

Analiza techniczno-ekonomiczna realizacji przyłączy elektroenergetycznych w wybranych obiektach aglomeracji wiejskiej

Streszczenie. W pracy przedstawiono szczegółową analizę budowy przyłączy elektroenergetycznych w wybranych obiektach na terenach wiejskich. Zakresem pracy objęto dwa typy przyłączy, a mianowicie: podziemne (kablowe) i napowietrzne. Dokonano analizy nakładów pracy oraz kosztów budowy przyłączy w aspekcie ich wielkości i struktury. Na podstawie analizy statystycznej określono zależności pomiędzy długością przyłącza, a pracochłonnością oraz kosztami jego realizacji.

Abstract. The paper presents a detailed analysis of the construction of power connections in selected facilities in rural areas. The scope of work covered two types of connections, namely: underground (cable) and overhead. An analysis of labor input and construction costs of connections in terms of their size and structure was carried out. Based on the statistical analysis, the relationship between the length of the connection and the labor intensity and costs of its implementation was determined. (*Technical and economic analysis of the implementation of power connections in selected rural agglomeration facilities*)

Słowa kluczowe: przyłącze elektroenergetyczne kablowe oraz nadziemne, nakłady pracy, koszty.

Keywords: cable and overhead power connection, labor input, costs.

Wprowadzenie

Gospodarka energetyczna ma za zadanie m.in. zaspokajanie potrzeb energetycznych odbiorców, czyli ludności, przemysłu oraz grup zorganizowanych. W jej zakres wchodzi: wytwarzanie energii, przetwarzanie i przesyłanie, magazynowanie, dystrybucja paliw i energii [1]. Stan obecny krajowej sieci elektroenergetycznej wysokich, średnich i niskich napięć oraz prognozy wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną wskazują na konieczność znacznej ich rozbudowy i modernizacji [2, 3]. Dystrybucja energii elektrycznej możliwa jest dzięki przyłączom elektroenergetycznym. Przyłącze elektroenergetyczne jest to połączenie sieci niskiego napięcia z instalacją odbiorczą podmiotu przyłączanego. Jego zadaniem jest włączenie instalacji elektrycznej danego obiektu do sieci elektroenergetycznej, a co za tym idzie, umożliwienie dostarczenia do odbiorcy energii elektrycznej [4]. Według ogólnego podziału wyróżnia się przyłącza jedno- i trójfazowe, napowietrzne (stojakowe lub dościenne) i kablowe [5]. Przyłącze kablowe – jest to przyłącze wykonane kablem podziemnym, zasilane najczęściej ze słupa niskiego napięcia lub prosto z stacji transformatorowej, zakończone zestawem złączowo-pomiarowym w granicy, w taki sposób aby upoważniona osoba chcąc odczytać stan licznika mogła to zrobić nie wchodząc na teren posesji [6]. Zgodnie z normą, linią kablową nazywamy kabel wielożyłowy lub kable jednożyłowe w układzie wielofazowym albo kilka jednożyłowych lub wielożyłowych kabli połączonych równolegle, wraz z osprzętem, ułożonych na tej samej trasie i łączących urządzenia elektryczne jednofazowe lub wielofazowe [6]. Przyłącze napowietrzne – ten typ przyłącza wykonywany jest zazwyczaj w przypadku, gdy przy budynku, do którego chcemy wykonać przyłącze zlokalizowany jest słup elektryczny niskiego napięcia. Wyróżnić można dwa typy przyłącza napowietznego, a mianowicie: tzw. gołe i izolowane [4]. Wg normy, elektroenergetyczna linia napowietrzna prądu przemiennego wykonana przewodami izolowanymi – linia zbudowana z przewodów roboczych pełnoizolowanych lub przewodów roboczych niepełnoizolowanych, zawieszonych na słupach lub wspornikach [7]. Przyłącza elektroenergetyczne nN są końcowym elementem sieci dystrybucyjnych [8]. Niestety poważną przeszkodą w

rozwoju sieci dystrybucyjnych na terenach wiejskich jest mała lub wręcz ujemna opłacalność dla dystrybucyjnych przedsiębiorstw energetycznych [9]. O możliwości realizacji danego rodzaju przyłącza, decydują najczęściej uwarunkowania terenowo-prawne, co rzutuje również na koszty budowy. Niestety realizacja przyłącza, niezależnie od jego rodzaju, wymaga znacznych nakładów pracy, często użycia specjalistycznego ciężkiego sprzętu, co z kolei generuje znaczne koszty. Ocena dostępnych zdolności przyłączeniowych jest ważnym elementem procesu planistycznego w zakresie rozwoju sieci przesyłowej w horyzoncie długoterminowym [10]

Cel, zakres, metodyka

Celem pracy była analiza techniczno-ekonomiczna budowy przyłączy energetycznych do nieruchomości gruntowych, zabudowanych, położonych na terenach wiejskich województwa śląskiego.

Zakresem pracy objęto sześćdziesiąt nieruchomości gruntowych, zabudowanych, do których doprowadzono przyłącze energii elektrycznej. Określono warunki formalne, parametry techniczne oraz warunki środowiskowe związane z budową przyłącza, a także przeprowadzono szczegółową analizę ekonomiczną wykonania przyłącza.

Do szczegółowej analizy wybrano przyłącza elektroenergetycznych zrealizowanych na terenie województwa śląskiego. Wzięto pod uwagę 30 projektów przyłącza podziemnego oraz 30 - przyłącza napowietznego. Budowa przyłącza została zrealizowana w 2018 i 2019 roku.

Dokonano szczegółowej analizy technologii budowy pod kątem rodzaju i ilości zastosowanych materiałów, poziomu nakładów robocizny. Zbadano zależności korelacyjne pomiędzy rodzajem i długością przyłącza, a jednostkowymi nakładami pracy ($\text{rbh} \cdot 100 \text{ mb}^{-1}$) i kosztami budowy wyrażonym ($\text{zł} \cdot 100 \text{ mb}^{-1}$).

Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono ogólną charakterystykę przyłączy będących przedmiotem badań. Przyłącza były zróżnicowane jeśli chodzi zarówno o ich długość, jak i moc przyłączeniową. W przypadku przyłącza kablowego, jego długość zawierała się w granicach od 20 do 65 metrów, z kolei w przypadku przyłącza napowietznego – od 25 do 40

metrów. Średnia moc przyłączeniowa obu rodzajów przyłączy była zbliżona i wynosiła odpowiednio: 13,6 kW (przyłącze kablowe) oraz 12,5 kW (przyłącze naziemne). Są to wartości nie odbiegające od mocy przyłączeniowej występującej w przypadku większości indywidualnych odbiorców energii elektrycznej na obszarach wiejskich.

Tabela 1. Ogólna charakterystyka przyłączy

Rodzaj przyłącza	Liczba (szt.)	Długość (m) min – max (średnia)	Moc instalowana (kW) min – max (średnia)
kablowe	30	20,0-65,0 (39,5)	7,0-18,0 (13,6)
napowietrzne	30	25,0-40,0 (36,8)	8,0-17,0 (12,5)

Pierwszym etapem analizy techniczno-ekonomicznej budowy przyłączy energetycznych była charakterystyka nakładów pracy związanych z ich realizacją. W tabeli 2 zaprezentowano nakłady pracy, z podziałem na pracę ręczną - ludzi oraz pracę mechaniczną – sprzętu maszynowego. W przypadku linii kablowych, wykorzystywany sprzęt mechaniczny ograniczał się w zasadzie jedynie do koparki lub spychacza-koparki, wykorzystywanych do kopania rowu w którym układany był kabel oraz późniejszego jego zasypywania. W wielu jednak przypadkach, wykop realizowany był ręcznie, co często zdeterminowane było długością wykopu oraz warunkami terenowymi (rodzaj gleby, obecność naturalnych przeszkód w postaci drzew, krzewów czy obiektów budowlanych). Z kolei do realizacji linii naziemnych wykorzystywano specjalistyczny sprzęt w postaci dźwigów umożliwiających osadzenie słupów oraz podnośników koszowych, wykorzystywanych do prac przyłączeniowych, naciągania przewodów oraz ewentualnie do usuwania konarów i gałęzi drzew występujących na trasie nowopowstałej linii elektroenergetycznej. Porównując całkowite nakłady pracy związane z budową obu rodzajów przyłączy, widać wyraźną przewagę przyłącza kablowego, którego 100 metrów bieżących pochłania średnio 4,27 roboczogodziny (rbh). W przypadku linii naziemnej, nakłady te są prawie trzykrotnie mniejsze i wynoszą 17,15 rbh na sto metrów bieżących (tab. 2).

Tabela 2. Nakłady pracy związane z budową przyłączy

Rodzaj przyłącza	Nakłady pracy (rbh·100 mb ⁻¹)		
	ręcznej	mechanicznej	Razem
kablowe	43,32	1,95	45,27
napowietrzne	5,85	11,30	17,15

Struktura nakładów pracy podczas budowy przyłącza kablowego oraz napowietrzego została przedstawiona w tabelach, odpowiednio: 3 i 4.

W całkowitych nakładach pracy dotyczących realizacji linii podziemnej-kablowej, dominującą pozycję (prawie 43%) zajmuje kopanie rowu kablowego, następnie jego zasypywanie (16,6%) oraz zabudowa zestawu złączowo-pomiarowego (12,6%). Zdecydowanej większości prac niestety nie da się zmechanizować i muszą być one wykonywane ręcznie.

Zupełnie odmiennie przedstawia się struktura nakładów pracy podczas realizacji linii naziemnej (tab. 4). Jak już wcześniej wspomniano, znaczna część prac podczas budowy tego typu przyłącza odbywa się z wykorzystaniem sprzętu maszynowego, co wyraźnie pozytywnie odbija się na pracochłonności budowy. Najbardziej czasochłonną czynnością jest ręczna zabudowa zestawu złączowo-pomiarowego, której udział w całości prac wynosi aż 25,0%. Na kolejnych miejscach są: podłączenie wybudowanego odcinka linii kablowej do przewodów projektowanej linii napowietrznej nN, które pochłania 22,2% ogółu prac oraz montaż stanowiska słupowego – 17,1 %.

Tabela. 3. Struktura nakładów pracy związanej z budową przyłącza: kablowego

Wyszczególnienie	Nakłady pracy	
	(rbh·100 mb)	(%)
Kopanie rowu kablowego – wykop otwarty	19,2	42,8
Podsypka piaskiem wykopu	2,6	5,7
Zabudowa zestawu złączowo-pomiarowego	5,7	12,6
Podłączenie bednarki pod zestaw złączowo-pomiarowy	0,4	0,9
Ułożenie kabla ziemnego w wykopie	1,9	4,3
Ośłona kabla rurą ochronną DVK110	1,6	3,6
Ułożenie folii ostrzegawczej niebieskiej	0,6	1,3
Zasypanie rowu kablowego ziemią	7,4	16,6
Podłączenie wybudowanego odcinka linii do przewodów istniejącej linii nN	5,5	12,3
Razem	44,8	100

Tabela 4. Struktura nakładów pracy związanej z budową przyłącza: napowietrznego

Wyszczególnienie	Nakłady pracy	
	(rbh·100 mb)	(%)
Montaż jednego stanowiska słupowego	2,9	17,1
Zabudowa zestawu złączowo-pomiarowego	4,3	25,0
Podłączenie bednarki pod zestaw złączowo-pomiarowy	1,6	9,1
Wycięcie korony drzew na trasie linii napowietrznej	0,4	2,5
Podwieszanie i naciąganie przewodów przyłącza napowietrznego	3,1	17,8
Podłączenie wybudowanego odcinka linii kablowej do przewodów projektowanej linii napowietrznej nN	3,8	22,2
Podłączenie nowych przewodów przyłącza napowietrznego do linii głównej	1,1	6,3
Razem	17,1	100,0

Kolejnym etapem analizy była kalkulacja kosztów związanych z budową dwóch rodzajów przyłączy elektroenergetycznych. W tabeli 5 przedstawiono wielkość kosztów, z podziałem na koszty: materiałów, pracy ludzi oraz pracy maszyn.

Tabela 5. Koszty budowy przyłączy

Rodzaj przyłącza	Koszty (zł·100 mb ⁻¹)			
	Materiałów	Pracy	Maszyn	Razem
kablowe	6657,0	866,4	263,2	7786,6
napowietrzne	8776,6	116,9	2073,0	10966,5

Analizując tabelę 5 można zauważyć, że decydujący wpływ na kształtowanie się całkowitych kosztów przyłącza naziemnego mają koszty pracy maszyn, które są prawie osiem razy wyższe (2073 zł·100 mb⁻¹) niż w przypadku budowy linii podziemnej (263,2 zł·100 mb⁻¹). Wykorzystywane maszyny, to jak już wspomniano specjalistyczny sprzęt ciężki, którego godzinowe koszty eksploatacji sięgają nawet 250 złotych. Zupełnie odwrotnie kształtują się koszty prac ręcznych, gdzie widoczny jest ponad siedmiokrotnie wyższy koszt związany z realizacją linii kablowej (866,4 zł·100 mb⁻¹) w porównaniu z linią naziemną (116,9 2 zł·100 mb⁻¹). Całkowite koszty realizacji przyłączy w odniesieniu do 100 metrów bieżących wynoszą odpowiednio: dla przyłącza kablowego – 7786,6 złotych, a dla przyłącza naziemnego – 10966,5 złotych. W tabelach 6 i 7 przedstawiono strukturę kosztów materiałowych dwóch rodzajów przyłączy

Tabela 6. Struktura kosztów materiałowych budowy przyłącza: kablowego

Wyszczególnienie	Koszt	
	(zł-100 mb)	(%)
Kabel typu NA2XY-J o przekroju 4x35mm ²	2493,9	37,5
Folia niebieska	13,3	0,2
Piasek	94,4	1,4
Zestaw złączowo-pomiarowy w obudowie izolacyjnej ZK1a-1P lub ZK2a-1P	2782,9	41,8
Zacisk goły 10-50	167,5	2,5
Opaska PER 15	2,0	0,03
Ośłona rurowa do przestrzeni otwartych odporna na UV50/5 (3m)	164,0	2,5
Ramka do mocowania rury	128,6	1,9
Taśma stalowa 20x0,7	138,3	2,1
Uchwyty do mocowania kabli na słupie	118,6	1,8
Keramzyt 4-10	22,9	0,3
Bednarka Fe/Zn 30x4	179,8	2,7
Rura osłonowa DVK fi 110	277,5	4,2
Pręt stalowy ocynkowany Ø18	73,3	1,1
Razem	6657,0	100,0

W przypadku budowy linii kablowej (podziemnej), dominującą pozycję w kosztach wykorzystywanych materiałów zajmuje zestaw złączowo-pomiarowy w obudowie izolacyjnej ZK1a-1P lub ZK2a-1P, którego koszt wynosi 2782,9 zł-100 mb⁻¹, co stanowi prawie 42% całości kosztów materiałów. Na drugiej pozycji plasuje się kabel przyłączeniowy typu NA2XY-J, którego koszty w odniesieniu do 100 mb przyłącza wynoszą 2493,9 złotych, stanowiąc 37,5% wszystkich kosztów materiałowych. Pozostałe liczne pozycje materiałowe, pojedynczo stanowią bardzo niewielki odsetek w całości kosztów.

Tabela 7. Struktura kosztów materiałowych budowy przyłącza: napowietrznego

Wyszczególnienie	Koszt	
	(zł-100 mb)	(%)
Zestaw złączowo-pomiarowy w obudowie izolacyjnej ZK1a-1P lub ZK2a-1P	2902,7	33,1
Zaciski jednostronnie przebijające izolację SLIP12.127	381,4	4,3
Opaska PER 15	1,7	0,0
Ośłona rurowa do przestrzeni otwartych odporna na UV50/5 (3m)	137,7	1,6
Ramka do mocowania rury	45,6	0,5
Taśma stalowa 20x0,7	116,2	1,3
Uchwyty do mocowania kabli na słupie BIC30-50	99,6	1,1
Bednarka Fe/Zn 30x4	168,7	1,9
Przewód AsXSn 4x35	837,8	9,5
Śruba hakowa M16x200	83,6	1,0
Hak do słupów okrągłych M16	49,8	0,6
Żerdź wirowana E-10,5/4,3	3263,5	37,2
Uchwyt odciągowy GUKo1	190,3	2,2
Płyta stopowa 0,3x0,3m	40,7	0,5
Objemka OU-1a/VE	95,1	1,1
Płyta ustojowa U-85	224,0	2,6
Oślonki końca przewodu PK99.050	44,5	0,5
Zaciski odgałęźne dwustronnie przebijające izolację SLIP12.05	93,7	1,1
Razem	8776,6	100,0

Koszty materiałowe związane z budową przyłącza naziemnego przewyższają koszty linii kablowej, a zdecydowanie najwyższą pozycję w nich (37,2%) zajmuje żerdź wirowana (słup) służąca do podwieszenia linii elektrycznej. Zestawy złączowo-pomiarowe w obudowie izolacyjnej ZK1a-1P lub ZK2a-1P stanowiły drugą ważną

pozycję w kosztach materiałów do budowy linii naziemnej, a ich udział w całości wynosił średnio 33,1 %. Trzecią istotną składową kosztów materiałowych, rzędu 9,5% ich całości, były koszty przewodu AsXSn 4x35. Analogicznie jak w przypadku linii kablowej, pozostałe materiały pojedynczo stanowią bardzo niewielki odsetek w całości kosztów.

W tabeli 8 zamieszczono zależności statystyczne pomiędzy długością przyłącza, a pracochłonnością jednostkową jego budowy oraz jednostkowymi kosztami całkowitymi budowy, wyrażone współczynnikiem korelacji oraz opisane równaniem regresji. Do analizy statystycznej wybrano 30 przyłączy kablowych i tyle samo napowietrznych.

Tabela 8. Zależności pomiędzy długością przyłącza a pracochłonnością i kosztami budowy

Rodzaj przyłącza	Pracochłonność budowy	Koszty budowy
kablowe - wsp. korelacji - równanie regresji	$R = -0,87$ $Y_k = -1,027 x_1 + 90,058$	$R = -0,25$ $Z_k = -14,614 x_2 + 7613$
napowietrzne - wsp. korelacji - równanie regresji	$R = -0,46$ $Y_n = -0,230 x_3 + 25,046$	$R = -0,82$ $Z_n = -678,24 x_4 + 36509$

Badane zależności korelacyjne są we wszystkich przypadkach ujemne, co oznacza, że wzrost długości przyłącza odbijał się pozytywnie na zmniejszeniu jednostkowych nakładów pracy oraz kosztów związanych z jego budową. Współczynnik korelacji kształtował się jednak na bardzo różnym poziomie. W przypadku zależności pomiędzy długością przyłącza, a pracochłonnością jego budowy, najwyższy współczynnik korelacji, rzędu $R = -0,87$ odnotowano w odniesieniu do przyłącza kablowego. Taki stan rzeczy wynika przede wszystkim z faktu, że w przypadku dłuższych przyłączy, znacznie częściej do wykopu rowu kablowego wykorzystywano koparki, co zdecydowanie skraca czas budowy. Z kolei kopanie rowu kablowego zajmuje prawie 43% całkowitych nakładów pracy przy realizacji przyłącza (tab. 3). Współczynnik korelacji pomiędzy długością przyłącza napowietrznego, a jego pracochłonnością jest na znacznie niższym poziomie i wynosi $R = -0,46$. W tym przypadku stopień zmechanizowania prac nie wpływa na w/w zależność, bo na ogół kształtował się on na zbliżonym poziomie.

Drugą analizowaną zależnością była korelacja pomiędzy długością linii, a kosztami całkowitymi jej budowy. W tym przypadku sytuacja jest odwrotna i silniejsza zależność korelacyjną ($R = -0,82$) odnotowano w przypadku przyłącza napowietrznego, podczas gdy w odniesieniu do przyłącza podziemnego współczynnik korelacji wynosi $R = -0,25$. Taka sytuacja wynika przede wszystkim z faktu, że przy budowie linii napowietrznej, większość (najdroższych) materiałów, takich jak żerdź wirowana czy zestaw złączowo-pomiarowy, wykorzystywanych jest jednorazowo, niezależnie od długości linii, co sprawia, że ich koszt rozkłada się proporcjonalnie wraz z długością przyłącza. Z kolei w przypadku przyłącza kablowego, drugim co do wartości materiałem jest kabel przyłączeniowy, którego udział w kosztach materiałowych wynosi 37,5% (tab. 6), a jego zużyta długość, co oczywiste, rośnie równomiernie wraz z długością przyłącza.

Podsumowanie i wnioski

Realizacja przyłączy elektroenergetycznych wymaga dopełnienia szeregu formalności związanych z uzyskaniem warunków technicznych określających założenia realizacji przyłącza, sporządzeniem projektu przyłącza, jego

akceptacją, itd., co w rezultacie znacznie wydłuża czas oraz koszty realizacji przyłącza.

Budowa przyłącza kablowego jest prawie trzy razy bardziej pracochłonna w porównaniu do przyłącza napowietrznego, co w głównej mierze wynika z mniejszego stopnia mechanizacji prac i często występującego ręcznego kopania rowów kablowych.

Z uwagi na warunki terenowe, zaangażowanie sprzętu technicznego do budowy przyłączy jest w wielu wypadkach niemożliwe lub znacznie ograniczone stąd stosunkowo niski udział kosztów pracy maszyn w całkowitych kosztach budowy przyłączy.

W strukturze kosztów materiałów wykorzystanych do budowy przyłącza kablowego dominują koszty zestawu łącznikowo-pomiarowego, z kolei w strukturze kosztów materiałów związanych z realizacją przyłącza napowietrznego przeważają koszty żerdzi wirowanej. Oba w/w elementy linii występują na ogół jednorazowo, co rzutuje na obniżanie jednostkowych kosztów budowy wraz ze wzrostem długości przyłącza.

Analiza statystyczna wykazała istotne ujemne zależności korelacyjne, pomiędzy rodzajem przyłącza, jego długością, a jednostkowymi nakładami pracy oraz kosztami związanymi z jego budową.

Autor: dr hab. inż. Zbigniew Kowalczyk, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Zbigniew.Kowalczyk@urk.edu.pl

LITERATURA

- [1] Danielski L., Jabłoński W., Norma SEP, N SEP-E-001 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia, Ochrona przed porażeniem elektrycznym, COSiW SEP, (2013).
- [2] Maciejewski Z., Stan krajowego systemu elektroenergetycznego, Polityka energetyczna, (2011), t. 14, z. 2, 249-259
- [3] Bożentowicz L., Wiejskie sieci elektroenergetyczne– budowa i doświadczenia z użytkowanie, IPNE, (2012), 153, 17-28
- [4] Gad A., Chojnacki A., Funkcje niezawodnościowe przyłączy elektroenergetycznych nn, Przegląd elektrotechniczny, (2018), 94,4, 164-170
- [5] Krakowiak - Wiśniowska I., Instalacje elektryczne na terenach wiejskich, Izba Rzeczników Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Warszawa (2006)
- [6] Ceglarek A., Domagała H., Rynkowski A., Spyra F., Wieczorek L., Norma SEP, N SEP-E-004 Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa, (2008).
- [7] Skomudek W., Burza M., Grzybowski A., Koschel K., Spyra F., Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami pełnoizolowanymi oraz z przewodami niepełnoizolowanymi. Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, (2003).
- [8] Chojnacki A., Funkcje niezawodnościowe przyłączy elektroenergetycznych nn. Prace Instytutu Elektrotechniki, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, (2015), 270, 71-92
- [9] Kulczycki, J. Niewiedział, E. Niewiedział, R., Wybrane problemy rozwoju wiejskich sieci elektroenergetycznych, Spektrum, (2010), 9,10, 12-18
- [10] Przygodzki M., Możliwości oceny zdolności przyłączeniowych w krajowym systemie elektroenergetycznym. Rynek energii, (2010), 4, 89-94.