

Alfred KALUŻNY

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Politechniki Śląskiej

WPŁYW WARUNKÓW OTOCZENIA NA KONDUKTYWNOŚĆ POWIERZCHNIOWĄ WARSTWY ZABRUDZENIOWEJ

Streszczenie. Zbadano zależność konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeniowej utworzonej z zabrudzeń elektrownianych w funkcji grubości warstwy, wilgotności i temperatury otaczającego powietrza oraz czasu oddziaływania zadanych warunków otoczenia.

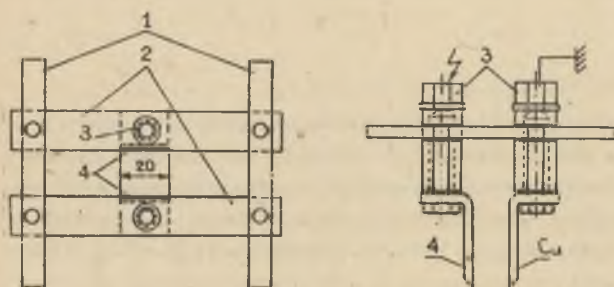
1. WPROWADZENIE

Na powierzchni izolacji linii i stacji elektroenergetycznych pracujących w rejonach o atmosferze zanieczyszczonej pyłami przemysłowymi tworzy się warstwa zabrudzeniowa. Zabrudzenie powierzchni izolatorów powoduje obniżenie się własności izolacyjnych układu izolacyjnego. Stopień obniżenia się własności izolacyjnych zabrudzonego izolatora jest funkcją stanu fizycznego warstwy zabrudzeniowej, a szczególnie jej konduktywności powierzchniowej. Konduktywność powierzchniowa warstwy zabrudzeniowej jest funkcją rodzaju zabrudzeń, zawartości cząstek rozpuszczalnych w wodzie, konduktywności wodnych roztworów zabrudzeń, wilgotności i temperatury powietrza otaczającego oraz grubości warstwy i czasu oddziaływania zadanych warunków otoczenia. Zbadanie tych zależności ma szczególnie duże znaczenie, jeśli chodzi o określenie warunków technicznych czyszczenia izolacji stacji wewnętrznej śn/nn pod napięciem, metodą odkurzacza przemysłowego. Warstwa zabrudzeniowa na izolacji wewnętrznej stacji śn/nn jest prawie równomierna wzdłuż drogi upływu i po obwodzie izolatora, co przy ewentualnym dużym wzroście konduktywności powierzchniowej warunkuje prawie liniowy rozkład napięcia wzdłuż drogi upływu izolatora. Wyczyszczenie części powierzchni izolatora wzdłuż drogi upływu spowoduje bardziej nierównomierny rozkład napięcia na powierzchni izolatora wzdłuż drogi upływu, który zainicjuje wyładowanie zupełne - łuki cząstkowe. Zapłon łuku cząstkowego przy dostatecznej mocy źródła zasilającego może spowodować wyładowanie zupełne - przeskok w powietrzu pomiędzy okuciami izolatora.

2. SPOSÓB WYKONANIA BADAŃ

Badania konduktywności warstwy zabrudzeniowej w zależności od wilgotności i temperatury otaczającego powietrza wykonane zostały na próbkach przygotowanych w następujący sposób. Na płytce szklanej o wymiarach 250 x 250 x 6 mm napyłono zabrudzenie (pochodzące z elektrowni zawodowej i elektrociepłowni) na powierzchni o wymiarach 90 x 90 mm. Grubość warstwy zabrudzeniowej była prawie równomierna. Ilość zabrudzeń (mg) przypadająca na jednostkę powierzchni stanowiła o intensywności zabrudzenia.

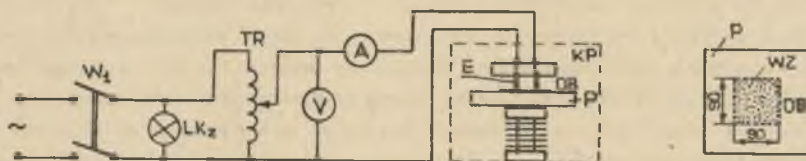
Po przygotowaniu próbki umieszczono ją w specjalnej komorze opisanej w pracy [1]. Wilgotność w komorze zmieniono poprzez odparowanie wody, a pomiary wykonywano hygrometrem włosowym. Temperaturę otaczającego powietrza mierzono termometrem rtęciowym.



Rys. 1. Szkice układu elektrod pomiarowych
1 - łącznik, 2 - wsporniki z pleksi, 3 - zaciski laboratoryjne, 4 - elektrody pomiarowe z miedzi

Do pomiaru konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeniowej używano elektrod płaskich o odstępzie $a = 10$ mm opisanych w pracy [1]. Szkice elektrod pomiarowych pokazano na rysunku 1. Pomiar rezystancji powierzchniowej próbki wykonane metodą techniczną w układzie laboratoryjnym pokazanym na rys. 2

$$R_p = \frac{U}{I_p} \quad (1)$$



Rys. 2. Schemat ideowy układu laboratoryjnego do pomiaru konduktywności warstwy zabrudzeniowej

TR - transformator regulacyjny 2,5 kVA, KP - komora pomiarowa, OB - obiekt badany, P - płytka szklana 250 x 250 x 6 mm, WZ - warstwa zabrudzeniowa 90 x 90 mm, E - elektroda pomiarowa

Równocześnie wiadomo, że:

$$R_p = \frac{f}{k_p} \quad (2)$$

gdzie:

- f - współczynnik kształtu powierzchni izolacyjnej,
- κ_p - konduktywność powierzchniowa.

Współczynnik kształtu warstwy zabrudzeniowej wzdłuż drogi upływu prądu obliczono jako:

$$f = \frac{L_u}{b}, \quad (3)$$

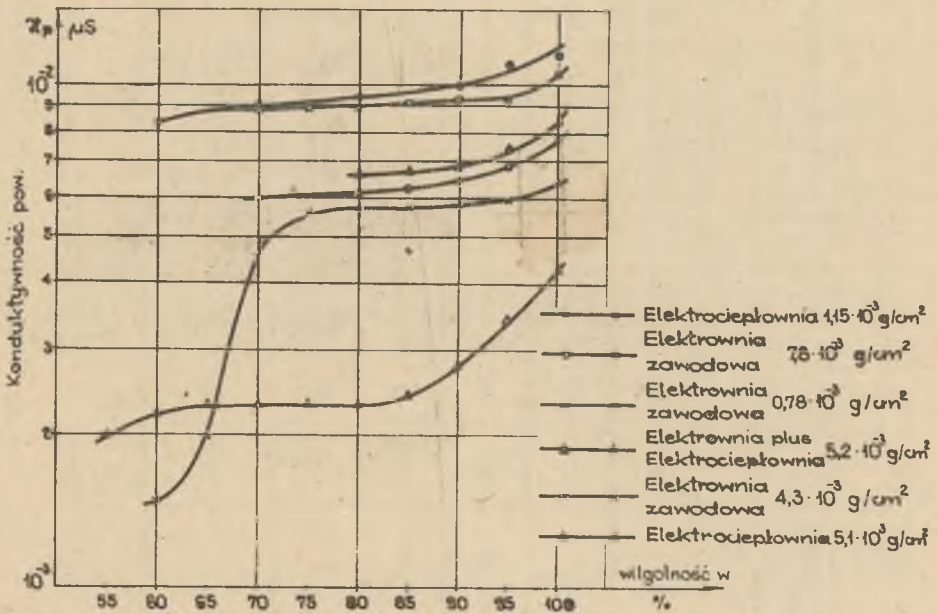
gdzie:

- L_u - droga upływu prądu równa odstępowi elektrod, $a = 10$ mm,
- b - długość elektrod pomiarowych, $b = 20$ mm.

Zatem konduktywność powierzchniowa κ_p warstwy zabrudzeniowej wynosi:

$$\kappa_p = \frac{r}{R} = \frac{L_u I_u}{b U} = \frac{I a}{b U} \left[S \frac{m}{m} \right] \quad (4)$$

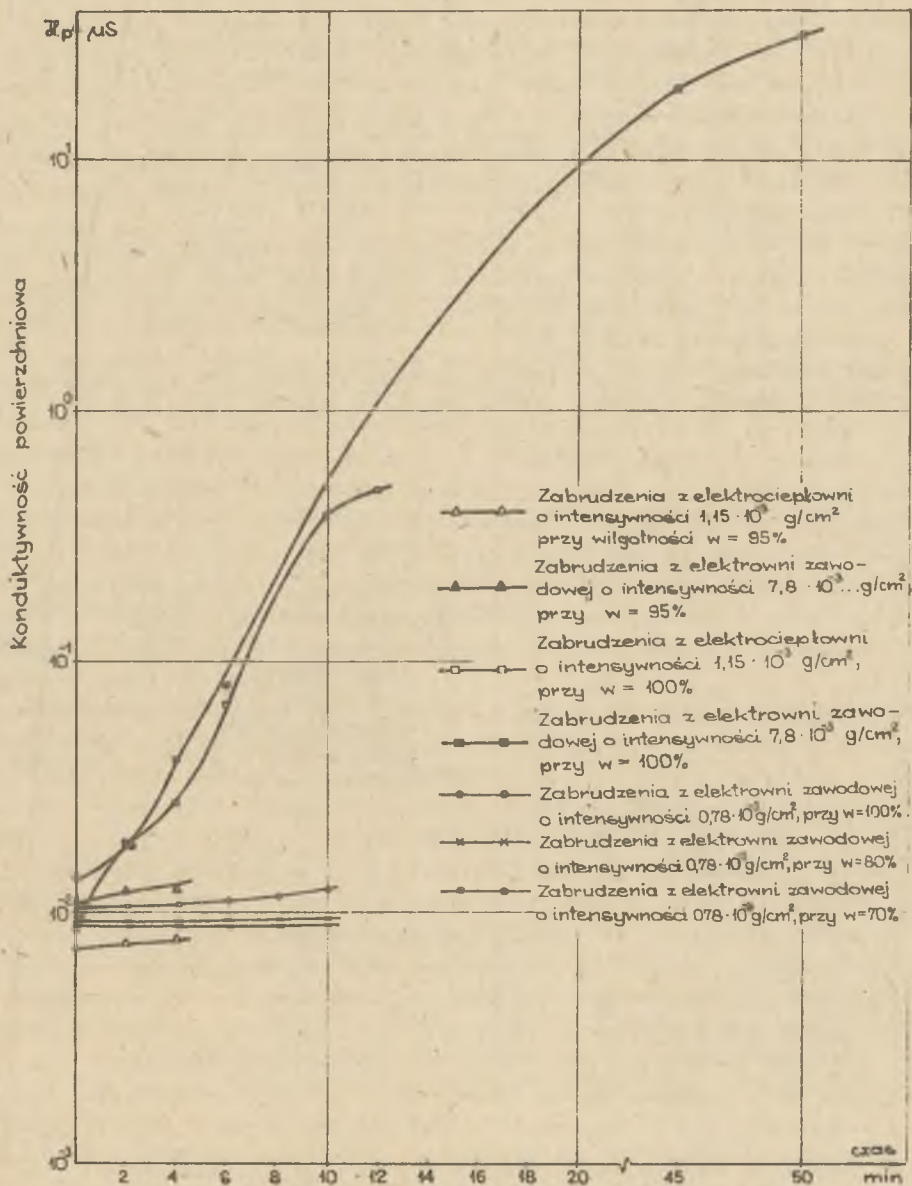
Wilgotność powietrza otaczającego obiekt badany zmierzono w zakresie od wartości aktualnej w laboratorium do 100%. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1 i przedstawiono wykreślnie na rys. 3. Warstwa zabrudzeniowa w za-



Rys. 3. Zależność zmian konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeń w funkcji wilgotności powietrza otaczającego przy $t = const$

Tablica 1

Źródło za- brudzenia	Intensyw- ność $\frac{g}{cm^2}$ $\times 10^{-3}$	b mm Hg	t °C	U V	Konduktywność warstwy zabrudzeniowej $\kappa_p \times 10^{-3} \frac{\mu S}{cm}$										
					wilgotność %										
					55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Elektro- ocieplownia	1,15	753	17,5	100			9,0			9,5			10,0	11,1	12,0
				200			2,3			12			12,7	13,0	13,2
Elektro- ocieplownia	5,1	750	18	100						6,7	6,7	6,8	7,5	8,5	
				200						4,3	4,3	4,5	10,5	12,0	
Elektrow- nia za- wodowa	0,78	756	16	100	8,5		9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,3	9,5	10,5	10,5
				200	10,8		11,0	11,3	11,3	11,3	11,3	9,3	11,5	11,8	12,5
--	4,3	758	18	100	1,5	2,0	4,5	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8	5,9	6,4	
				200	1,5	1,8	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	4,0	4,5	6,3	
--	7,8	756	18	100						6,1	6,2	6,5	6,9	7,9	
				200						3,9	4,9	4,1	4,5	6,1	
Elektro- ocieplownia + elek- trownia zawodowa	5,2	765	16	100	2,0	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,8	3,5	4,3
				200	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,4	3,3	3,7

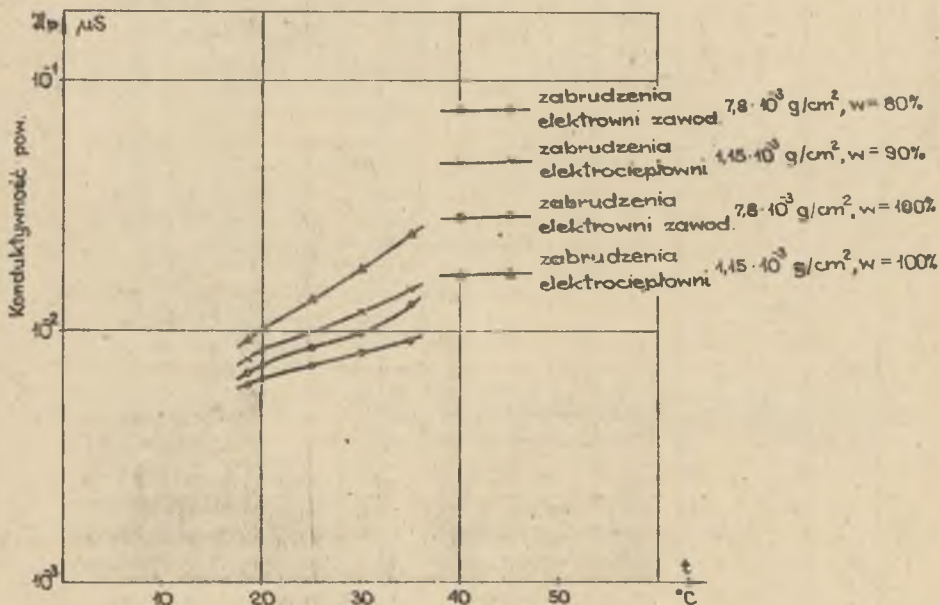


Rys. 4. Zmiany konduktywności powierzchniowej zabrudzeń wraz ze zmianą czasu oddziaływania otoczenia o zadanej wilgotności

leżności od rodzaju zabrudzeń i grubości posiada różną zdolność absorpcji wilgotności zawartej w powietrzu otaczającym oraz różną szybkość rozkładu cząstek rozpuszczalnych w wodzie. Przynajmniej pomiary konduktywności powierzchniowej wykonane bezpośrednio po osiągnięciu przez powietrze określonej wilgotności są obciążone znacznym błędem w stosunku do wartości uzyskiwanych w warunkach eksploatacyjnych przy danej wilgotności powietrza. Celem sprawdzenia tej zależności wykonano pomiary konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeń przy określonej wilgotności w funkcji czasu. Zależność tę przedstawiono wykreślnie na rys. 4.

Wpływ temperatury otaczającego powietrza na konduktywność powierzchniową warstwy zabrudzeń jest uzależniony od wilgotności powietrza. Wzrost temperatury warstwy zabrudzeń przyspiesza proces rozkładu cząstek zabrudzeń rozpuszczalnych w wodzie [2].

Wyniki pomiarów zmian konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeń w funkcji temperatury powietrza otaczającego przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Zależność konduktywności powierzchniowej σ_p od temperatury powietrza otaczającego przy $w = \text{const}$

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

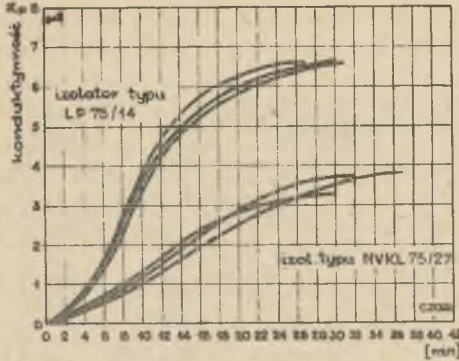
Pomiary konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeń w funkcji wilgotności powietrza otaczającego przy stałej temperaturze (rys. 3) wskazują na znaczne różnice konduktywności powierzchniowej początkowej (przy krótkim czasie oddziaływania otoczenia) warstw o różnej grubości. Również funkcja opisująca zmiany konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeniowej zmienia się wraz z grubością i rodzajem zabrudzeń. Warstwy o małej grubości bardzo szybko reagują na zmianę wilgotności powietrza otaczającego. Wartość konduktywności powierzchniowej dla warstw o małej grubości przy krótkim czasie oddziaływania wilgotności powietrza od 60-100% jest większa w porównaniu z konduktywnością warstwy o dużej grubości.

W przypadku zabrudzeń, których źródłem była elektrownia zawodowa i dla dużej grubości warstwy największy przyrost konduktywności powierzchniowej miał miejsce przy zmianie wilgotności względnej powietrza otaczającego w zakresie 60% do 75%. W zakresie zmian wilgotności powietrza od 75% do 90% ma miejsce pewny wzrost konduktywności powierzchniowej. Natomiast przy wilgotności powietrza powyżej 90% obserwowano szybki wzrost konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzeń. Badanie wpływu czasu oddziaływania powietrza zawilgoconego na konduktywność powierzchniową warstwy zabrudzeń (rys. 4) wykazały, że przy małej grubości warstwy $0,78 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$ i wilgotności powietrza 70% do 90% ma miejsce bardzo nieznaczny wzrost konduktywności warstwy zabrudzeniowej.

Ze wzrostem wilgotności powietrza otaczającego dla warstwy o małej grubości ($0,78-1,15 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$) zauważyć można wyraźny, lecz niewielki wzrost konduktywności warstwy zabrudzeniowej.

Dla wilgotności względnej powietrza otaczającego 95-100% wpływ czasu oddziaływania otoczenia na konduktywność warstwy zabrudzeń jest bardzo duży. Dla małej grubości warstwy ($1,15 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$) i wilgotności powietrza otaczającego 100% w czasie 10 min oddziaływania otoczenia na warstwę zabrudzeń konduktywność powierzchniowa wzrasta o ok. 1,5 rzędu wielkości. Przy czasach większych od 10 min oddziaływania otoczenia konduktywność powierzchniowa rośnie coraz wolniej. Natomiast dla warstwy zabrudzeniowej o dużej grubości $7,8 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$ i wilgotności powietrza otaczającego 100% szybki równomierny przyrost konduktywności powierzchniowej następował w czasie ok. 30 min. Przy czasie powyżej 30 min ma miejsce malejący przyrost konduktywności warstwy. Badania wpływu temperatury i wilgotności przy krótkim czasie oddziaływania powietrza otaczającego na konduktywność powierzchniową warstwy zabrudzeniowej o małej ($1,15 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$) i dużej ($7,8 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$) grubości warstwy wykazały wzrost konduktywności powierzchniowej (rys. 5). Wpływ temperatury powietrza otaczającego jest tym znaczniejszy, im większa jest wilgotność powietrza i grubość warstwy zabrudzeń.

W pracy [3] badano zależność konduktywności powierzchniowej izolatorów w.n. w funkcji czasu próby sztucznej warstwy zabrudzeń wykonanej z ziemi



Rys. 6. Zależność konduktywności powierzchniowej izolatorów zabrudzonych równomierną warstwą stałą w funkcji czasu oddziaływania powietrza zawilgoconego [3]

wej w funkcji wzrostu wilgotności i temperatury jest uzależniony od rodzaju i grubości zabrudzeń. Wpływ czasu oddziaływania otoczenia na konduktywność warstwy zabrudzeniowej jest pomijalnie mały dla warstw o małej grubości (od $1,15 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^2$) przy wilgotności do 90%. Przy większej grubości warstwy i wilgotności powietrza otaczającego, obserwuje się bardzo wyraźny wpływ czasu oddziaływania otoczenia na konduktywność warstwy zabrudzeniowej.

LITERATURA

- [1] Kałużny A., Stępniewski T.: Badanie elektrycznych własności zabrudzeń urządzeń elektroenergetycznych w stacjach wewnętrznych kV/nm. Praca NB-70/RE-1/79. Instytutu Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej 1979 r.
- [2] Pohl Z., Sojda E.: O niektórych zasadniczych zagadnieniach metodyki prób zabrudzeniowych. Prace Naukowe Instytutu Podst. Elektr. i Elektrotechn. Pol. Wrocławskiej, Nr 4, Wrocław 1971.
- [3] Cron H.: Testing insulators with reproducible foreign layers on their surface. GIGRE. rep. 203, 1956.

Wpłynęło do Redakcji dnia 20.VI.1980 r.

Recenzent:

Doc. dr inż. Jerzy Saferna

okrzemkowej przy wilgotności powietrza otaczającego 100% i stałej temperaturze. Z wyników badań przedstawionych na rys. 6 wynika duże podobieństwo zależności $\mathcal{K}_p = f(\tau)$ z wynikami uzyskanymi dla zabrudzeń, których źródłem była elektrownia zawodowa i elektrociepłownia (rys. 4).

4. PODSUMOWANIE

Warstwa zabrudzeniowa bardzo szybko reaguje na zmianę warunków otoczenia - wilgotność i temperaturę. Wzrost konduktywności powierzchniowej warstwy zabrudzenio-

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ
АКТИВНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ ЗАГРЯЗНЕННОГО СЛОЯ

Резюме

Исследована зависимость поверхностной проводимости загрязненного слоя, образованного слоем, образованного загрязнения из электростанций, в функции толщины слоя, влажности и температуры окружающего воздуха, а также времени воздействия заданных условий окружающей среды.

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENT CONDITIONS
ON THE SURFACE CONDUCTIVITY OF THE POLLUTION LAYER

Summary

The paper analyses the dependence of the surface conductivity of the pollution layer formed of power plant dirt as a function of layer thickness, humidity and the surrounding air temperature and the reaction time of the given environment conditions.