

NARAŻENIA ZABRUDZENIOWE I PRZEPIĘCIOWE IZOLATORÓW TRAKCYJNYCH PKP

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Sieć trakcyjna
3. Uszkodzenia i starzenie izolatorów trakcyjnych
4. Zanieczyszczenie atmosfery
5. Pomiary konduktywności powierzchniowej
6. Konduktywność wodnych roztworów pyłów
7. Przepięcia piorunowe
8. Wnioski

STRESZCZENIE

Opisano układ sieci trakcyjnej PKP; omówiono izolatory pod kątem wytrzymałości elektrycznej w warunkach powodujących ich zabrudzenie i ochrony przed przepięciami atmosferycznymi. Przedstawiono stan zanieczyszczenia atmosfery w Polsce i jego wpływ na izolatory trakcyjne. Omówiono wykonane pomiary konduktywności powierzchniowej izolatorów trakcyjnych w węźle wrocławskim oraz zbadane własności przewodzące osadów zebranych z izolatorów w hali dworca Wrocław Główny. Podano oszacowaną liczbę przeskoków na izolatorach trakcji PKP, spowodowanych przepięciami indukowanymi, wywołanymi przez wyładowania atmosferyczne doziemne.

1. WSTĘP

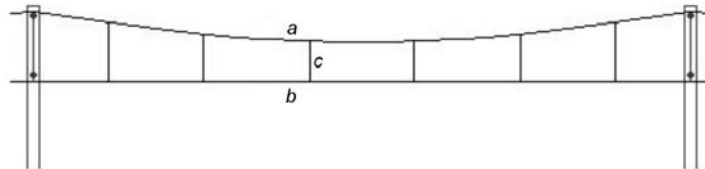
Izolatory trakcyjne, stosowane na sieci PKP pracują pod napięciem stałym 3 kV. Stosowane jednostkowe drogi upływu są znacznie dłuższe niż na izolatorach sieci elektroenergetycznej napięcia przemiennego. Długość drogi upływu izolatora LT 40R wynosi 25 cm. Jednostkowa droga upływu jest zatem równa aż 8 cm/kV. Izolatory elektroenergetycznych linii średnich napięć charakteryzują się jednostkową drogą upływu rzędu co najmniej 2 cm/kV napięcia międzyfazowego, które może wystąpić na izolatorze w czasie

awarii, przy uziemieniu jednej fazy. Wydłużenie drogi upływu izolatorów napięcia stałego w stosunku do izolatorów pracujących pod napięciem przemiennym jest uzasadnione większą akumulacją zanieczyszczeń na powierzchni izolatorów przy napięciu stałym [15]. Pod wpływem napięcia stałego może zachodzić jednokierunkowe przemieszczanie się jonów i wzrost naprężeń mechanicznych w dielektryku. Procesy takie mogą doprowadzić do pęknięcia szklanych izolatorów kołpakowych [18]. Przy napięciu stałym erozja polimerów pod wpływem wyładowań elektrycznych jest bardziej intensywna [12], a procesy korozyjne okuń są szybsze niż przy napięciu przemiennym [8].

Na polepszenie warunków pracy izolatorów wpływa, obserwowany od 1985 r., ciągły spadek emisji zanieczyszczeń przemysłowych w Polsce. Emisja pyłów zmniejszyła się w ciągu ostatnich 20 lat około 16 razy [4]. Przed laty źródłem zanieczyszczenia izolatorów trakcyjnych na stacjach kolejowych były lokomotywy parowe. Lokomotywy spalinowe emitują znacznie mniej stałych cząstek zanieczyszczeń. Dlatego zanieczyszczenia nie powinny być obecnie problemem w eksploatacji sieci trakcyjnej PKP. W celu oceny stanu technicznego izolatorów trakcyjnych oraz ich zanieczyszczenia przeprowadzono pomiary konduktywności powierzchniowej oraz analizę osadów zebranych z ich powierzchni. Przeprowadzone prace zostały wykonane w węźle wrocławskim, mają zatem bardzo ograniczony zasięg terytorialny. Jednak w przekonaniu autora są reprezentatywne dla prawie całej sieci PKP.

2. SIEĆ TRAKCYJNA

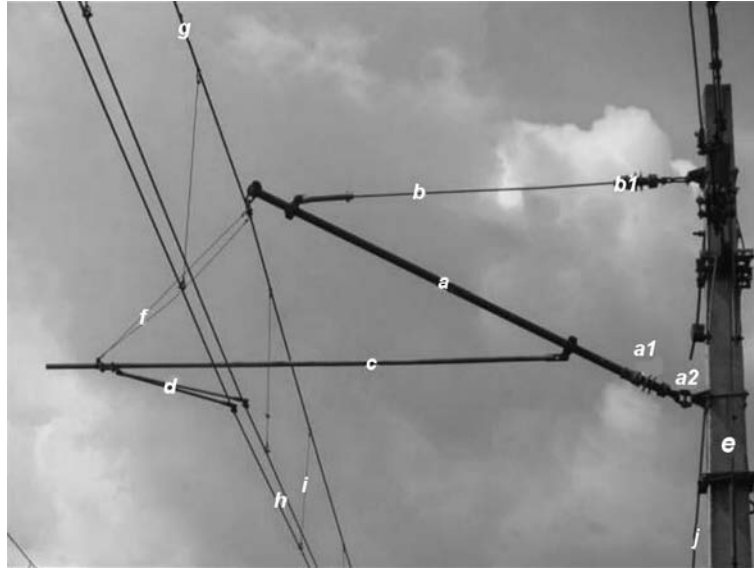
Sieć trakcyjna ma konstrukcję łańcuchową. Biegun dodatni jest doprowadzony do sieci jezdnej, a biegun ujemny — do szyn. Przewód jezdny jest podwieszony za pomocą wieszaków do liny nośnej, rozpiętej między dwoma słupami (rys. 1). Lina nośna i przewód jezdny są więc ze sobą połączone ekwipotencjalnie. Na prostych odcinkach odległość między sąsiednimi słupami wynosi 65 m. Wysokość normalna zawieszenia przewodów jezdnych — według przepisów — wynosi 5,6 m. Lina nośna jest zawieszona na słupie 1,7 m powyżej przewodu jezdnego. Do obliczenia przepięć indukowanych przyjęto średnią wysokość zawieszenia liny nośnej równą 7 m.



Rys.1. Sieć łańcuchowa pojedyncza
a — lina nośna, *b* — przewód jezdny, *c* — wieszak przewodu jezdnego

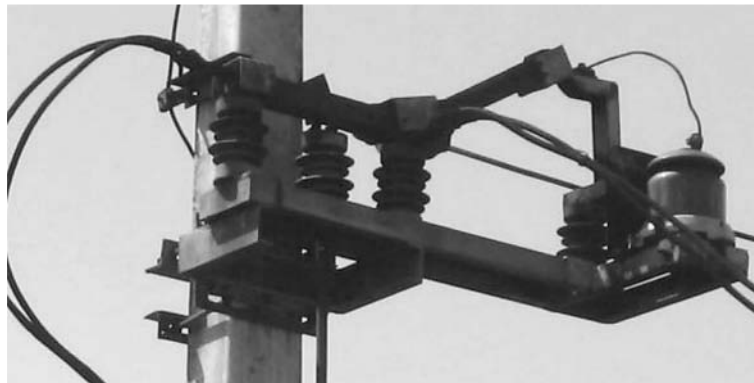
Sieć jezdna łańcuchowa jest podwieszana do konstrukcji wsporczych za pomocą obrotowych wsięgi. Wsięgi są przymocowywane do konstrukcji wsporczych obrotowo, co umożliwia sieci jezdnej wydłużanie się pod wpływem temperatur. Sieć odizolowana jest od słupów za pomocą dwóch izolatorów (rys. 2). W takiej konstrukcji wsięgi znajdują się wraz z przewodem jezdny i lina nośną pod napięciem. Izolator dolny jest izolatorem wsporczym, a górny — izolatorem odciągowym. Każdy punkt zasilający jest

wyposażony w odłącznik sieciowy, zainstalowany na konstrukcji wsporczej (rys. 3). Umożliwia on odłączenie zasilania na danym odcinku sieci. Na PKP stosuje się odłączniki nożowe typu OKZ (Odłącznik Kabla Zasilacza). Ogranicznik przepięć służy do ochrony kabla zasilającego. Stare ograniczniki iskiernikowe (odgromniki zaworowe) w obudowie porcelanowej (rys. 3) są obecnie zastępowane ogranicznikami beziskiernikowymi GX5 5,6 w obudowie z kauczuku silikonowego.



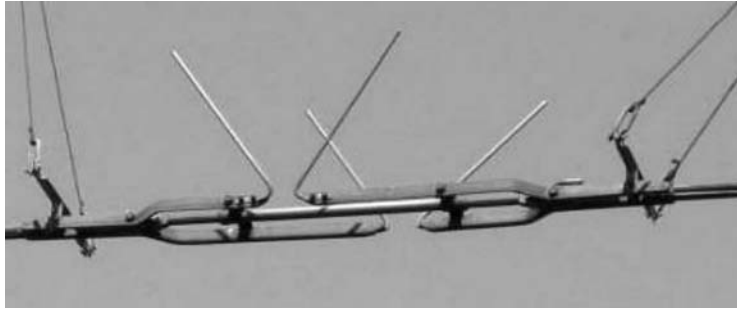
Rys. 2. Zawieszenie przewodów na konstrukcjach wsporczych [7]

a — ukośnik, *a1* — izolator wsporczy ukośnika, *a2* — zawias obrotowy ukośnika, *b* — odciąg ukośnika, *b1* — izolator odciągu, *c* — wysięg pomocniczy, *d* — ramiona odciągowe, *e* — żelbetowa konstrukcja słupa, *f* — wieszak wysięgu pomocniczego, *g* — lina nośna, *h* — przewody jezdne, *i* — wieszak, *j* — przewód uszyniający

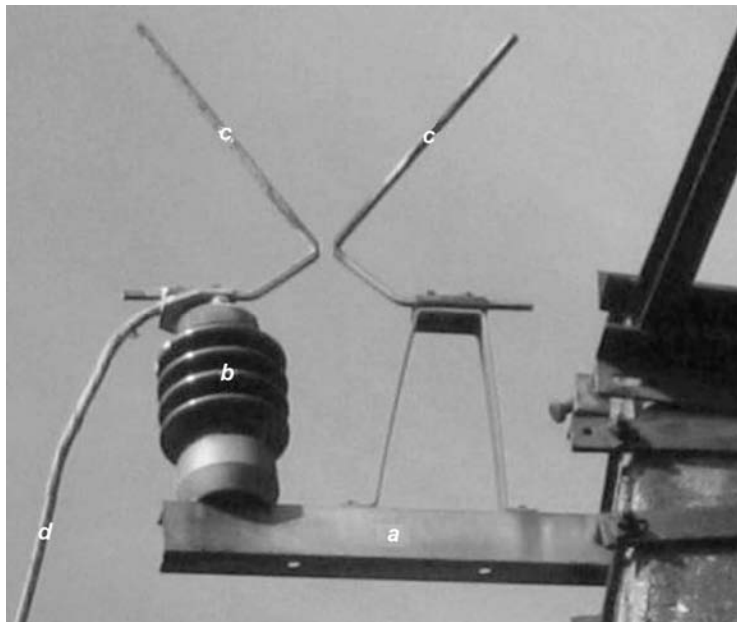


Rys. 3. Odłącznik kabla zasilania z iskiernikowym ogranicznikiem przepięć [7]

Przerwę izolacyjną pomiędzy sąsiednimi sekcjami zasilanymi z różnych podstacji zapewniają izolatory sekcyjne. Ich konstrukcja jest przystosowana do zwierania izolatora sekcyjnego przez odbieraki przejeżdżającego taboru (rys. 4). Do połowy lat siedemdziesiątych stosowano porcelanowy izolator rolkowy; obecnie izolatory sekcyjne wykonane są z polimerów. Do ochrony odgromowej sieci trakcyjnej służą iskierniki różkowe, które instaluje się na konstrukcjach wsporczych w miejscach, gdzie występują otwarte końce sieci jezdnej oraz tam, gdzie znajdują się zasilacze bez styku uszyniającego (rys. 5). W przypadku pojawienia się w sieci trakcyjnej przepięcia o znacznej wartości następuje przebicie powietrza pomiędzy elektrodami iskiernika (o odstępzie 10 mm) i odprowadzenie ładunku elektrycznego do szyn. Odległości między sąsiednimi iskiernikami powinny być mniejsze od 1200 m.



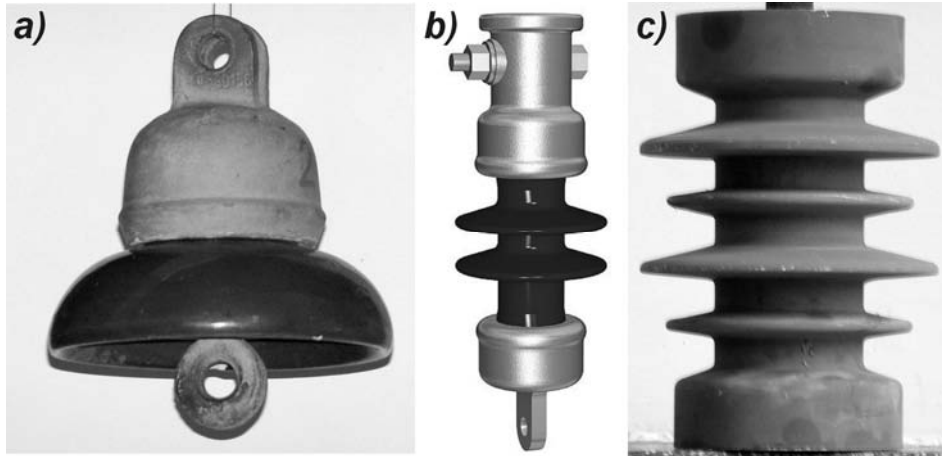
Rys. 4. Polimerowy izolator sekcyjny z osprzętem [7]



Rys. 5. Iskiernik różkowy [7]
a — podstawa połączona z uziemieniem słupa, *b* — izolator wsporczy,
c — elektrody różkowe, *d* — przewód łączący z siecią jezdną

3. USZKODZENIA I STARZENIE IZOLATORÓW TRAKCYJNYCH

Izolatory trakcyjne są produkowane z porcelany (rys. 6a, 6b) lub żywicy epoksydowej (rys. 6c). Część kompozytowych izolatorów sekcyjnych ma osłonę z kauczuku silikonowego, a część z żywicy epoksydowej (rys. 7). Izolatory sekcyjne są izolatorami kompozytowymi, w których pręt szkło-epoksydowy jest umieszczony w osłonie wykonanej z żywicy epoksydowej lub z kauczuku silikonowego.



Rys. 6. Izolatory trakcyjne
a — izolator kołpakowy odciagu, nr katalogowy 7120, *b* — izolator pniowy ukośnika rurowego LT 40W,
c — izolator wsporczy epoksydowy



Rys. 7. Izolator sekcyjny w osłonie epoksydowej LTKC-25

Izolatory kołpakowe, odznaczające się dużą awaryjnością, były stosowane do 1985 r. Jedną z najczęstszych przyczyn uszkodzeń były przebicia elektryczne [9]. Przebicia porcelany mogą być spowodowane przez bezpośrednie trafienia piorunów w linię, podobnie jak to występuje w elektroenergetycznych liniach wysokonapięciowych. Sieć trakcyjna nie ma niestety przewodów odgromowych. Dodatkowym czynnikiem, który może spowodować pęknięcie porcelany są udary mechaniczne. Zawilgocenie miejsca pęknięcia podczas deszczu może doprowadzić do zwarcia i rozerwania izolatora. Izolatory pniowe, jako izolatory nieprzebijalne, są znacznie lepszym rozwiązaniem. W liniach wysokich napięć 110 — 400 kV izolatory długopniowe mogą być zrywane mechanicznie. Trakcyjne izolatory pniowe również niekiedy są uszkodzane mechanicznie (pęknięcie porcelany przy okuciu).

W 1998 r. wprowadzono izolatory z porcelany wysokoglinowej 130, o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej. Od tego czasu nie zanotowano uszkodzeń izolatorów nowego typu [9].

Skutki korozji trzonka izolatora kołpakowego, który pracował na linii w pobliżu stacji Wrocław Zachodni, są przedstawione na rysunku 8. Średnica trzonka zmniejszyła się o około 30% na styku: trzonek—porcelana—powietrze. Na wysokonapięciowych liniach DC stosuje się specjalne cynkowe elektrody ochronne w celu ochrony trzonka przed korozją [8]. Na rysunku 8 widać nie tylko typowe ubytki materiału, spowodowane korozją na trzonku, ale również ubytki na kołpaku. Produkty korozji mają większą objętość niż czysty metal i powodują naprężenia mechaniczne w porcelanie. Może to być kolejnym powodem pęknięcia porcelany.



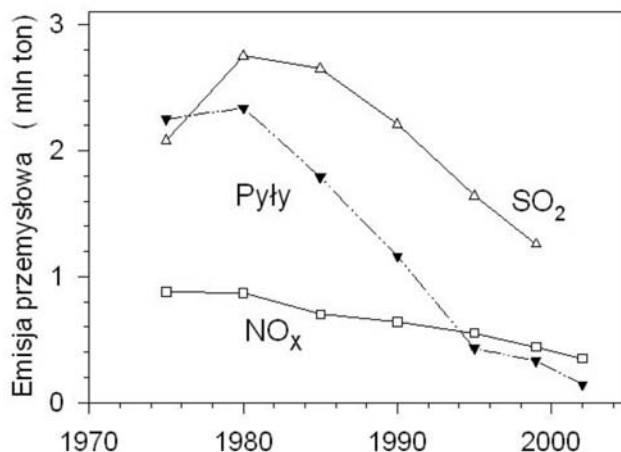
Rys. 8. Ubytki materiału trzonka i kołpaka izolatora kołpakowego spowodowane korozją

Powierzchnia nowego izolatora z żywicy epoksydowej jest gładka i hydrofobowa. Wskutek czynników atmosferycznych, promieniowania ultrafioletowego UV i ewentualnie wyładowań elektrycznych staje się matowa i hydrofilna oraz szorstka. W procesie tym decydujące znaczenie ma jednak promieniowanie UV. Zaobserwowano, że górna powierzchnia izolatorów sekcyjnych jest odbarwiona i szorstka, a powierzchnia dolna — bardziej gładka i zachowująca pierwotną barwę.

4. ZANIECZYSZCZENIE ATMOSFERY

Stan środowiska naturalnego w Europie Środkowej znacznie się poprawił w ciągu ostatnich dwudziestu lat. Związane jest to z gwałtowną zmianą struktury przemysłu w tym regionie, wprowadzaniem nowych, czystych technologii, likwidacją wielu fabryk

— dotychczasowych trucicieli przyrody. W Polsce spadek emisji przemysłowej następuje od 1980 r. (rys. 9). W skali całego kraju emisja pyłów przez przemysł zmniejszyła się w ciągu ostatnich 25 lat prawie 20 razy, a dwutlenku siarki i tlenków azotu około dwukrotnie.



Rys. 9. Zmiany emisji zanieczyszczeń przemysłowych w Polsce [4]

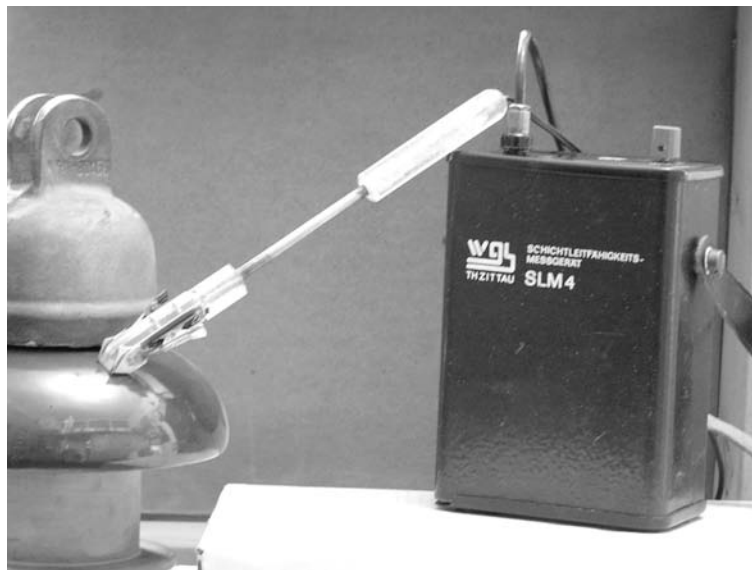
Według polskiej normy PN-E-06303 i normy międzynarodowej IEC 60815 [14] I strefa oznacza teren o bardzo małym zanieczyszczeniu, z opadem pyłu mniejszym niż $1,8 \text{ g/m}^2$ na dobę, natomiast strefa IV — teren o zanieczyszczeniu bardzo dużym, z opadem pyłu powyżej $7,2 \text{ g/m}^2$ na dobę. Okazuje się, że obecnie tereny zurbanizowane stanowią, od ponad 10 lat, I strefę zabrudzeniową; na Górnym Śląsku istnieje kilkanaście małych miejskich enklaw, na których opad pyłu wynosi od 200 do 300 g/m^2 na rok [13]. Oznacza to, że nawet w tych najbardziej zanieczyszczonych miastach opad pyłu jest mniejszy od 1 g/m^2 na dobę, a więc są to tereny I strefy zabrudzeniowej. Świadomość tego stanu nie była i chyba nadal nie jest powszechna. W rezultacie podczas wymiany izolatorów na liniach przesyłowych, stare izolatory porcelanowe zastępowano niekiedy izolatorami porcelanowymi o jeszcze dłuższej drodze upływu (zamiast o krótszej).

Wszystko wskazuje na to, że obecny trend zmniejszania emisji utrzyma się jeszcze przez kilka lat. Dotyczy to zwłaszcza emisji dwutlenku siarki i tlenków azotu. Emisja pyłów przemysłowych jest już tak mała, że zapewne o zanieczyszczeniu izolatorów na obszarach oddalonych od zakładów przemysłowych decydują źródła pochodzenia rolniczego, transport i budownictwo, a na Wybrzeżu — sól morską. Dlatego przy doborze izolatorów powinno się uwzględniać możliwości zmian klimatycznych, wzrost intensywności opadów deszczowych i występowanie trąb powietrznych.

5. POMIARY KONDUKTYWNOŚCI POWIERZCHNIOWEJ

Pomiary wykonano za pomocą konduktometru SLM4 i sondy paskowej (rys.10). Umieszczona między elektrodami bibułka zostaje nawilgocona wodą destylowaną, a

następnie umieszczona na zanieczyszczonej powierzchni izolatora. Konduktywność powierzchniowa zależy od spadku rezystancji bibułki i znajdującej się pod nią warstwy zabrudzeniowej. Konduktywność powierzchniowa izolatorów zmierzona w październiku 2005 r. — po dłuższym okresie bezdeszczowym — wynosiła najczęściej 0,5—2 μS . Największą zmierzoną wartością było 5 μS . Obszar, przez który przebiega linia kolejowa w pobliżu stacji Wrocław Mikołajów należy do I strefy zabrudzeniowej [13].



Rys. 10. Pomiar konduktywności powierzchniowej sondą paskową

Badane izolatory były „czyste pod względem elektrycznym”, tzn. konduktywność powierzchniowa była rzędu 1 μS . Jednak powierzchnia porcelany wykazywała zabarwienie szare, zwłaszcza na górnej części kloszy (rys. 11). Również na okuciach izolatora można było zaobserwować znaczne zmiany. W pobliżu linii znajduje się kilka zakładów przemysłowych, m.in. *Wrocławska Fabryka Farb i Lakierów*. W latach siedemdziesiątych odnotowywano tam obecność fluoru w powietrzu. Kwas fluorowodorowy jest bardzo silnym rozpuszczalnikiem.

Izolatory w hali peronowej dworca Wrocław Główny nie były czyszczone od kilku lat i są intensywnie zanieczyszczone. Na górnej części kloszy grubość osadu wynosiła około 0,5 mm, a konduktywność powierzchniowa osiągała wartość 80 μS . Izolatory wewnątrz hali nie są splukiwane przez deszcze, tak jak izolatory znajdujące się pod gołym niebem. Po kilku latach osadzania się pyłów izolatory są zabrudzone, tak jak izolatory napowietrzne w IV strefie zabrudzeniowej. Ponieważ izolatory w hali dworca są suche, więc pomimo znacznego zabrudzenia wyładowania elektryczne i przeskoki zabrudzeniowe nie są możliwe. Rysunek 12 przedstawia widok izolatora z żywicy epoksydowej spryskanego wodą i z częściowo zmytą powierzchnią kloszy.

Na izolatorze kołpakowym (nr katalogowy 7120) znaleziono zanieczyszczenie, którego nie można było usunąć za pomocą wody (rys. 13). Z powodu warstwy rdzy, metaliczny charakter zanieczyszczenia można wykazać po przyłączeniu do elektrod sondy

napięcia rzędu 1 kV. Przyłożenie elektrod do szkliwa pokrytego rdzawym zanieczyszczeniem wywołuje przeskok iskrowy i zwarcie. Prawdopodobnie izolator ten znajdował się w pobliżu iskiernika rożkowego, którego elektrody były erodowane przez łuk zwarciowy.



Rys. 11. Izolator ukośnika o znacznych zmianach koloru szkliwa



Rys. 12. Zanieczyszczony izolator LTG z żywicy epoksydowej w hali dworca Wrocław Główny

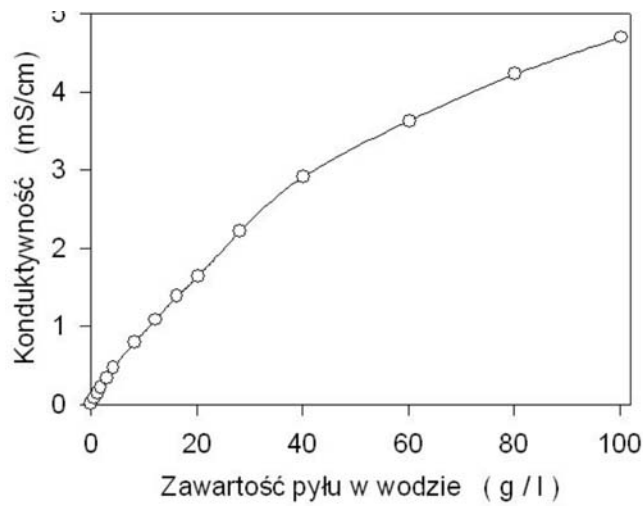


Rys. 13. Szklivo izolatora kołpakowego z zanieczyszczeniem metalicznym pokrytym rdzą

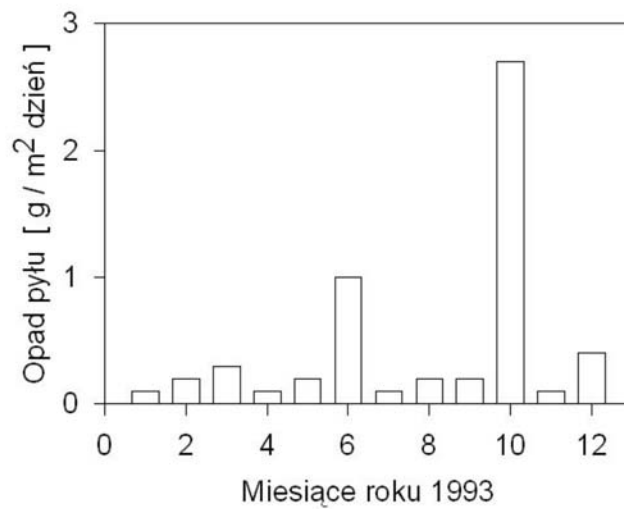
6. KONDUKTYWNOŚĆ WODNYCH ROZTWORÓW PYŁÓW

Zależność konduktywności wodnego roztworu pyłu, zebranego na izolatorach w hali dworca Wrocław Główny, od jego zawartości w wodzie jest funkcją nieliniową (rys. 14). Przy małej zawartości pyłu, rzędu 1 g/l, wzrost konduktywności wynosi 0,11 mS/cm·g, a przy zawartości pyłu 50 g/l przyrost konduktywności zmniejsza się do 0,035 mS/cm·g. Podobną nieliniową zależnością charakteryzują się pyły pochodzące z huty miedzi, elektrowni opalanej węglem brunatnym lub z cementowni [2]. Powodem nieliniowej zależności, zaznaczającej się zwłaszcza przy zawartości pyłu w wodzie większej niż 40 g/l, jest prawdopodobnie wpływ trudno rozpuszczalnych składników. Jednym z najbardziej rozpowszechnionych jest siarczan wapniowy (gips), o rozpuszczalności 2 g/l [2].

Przedstawione pomiary wskazują na mały stopień zanieczyszczenia izolacji trakcyjnej na terenie Wrocławia i w jego pobliżu. Potwierdza to analiza danych opadu pyłu w tym rejonie, wykonywana przez Państwową Inspekcję Sanitarną. W 1993 r. najwyższa wartość opadu pyłu we Wrocławiu, mierzona w 22 punktach, wyniosła 2,7 g/m² na dobę (ul. Jedności Narodowej, Grabiszyńska). Należy jednak zaznaczyć, że przekroczenie wartości granicznej 1,8 pomiędzy I i II strefą zabrudzeniową wystąpiło tylko w jednym miesiącu (rys. 15). Zakładając poziom ufności 0,9 można obliczyć, że punkt z ul. Grabiszyńskiej, przedstawiony na rysunku 15, należał do I strefy zabrudzeniowej. Nawet w miastach Górnego Śląska nie stwierdza się obecnie opadu pyłu większego niż 2,7 g/m² na dobę [1]. Również na Pomorzu Zachodnim stwierdzono najwyższą wartość opadu pyłu 2,2 g/m² na dobę w 1987 r. [6]. Dlatego wydaje się niezrozumiałe i nieprawdopodobne przypisywanie powodów awarii izolatorów trakcyjnych wpływowi zabrudzeń [9], a nawet występowanie przeskoków zabrudzeniowych [17]. Jeśli przeskoki nie występują na izolatorach linii elektroenergetycznych prądu przemiennego, to nie mogą występować na izolatorach trakcyjnych, mających jednostkową drogę upływu około 4 razy dłuższą.



Rys. 14. Konduktywność roztworu pyłu zebranego na izolatorach w hali dworca Wrocław Główny w zależności od jego zawartości w wodzie



Rys. 15. Opad pyłu na ul Grabiszyńskiej we Wrocławiu w roku 1993. Dane Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej

Jedną z przyczyn traktowania zabrudzenia jako poważnego czynnika narażeniowego izolatorów trakcyjnych jest (było) stosowanie starej wersji normy PN-E-06303 (wydanie z 1979 r.). Według tej normy klasyfikację terenu przeprowadzano za pomocą dwóch parametrów opadu pyłu Q i konduktywności rozpuszczalnych części zanieczyszczeń γ_{02} . Autor wykazał już wiele lat temu, że ten algorytm nie jest właściwy [3]. W aktualnej normie [14] parametr γ_{02} został usunięty. Stosowanie starej wersji normy PN-E-6303 prowadzić może do kwalifikowania terenu należącego do I strefy zabrudzeniowej jako strefy IV. Przykładem jest tabela 1 zamieszczona w publikacji [6].

7. PRZEPIĘCIA PIORUNOWE

Przebiegi wywołane przez wyładowania atmosferyczne są powodem licznych wyłączeń linii elektroenergetycznych. Przerwy zasilania spowodowane wyładowaniami piorunowymi są tylko pewną częścią ogólnej liczby wyłączeń. Innymi przyczynami wyłączeń linii są: wichury, sadz, zerwanie izolatorów, przeskoki zabrudzeniowe. O wiele trudniejsze do wyjaśnienia są przypadki zjawisk SPZ (Samoczynne Ponowne Załączenie), których przyczyna nie jest znana. Stany te stanowią zazwyczaj około 10% wszystkich zakłóceń w zasilaniu. W Polsce w latach osiemdziesiątych wskaźnik zakłóceń linii 110 kV wynosił około 1,0 na 100 km/rok, przy czym wyładowania piorunowe powodowały zaledwie 4,5% zakłóceń i awarii w tych liniach [7]. Przez zakłócenie linii rozumie się w Polsce jej uszkodzenie, nieplanowane wyłączenie lub załączenie oraz niedotrzymanie żądanych parametrów. Jednak krótkie wyłączenie i ponowne skuteczne załączenie napięcia przez SPZ nie jest uznawane za zakłócenie. Natomiast w wielu krajach, jako zakłócenie uznaje się nawet pojedyncze zjawisko SPZ. Wiadomo, że np. w Japonii wyładowania piorunowe powodują więcej niż 50% zjawisk automatyki SPZ.

Linie trakcyjne i linie elektroenergetyczne średnich napięć nie mają przewodów odgromowych. Ponadto wytrzymałość udarowa izolatorów tych linii wynosi tylko 100—200 kV. Dlatego przebiegi wywołane przez pioruny powodują znacznie więcej przeskoków na liniach średnich napięć niż na liniach wysokich napięć. Poniżej zostanie oszacowana liczba tych przeskoków na izolatorach trakcji PKP w ciągu roku. Liczba, amplituda i biegunowość wyładowań atmosferycznych w Polsce jest od kilku lat znana dzięki systemom lokalizacji i detekcji piorunów CELDN (*Central Europe Lightning Detection Network*) i PERUN. Systemy te umożliwiają również wyznaczanie miejsca uderzenia z dokładnością do kilkuset metrów i dlatego są wykorzystywane do lokalizacji uszkodzeń na liniach wysokich napięć [5].

Do oszacowania liczby przeskoków w sieci trakcyjnej PKP zastosowano znany wzór *Ruscka* [16]:

$$U_{\max} = Z_0 \frac{I_{\max} \cdot h}{d} \quad (1)$$

$$Z_0 = \frac{1}{4} \pi \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 30 \ \Omega \quad (2)$$

- U_{\max} — amplituda przebiegu [kV],
- I_{\max} — amplituda prądu powrotnego [kA],
- h — wysokość przewodu nad ziemią [m],
- d — odległość kanału pioruna od przewodu [m],
- Z_0 — stała opisująca środowisko, mająca wymiar impedancji.

Przyjęto, że udarowa wytrzymałość piorunowa izolatorów wynosi 125 kV. Są to dane z katalogów izolatorów porcelanowych pniowych LT produkcji Zakładów Porcelany Elektrotechnicznej ZAPEL. Wartość ta dla izolatorów z żywicy epoksydowej LTG, produkowanych przez Zakład Doświadczalny Instytutu Elektrotechniki w Międzyzlesiu Kłodzkim, wynosi 150 kV. Zmierzone przez autora napięcie, które wytrzyma izolator

kołpakowy odciagu (nr katalogowy 7120), przy biegunowości ujemnej udaru doprowadzonego do kołpaka, wynosi tylko 115 kV. Udarowe napięcie przeskoku zależy od rozkładu pola elektrycznego, tzn. nie tylko od izolatora, ale również od układu przewodów doprowadzających napięcie, wysokości zawieszenia nad ziemią oraz odległości od słupa. Dlatego napięcie to powinno być mierzone w układzie stosunkowo najbardziej podobnym do układu rzeczywistego.

Obliczenia wykonano uproszczoną metodą całkowania graficznego. Z tablicy 1 wynika, że tylko 4% piorunów w Polsce to pioruny o biegunowości dodatniej. Ponieważ autorowi nie był znany rozkład amplitud piorunów dodatnich, przyjęto więc, że wszystkie pioruny mają biegunowość ujemną. Dane rejestrowane przez system PERUN są bardziej wiarygodne od danych systemu CELDN. System CELDN ma bowiem tylko 3 anteny umieszczone w Polsce; natomiast wszystkie anteny systemu PERUN — 9 sztuk — są zainstalowane na terenie kraju. Obliczenia prowadzono dla prądów 5, 15, 25, 35 i 45 kA, zakładając że ich procentowy udział we wszystkich wyładowaniach wynosi odpowiednio 40, 35, 15, 9 i 1% (tabl. 1). Przyjęto, że długość trójfazowej linii elektrycznej wynosi 10000 km. W latach 2002, 2003 i 2004 liczba piorunów doziemnych wynosiła 330000, 480000 i 420000 [11]. Średnia gęstość wyładowań atmosferycznych w tym okresie wynosi więc 1,3 uderzeń/ km²/rok.

Tablica 1

Parametry zarejestrowanych prądów wyładowań doziemnych o biegunowości ujemnej zarejestrowane przez systemy lokalizacji piorunów [17] i przyjęte przez autora do obliczeń

Parametr prądu udarowego	CELDN		PERUN		Przyjęte przez autora
	2002 r.	2003 r.	2002 r.	2003 r.	
% udarów o biegunowości ujemnej	91	92	96	96	100
% udarów o wartości < 10 kA	47	47	25	18	40
% udarów o wartości 10 — 20 kA	36	37	32	36	35
% udarów o wartości 20 — 30 kA	5,3	5,6	15	22	15
% udarów o wartości 30 — 40 kA	1,2	1,2	6,6	10	9
% udarów o wartości > 40 kA	0,6	0,6	1,8	1,0	1

Ze wzoru (1) i (2) oblicza się odległość miejsca uderzenia pioruna od linii, przy której napięcie indukowane wynosi 125 kV. Dla przyjętych amplitud 5, 15, 25, 35 i 45 kA odległości te wynoszą odpowiednio 8, 24, 40, 56 i 72 m. Znając procentowy udział poszczególnych przedziałów prądowych i gęstość wyładowań doziemnych można po zsumowaniu obliczyć, że całkowita liczba piorunów, które spowodują przepięcie większe od 125 kV, wynosi 594. Część tych piorunów uderzy bezpośrednio w sieć trakcyjną powodując znacznie większe przepięcia.

8. WNIOSKI

Spadek emisji zanieczyszczeń przemysłowych, który zachodzi już od 1985 r. spowodował, że obecnie prawie cały teren kraju mieści się w I strefie zabrudzeniowej. Izolatory trakcyjne mają bardzo długą jednostkową drogę upływu, wynoszącą około 8 cm/kV, dlatego przeskoki zabrudzeniowe są mało prawdopodobne.

Przeskoki na izolatorach trakcyjnych powstają wskutek wyładowań atmosferycznych. Oszacowana liczba przeskoków, spowodowana przez pioruny na całej sieci trakcyjnej PKP w ciągu roku, wynosi 600.

Przebiecia izolatorów kołpakowych mogą wynikać z bezpośredniego uderzenia piorunów w sieć trakcyjną. Pęknięcia porcelany izolatorów kołpakowych mogą być również inicjowane procesami korozji trzonka. Rozgraniczenie między awariami izolatorów, spowodowanymi przebiciami atmosferycznymi a uszkodzeniami wywołanymi korozją okuć wymaga dalszych badań.

Izolatory pniowe są znacznie lepsze od izolatorów kołpakowych, ponieważ są nieprzebijalne elektrycznie, a ponadto korozja okuć jest mniej groźna od korozji trzonka. Dlatego awaryjność tych izolatorów w ciągu 30. lat powinna być znacznie mniejsza niż obecnie występująca awaryjność trzydziestoletnich izolatorów kołpakowych.

BIBLIOGRAFIA

1. *Chrzan K. L.*: Aktualny stan środowiska w Polsce w aspekcie narażenia i doboru izolacji napowietrznej. VII Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć, Poznań-Będlewo, 2004, s. 50—53.
2. *Chrzan K. L.*: Conductivity of aqueous dust solutions. IEEE Trans. on Electrical Insulation. 1987, vol. EI-22 nr 3, pp. 241—244.
3. *Chrzan K. L.*: Modyfikacja kryteriów podziału terenu na strefy zabrudzeniowe. *Energetyka* 1988, nr 5, s.173—176.
4. *Chrzan K. L.*: Wpływ spadku zanieczyszczenia atmosfery na izolację linii i stacji napowietrznych. *Elektroinfo*, 2005, nr 12, s. 58—59.
5. *Chrzan K. L.*: Wykorzystanie systemów lokalizacji piorunów w eksploatacji sieci elektroenergetycznych. *Wiadomości Elektrotechniczne* 2004, nr 11, s. 36—39.
6. *Chrzan K. L., Banaszak S., Subocz L.*: Problemy eksploatacyjne porcelanowych izolatorów trakcyjnych. Konferencja Postępy w Elektrotechnologii. Jamrozowa Polana, 2003, s. 25—30.
7. *Chrzan K.L., Walczak G.*: Przypadki niewyjaśnionych przeskoków na liniach 110 kV. Konferencja Napowietrzna izolacja Wysokonapięciowa w Elektroenergetyce NIWE, Bielsko-Biała 2000, s. 237—244.
8. *Crabtree L. M. i in.*: Studies on electrolytic corrosion of hardware of DC line insulators. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 104, March 1985, pp. 645—654.
9. *Egert M.*: Eksploatacja izolatorów trakcyjnych 3 kV prądu stałego. V konferencja Napowietrzna Izolacja Wysokonapięciowa w Elektroenergetyce. Bielsko-Biała, 2000, s. 227—235.
10. *Górowski M.*: www.transportszynowy.prv.pl
11. *Łoboda M., Bodzak P., Thern S.*: Analiza porównawcza wyników rejestracji doziemnych wyładowań piorunowych w Polsce przez systemy CELDN i SAFIR. Konferencja Urządzenia Piorunochronne w Projektowaniu i Budowie. Kraków 2005.
12. *Moreno V. M., Gorur R. S.*: AC and DC performance of polymer housing materials for HV outdoor insulators. IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6, June 1999, pp. 342—350.
13. Państwowa Inspekcja Sanitarna. Dane opadu pyłu za lata 1990—1993.

14. PN-E-06303 (1998) Narażenie zabrudzeniowe izolacji napowietrznej i dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych.
15. Radun A. V., Melcher J. R.: DC power line charging of macroscopic particles and associated electrical precipitation on insulators. IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol. EI-16, June 1981, pp. 165—179.
16. Rusck S.: Induced Lightning Overvoltages on Power Transmission Lines with Special Reference to the Overvoltage Protection of Low Voltage Networks. Trans. of the Royal Institute of Technology, Stockholm, No. 120, 1958.
17. Subocz L.: Awaryjność izolatorów trakcyjnych. X Symposium Problemy Eksploatacji Układów Izolacyjnych Wysokiego Napięcia. Krynica 2005, s. 269—271.
18. Task Force 33.04.02, Failure of cap and pin insulators subjected to HVDC. Electra no 153, April 1984, pp. 24—31.

Autor wyraża podziękowanie dyrektorowi Krzysztofowi Nowickiemu, naczelnikowi Sławomirowi Nagrodzkiemu z Dolnośląskiej Dyrekcji KP i pracownikom pociągów trakcyjnych za pomoc w pomiarach konduktywności powierzchniowej na izolatorach, a naczelnikowi Eugeniuszowi Czubakowi — za liczne informacje i wyjaśnienia.