimi wynika z połączenia ich za



RYSUNEK 1. Konstrukcja wsporcza linii NN: a – słup kratowy. Linia 400 kV Miłosna–Płock (fot. O. Szlachetka); b – słup rurowy. Linia 220 kV Mory–Miłosna (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 1. Support construction of the EHV line: a – lattice tower. Power line of 400 kV Miłosna–Płock (photo by O. Szlachetka); b – tubular pole. Power line of 220 kV Mory–Miłosna (photo by A. Brzezińska)

pomocą konstrukcji wsporczej mającej małą sztywności. Fundamenty wielostopowe mogą być wykonywane jako monolityczne (terenowe) bądź prefabrykowane (grzybkowe) w postaci stóp fundamentowych, których wymiary i kształt dobiera się na podstawie rodzaju konstrukcji wsporczej, wielkości przenoszonych obciążeń oraz cech wytrzymałościowych podłoża i warunków gruntowych (Mendera, Szojda i Wandzik, 2014; Zawodniak i Nowicki, 2017).

Żywotność linii elektroenergetycznych wynosi maksymalnie 50 lat, a większość z nich powstała w latach 50. i 60. XX wieku. Wydłużający się czas eksploatacji wymusza konieczność doskonalenia systemu monitoringu stanu technicznego tych obiektów, a tym samym również rozwój metod diagnostycznych pozwalających na kontrolowanie, zapobieganie i wczesne identyfikowanie zagrożeń mogących prowadzić do awarii (Abramowicz i Lewandowska, 1995; Freeseaman i in., 2016).

Dotychczas w Polsce nie notowano awarii linii NN, której pierwotną przyczyną byłyby uszkodzenia fundamentów słupów. Niemniej jednak fundamenty i słupy istniejących linii z biegiem lat wymagają renowacji i modernizacji (Kaługa i Zawodniak, 2016). Ponadto ograniczeniem rozbudowy polskiej sieci elektroenergetycznej linii NN są restrykcje prawne – przepisy prawa budowlanego i w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego. Z tego względu większego znaczenia nabiera ocena stanu technicznego już istniejących elementów, planowanie działań konserwatorskich oraz stosowanie odpowiednich środków naprawczych tak, aby infrastruktura linii elektroenergetycznych w Polsce dorównała standardom europejskim.

Diagnostyka powinna być przeprowadzana w wyniku okresowych kontroli lub wyższej konieczności spowodowanej potrzebą rozbudowy lub naruszeniem struktury konstrukcji (Rajwa, 1995). W zależności od wyników przeprowa-

dzanej diagnostyki wykonywane są mniej lub bardziej skomplikowane działania naprawcze (Harris, 2001).

Celem głównym pracy jest uwypuklenie, jak wczesna diagnostyka fundamentów konstrukcji wsporczych słupów linii NN, wykorzystująca nieinwazyjne i nieniszczące metody oceny stanu technicznego, przekłada się na długoletnią i niezawodną pracę całego systemu przy jednoczesnych małych nakładach finansowych. Celem pośrednim pracy jest przedstawienie programu napraw niekonstrukcyjnych oraz zabezpieczeń antykorozyjnych fundamentów słupów linii elektroenergetycznych NN w wybranych lokalizacjach.

### **Warunki wpływające na trwałość konstrukcji fundamentów słupów**

Zgodnie z normą PN-EN 1992-1-1:2008 konstrukcje żelbetowe należy projektować w taki sposób, aby przez przewidywany okres użytkowania spełniały wymagania nośności, stateczności i użyteczności bez nieprzewidywanych kosztów utrzymania. Rozróżnia się trzy fazy wpływające na trwałość konstrukcji – projektową, wykonawczą i eksploatacyjną.

W fazie projektowej fundamentom słupa linii NN należy przypisać odpowiednią kategorię geotechniczną. Zgodnie z normą PN-EN 1997-1:2008 tego typu fundamenty klasyfikuje się do drugiej lub trzeciej kategorii (Runkiewicz, 2011). W przypadku drugiej kategorii parametry geotechniczne ustala się na podstawie istniejącej dokumentacji oraz analizy porównawczej wyników pochodzących z badań polowych i la-

boratoryjnych. Jeżeli fundamenty są zaklasyfikowane do trzeciej kategorii geotechnicznej, należy wykonać dodatkowe badania specjalistyczne (PN-EN 1992-1-1:2008; Rozporządzenie MTBGM z 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych). W fazie projektowej należy wziąć pod uwagę okres użytkowania, a klasę betonu dobrać na podstawie klasy ekspozycji zależnej od warunków środowiskowych. Z punktu widzenia trwałości fundamentu ważne są również grubość otulenia zbrojenia oraz szerokość rozwarcia rys. Zgodnie z normą PN-EN 1992-1-1:2008 minimalna grubość otulenia powinna chronić zbrojenie przed korozją oraz zapewniać bezpieczne przekazanie sił przyczepności, a rysy nie powinny powodować zmniejszenia ochronnego działania otuliny i przyczyniać się do wnikania agresywnych składników do betonu.

W fazie wykonawczej należy zachować szczególną ostrożność, gdyż podczas wykonywania fundamentów linii elektroenergetycznych NN można popełnić wiele błędów wpływających na ich trwałość. Najczęściej popełniane błędy to: słaba jakość betonu, wykonywanie konstrukcji w niesprzyjających warunkach atmosferycznych, złe rozmieszczenie przerw roboczych przy betonowaniu, brak zgodności wykonanego zbrojenia z projektem, niezachowanie projektowanej grubości otuliny, brak zabezpieczenia zbrojenia przed przemieszczeniem, zbyt rzadkie rozmieszczenie elementów dystansowych zbrojenia, zastosowanie nieodpowiedniego materiału na elementy dystansowe, niewłaściwe zagęszczenie lub jego brak, niewłaściwa pielęgnacja, prowadzenie prac w czasie

twardnienia betonu, zbyt wczesne rozde-skowanie konstrukcji (Łapiński, 2011).

W fazie eksploatacyjnej w przypadku linii elektroenergetycznych największym zagrożeniem są agresywne substancje ze środowiska oraz uszkodzenia mechaniczne. Uszkodzenia fundamentu dzielą się na te zachodzące w betonie oraz zbrojeniu. Podczas użytkowania nie wolno dopuścić do uszkodzenia otuliny w wyniku korozji betonu bądź jego całkowitego rozpadu (Abramowicz i Lewandowska, 1995).

Wyróżnia się trzy stadia uszkodzeń betonu. Pierwsze następuje, gdy beton zobojętnieje i nasyci się agresywnymi substancjami. Jest to najdłuższe stadium, beton wtedy zachowuje swoje właściwości. Początek kolejnego stadium następuje w chwili, gdy otulina traci swoje właściwości, a zbrojenie zaczyna korodować. Pojawienie się oraz nasilenie korozji na zbrojeniu generuje naprężenia w betonie, powodując ostatecznie stadium – pęknięcie oraz odpadanie otuliny. Proces korozji można spowolnić poprzez zachowanie szczelności betonu oraz utrzymanie wysokiego pH otuliny betonowej (Zybura, Jaśniok i Jaśniok, 2011).

Podsumowując, przyczynami uszkodzeń fundamentów linii NN są: błędy projektowe, złe początkowe zabezpieczenie fundamentów przed korozją, uszkodzenia mechaniczne, czynniki atmosferyczne, agresywne działanie substancji z otoczenia oraz brak odpowiedniego kształtu. Chcąc zapobiegać uszkodzeniom lub usuwać już powstałe, należy przeprowadzać stały monitoring oraz wykonywać okresowe remonty. Jeżeli naprawa nie zostanie wykonana w odpowiednim czasie, uszkodzenia fundamentów będą postępowały, co zwiększa późniejsze koszty naprawy.

## **Uszkodzenia fundamentów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć**

Rodzaj i wielkość uszkodzeń fundamentów linii elektroenergetycznych decydują o sposobie ich naprawy. Podstawą wyboru odpowiedniego sposobu jest właściwa diagnostyka. Niestety często na podstawie dokumentacji projektowej nie można ustalić, co jest przyczyną powstałych uszkodzeń. Dużym problemem w zakresie oceny stanu technicznego fundamentów słupów linii elektroenergetycznych jest częsty brak dokumentacji technicznej oraz to, że fundamenty znajdują się pod warstwą gruntu, a odkrywki są często kosztowne lub ze względów eksploatacyjnych niemożliwe.

Najlepszą metodą do sprawdzenia stanu konstrukcji jest ocena wizualna. Jest to pierwszy i najważniejszy krok podczas diagnostyki (Piekarczyk, 2014). Jeżeli na nadziemnej części fundamentu widoczne są uszkodzenia w postaci wykwitów soli, odprysków, złuszczeń, rys itp., należy odkopać go do głębokości maksymalnie 1–1,1 m (odkopenie na większą głębokość może spowodować utratę stateczności konstrukcji). Jeżeli uszkodzenia fundamentu występują głębiej niż 1–1,1 m, dalsze prace należy prowadzić pod nadzorem doświadczonego projektanta linii NN. Dodatkowo w trakcie oględzin na miejscu budowy można wykonać badanie wytrzymałości metodą sklerometryczną, ultradźwiękową, *pull-off* lub *pull-out*. Najczęściej jest to badanie *pull-off*. Jest ono najmniej czasochłonne (Biernat, 2018). W badaniu tym mierzy się wytrzymałość na odrywanie od powierzchni fundamentu stalowego krążka o średnicy 50 mm. Średnia

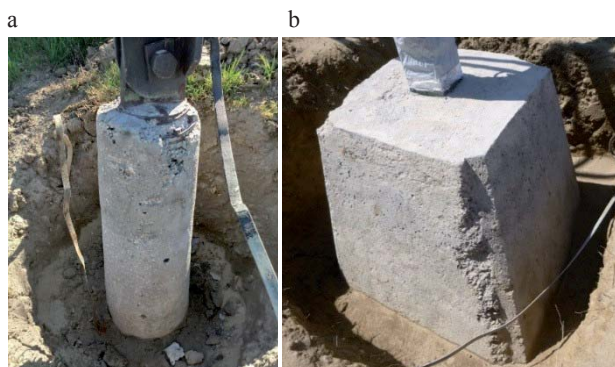
wytrzymałość podłoża na odrywanie nie może być mniejsza niż 1,5 MPa.

Na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej podejmuje się decyzję o naprawie niekonstrukcyjnej małej bądź dużej z ewentualnym zabezpieczeniem zbrojenia lub naprawie konstrukcyjnej. Naprawy niekonstrukcyjne ograniczają się do napraw powierzchniowych. Przywracają one kształt i wygląd oraz gwarantują ochronę przed korozją. Takie naprawy można wykonywać według informacji z karty technologicznej i instrukcji materiałów używanych do napraw, nie jest wymagany projekt techniczny. Naprawy konstrukcyjne mają na celu przywrócenie nośności i trwałości fundamentu. Do przeprowadzenia napraw konstrukcyjnych wymagane są projekt i ekspertyza obejmująca identyfikację przyczyn powstania uszkodzeń, ocenę stanu technicznego obiektu oraz zalecenia dotyczące napraw.

Jak podaje instrukcja PSE-Ts.FUND. NN PL/2014v1, małe naprawy niekonstrukcyjne przeprowadza się w przypadku uszkodzeń powierzchniowo-wgłębnych, tj. gdy stwierdzono odpryski, złuszcze-

nia i osypywanie się betonu, niewielkie ubytki powierzchniowe, drobne raki, kawerny i rysy o szerokości ok. 0,2 mm, bez śladów rdzawych zacieków. W przypadku licznych ubytków o głębokości do kilku centymetrów oraz rys i spękań o szerokości większej niż 0,3 mm naprawa niekonstrukcyjna klasyfikowana jest jako duża (rys. 2b). W zakres dużej naprawy niekonstrukcyjnej wchodzi również uszkodzenia w postaci rys otuliny zbrojenia oraz odspojień bądź ubytków otuliny, ale bez widocznych wżerów (rys. 2a). W przypadku dużych ubytków betonu, odspojenia otuliny zbrojenia na dużych powierzchniach, występowania wżerów w stal zbrojeniową konieczne jest przeprowadzenie naprawy konstrukcyjnej.

Zakres napraw niekonstrukcyjnych ustala się następująco: jeżeli powierzchniowe zabezpieczenie fundamentu uległo zniszczeniu i występują niewielkie ubytki betonu, wówczas należy usunąć pozostałą powłokę ochronną, a następnie oczyścić podłoże z luźnych elementów i naprawić zaprawą wyrównawczą. Przy braku zabezpieczenia i występują-



RYSUNEK 2. Przykład uszkodzenia fundamentu: a – z odkrytym zbrojeniem; b – z widocznymi odpryskami betonu (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 2. An example of foundation's damage: a – with visible reinforcement; b – with visible chipping of concrete (photo by A. Brzezińska)

cych uszkodzeniach otulenia zbrojenia z widoczną warstwą korozji należy zaś usunąć zdegradowane części betonu, następnie oczyścić powierzchnię fundamentu i zbrojenia, po czym uzupełnić ubytki betonu zaprawą.

Zakres napraw konstrukcyjnych obejmuje, jak już wspomniano, wykonanie ekspertyzy stopnia degradacji fundamentu z ewentualnymi badaniami uzupełniającymi, następnie usunięcie uszkodzonych części betonu, odtworzenie otuliny zbrojenia oraz uzupełnienie brakującego betonu. Szczegółowe zasady i metody napraw betonu oraz ochrony zbrojenia określają normy serii PN-EN 1504 (PN-EN 1504-3:2006, PN-EN 1504-7:2017).

Systemy naprawcze i ochronne podczas napraw fundamentów na liniach elektroenergetycznych mogą być łączone. Należy jednak zwrócić uwagę, że połączenie dwóch różnych systemów może przynieść zarówno dobre, jak i złe skutki. Na przykład ochrona powierzchniowa może spowodować zatrzymanie wilgoci, co doprowadzi do obniżenia mrozoodporności betonu, a wykonanie dobetonowania przez wzrost zawilgocenia może przyspieszyć korozję (Czarnecki i Emmons, 2007).

### **Wykonanie napraw oraz zabezpieczeń fundamentów słupów na wybranych przykładach**

Na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej stwierdzono, że na analizowanych stanowiskach występują cechy kwalifikujące fundamenty do napraw niekonstrukcyjnych. Ze względu na trudny dostęp do słupów wykopy wykonano szpadlem na szerokość ok. 40 cm od granicy fundamentów. Następnie funda-

menty oczyszczono metodą piaskowania. Na stanowiskach 134 (rys. 3a) oraz 123 (rys. 3b) po oczyszczeniu fundamentów nie stwierdzono znaczących uszkodzeń – zbrojenie nie było widoczne. Na stanowisku 38 zbrojenie również nie było widoczne, zaobserwowano jednak znaczne uszkodzenia górnej części fundamentu (rys. 3c). Odspojenia otuliny zbrojenia przy braku widocznych na odsłoniętym zbrojeniu wżerów zaobserwowano na stanowisku 108 (rys. 3d).

W kolejnym etapie wykonano badania *pull-off* zgodnie z normą PN-EN 1542:2000. Pomiarów wykonano cztery/pięć razy na danym stanowisku. Wyniki pomiarów dla trzech stanowisk zestawiono w tabeli.

Do naprawy fundamentów zostały użyte materiały firmy SIKA, które mają krajowe i międzynarodowe aprobaty techniczne. Do wyrównania powierzchni oraz uszczelnienia raków i rys na stanowiskach 123 i 134, po uprzednim zwilżeniu fundamentu, zastosowano szpachlówkę z cementu portlandzkiego modyfikowanego polimerem z dodatkiem kruszywa Sika MonoTop 620. Na rysunkach 4a i 4b przedstawiono fundamenty z naniesioną warstwą wyrównawczą. Na stanowisku 108 do zabezpieczenia antykorozyjnego odsłoniętego zbrojenia zastosowano zaprawę na bazie cementu modyfikowanego polimerami z dodatkami kruszywa Sika MonoTop 610. Jej głównymi zaletami są duża odporność na penetrację przez wodę oraz duża przyczepność do stali i betonu. Całkowita grubość powłoki zabezpieczającej miała ok. 1 mm. W miejscu większych ubytków betonu (stanowisko 38 i 108) zastosowano jednoskładnikową zaprawę Sika MonoTop 412 NFG zawie-



RYSUNEK 3. Oczyszczony fundament: a – stanowisko 134; b – stanowisko 123; c – stanowisko 38; d – stanowisko 108 (fot. A. Brzezińska)  
 FIGURE 3. Cleaned foundation: a – workplace 134; b – workplace 123; c – workplace 38; d – workplace 108 (photo by A. Brzezińska)

TABELA. Wyniki badań *pull-off* (badania własne)  
 TABLE. Pull-off test results (own study)

Stanowisko Workplace	Średnia wytrzymałość na odrywanie Mean peel strength [MPa]	Wymaganie Requirement
38	1,89	> 1,5 MPa
123	1,74	
134	1,73	

rającą zbrojenie z włókien. Następnie, tak jak w przypadku stanowisk 134 i 123, użyto szpachlówki Sika MonoTop 620. Wykonując „czapkę”, zachowano małe spadki, aby na fundamentach nie gromadziła się woda. Wygląd fundamentów na

stanowiskach 38 i 108 po nałożeniu produktów naprawczych przedstawiono na rysunkach 4c i 4d.

Warto pamiętać, że nawet po naniesieniu warstw naprawczych fundament będzie pod wpływem tych sa-



RYSUNEK 4. Fundament z naniesioną warstwą wyrównawczą (a – stanowisko 134; b – stanowisko 123) oraz z naniesioną warstwą zabezpieczającą zbrojenie wraz z warstwą wyrównawczą (c – stanowisko 38; d – stanowisko 108) (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 4. Foundation with an applied leveling layer (a – workplace 134; b – workplace 123) and with an applied reinforcement's protecting layer and with a leveling layer (c – workplace 38; d – workplace 108) (photo by A. Brzezińska)

mych oddziaływań, które spowodowały uszkodzenia, dlatego należy wykonać zabezpieczenia antykorozyjne. Dzięki nim przedłuży się trwałość fundamentu. Przed przystąpieniem do wykonania warstwy ochronnej nałożono warstwę gruntującą poprawiającą przyczepność materiałów ochronnych do podłoża. Następnie nałożono materiał na bazie oleju antracenowego i żywicy epoksydowej z dodatkami wypełniaczy (np. Sika Po-xitar F). Materiał ten nałożono na część fundamentu znajdującego się poniżej

powierzchni terenu (PN-B-01807:1988). Górną część fundamentu zabezpieczono materiałem na bazie żywicy akrylowej, który utwardza się pod wpływem promieni UV. Na styku kotwy z betonem nałożono kit uszczelniający, który wiąże się pod wpływem wilgoci zawartej w powietrzu. Wygląd fundamentów po naniesieniu warstwy ochronnej przedstawiono na rysunku 5.

Po pracach zabezpieczających fundamenty wykop zasypano zagęszczonymi co 20–30 cm warstwami gruntu





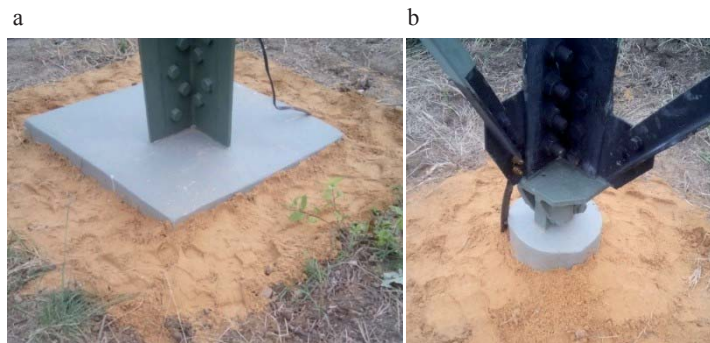
RYSUNEK 5. Fundamenty z naniesioną warstwą ochronną: a – stanowisko 134; b – stanowisko 123; c – stanowisko 38; d – stanowisko 108 (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 5. Foundation with an applied protecting layer: a – workplace 134; b – workplace 123; c – workplace 38; d – workplace 108 (photo by A. Brzezińska)

rodzimego aż do otrzymania wskaźnika zagęszczenia ( $I_s$ ) większego lub równego 0,95. W przypadku stanowisk, gdzie grunt rodzimy nie nadaje się do zasypania, należy zastąpić go gruntem nośnym. Grunt spoisty plastyczny należy najpierw przesuszyć na odkładzie aż do uzyskania optymalnej wilgotności pozwalającej na prawidłowe zagęszczenie. Na stanowiskach 108, 123 oraz 134 wykonano zagęszczenie płytą dynamiczną HMP-LFG-SK.

Następnie przeprowadzono po jednym pomiarze wskaźnika zagęszczenia

przy każdej z czterech stóp fundamentowych danego stanowiska. Zmierzony wskaźnik zagęszczenia ( $I_s$ ) wynosił 0,95, a dynamiczny moduł ( $E_{vd}$ ) był większy niż 10 MPa. Należy podkreślić, że wiele stanowisk znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie pól uprawnych, co może prowadzić do zmian wskaźnika zagęszczenia gruntu. Na koniec prac teren w odległości 1 m od fundamentu wyrównano i ukształtowano tak, aby spadek znajdował się na zewnątrz stopy. Wygląd stanowisk 134 i 108 po zagęszczeniu gruntu przedstawiono na rysunku 6.



RYSUNEK 6. Zagęszczony grunt wokół fundamentu: a – stanowisko 134; b – stanowisko 108 (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 6. Compacted soil around the foundation: a – workplace 134; b – workplace 108 (photo by A. Brzezińska)

## Podsumowanie

Polska sieć elektroenergetyczna osiągnęła wiek 50–70 lat i większość jej elementów zaczyna ulegać degradacji. Rozpoznanie i określenie stopnia zaawansowania tego procesu jest trudne zwłaszcza w przypadku fundamentów konstrukcji wsporczych z powodu braku fizycznego dostępu do tych elementów. Jednocześnie ocena stanu technicznego jest niezbędna w planowaniu odpowiednich prac naprawczych i modernizacyjnych oraz służy utrzymaniu niezawodności całego systemu sieci. W celu zminimalizowania kosztów i zapewnienia niezawodności konstrukcji na dalsze lata eksploatacji należy realizować systematycznie program diagnostyki i renowacji elementów linii. Ważne jest, aby do oceny niezawodności eksploatowanych konstrukcji budowlanych, w tym szczególnie fundamentów, wykorzystywać wiarygodne metody diagnostyczne, dzięki którym można określić stan oraz stopień zniszczenia konstrukcji (Abramowicz i Lewandowska,

1995) oraz dobrać dla nich odpowiednie działania naprawcze. Bardzo duże znaczenie w zakresie prowadzonych renowacji i modernizacji fundamentów słupów linii NN w kontekście ich trwałości mają prace zabezpieczające antykorozyjnie beton i zbrojenie. Wykonana w porę ochrona fundamentów jest w stanie zminimalizować wydatki spowodowane zniszczeniami. Przy doborze materiałów potrzebnych do naprawy i zabezpieczeń fundamentów konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych ważne jest, aby w trakcie użytkowania zapewniały one nieprzekraczalne dopuszczalne odkształcenia i odprężenia (Czarnecki, Łukowski i Garbacz, 2017). Skuteczna naprawa ma na celu przywrócenie stanu pierwotnego fundamentu. Należy jednak pamiętać, że wykonane zabiegi remontowe dają możliwość prawidłowego zabezpieczenia obiektu na dłuższy czas, ale ich skuteczność można ocenić dopiero po kilku latach.

Poddane diagnostyce fundamenty słupów linii NN Wielopole–Noszowice po wizji lokalnej zakwalifikowano do

napraw niekonstrukcyjnych. Zaproponowane działania naprawcze miały na celu przywrócenia kształtu oraz estetycznego wyglądu fundamentom. Zastosowane zabezpieczenia powierzchniowe przyczyniły się do zwiększenia odporności fundamentów na działanie szkodliwych czynników użytkowania, a dzięki wykonanemu zabezpieczeniu antykorozyjnemu przedłużono ich żywotność.

## Literatura

- Abramowicz, M. i Lewandowska, S. (1995). *Raport IAE-12/A. Diagnostyka fundamentów betonowych słupów sieci elektroenergetycznych. Badania materiałowe na potrzeby elektrowni i sieci elektroenergetycznych*. II Seminarium naukowo-techniczne, Otwock-Świerk, 22-23 czerwca 1995.
- Biernat, A. (2018). *Diagnostyka fundamentów słupów elektroenergetycznych najwyższych napięć i możliwości ich napraw* (praca inżynierska). Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa.
- Czarnecki, L. i Emmons, P.H. (2007). *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*. Polski Cement. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Czarnecki, L., Łukowski, P. i Garbacz, A. (2017). *Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu: komentarz do PN-EN 1504*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Dołowy, K., Kraszewski, A. i Różycki, S. (2015). *Linie elektroenergetyczne najwyższych napięć. Informator dla administracji publicznej i społeczeństwa*. Konstancin-Jeziorna: Wydawnictwo Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.
- Freeseman, K., Khazanovich, L., Hoegh, K., Nojavan, A., Schultz, A.E. i Chao, S.H. (2016). *Nondestructive monitoring of subsurface damage progression in concrete columns damaged by earthquake loading*. *Engineering Structures*, 114, 148-157.
- Harris, S.Y. (2001). *Building pathology: deterioration, diagnostics, and intervention*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kaługa, I. i Zawodniak, J.J. (2016). *Wymiana słupów z platformą pod gniazdo bociana w liniach NN*. *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 7, 4(26), 100-108.
- Łapiński, P. (2011). *Trwałość konstrukcji żelbetowych*. Lublin: Stowarzyszenie Producentów Elementów Betonowych dla Kanalizacji. Pobrano z <http://spebk.pl/publikacje/2011-09-07/trwalosc-zelbetu> [dostęp: 11.07.2020].
- Mendera, Z., Szojda, L. i Wandzik, G. (2014). *Stalowe konstrukcje wsporcze napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia: projektowanie według norm europejskich*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Piekarczyk, A. (2014). *Lokalizacja wad struktury betonu w konstrukcji*. XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 26-29 marca 2014 r.
- PN-B-01807:1988. *Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Zasady diagnostyki konstrukcji*.
- PN-EN 1504-3:2006. *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne*.
- PN-EN 1504-7:2017. *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 7: Ochrona zbrojenia przed korozją*.
- PN-EN 1542:2000. *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie*.
- PN-EN 1992-1-1:2008. *Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- PN-EN 1997-1:2008. *Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne*.
- PN-EN 50341-1:2013-03. *Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne*.
- PSE-TS.INST.FUND.NN PL/2014v1. *Instrukcja wykonania napraw i zabezpieczeń antykorozyjnych fundamentów konstrukcji słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć*. Konstancin-Jeziorna: Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.

- Rajwa, P. (1995). *Badania inżynierskie wybranych elementów elektroenergetycznych linii napowietrznych. Raport IAE-12/A. Badania materiałowe na potrzeby elektrowni i sieci elektroenergetycznych*. II Seminarium naukowo-techniczne, Otwock-Świerk, 22-23 czerwca 1995.
- Runkiewicz, L. (2011). Wykonywanie, kontrola i odbiór robót budowlanych przy wzmacnianiu konstrukcji żelbetowych. *Przegląd Budowlany*, 82(10), 44-52.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. Dz.U. 2012 poz. 463.
- Scheibe, A. i Szwarczewski, P. (2019). *Projektowanie linii elektroenergetycznych wysokich napięć – wybrane zagadnienia techniczne projektowania słupów kratowych oraz badań wytrzymałościowych w skali rzeczywistej na przykładzie projektu Pylon*. Konferencja elektroenergetyczna „Gdańskie Dni Elektryki”, Gdańsk, 9-10 maja 2019.
- Zawodniak, J.J. (2015). Projektowanie i wykonywanie inwestycji elektroenergetycznych na podstawie doświadczenia eksploatacyjnego. *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 6, 1(19) 24-39.
- Zawodniak, J. J., i Nowicki, R. (2017). Wybrane zagadnienia z zakresu prefabrykowanych fundamentów zginanych słupów linii elektroenergetycznych. *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 8, 2(28), 42-51.
- Zybura, A., Jaśniok, M. i Jaśniok, T. (2011). *Diagnostyka konstrukcji żelbetowych: Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

## Streszczenie

**Najczęściej występujące uszkodzenia fundamentów słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć i sposoby ich napraw.** W pracy omówiono zagadnienia związane z trwałością fundamentów

słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć (NN) oraz przedstawiono sposoby ich renowacji. W części badawczej przeprowadzono diagnostykę wybranych fundamentów słupów linii NN (400 kV) Wielopole–Noszowice. W trakcie wizji lokalnej ustalono, że istnieją odpryski i niewielkie ubytki powierzchniowe betonu, a w niektórych przypadkach ubytki otuliny zbrojenia bez widocznych wżerów. Na podstawie stopnia uszkodzeń określono zakres napraw niekonstrukcyjnych oraz zabezpieczeń antykorozyjnych, przedstawiając kolejne etapy ich realizacji.

## Summary

**The most common damage to the foundations of poles of extra high voltage power lines and the methods of their repair.** The paper consists of the discussion of issues related to the durability of foundations of extra high voltage (EHV) power line poles and possibilities of their renovation. The research part is the diagnostics of selected foundations of the EHV line poles (400 kV) Wielopole–Noszowice. During the on-site inspection, it was found that there are chipping and small surface defects, and in some cases losses of the reinforcement cover without visible pits. Based on the degree of damage, the scope of non-structural repairs and anti-corrosive protection was determined, presenting the next stages of their implementation.

### Authors' address:

Joanna Witkowska-Dobrev – corresponding author  
 (<https://orcid.org/0000-0001-6613-5037>)  
 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
 Instytut Inżynierii Lądowej  
 ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
 Poland  
 e-mail: joanna\_witkowska@sggw.edu.pl

Olga Szlachetka  
(<https://orcid.org/0000-0002-1195-3603>)  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
w Warszawie  
Centrum Wodne  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: [olga\\_szlachetka@sggw.edu.pl](mailto:olga_szlachetka@sggw.edu.pl)

Anna Brzezińska  
PRK 7 NIERUCHOMOŚCI Sp. z o.o.  
ul. Leszno 12 II p., 01-192 Warszawa  
Poland  
e-mail: [a.brzezinska@prk7nieruchomosci.com.pl](mailto:a.brzezinska@prk7nieruchomosci.com.pl)