

dr inż. Sławomir Labocha¹⁾

ORCID: 0000-0003-0331-4585

dr inż. Grzegorz Gremza²⁾

ORCID: 0000-0001-8336-8094

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec^{2*)}

ORCID: 0000-0001-9825-6343

Opracowanie innowacyjnego urządzenia do podnoszenia słupów energetycznych

New innovative equipment for lifting of whole transmissions towers

DOI: 10.15199/33.2021.10.01

Streszczenie. Przedmiotem artykułu jest innowacyjne urządzenie służące do podnoszenia całych kratowych słupów elektroenergetycznych w celu wykonania ich podwyższenia metodą podbudowy. Zaprezentowano badania określające zdolność oporową zaciskowego mocowania do fundamentów słupa. Określono szacunkowe średnie współczynniki tarcia generowane na profilowanych powierzchniach ciernych uchwytu mocującego urządzenia. Potwierdzono skuteczność rozwiązań projektowych.

Słowa kluczowe: napowietrzne linie elektroenergetyczne; podwyższanie słupów kratowych; dźwignice specjalne.

Abstract. The subject of the article is the innovative device intended to the lifting of entire OHL lattice tower for the purpose of increase them height by execution of additional substructure. A theme of the elaboration is the research defining the resisting ability the terminal fastening to foundation of the tower. Estimated average friction coefficients generated on profiled frictional surfaces of the fastening device was determined. Effectiveness of design solutions was confirmed.

Keywords: overhead transmission lines; increasing OHL lattice towers; special cranes.

Elektroenergetyczne linie przesyłowe mają duże znaczenie gospodarcze i strategiczne. Ze względów bezpieczeństwa i ekonomii opracowano odrębne zasady ich projektowania. Aktualne wymagania stawiane liniom elektroenergetycznym i ich konstrukcjom wsporczym wznoszonym na terenie Polski ujęto w normach PN-EN 50341-1:2013 [5] oraz PN-EN 50341-2-22:2016 [6]. Sprecyzowano również zasady prowadzenia badań fundamentów i zakotwień konstrukcji wsporczych, które znajdują się w normie PN-EN 61773:2000 [7].

Konstrukcje wsporcze napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć kształtowane są najczęściej w postaci słupów stalowych o budowie kratowej lub pełnościenniej. Ze względu na bardzo duże koszty budowy oraz ogromną „odpowiedzialność” podpór, szczególnego znaczenia nabiera efektywne i ekonomiczne ich projektowanie. Nie jest to możliwe bez wdrażania efektów prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w tej dziedzinie [1], a także dotyczących wznoszenia nowych linii elektroenerge-

tycznych, ich użytkowania, utrzymania, w tym serwisu konstrukcji wsporczych, a przede wszystkim przebudowy. Remont lub przebudowa linii w standardowych warunkach wymaga najczęściej podwyższenia istniejących konstrukcji wsporczych w celu dostosowania do nowych standardów eksploatacyjnych. Wiąże się to z niezwykle kosztownym wyłączeniem linii na czas przebudowy. W celu skrócenia czasu oczekiwania na włączenie zasilania, a nawet całkowitej rezygnacji z jego wyłączenia, **opracowano specjalne urządzenie podnoszące słupy bez konieczności ich demontażu.** W ramach prac badawczych firmy Enprom Sp. z o.o. i dzięki wsparciu NCBIR w postaci dofinansowania projektu POIR. 01.01.01-00-0257/18 pt. *Opracowanie innowacyjnego urządzenia mechanicznego służącego do podnoszenia całego słupa energetycznego*, zbudowano specjalne urządzenie umożliwiające podnoszenie całych słupów wraz z przewodami pod napięciem (fotografia 1). Na fotografii 2 przedstawiono gotowy system złożony z czterech podnośników przygotowany do testów podnoszenia słupa energetycznego.

Przedmiotem artykułu jest jeden z kluczowych elementów systemu, obejmującego **specjalny uchwyt mocujący** (tzw. Griper), stanowiący najważniej-



Fot. 1. Urządzenie podnoszące
Photo 1. The lifting crane

sze połączenie między unoszonym słupem i podnośnikiem a fundamentami, przed zabudowaniem podwyższenia słupa.

Budowa uchwytu mocującego

W dotychczasowej praktyce remontów i przebudowy elektroenergetycznych linii napowietrznych w Europie nie wykorzystywano technik podnoszenia całych słupów po odłączeniu ich od fundamentów. Taka technologia prowadzenia prac podwyższenia słupów możliwa jest bez stosowania balastów dopiero wówczas, gdy zapewnione będzie przenoszenie ewentualnych obciążeń wyrządzających w podporach, generowanych podczas operacji montażowych. Możliwe jest to praktycznie wyłącznie przez

¹⁾ Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach; Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych

²⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

^{*}) Adres do korespondencji: lukasz.drobiec@polsl.pl



Fot. 2. System podnośników przy słupie podczas testów

Photo 2. System of the lifting cranes near tower during tests

tymczasowe połączenie maszyny unoszącej z istniejącymi fundamentami podnoszonego słupa. Najistotniejszym elementem rozwiązania jest więc specjalny moduł zapewniający bezpieczne przeniesienie tych sił. W projektowanym urządzeniu funkcję tę pełni uchwyt mocujący tzw. Griper (rysunek 1). Składa się on z dwóch rozłącznie połączonych ze sobą elementów mocujących (1, 2) w kształcie poziomo usytuowanej litery U. Od wewnątrz każdego z nich ku środkowi wysunięty jest mocujący element (3)

mający ukośną płaszczyznę (4) oraz poziomy próg (5). Do każdego elementu (3) jest mocowany dociskowy element (9) z ząbkowaną czołową ścianką (10) za pomocą śruby (6) z podkładką (7) i przelotowych otworów (8). Elementy (1, 2) są ze sobą połączone za pomocą śrub (11) z podkładkami (12), umieszczonymi w przelotowych otworach (13) elementu mocującego (2) oraz wkręcanych w gwintowane otwory (14) elementu mocującego (1). Dociskowe elementy (9) są wymienne i mają odpowiednią długość dopasowaną do wymiaru kotwy fundamentu słupa.

Podstawowym aspektem decydującym o skuteczności działania uchwytu mocującego jest **zapewnienie wymaganej siły tarcia na płaszczyznach kontaktu ze stalową kotwą fundamentu słupa**. Siła oporu tarcia zależy od wielkości docisku na powierzchniach kontaktowych (poz. 10 rysunek 1), wywołanych sprężeniem śrub (poz. 11) oraz współczynnika tarcia na tych powierzchniach. Projektowaną siłę sprężenia śrub nietrudno określić zgodnie z normą PN-EN 1090-2:2018-09 [2], podobnie jak weryfikację statyczną nośności uchwytu wg wymagań norm PN-EN 1993-1-1:2006 [3] i PN-EN 1993-1-8:2006 [4]. W normie [2] podano również szacunkowe wartości współczynników tarcia w typowych przypadkach przygotowania powierzchni stalowych, jakkolwiek ze względu na kontakt istniejących zakotwień fundamentowych z elementami stalowymi nie można tych wartości przyjmować wprost. W przedmiotowym przypadku klasyczne zadanie inżynierskie wymaga więc jedynie weryfikacji wpływu

ząbkowania elementu dociskowego (poz. 9, rysunek 1) na wynikowy współczynnik tarcia na powierzchniach kontaktowych typowej kotwy.

Badania uchwytu mocującego

Badania uchwytu przeprowadzono we współpracy z Katedrą Konstrukcji Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej [8]. Celem badań było określenie wartości siły niezbędnej do pokonania tarcia statycznego, czyli potrzebnej do wywołania wzajemnego ruchu (poślizgu) między Griperem a kotwą. Dodatkowo dokonano pomiarów pozwalających na ustalenie zależności między wzajemnym przemieszczeniem kotwy i Gripera a działającą siłą. Ustalono wstępnie, że w celu określenia efektywności mocowania eliminuje się wszelkie dodatkowe czynniki i wykonuje badanie z siłą działającą w osi kotwy. W badaniach zastosowano zestaw składający się z Gripera oraz fragmentu kotwy o wymiarach przekroju 240 x 80 mm.

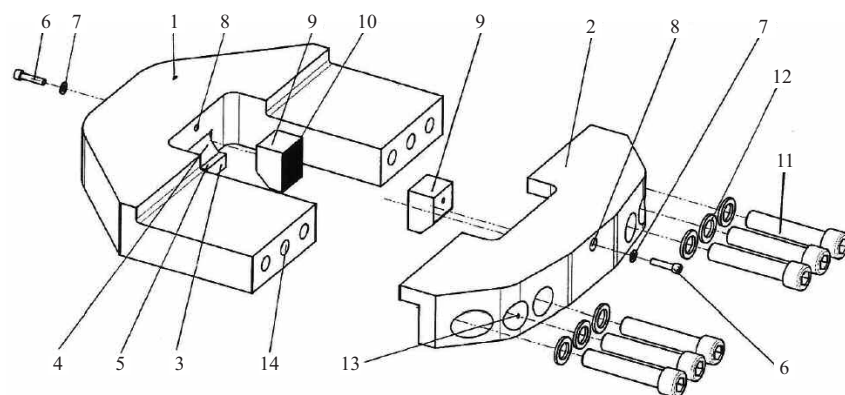
Griper podpierano po dwóch stronach kotwy równolegle do jej dłuższych boków i symetrycznie względem płaszczyzny środkowej. W kolejnych seriach zastosowano trzy poziomy momentu dokręcenia (tabela 1), kontrolowanego przez użycie klucza dynamometrycznego. Widok zestawu w maszynie pokazano na fotografii 3. Śruby dokręcane dwuetapowo, stosując naj-

Tabela 1. Maksymalne wartości sił uzyskane w badaniu [8]

Table 1. Maximum values of forces during test [8]

Oznaczenie próby	Moment dokręcenia śrub [Nm]	Siła [kN]	Siła średnia [kN]	Odchylenie standardowe [kN]	Wskaźnik zmienności [%]
G-1-1	360°	150,2	147,0	3,47	2,36
G-1-2	360°	141,9			
G-1-3	360°	150,2			
G-1-4	360°	145,7			
G-2-1	672°	302,5	329,9	16,04	4,86
G-2-2	672	343,2			
G-2-3	672	335,9			
G-2-4	672	338,0			
G-3-1	980	510,5	533,7	17,05	3,20
G-3-2	980	530,8			
G-3-3	980	534,8			
G-3-4	980	558,5			

* Bez oliwienia podkładki pod łbem



Rys. 1. Schemat ideowy uchwytu mocującego [9] – opis w artykule

Fig. 1. The schematic diagram of the Griper [9] – description in the article



Fot. 3. Widok zestawu w maszynie [8]
Photo 3. View of the sample set in the machine [8]

pierw 50% zakładanego momentu dokręcenia, a w drugim cyklu dokręcano pełnym momentem podanym w tabeli 1. Kolejność dokręcania śrub w każdym cyklu przedstawiono na fotografii 4.

Podczas badań stosowano obciążenie siłą wywoływaną przez ruch tłoka prasy, unoszącego zestaw ku górze, natomiast reakcja z kotwy była przejmowana przez rygiel prasy. Siłę w każdym z badań przykładano w sposób monotoniczny, aż do uzyskania maksimum, a następnie obciążano element do wy-

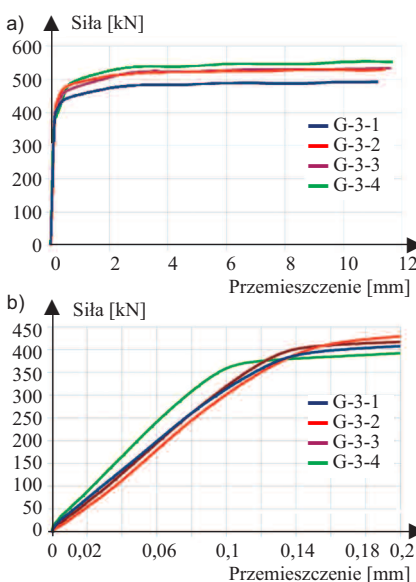


Fot. 4. Kolejność dokręcania śrub [8]
Photo 4. Order of bolt tightening [8]

czyerpania zakresu czujników. Pomiaru siły dokonywano za pomocą układu sterującego prasy, połączonego elektrycznie z modułem obsługującym czujniki przemieszczeń. Pomiaru przemieszczeń względnych między Griperem a boczną powierzchnią kotwy dokonywano za pomocą czujników indukcyjnych o teoretycznym zakresie pomiarowym ± 5 mm, zamocowanych do boków kotwy za pomocą uchwytów magnetycznych. Końcówki czujników oparte były o powierzchnię Gripera w płaszczyźnie środkowej połączenia tarcowego. Odczytów dokonywano w odstępach 0,5 s.

Analiza wyników badań

Maksymalne wartości sił przenoszonych przez połączenie zestawiono w tabeli 1. Wartości te odnotowywano już w trakcie występowania wzajemnego poślizgu, gdyż połączenie ulegało niejako „umocnieniu” w fazie płynięcia, inaczej niż w przypadku swobodnego przesuwania przedmiotów po powierzchni (rysunek 2). Największa prędkość przesuwu w końcowej części badania wynosiła ok. 1,2 mm/s. Do wyników należy doliczyć ok. 1,0 kN ciężaru kotwy. Ciężar własny Gripera nie miał udziału w obciążeniu. Wartości maksymalnych sił charakteryzowały się wskaźnikiem zmienności poniżej 5%.

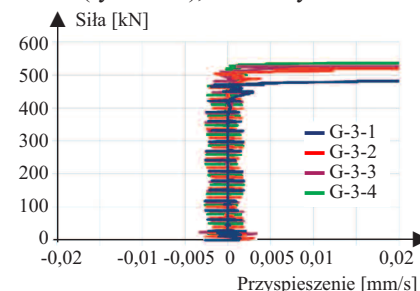


Rys. 2. Zależność siła-przemieszczenie w próbach serii G-3 [8] – opis w artykule
Fig. 2. Force-deflection relationship for test G-3 [8] – description in the article

Tabela 2. Wartości sił inicjujących poślizg [8]
Table 2. Values of forces slip initiation [8]

Oznaczenie próby	Moment dokręcenia śrub [Nm]	Siła [kN] przy		Siła [kN]	Siła średnia [kN]	Odchylenie standardowe [kN]	Wskaźnik zmienności
		a = 0,002 mm/s ²	u = 0,014 mm				
G-1-1	360	143,8	130,6	130,6	130,5	0,87	0,66
G-1-2	360	130,0	129,0	129,0			
G-1-3	360	134,2	131,1	131,1			
G-1-4	360	131,1	132,1	131,1			
G-2-1	672	279,8	229,7	229,7	252,1	16,65	6,61
G-2-2	672	329,3	260,1	260,1			
G-2-3	672	321,9	244,4	244,4			
G-2-4	672	309,6	274,1	274,1			
G-3-1	980	470,3	386,5	386,5	388,9	7,48	1,92
G-3-2	980	506,8	388,7	388,7			
G-3-3	980	512,8	400,6	400,6			
G-3-4	980	525,5	379,9	379,9			

Wartości obciążeń inicjujących poślizg zestawiono w tabeli 2. Określono je na podstawie analizy przebiegu przyspieszenia (rysunek 3), obliczonych ze śred-



Rys. 3. Zależność siła-przyspieszenie w próbach serii G-3 [8]
Fig. 3. Force-acceleration relationship for test G-3 [8]

niej przemieszczeń pomierzonych czujnikami indukcyjnymi. W związku z tym, że w fazie przed wystąpieniem wyraźnego poślizgu wartości te nie przekraczały 0,002 mm, wartość siły na gałęzi poziomej wykresu wskazującej początek wyraźnego poślizgu odczytywano dla tej właśnie wartości. Drugim kryterium, przyjętym na podstawie analizy załączonych wykresów, było odczytanie siły przy przemieszczeniach z czujników 0,14 mm. Niewielkie przemieszczenie odnotowywane przez czujnik było związane zarówno z mikroślizgami, jak i odkształceniem sprężystym konstrukcji i ząbków.

Przebieg wartości sił w funkcji wzajemnych przemieszczeń kotwy i Gripera przedstawiono na rysunku 2, gdzie przykładowo dla serii G-3 na rysunku 2a przedstawiono wykres do wyczerpania zakresu pomiarowego czujników, a na rysunku 2b wartości do 0,2 mm.

Natomiast na rysunku 3 przedstawiono przykładowe wykresy przyspieszeń dla serii G-3, będące podstawą interpretacji przy ustalaniu siły tarcia statycznego. Analogiczne wykresy w przypadku prób serii G-1 i G-2 były podstawą określenia wartości podanych w tabelach 1 i 2.

W trakcie badania i pomiędzy próbami stwierdzano niewielkie ścieranie i drobne odciski na powierzchni bocznej kotwy, zauważalne już przy pierwszym poziomie bocznej siły dociskającej. Siły docisku nie powodowały jednak uszkodzeń istotnych z punktu widzenia eksploatacji urządzenia. Na podstawie badań określono w przybliżeniu wartości współczynnika tarcia statycznego, przez podzielenie sił inicjujących poślizg (tabela 2) przez wartość oszacowanej siły napięcia śrub. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Szacunkowe wartości współczynników tarcia statycznego [8]

Table 3. Estimated values of static friction coefficients [8]

Oznaczenie próby	Moment dokręcenia śrub [Nm]	Siła tarcia statycznego [kN]	Współczynnik tarcia statycznego
G-1-1	360	130,6	0,262
G-1-2	360	129,0	0,259
G-1-3	360	131,1	0,263
G-1-4	360	131,1	0,263
G-2-1	672	229,7	0,247
G-2-2	672	260,1	0,279
G-2-3	672	244,4	0,263
G-2-4	672	274,1	0,295
G-3-1	980	386,5	0,285
G-3-2	980	388,7	0,286
G-3-3	980	400,6	0,295
G-3-4	980	379,9	0,280

Podsumowanie i wnioski

Badania pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

a) przy maksymalnej zastosowanej sile sprężającej, możliwej do uzyskania w warunkach laboratorium, najmniejsza wartość siły tarcia statycznego dla umownej siły inicjującej powstanie poślizgu wyniosła 386,5 kN, a odpowiadająca jej siła maksymalna 510,5 kN;

b) wartość stosunku siły napięcia śrub związanej z wartością docisku bocznego do ściany kotwy do sił tarcia statycznego charakteryzowała się niewielką zmiennością, biorąc pod uwagę badanie efektu zjawiska tarcia;

c) najmniejsza oszacowana wartość współczynnika tarcia statycznego (przy sile inicjującej monotoniczne narastanie poślizgu) we wszystkich próbach wynosiła 0,247, z globalnym odchyleniem standardowym 0,019 i wskaźnikiem zmienności 7,5%;

d) najmniejsza wartość współczynnika tarcia statycznego przy największej sile docisku bocznego w serii G-3 wynosiła 0,280, a wskaźnik zmienności w tej serii 1,92%.

Można uznać, że możliwe jest uzyskanie powtarzalnych warunków pracy urządzenia. Przeprowadzone badania potwierdziły zakładane wcześniej w projekcie szacunkowe poziomy współczynników tarcia w elementach oporowych uchwytu urządzenia do podnoszenia słupów. Jednocześnie zoptymalizowano ostateczną wersję uchwytu, wprowadzając możliwość użycia wymiennych elementów dociskowych (poz. 9 na rysunku 1 [9]) oraz poprawiając ich właściwości cierne dzięki zastosowaniu stali klasy S460 ograniczającej deformacje ząbków.

Literatura

[1] Labocha Sławomir, W. Barcewicz, S. Wierzbicki, M. Giżejowski. 2021. „Wyzwania badawcze związane z realizacją stalowych konstrukcji podpór linii elektroenergetycznych”. *Inżynieria i Budownictwo* (4): 155 – 163.

[2] PN-EN 1090-2:2018-09 Wykonanie konstrukcji stalowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.

[3] PN-EN 1993-1-1:2006 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

[4] PN-EN 1993-1-8:2006 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie połączeń.

[5] PN-EN 50341-1:2013 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne.

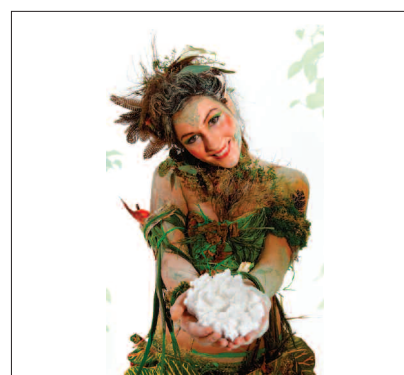
[6] PN-EN 50341-2-22:2016-04 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 2-22: Krajowe warunki normatywne (NNA) dla Polski (oparte na EN 50341-1:2012).

[7] PN-EN 61773:2000 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Badanie fundamentów konstrukcji wsporzecznych.

[8] Raport z badań pt. Badanie siły tarcia statycznego przenoszonej przez uchwyt montażowy, tzw. Griper. Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, czerwiec 2021.

[9] Zgłoszenie Wzoru Użytkowego nr W. 130165 pt. Uchwyt mocujący do podwyższania słupów z fundamentem ze sworzniem, zwłaszcza energetycznych. Zgłaszający: Enprom Sp. z o.o. Autorzy: Labocha S., Kondracki G., Czyż. R.

Przyjęto do druku: 02.08.2021 r.



ARBOCEL P – The Power of Innovation

- nieograniczone możliwości regulacji konsystencji,
- łatwe i szybkie mieszanie,
- zagęszczanie i stabilizacja tynków i farb przy jednoczesnej poprawie aplikacji



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbocel@jrs.pl