



Piotr ROZWADOWSKI, Andrzej PAWŁOWSKI

Zakłady Wytwórcze Sprzętu Sieciowego BELOS S.A. w Bielsku-Białej

## Jakość osprzętu sieciowego wobec narażeń eksploatacyjnych elektroenergetycznych linii napowietrznych

**Streszczenie.** Jakość zaopatrywania odbiorców w energię elektryczną w dużym stopniu jest zdeterminowana przez niezawodność poszczególnych elementów systemu elektroenergetycznego, w tym również przez jakość zastosowanego osprzętu sieciowego. W artykule scharakteryzowano wskaźniki jakości dostaw energii elektrycznej oraz przedstawiono przykłady wpływu wybranych narażeń eksploatacyjnych na osprzęt sieciowy oraz skutki zastosowania osprzętu o niewłaściwej jakości.

**Abstract.** (*Quality of network equipment towards operational risks of overhead electrical power lines*). The quality of electrical power supply is determined by reliability of particular elements of electrical power system, including the network equipment used. The article characterized quality indicators of electrical power supply and presented examples of chosen operational risks for network equipment as well as results of using equipment of insufficient quality.

**Słowa kluczowe:** jakość zasilania, osprzęt sieciowy, narażenia eksploatacyjne, awaryjność linii elektroenergetycznych  
**Keywords:** power supply quality, network equipment, operational risks, failure frequency of electrical power lines

### Wstęp

Problem jakości dostawy energii elektrycznej staje się w Polsce, podobnie jak w wielu innych krajach, w których dokonano lub dokonuje się przekształceń w sektorze elektroenergetyki, kategorią nie tylko techniczną, lecz przede wszystkim ekonomiczną.

Zrezygnowano z modelu, w którym istniał jeden, państwowy właściciel elektrowni, sieci przesyłowych i rozdzielczych na rzecz modelu, w którym konkurują ze sobą na rynku niezależne podmioty w trzech podsektorach.

Energia elektryczna stała się towarem i jak w przypadku każdego towaru zaczęto zwracać większą uwagę na problemy jakości. Nowe wyzwania, jakie stanęły przed dostawcami polegają na dostarczeniu energii elektrycznej o ściśle określonych parametrach jakościowych. Problem jakości dotyczy również samej usługi tzn. można mówić o jakości zasilania odbiorców. Ważnym elementem pozwalającym osiągnąć wysoką jakość zasilania jest niezawodność poszczególnych elementów systemu elektroenergetycznego. Jakość stosowanego osprzętu sieciowego jest bardzo ważnym, choć często nie docenianym czynnikiem wpływającym na pewność zasilania odbiorców.

### Parametry jakości

Na jakość dostaw energii elektrycznej składają się: jakość napięcia (zwana też jakością energii), niezawodność (ciągłość) zasilania i jakość obsługi odbiorców.

Nie należy jednak utożsamiać jakości energii z jakością zasilania, ponieważ czym innym jest jakość realizacji procesu dostarczania energii elektrycznej jako „towaru”, a czym innym są istotne parametry tego towaru, określające jego jakość.

Jakość energii elektrycznej jest identyfikowana w rozporządzeniu „przyłączeniowym” [1] przez parametry napięcia: częstotliwość, poziom napięcia, kształt krzywej napięcia. Natomiast w normie [2] zdefiniowane są charakterystyki napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, dotyczące: częstotliwości, wartości, kształtu przebiegu czasowego, symetrii napięć w układzie trójfazowym.

Dla systemu dystrybucyjnego obliczaniem wskaźnikami niezawodności są zwykle: oczekiwana liczba zakłóceń (przerw w zasilaniu), średni czas trwania zakłócenia, roczna niedyspozycyjność (wskaźnik nieciągłości zasilania) węzła odbiorczego czy też wartość odłączonej mocy lub niedo-

starzonej energii. Do najczęściej stosowanych wskaźników oceny ciągłości dostaw energii elektrycznej należą [3]:

- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) – systemowy wskaźnik średniej liczby (częstości) przerw na odbiorcę, zdefiniowany jako iloraz liczby wszystkich przerw nieplanowanych w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci. Zatem jest to średnia liczba nieplanowanych przerw w zasilaniu, jakiej może oczekiwać odbiorca w ciągu roku. Jeżeli nie ustalono inaczej, SAIFI nie obejmuje krótkich przerw o czasie trwania poniżej 3 minut (lub 1 minuty w zależności od przyjętej konwencji);
- CAIFI (*Customer Average Interruption Frequency Index*) – średnia liczba przerw na dotkniętego wyłączeniem odbiorcę, zdefiniowana jako iloraz liczby wszystkich przerw nieplanowanych w ciągu roku do liczby wyłączonych odbiorców;
- CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) – średni czas trwania przerwy. Jest to średni czas potrzebny do przywrócenia zasilania odbiorcy w przypadku wystąpienia przerw nieplanowanych. Obliczany jest jako suma czasu trwania wszystkich przerw w zasilaniu odbiorców (w minutach) podzielona przez liczbę wszystkich wyłączeń odbiorców. Jeżeli nie ustalono inaczej, CAIDI nie obejmuje krótkich przerw o czasie trwania poniżej 3 minut (lub 1 minuty);
- ASAI (*Average Service Availability Index*) – wskaźnik dyspozycyjności zasilania, określony jako stosunek czasu w ciągu roku (w odbiorco-godzinach), gdy zasilanie było dostępne do czasu, gdy było ono zapotrzebowane;
- AENS (*Average Energy Not Supplied*) – średnia (oczekiwana) roczna ilość energii niedostarczonej, określona jako stosunek energii niedostarczonej odbiorcom w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci.

### Gwarancje jakości osprzętu sieciowego

Jakość zaopatrywania odbiorców w energię elektryczną w dużym stopniu jest zdeterminowana przez niezawodność poszczególnych elementów systemu elektroenergetycznego, w tym również przez jakość zastosowanego osprzętu sieciowego.

Historia Belos-u sięga czasów powojennych i nierozdzielnie wiąże się z rozwojem elektroenergetyki w Polsce. Już w 1947 r. rozpoczęto produkcję osprzętu sieciowego do linii napowietrznej wysokiego napięcia budowanej na trasie Śląsk - Łódź. W latach 1962-64 wykonano osprzęt do pierwszej w Polsce linii 400 kV Turoszów – Częstochowa. Kolejnym wyzwaniem dla Firmy było zaprojektowanie i wykonanie prototypowych rozwiązań osprzętu do układu przesyłowego Chmielnicka – Rzeszów, oddanego do eksploatacji w 1985 roku. Również w ostatnim czasie Belos współuczestniczył w realizacji nowoczesnych rozwiązań linii przesyłowych. W latach 2003-2004 do budowanej według projektu ELBUD Warszawa linii Tarnów-Krosno Iskrzynia, dostarczano osprzęt do łańcuchów z izolatorami kompozytowymi firmy SEFAG. Jest to pierwsza w Polsce linia elektroenergetyczna 400kV z izolatorami kompozytowymi. Zastosowane w tej linii łańcuchy izolatorów przeszły pomyślnie próby zwarciowej odporności łukowej, próby napięciami udarowymi oraz pomiary zakłóceń radioelektrycznych w Laboratorium Wysokich Napięć Instytutu Energetyki w Warszawie.

Wieloletnie doświadczenie w konstruowaniu i produkcji osprzętu sieciowego uzyskane m.in. dzięki kontaktom z naszymi klientami powoduje, że bierzemy pełną odpowiedzialność za wyroby i skutki ich eksploatacji.

W naszej ofercie znajdują się następujące grupy wyrobów do napowietrznych linii i stacji elektroenergetycznych:

- ❑ Osprzęt do budowy i modernizacji linii z przewodami gołymi średnich i wysokich napięć;
- ❑ Osprzęt do budowy linii napowietrznych z przewodami izolowanymi średnich i niskich napięć oraz osprzęt zawieszeniowy do napowietrznych linii telefonicznych;
- ❑ Osprzęt ochronny średnich i wysokich napięć przeznaczony do zabezpieczania przewodów i izolatorów wiszących przed skutkami drgań i działania łuku elektrycznego;
- ❑ Osprzęt stacyjny (w tym osprzęt rurowy) służący do budowy stacji rozdzielczych wysokiego napięcia;
- ❑ Osprzęt do przewodów światłowodowych (OPGW);
- ❑ Narzędzia montażowe;
- ❑ Maszyny i urządzenia oraz sprzęt robót górniczych.

Jesteśmy producentem o wysokiej renomie, co potwierdza System Zarządzania Jakością Spółki, który został pozytywnie oceniony przez holenderską firmę certyfikującą N.V. KEMA zrzeszoną w międzynarodowej organizacji IQNet. W 1999 r. otrzymaliśmy certyfikat potwierdzający, że wdrożony System Zarządzania Jakością spełnia wymagania normy ISO 9001. Wysoka jakość kolejny raz została potwierdzona otrzymaniem w maju 2001r. wyróżnienia Śląskiej Nagrody Jakości.

Od wielu lat spółka stara się prowadzić działalność produkcyjną nie powodującą zagrożeń dla środowiska. Nakłady inwestycyjne ukierunkowane były i są na prowadzenie działań zgodnych z tym założeniem. Efektem tych przedsięwzięć było otrzymanie w 1996 r. Świadectwa Przedsiębiorstwa Czystszej Produkcji oraz wdrożenie Systemu Zarządzania Środowiskowego wg normy ISO 14001.

Nasz System kładzie nacisk na następujące elementy:

- określenie wymagań i potrzeb klientów,
- jakość konstrukcji wyrobu,
- odpowiedni proces technologiczny wytwarzania wyrobów,
- dbałość o optymalny dobór dostawców materiałów i surowców,
- prawidłowy przebieg procesu produkcyjnego,

- skuteczną kontrolę jakości dostaw materiałów i surowców, wyrobów w toku produkcji oraz kontrolę końcową.

Każdy z wymienionych elementów ma bezpośredni wpływ na jakość wyrobu finalnego tym nie mniej wiąże się z koniecznością ponoszenia nakładów finansowych i przez to znajduje swe odbicie w cenie wyrobu finalnego.

Na rynku krajowym coraz częściej można spotkać się z wyrobami niezgodnymi z normami, których jakość nie odpowiada wymaganiom stawianym osprzętowi przeznaczonemu do stosowania w energetyce. Należy pamiętać o tym, że stosowanie takiego osprzętu może okazać się katastrofalne w skutkach, a przede wszystkim powoduje zwiększenie kosztów eksploatacji w dłuższym okresie.

W ostatnim czasie rośnie świadomość, że produkty tanie nie gwarantują odpowiedniej jakości, a ich zakup wiąże się z ryzykiem ponoszenia dodatkowych kosztów w dłuższym horyzoncie czasowym. Podstawowymi czynnikami branżowymi pod uwagę przez nabywcę przy zakupie są cena, jakość i terminowość dostaw. Ważnym elementem jest też wiarygodność producenta.

### **Wady występujące w osprzęcie sieciowym dostępnym na rynku - skutki wynikające z zastosowania takich produktów**

Wszystkie omawiane wady występują w produktach zbliżonych lub identycznych do produktów ZWSS BELOS S.A. jednak wyprodukowanych przez innych (czasami nieznanymi) producentów.

#### *Brak cechy producenta lub oznaczenie wykonane w sposób nietrwały*

Taki sposób oznaczania uniemożliwia identyfikację producenta w przypadku uszkodzenia lub zniszczenia wyrobu w trakcie eksploatacji. Ponadto jest niezgodny z Polską Normą [4], która określa, że znakowanie powinno zapewnić możliwość identyfikacji każdej części składowej osprzętu.

Osprzęt produkowany przez ZWSS „Belos” oznaczany jest naszym znakiem towarowym. Umieszczany jest też numer katalogowy lub minimalne obciążenie niszczące oraz data produkcji. Stosuje się też oznaczenie zakresu średnic przewodu przy zestawach osprzętu, a także wymiary szcęk do zaprasowania w przypadku osprzętu zaprasowanego na przewodzie.

Osobny problem stanowi sprzedaż przez niektórych producentów wyrobów oznakowanych znakiem towarowym BELOS-u. Wyroby te są dość łatwo rozróżnialne, ponieważ posiadają zazwyczaj bardzo niską jakość i oferowane są w cenie odbiegającej od naszej oferty cennikowej.

#### *Elementy osprzętu cynkowane galwanicznie*

Doświadczenie wskazuje, że cynkowanie galwaniczne zapewnia skuteczną ochronę metalu od 1 do 5 lat, w zależności od intensywności narażeń eksploatacyjnych (warunki klimatyczne, zanieczyszczenia, itp.). Polska Norma [4] precyzuje, że wszystkie części składowe osprzętu wykonane z materiału zawierającego żelazo (oprócz części wykonanych ze stali nierdzewnej) powinny być chronione przez cynkowanie ogniowe lub w inny sposób zapewniający równoważną ochronę.

Zważywszy na trwałość, powłokę galwaniczną o grubości ok. 10 µm należy traktować jako dekoracyjną a nie ochronną, a więc nie spełniającą kryteriów normy.

Elektrolityczna powłoka cynkowa może mieć teoretyczną grubość do 25 µm, jednak praktycznie uzyskuje kilkanaście µm, podczas gdy powłoki uzyskane za pomocą cynkowania ogniowego powinny, w zależności od gatunku i postaci materiału, osiągać minimum wartości 55-85 µm, a w praktyce można uzyskiwać znacznie większe grubości.

Przyjmując, że roczny ubytek warstwy cynku w wyniku utleniania wynosi ok. 4 µm można założyć, że w normalnych warunkach eksploatacyjnych element osprzętu ocynkowany ogniowo jest skutecznie chroniony powłoką cynku przez minimum 20 lat.

#### *Ostre krawędzie*

Występowanie ostrych krawędzi w osprzęcie wynika z niewłaściwego procesu technologicznego lub też z pominięcia obróbki wykańczającej. Ostre krawędzie oprócz poważnych konsekwencji funkcjonalnych utrudniają montaż i mogą stanowić zagrożenie dla monterów.

W zależności od grupy wyrobów występowanie ostrych krawędzi powoduje następujące konsekwencje:

- Osprzęt ochronny - brak zaokrągleń krawędzi elektrody powoduje intensyfikację zjawiska ulotu i zwiększenie zakłóceń radioelektrycznych;
- Uchwyty przelotowe, uchwyty odciągowe i wszystkie elementy osprzętu mające styczność z przewodem – występowanie ostrych krawędzi w uchwytach powoduje uszkodzenie linek, osłabienie miejscowe przewodu i w konsekwencji może doprowadzić do zerwania przewodu i przerwy w zasilaniu odbiorców;
- Elementy cynkowane – nietrwałość powłoki ochronnej na powierzchniach zakończonych ostrymi krawędziami skutkuje powstawaniem korozji i może doprowadzić zniszczenia elementów.

#### *Niewłaściwe wykonanie powierzchni stykowych w elementach skręcanych i zaprasowywanych*

Najistotniejszą wadą zacisków spotykanych na rynku są nie szlifowane powierzchnie stykowe, w wyniku czego nie uzyskuje się odpowiedniej gładkości tych powierzchni. W czasie eksploatacji na nie zabezpieczonych pastą stykową chropowatych powierzchniach następuje utlenianie. Ponadto korpusy mosiężne nie są uszczelniane powłoką cynową, a w miejscu połączenia korpus-łapa brakuje zabezpieczenia.

Wadliwe wykonanie i niezabezpieczone powierzchnie stykowe nie zapewnią odpowiedniej przewodności uchwytu. Mogą powodować duże straty mocy i rozgrzewanie się uchwytu aż do jego całkowitego przypalenia.

Również w uchwytach odciągowych zaprasowywanych wadliwe wykonanie i niezabezpieczone powierzchnie stykowe nie zapewnią odpowiedniej przewodności uchwytu.

Wymienione wyżej wady powodują zwiększenie rezystancji złącza, co w konsekwencji skutkuje podwyższeniem temperatury pracy (możliwość obserwacji na kamerze termowizyjnej) i w konsekwencji prowadzi do upalenia się złącza. Norma [4] określa, że konstrukcja połączenia powinna być taka, aby zapewnić stabilną rezystancję elektryczną połączenia oraz temperaturę połączenia nie przekraczającą temperatury przewodu.

#### *Niewłaściwy proces technologiczny przy obróbce plastycznej*

Znaczna część dostępnych na rynku wyrobów (łączniki kute) nie jest ulepszana cieplnie. Jest to bardzo poważna wada, ponieważ w wyrobach takich występują wewnętrzne naprężenia powstałe przy kuciu, co powoduje niższą wytrzymałość na rozciąganie.

Ponadto na szybkach łączników, na powierzchniach współpracujących z gniazdem występują niedopuszczalne zakucia lub też widoczne pozostałości wypływu po kuciu.

#### *Zła jakość elementów złącznych i gwintów*

Duży wpływ na obniżenie jakości i trwałości wyrobów ma zastosowanie elementów złącznych cynkowanych galwanicznie. Ponadto spotyka się na rynku wyroby zawiera-

jące nakrętki nie posiadające oznaczeń (klasa wytrzymałości) i niezgodne z PN oraz z niewłaściwym gwintem (zbyt luźny gwint). Brak wyprowadzenia gwintu w niektórych wyrobach (np. wieszaki) znacznie wydłuża montaż i utrudnia pracę monterom.

Firmy wprowadzające na rynek produkty bardzo niskiej jakości posługują się również często metodami noszącymi znamiona nieuczciwej konkurencji.

Podróbki naszych produktów oznaczane są bezprawnie zastrzeżonym znakiem firmy Belos oraz naszym numerem katalogowym lub nie posiadają żadnych oznaczeń umożliwiających identyfikację producenta.

Wielokrotnie oferty zbudowane są w sposób sugerujący, że wszystkie produkty są produkcji ZWSS BELOS S.A.

Możemy także spotkać się z nieuczciwym stosowaniem reklamy porównawczej. O ile taka reklama nie jest zakazana, to na podmiocie wykorzystującym tę formę reklamy spoczywa obowiązek, aby zawarte w niej dane były prawdziwe i aktualne. Zdarzają się reklamy zawierające nieprawdziwe ceny ZWSS BELOS S.A., w niektórych przypadkach zawyżone o ponad 50 % procent.

W katalogach innych producentów często wykorzystywane są rysunki bezpośrednio skanowane z katalogów BELOS'u. Świadczy to nie tylko o stosowaniu nieuczciwej konkurencji, ale także o braku posiadania przez tego typu firmy biur konstrukcyjnych i kadr inżynierskich, które mogłyby takie opracowania przygotować.

#### **Konsekwencje ogólnosystemowe stosowania niewłaściwych rozwiązań technicznych**

Najpoważniejszym zakłóceniem funkcjonowania systemu z trudnymi do przewidzenia skutkami społecznymi i gospodarczymi jest utrata ciągłości pracy systemu elektroenergetycznego (KSE) lub jego znacznej części. Ostatnie wielkie awarie systemowe (w USA i Kanadzie, w Szwecji i Danii oraz we Włoszech) wykazały, że zagrożenie to jest realne i może się zdarzyć praktycznie w każdym, również w polskim, systemie elektroenergetycznym.

Aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia takich sytuacji zagrożeniem ochrony przed wystąpieniem awarii katastrofalnych w systemie elektroenergetycznym poświęca się ostatnio coraz więcej uwagi. Ryzyko wystąpienia black-out'u można ograniczać przyjmując odpowiednio wysokie wymagania bezpieczeństwa na poziomie planowania rozwoju, eksploatacji i bieżącego prowadzenia ruchu systemu.

Stosunkowo największe efekty, choć okupione wysokimi kosztami, są możliwe do uzyskania na poziomie podejmowania decyzji rozwojowych. Chodzi tu przede wszystkim o stosowanie wysokich standardów w zakresie doboru urządzeń energetycznych. W tym zakresie znajdują się również zagadnienia związane z doбором osprzętu sieciowego o odpowiedniej jakości, potwierdzonej badaniami laboratoryjnymi i doświadczeniami eksploatacyjnymi.

Istotną kwestią są tutaj koszty, które należy ponieść dla uzyskania oczekiwanego celu. Zawsze należy rozważyć, czy warto uzyskać stosunkowo niewielką oszczędność na osprzęcie sieciowym, który stanowi niewielki składnik kosztów budowy elektroenergetycznej linii napowietrznej, ryzykując poniesieniem niemałych kosztów remontów czy też trudnych nawet do oszacowania kosztów awarii ogólnosystemowych.

#### **Podsumowanie**

W artykule przedstawiono jedynie przykłady wpływu wybranych czynników konstrukcyjnych na osprzęt sieciowy o niewłaściwej jakości. Można założyć, że skala problemu jest znacznie większa niż zaprezentowano i może mieć w przyszłości duży wpływ na awaryjność linii elektroenergetycznych oraz występowanie problemów eksploatacyj-

nych. Należy podkreślić, że przepisy norm nie są oderwanymi od praktyki aktami administracyjnymi, lecz stanowią wynik wieloletnich badań i doświadczeń eksploatacyjnych. Producenci, którzy przy projektowaniu i wytwarzaniu osprzętu sieciowego nie przestrzegają tych zasad pomimo konkurencyjnej ceny, nie gwarantują jakości oferowanego przez siebie osprzętu, a tym samym przyczyniają się do obniżenia jakości dostarczania energii elektrycznej.

Czas eksploatacji poszczególnych elementów systemu elektroenergetycznego wynosi niekiedy nawet kilkadziesiąt lat. Dlatego przy podejmowaniu decyzji o budowie czy modernizacji tych elementów należy kierować się rachunkiem ekonomicznym, uwzględniającym nie tylko składnik kosztów zakupu, ale także takie czynniki jak koszty remontów i wyłączeń linii, koszty niedostarczonej energii czy też koszty niedyspozycyjności zasilania. Znaczenie wszystkich tych kosztów będzie rosło wraz z rozwojem rynku energii i powiększającą się ilością odbiorców finalnych uprawnionych do wyboru dostawy energii elektrycznej.

## LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców
- [2] PN-EN 50160: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych
- [3] Paska J., Jakość energii elektrycznej, niezawodność zasilania, bezpieczeństwo energetyczne, *Elektroenergetyka*, 47 (2004), n. 4, 1-9
- [4] PN-EN 61284: Elektroenergetyczne linie napowietrzne.
- [5] Hanzelka Z., Kowalski Z., Kompatybilność elektromagnetyczna i jakość energii elektrycznej w dokumentach normalizacyjnych, *Jakość i użytkowanie Energii Elektrycznej*, Tom V (1999), Zeszyt 1

**Autorzy:** mgr inż. Piotr Rozwadowski, mgr inż. Andrzej Pawłowski  
Zakłady Wytwórcze Sprzętu Sieciowego „BELOS” S.A., ul. Gen. J. Kustronia 74, 43-300 Bielsko-Biała,  
E-mail: [handlowy@belos.com.pl](mailto:handlowy@belos.com.pl); [a.pawlowski@belos.com.pl](mailto:a.pawlowski@belos.com.pl)