



Wymiana przewodów odgromowych na liniach przesyłowych pod napięciem na przewody typu OPGW

Streszczenie. W referacie opisano metody oraz przykłady budowy traktów światłowodowych na czynnych liniach napowietrznych różnymi stosowanymi obecnie metodami na świecie. Autorzy poddali analizie zjawiska elektromagnetyczne mogące wystąpić w trakcie wykonywania tych prac. Należy sądzić, że wkrótce można będzie wykonywać te prace na polskich przesyłowych liniach napowietrznych.

Abstract. (Replacement of an existing ground wire by OPGW on energized transmission line). This paper describes methods and examples of building fiber optics tract by different existing and actual methods on energized transmission line in the world. Authors made analysis of electromagnetic induction from existing and nearby energized line when OPGW cable is installed. It is possible that this kind of live work will be executed on energized polish transmission lines more and more frequently.

Słowa kluczowe: prace pod napięciem, przewody odgromowe typu OPGW, oddziaływania elektromagnetyczne.

Keywords: live work, optical ground wire cables, electromagnetic induction.

Wstęp

W wyniku postępującej liberalizacji rynku energii w kraju oraz na świecie coraz większa uwaga operatorów skupiona jest na problemie jakości energii elektrycznej. Jednocześnie obserwowany olbrzymi rozwój technik informatycznych oraz ich wpływ na codzienną działalność pozwala stwierdzić, że informatyzacja i jej skutki będą głównym elementem rozwojowym XXI wieku. W rozwoju techniki transmisji danych dla potrzeb informatyzacji spory udział będzie miała energetyka przesyłowa poprzez udostępnienie swych linii pod instalację traktów światłowodowych (modernizacja linii 220 i 400 kV polega na wymianie jednego z przewodów odgromowych na przewód typu OPGW). Dotychczas tego typu przedsięwzięcie odbywało się w Polsce na liniach pozbawionych napięcia. Obecnie jednak jest coraz trudniej uzyskać dłuższe wyłączenia linii, albo terminy możliwych wyłączeń są realizowane w dni wolne od pracy.

Obecnie stosowane za granicą technologie i metody prowadzenia prac pod napięciem pozwalają na wciąganie nowych przewodów OPGW, zastępowanie starych przewodów odgromowych nowymi przewodami odgromowymi skojarzonymi ze światłowodem itp na czynnych liniach napowietrznych.

Technologie wymiany przewodów odgromowych „tradycyjnych” (typu O/FL i AFL) na przewody OPGW

Przewody OPGW instalowane są w polskim systemie elektroenergetycznym od 1993 roku i do 2005 roku zostało ich zainstalowanych w miejsce przewodów odgromowych

ponad 6250 km, na prawie 90 liniach. Przewody OPGW tworzą na liniach wydzielony system teletransmisyjny. [7]

Istniejące oraz dostępne techniki i technologie pracy na świecie pozwalają na wymianę przewodu odgromowego na przewód OPGW bez konieczności wyłączenia toru lub torów linii. Jednocześnie prace te można prowadzić nad czynnymi krzyżującymi się obiektami z np. innymi liniami elektroenergetycznymi, torami kolejowymi, drogami.

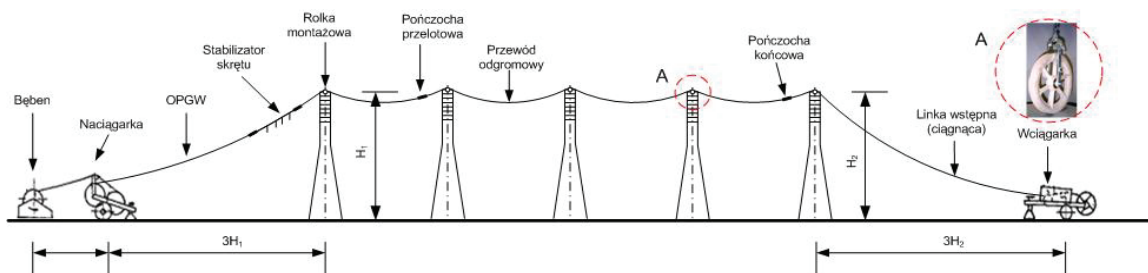
Wyróżnia się dwie metody wymiany przewodów odgromowych na przewody OPGW pod napięciem [1]:

- pierwsza – naprężeniowa,
- druga – rolek obrotowych.

Metoda naprężeniowa

Metoda montażu przewodów odgromowych typu OPGW na czynnych liniach polega na rozwinięciu tych przewodów za pomocą wciągarki i naciągarki. (rys.1). Urządzenia te powinny mieć regulowaną siłę naciągu, prędkość wciągania oraz możliwość automatycznego zatrzymania po przekroczeniu nastawionej siły. Podczas czynności wciągania naprężenie, siła oraz prędkość wciągania są przez cały czas mierzone. Dzięki temu możliwe jest utrzymanie tego samego naprężenia przewodu i uzyskanie bezpiecznego odstępu elektrycznego między wciągającym przewodem, a przewodami roboczymi. Podczas instalacji przewodów OPGW (na liniach załączonych) stosuje się liny izolacyjne ze względu na ich lekkość, niską wagę.

Lina izolacyjna, wstępna (ciągnąca) rozwijana jest wzdłuż całej sekcji odciągowej i następnie podwieszana na rolkach montażowych na każdym słupie odcinka.



Rys.1. Wymiana istniejącego przewodu odgromowego na przewód światłowodowy OPGW

Z uwagi na to, że długość odcinka (sekcji odciągowej) wciągania może dochodzić do 5 km, lina wstępna (ciągnąca) może być rozwijana z kilku bębnow i łączona za pomocą pończoch przelotowych lub specjalnych łączników. Jeden koniec liny wstępnej (ciągnącej) wprowadza się poprzez kabestan wciągarki na tzw. bęben magazynujący, a drugi koniec łączy się z przewodem OPGW nawiniętym na bębny naciągarki za pośrednictwem stabilizatora skrętu (lub orczyka naciągowego) dla przewodu OPGW. Stabilizator (orczyk) stosowany jest w celu ochrony przewodu OPGW przed skręceniem i odkształceniem w trakcie pracy.

Po rozwinięciu liny wstępnej (ciągnącej) do słupa, jej koniec łączony jest z liną pomocniczą prowadzoną przez rolkę montażową zawieszoną na słupie. Ciągąc drugi koniec liny pomocniczej wprowadza się linę wstępną na rolki montażowe.

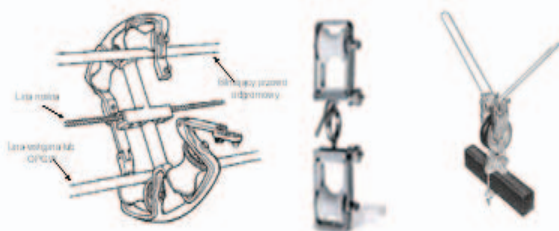
Na czynnych liniach bardzo często wykorzystuje się istniejący przewód odgromowy w charakterze liny wstępnej (ciągnącej), co skraca czas montażu przewodu OPGW. Przed wykorzystaniem przewodu odgromowego jako liny wstępnej (ciągnącej) należy sprawdzić czy przewód nie posiada uszkodzeń i skalkulować czy wytrzyma potencjalną siłę naciągu. Wszelkie uszkodzenia i pęknięcia drutów przewodu odgromowego należy owinąć taśmą. Linę wstępną (ciągnącą) rozwija się od wciągarki do słupa końcowego, przekłada przez rolkę montażową na tym słupie i łączy za pomocą pończochy końcowej i połączenia przegubowego z przewodem odgromowym. Z drugiej strony sekcji odciągowej przewód OPGW rozwija się od naciągarki do przewodu odgromowego, łączy się z nim za pomocą urządzenia przeciwskrętnego i podwiesza na rolce montażowej i wciąga w miejsce przewodu odgromowego z jednoczesnym ściąganiem starego przewodu. Po wciągnięciu przewodu OPGW na całej długości sekcji odciągowej następuje regulacja jego zwisu i zamocowanie do konstrukcji wieżyczek odgromowych [4, 5].

Metoda rolek obrotowych

Metodę tą wykorzystuje się podczas wymiany przewodu odgromowego, na OPGW aby utrzymać bezpieczny odstęp elektryczny między przewodami poprzez stosowanie licznych rolek obrotowych instalowanych z reguły co 10 m. Rolki te montowane na linie izolacyjnej i zakładane na przewód odgromowy są ciągnięte wciąganiem sterowanym radiowo. Przed rozpoczęciem instalacji przewód odgromowy powinien być sprawdzony, czy nie jest uszkodzony.

W metodzie rolek obrotowych wymianę przewodów odgromowych na przewody OPGW dzieli się na:

- wieloprzęstową (ang. Multi Span Cradle Block System),
 - jednaprzęstową (ang. Single Span Cradle Block System)
- do których stosowane są rolki różnej konstrukcji (rys.3).

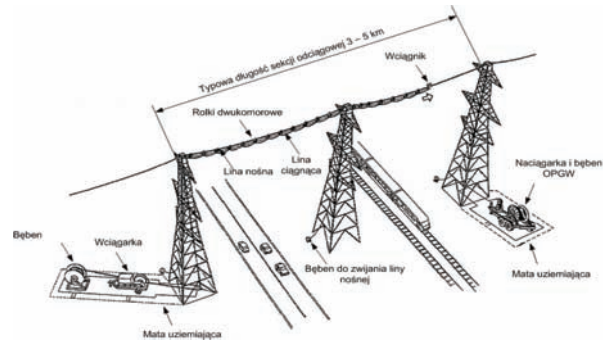


Rys.3. Typy rolek do wymiany przewodów: dwukomorowa, obrotowa, lotnicza

Wieloprzęstowy system rolek obrotowych

Przy instalacji przewodu OPGW na wielu przęsłach stosuje się specjalne rolki dwukomorowe oraz podobnie jak w metodzie naprężeniowej, bębny na liny i przewody, maszyny (wciągarki, naciągarki) z regulowaną siłą naciągu,

regulowaną prędkością wciągania oraz automatycznym zatrzymaniem (rys.2). Dodatkowo używa się wciągarka poruszającego się po przewodzie odgromowym. Zwis istniejącego przewodu odgromowego jest przed rozpoczęciem instalacji mierzony, co pozwala na określenie i dopasowanie siły naciągu OPGW. W metodzie tej konieczne jest przemieszczenie (przemontowanie) wciągarki na wieżyczkę słupa, z jednego przęsła do następnego. Do ochrony podczas wykonywania tej czynności służy zamocowane do wieżyczki specjalne pęto bezpieczeństwa.



Rys.2. Ogólny schemat metody rolek obrotowych wymiany przewodu odgromowego na OPGW na czynnej linii.

Do głównych prac instalacyjnych używa się dwóch lin. pierwsza traktowana jako lina ciągnąca dla OPGW, podczas gdy druga jako lina nośna, połączona jest z wciąganiem i pozwala na rozmieszczanie rolek obrotowych dwukomorowych na przewodzie odgromowym.

Wciąganie (sterowane radiowo) wciąga linę ciągnącą i nośną na całej długości sekcji odciągowej. Po wciągnięciu lin oraz po umieszczeniu rolek w odpowiednich odstępach wciągarka wciąga nowy przewód OPGW za pomocą liny ciągnącej. W wyniku naciągnięcia przewodu OPGW następuje podniesienie do góry OPGW i zamienienie miejscami z przewodem odgromowym. Następnie przewód odgromowy jest odpinany od konstrukcji słupa i jego koniec jest łączony z lekką linką ciągnącą. W tym czasie przewód OPGW ma regulowany zwis i jest mocowany do konstrukcji wieżyczki odgromowej. Ostatnim etapem jest zdjęcie przewodu odgromowego oraz rolek montażowych [1].

Jednaprzęstowy system rolek obrotowych

W przypadku instalacji przewodu OPGW na jednym przęsle stosuje się rolki obrotowe innej konstrukcji niż dla wielu przęsł oraz można używać wciągarki mniejszej mocy. Również w tym przypadku wciągarka wciąga linę ciągnącą oraz izolacyjną nośną. Gdy liny zostaną wciągnięte na całej długości przęsła oraz rolki będą umieszczone na swoich pozycjach, przewód odgromowy jest uwalniany od siły naciągu i układany na rolkach. Za pomocą liny ciągnącej wciągany jest przewód OPGW. W wyniku naciągnięcia liny nośnej, rolki obracają się o 180° zmieniając pozycje przewodu odgromowego z przewodem OPGW [1].

Stosując metodę rolek obrotowych podczas wymiany przewodu odgromowego na OPGW osiąga się następujące korzyści:

- niski mechaniczny naciąg przewodu OPGW wymagany podczas instalacji. Typowa wartość naprężenia wynosi 300 daN,
- zminimalizowanie obwisu przewodów (i lin) podczas instalacji,
- możliwość utrzymania bezpiecznych odstępów między przewodem odgromowym, OPGW a fazowym,

- obciążenia spowodowane wciąganiem, rolkami, linami i przewodem OPGW nie mają wpływu na istniejący przewód odgromowy dopóki, obciążenie jest rozłożone równomiernie na całej długości przewodu odgromowego.

Zastosowanie techniki lotniczej do wymiany przewodów

Zastosowanie śmigłowców do prac pod napięciem w liniach najwyższych napięć ma już dwudziestoletnią historię. Zastosowanie tej techniki pozwoliło na skrócenie czasu napraw linii oraz posłużyło do szybkiego przemieszczania się ekip monterskich. Do prac na liniach przesyłowych używa się zwykle małych i lekkich śmigłowców, które służą m.in. do przenoszenia rolek montażowych, narzędzi, izolatorów, oraz samych monterów bezpośrednio na poprzecznik słupa lub w teren trudno dostępny.

Przy instalacji przewodu OPGW czy wymiany przewodu odgromowego na przewód OPGW śmigłowiec używany jest do wciągania liny pilotującej, która umieszczana jest na rolkach montażowych o specjalnej konstrukcji. Rolki te posiadają ramię do „łapania” liny, które może być montowane po dowolnej stronie rolki. Zastosowanie tego typu rolek ułatwia umieszczenie liny na rolce montażowej (nie jest konieczny udział człowieka).

Przykłady prac na świecie

W wielu krajach na świecie prace polegające na wymianie czy instalacji przewodu OPGW wykonuje się bez wyłączeń linii napowietrznych. Technologie prowadzenia prac przez różne firmy światowe są podobne do opisanych powyżej.

Najczęściej stosowaną metodą przez zagraniczne firmy jest metoda rolek obrotowych.

W Indiach dzięki zastosowaniu tej metody wymieniono na czynnych liniach napowietrznych około 2000 km przewodów odgromowych na OPGW. Prace te wykonywała japońska firma, która w swej dotychczasowej historii szczyt się wykonaniem instalacji ponad 8000 km przewodów światłowodowych na czynnych liniach napowietrznych w Azji. Prace te prowadzone były na czynnych liniach jedno i wielotorowych o poziomie napięcia od 66 do 500 kV. Wydajność pracy wynosiła 1 bęben (tj. 3 – 5 km) na dwa dni. Koszty wykonania samej pracy były takie same jak podczas normalnych metod wciągania przewodów.

Kolejnym przykładem szerokiego zastosowania wyżej opisywanych metod jest Brazylia, w której w latach 2001 – 2006 zainstalowano prawie 5000 km przewodów OPGW na czynnych liniach napowietrznych o napięciach od 69 kV do 500 kV. W Brazylii wykorzystywano metodę rolek obrotowych, a dla zminimalizowania ryzyka uszkodzenia czy awarii wyznaczono specjalne korytarze do wciągania i ściągania przewodów za pomocą urządzenia zaprojektowanego do umieszczenia przeciąganych przewodów w bezpiecznej strefie, uwzględniając tym samym możliwość obniżenia się (opadnięcia) przewodu w trakcie jego montażu pomiędzy przewody robocze znajdujące się pod napięciem [4, 5].

Identyfikacja zagrożeń personelu podczas wymiany przewodów

W ogólnym rozumieniu prowadzenia prac pod napięciem ochrona zdrowia i życia personelu w trakcie prac przy instalowaniu przewodów OPGW na liniach przesyłowych jest sprawą nie podlegającą dyskusji. Pracownicy znajdujący się na miejscu powinny być chronieni przed skutkami indukowania się napięć i prądów od czynnej linii, na której pracują oraz niebezpieczeństwem

przypadkowego podania napięcia. Zabezpieczenie to uzyskuje się przez założenie odpowiedniego systemu uziemień w strefie prowadzonych prac, zastosowanie poprawnych metod pracy oraz poprzez wykorzystanie wyposażenia ochronnego.

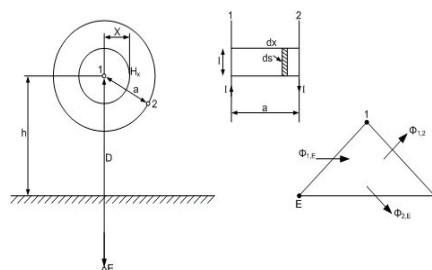
Na instalowanych przewodach, stosowanych urządzeniach, albo linach do wciągania przewodów mogą pojawić się ładunki elektryczne w wyniku jednego lub więcej czynników takich, jak:

- elektromagnetyczna indukcja od przewodów linii, na której wykonuje się pracę, z sąsiednich pracujących linii lub torów sąsiednich linii wielotorowej,
- elektrostatyczne naładowanie się przewodów lub liny wciągającej przewody wskutek warunków atmosferycznych, albo pod wpływem czynnych linii przesyłowych wysokiego napięcia, także prądu stałego,
- przypadkowe zetknięcie się zakładanego przewodu lub liny wciągającej przewód z istniejącymi przewodami znajdującymi się pod napięciem,
- błędne czynności łączeniowe, w wyniku czego na linii pojawiają się przepięcia łączeniowe,
- uderzenie pioruna w instalowany przewód lub urządzenia i elementy układu instalowanego.

O ile niebezpieczeństwa powstałe w skutek uderzenia pioruna, zetknięcia się przewodu wciąganego z przewodem fazowym pod napięciem są groźne chwilowo i dobrze poznane, o tyle niebezpieczeństwa powstałe wskutek indukcji elektromagnetycznej są trwale podczas pracy linii, choć na ogół mniej zrozumiałe.

Napięcia indukowane będą największe w przypadku przepływu prądów zwarciovych, zwłaszcza przy zwarciach niesymetrycznych doziemnych. Dlatego obliczając napięcia indukowane ograniczono się jedynie do prądów zwarciovych doziemnych jako najbardziej niebezpiecznych.

Wartości indukowanych napięć od prądów płynących w linii znajdującej się w pobliżu linii napowietrznej zostaną określone w oparciu o układ przewodów. (rys.4).



Rys.4. Układ przewodów przyjęty do określenia napięć indukowanych: 1 – przewód wiodący prąd, 2 – przewód, w którym indukuje się napięcie, a – odległość między przewodami, l – długość odcinka (przebiegającego równoległe linii) [km], h – średnia wysokość zawieszenia przewodu, E – przewód zastępczy w ziemi, D – obliczeniowa odległość przewodu 1 od przewodu zastępczego w ziemi [m].

Wartość napięcia indukowanego U_2 (dla a_{12} do 100 m) określa się wg wzoru:

$$(1) \quad U_2 = (0,1446 \cdot \log \frac{D}{a_{12}}) \cdot l \cdot I \quad [\text{V}]$$

gdzie: l – prąd płynący przewodem, 1 [A], a_{12} – odległość między przewodami [m], D – obliczeniowa odległość przewodu 1 od przewodu zastępczego E w ziemi.

Wartość napięcia indukowanego U_2 (dla a_{12} powyżej 100 m) określa wg wzoru:

$$(2) \quad U_2 = \frac{0,1446}{2} \cdot \log\left[\left(\frac{D}{a_{12}}\right)^2 + 1\right] \cdot l \cdot I \quad [\text{V}]$$

Przykładowe obliczenia wykonano dla oddziaływań linii 220 kV na linię 400 kV przebiegających równolegle w odległości od 100 m do 1000 m, dla długości ich zbliżenia od 1000 m do 5000 m (przeciętne długości sekcji odciągowych). Każde załamanie trasy (od równoległej) powoduje zmniejszenie oddziaływania elektromagnetycznego. Podane tabelaryczne wyniki obliczeń przyjęto dla rezystywności gruntu wynoszącej 200 Ωm .

Tabela 1. Przykładowe wartości napięć indukowanych dwóch linii przesyłowych przebiegających równolegle do siebie.

a_{12}	Napięcie indukowane [kV]								
	Długość równoległego przebiegu przy $I_{zw}=3$ [kA]			Długość równoległego przebiegu przy $I_{zw}=5$ [kA]			Długość równoległego przebiegu przy $I_{zw}=10$ [kA]		
	1 [km]	3 [km]	5 [km]	1 [km]	3 [km]	5 [km]	1 [km]	3 [km]	5 [km]
100	0,49	1,46	2,43	0,81	2,43	4,05	1,62	4,86	8,09
500	0,19	0,58	0,97	0,32	0,97	1,62	0,65	1,95	3,24
1000	0,09	0,28	0,47	0,16	0,47	0,79	0,31	0,94	1,57

Opanowanie zjawiska indukcji i prądów jest możliwe dzięki zastosowaniu różnego typu uziemień. Stopień rozbudowania tymczasowego uzziemienia zależy od oceny zagrożenia elektrycznego. Dla instalowania nowych przewodów OPGW na obszarach oddalonych od linii pod napięciem i w okresie mało prawdopodobnego wystąpienia burzy można stosować minimum wymagań w zakresie uzziemień [1]. Owe minimum wymagań polega na połączeniu i uzziemieniu wszystkich urządzeń w miejscu wciągania i naprężania. Ponadto należy zastosować uzziemienie ślizgowe zakładane przy urządzeniach wciągających i naprężających na liny oraz przewody.

Gdy prace prowadzone są na obszarze o gęstej zabudowie, z wieloma liniami równoległymi pod napięciem lub krzyżującymi się z nią oraz z dużym prawdopodobieństwem wystąpienia burzy i niekorzystnych warunków atmosferycznych, wymaga się spełnienia maksymalnych wymagań w zakresie uzziemień [1]. Owo maksimum wymagań polega na połączeniu i uzziemieniu wszystkich urządzeń, zastosowaniu ślizgowego uzziemienia, siatki (maty) uzemiającej w miejscu pracy oraz uzziemienia przewodów przy blokach (rolkach) na słupach.

Na zakończenie koszty zakupu sprzętu do prac na czynnych liniach w/w metodami prac pod napięciem. Jak już wspomniano koszt wykonania pracy pod napięciem (samej technologii) jest podobny do prac na liniach wyłączonych. Zatem o koszcie metod prac pod napięciem decyduje:

- koszt zakupu specjalistycznego sprzętu, urządzeń oraz narzędzi niezbędnych do wykonania prac, zwłaszcza rolek i lin,

- koszt zastosowanych środków ochronnych przed wpływami oddziaływań czynnych linii (uziemiacze przesuwne, maty uzemiające, indywidualne środki ekranujące od wpływu pola elektrycznego itp.),
- koszt badań laboratoryjnych sprzętu elektroizacyjnego,
- koszt specjalistycznego szkolenia i niezbędnego treningu.

Korzyści osiągane z nie wyłączania linii, utrzymania sprzedaży energii i z reguły nie obniżania poziomu bezpieczeństwa pracy sieci przewyższają koszty niezbędne do realizacji technologii prac pod napięciem. Są także korzystniejsze dla firm realizujących prace, które lepiej mogą je rozplanować, gdyż nie czekają na wyłączenia i nie są narażone na ich odwołania w przypadkach potrzebnych operatorowi.

Podsumowanie

Technika prowadzenia nowych przewodów typu OPGW w przewodach odgromowych, którą od kilkunastu lat z powodzeniem stosują operatorzy działający w energetyce opiera się o wykorzystanie elektroenergetycznych linii przesyłowych najwyższych napięć 110, 220 i 400 kV i ciągle się rozwija. Budownictwo nowych traktów światłowodowych, ale także wymiana przewodów o mniejszej ilości włókien na większe będzie potrzebna, czego dowodzą zagraniczne doświadczenia. Otwarcie krajowego rynku na wykonawstwo wymiany przewodów odgromowych na światłowodowe jest celowe na czynnych liniach

LITERATURA

- [1] IEC/TR 62263: 2005 Live Working – Guidelines for the installation and maintenance of optical fibre cables on overhead power lines, 2005 r.,
- [2] IEC/TR 61328: 2003 Live working – Guidelines for installation of transmission line conductors and earthwires – stringing equipment and accessory items,
- [3] PN-EN 50110-1: 2005 Eksploatacja urządzeń elektrycznych,
- [4] Materiały z europejskich konferencji – ICOLIM.; z lat 1992 – 2006,
- [5] Materiały z amerykańskich konferencji - ESMO z lat 1977 – 2006,
- [6] Materiały z krajowych konferencji PPNz lat 1988 – 2004,
- [7] Dudek B., Identyfikacja zagrożeń i analiza ryzyka przy wykonaniu prac pod napięciem, Biuletyn miesięczny PSE S.A. nr 8, 1998 r.,
- [8] Florkowska B., Florkowski M., Timler M.: Narażenia eksploatacyjne kabli światłowodowych ADSS w elektroenergetycznych liniach napowietrznych wysokiego napięcia, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 1, 2005 (materiały EU1'2005)
- [9] Strużewska E.: Przewody odgromowe typu OPGW na liniach NN – doświadczenia eksploatacyjne PSE S.A., *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 1, 2005 r. (materiały EU1'2005)

Autorzy: mgr inż. Bogumił Dudek, e-mail: b.dudek@epc.pl, mgr inż. Krzysztof Frymer, e-mail: e-maill.frymer@epc.pl, ul. W. Górskiego 9, 00-033 Warszawa; Biuro w Katowicach: ul. Jordana 25, 40-056 Katowice