

Pomiary zmian rezystywności w czasie substancji poprawiających parametry elektryczne uziemienia

Measuring changes in time of resistivity of substances improving grounding electrical parameters

Konrad SOBOLEWSKI

Miejsce pracy: Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej

Streszczenie: Poniższy artykuł przedstawia metodykę badań substancji poprawiających rezystywność gruntu oraz uzyskane w ich trakcie wyniki. Badania dotyczyły testów pięciu różnych materiałów, przygotowaniu ich zgodnie z zaleceniami producenta, a następnie wykonaniu długoterminowych pomiarów rezystywności. Uzyskane wyniki zostały omówione, porównane, a na ich podstawie wyciągnięto wnioski.

Summary: The following article presents the methodology for long term measuring resistivity of substances improving electrical parameters of groundings and the results obtained during them. The research involved testing five different materials, preparing them according to the manufacturer's instructions, and then performing long-term resistivity measurements. The obtained results were discussed, compared and final conclusions were drawn.

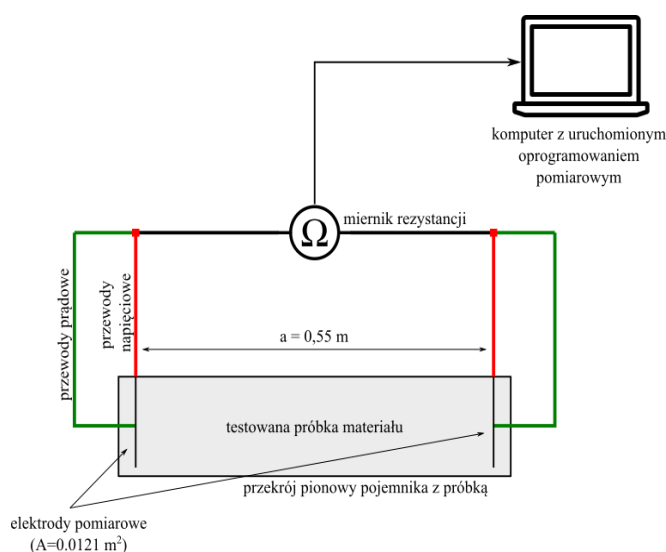
1 Wprowadzenie

Materiały poprawiające parametry elektryczne uziomów używane są coraz częściej w sytuacjach, w których problemem jest osiągnięcie zakładanej wartości rezystancji uziemienia. Powodem jest coraz większy wybór tego rodzaju produktów na rynku, coraz mniejsza cena, ale również rosnące wymagania w kierunku jak najmniejszych wartości rezystancji uziemienia. Jednym ze sposobów poprawy tego parametru jest użycie jednej z substancji poprawiającej parametry uziemienia. Zwrot „poprawiającej” należy w tym przypadku interpretować jako utworzenie warstwy przewodzącego materiału o bardzo małej rezystywności bezpośrednio wokół metalowego uziomu. O ile użycie tego rodzaju substancji nie jest zadaniem skomplikowanym, o tyle przeprowadzenie obliczeń dokumentujących spodziewaną poprawę sytuacji jest zadaniem trudnym do wykonania. W ostatnim czasie pojawiły się propozycje metod obliczania takich konfiguracji [1], niemniej w każdym z przypadków niezbędna jest informacja o wartości rezystywności tak utworzonej warstwy gruntu. Ponieważ rezystywność ziemi, a zapewne takich materiałów jak niżej badane również, zmieniają się w zależności od warunków atmosferycznych [2], stąd problemem jest również jaką jej wartość należy przyjąć do obliczeń. Producenci każdego z badanych materiałów deklarują pewne dane, niemniej można się spodziewać, że będą się one zmieniały w czasie, choćby ze względu na zmiany warunków środowiskowych. Innym powodem mogą być w pierwszych dniach również własne zmiany strukturalne wynikające z uzyskiwania ostatecznej postaci materiału.

2 Metodyka pomiarów

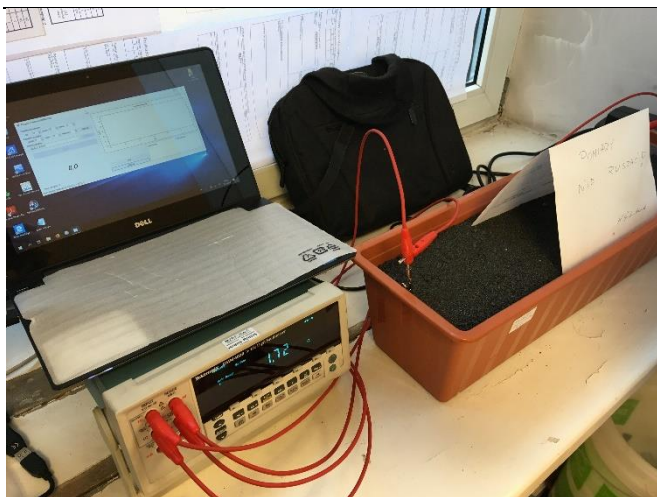
Użyta w pomiarach metodyka została oparta o wymagania opisane w normie PN-EN IEC 62561-7:2018-04 [3]. Do pomiaru rezystywności wykorzystana została metoda czteroelektrodowa zgodnie ze standardem ASTM G57-06 [4] opisującym tego rodzaju pomiary. Schemat połączeń układu pomiarowego przedstawiony jest na **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**

czteroelektrodowa zgodnie ze standardem ASTM G57-06 [4] opisującym tego rodzaju pomiary. Schemat połączeń układu pomiarowego przedstawiony jest na **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**



Rys. 1 Schemat połączeń układu pomiarowego.

Każdorazowo próbka badanego materiału pobierana była ze standardowego opakowania dostępnego w handlu i przygotowywana zgodnie z wytycznymi danego producenta. Po jego przygotowaniu, czyli np. zmieszaniu w odpowiednich proporcjach z wodą, materiał umieszczany był w plastikowym pojemniku, w którym następnie mocowane były płaskie elektrody pomiarowe, każda o powierzchni $S=0,121 \text{ m}^2$ umieszczone w odległości $a=0,55 \text{ m}$ od siebie. Zdjęcie stanowiska przedstawione jest na **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**



Rys. 2 Zdjęcie stanowiska badawczego.

Użyta w badaniach czteroprzewodowa metoda pomiaru rezystancji jest metodą dedykowaną dla bardzo małych jej wartości. Pomiar polegał na pomiarze spadku napięcia na mierzonym materiale, który powstaje na skutek przepływu prądu. Zmierzona w ten sposób wartość rezystancji materiału była przeliczana na rezystywność materiału zgodnie ze wzorem:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{a} \quad (1)$$

w którym: R - zmierzona wartość rezystancji [Ω], A - pole przekroju materiału, przez który przepływa prąd [m^2], a - odstęp między elektrodami [m], ρ - rezystywność mierzonego materiału [Ωm].

Urządzeniem pomiarowym użytym w trakcie badań był multimetr laboratoryjny Tektronix DMM 4020 połączony przez łącze USB z komputerem, na którym uruchomione zostało autorskie oprogramowanie dedykowane przedmiotowym pomiarom długoterminowym.

3 Testy materiałowe

Testy materiałowe zostały przeprowadzone na próbkach pięciu różnych materiałów, które w praktyce wykorzystywane są do polepszania elektrycznych parametrów uziomu, np. przy problemach z uzyskaniem zakładanej wartości rezystancji uziemienia. W każdym przypadku materiał przygotowywany był zgodnie z zaleceniami producenta, czyli np. mieszany z wodą w odpowiednich proporcjach. Ze względu na nieformalny charakter badań nazwy produktowe zastąpione zostały oznaczeniami symbolicznymi - M_x , gdzie x jest kolejnym numerem próbki.

Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów, a ze względu na fakt używania wody w celu przygotowania próbek materiałów, w celu weryfikacji jej wpływu na rezystywność danego materiału w pierwszej kolejności przeprowadzone zostały dwa testy: dla ziemi kwiatowej zmieszanej z wodą kranową oraz samej wody kranowej.

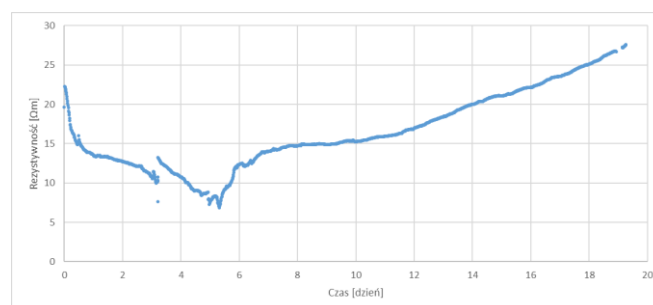
3.1 Ziemia kwiatowa

Test ten został przeprowadzony także w celu sprawdzenia poprawnego działania układu pomiarowego, a dodatkowym elementem była weryfikacja wpływu wody kranowej na mierzoną wartość rezystywności ziemi. Zdjęcie stanowiska przedstawione jest na Rys. 3.



Rys. 3 Stanowisko badawcze - ziemia kwiatowa.

Test ten przeprowadzony został w czasie 20 dni, a uzyskane wyniki przedstawione są na Rys. 4.

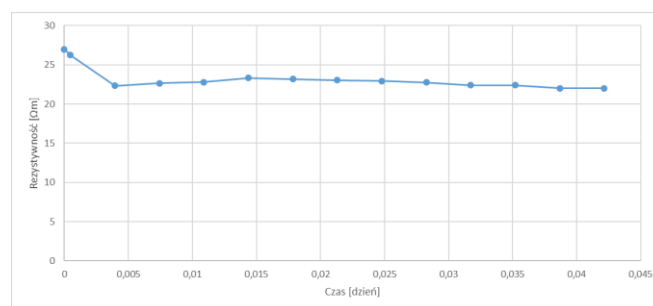


Rys. 4 Wyniki pomiarów rezystywności dla ziemi kwiatowej.

Skrajne wartości zmierzonej rezystywności to $\rho_{\min}=6,875$ [Ωm], $\rho_{\max}=27,586$ [Ωm] oraz $\rho_{sr}=17,230$ [Ωm]. Przez pierwsze pięć dni próbka pozostawała nieruchoma, przez co woda pomału odparowywała, co widać po malejących w tym czasie wynikach. Szóstego dnia została ponownie dodana woda kranowa, co spowodowało wzrost mierzonych rezystywności. Oznacza to, że rezystywność ziemi kwiatowej jest mniejsza niż rezystywność dolewanej wody kranowej. Zatem w kolejnym kroku to ona została poddana pomiarom.

3.2 Woda kranowa

Próba z wodą kranową była relatywnie krótką próbą ze względu na niewielki stopień zmian mierzonych rezystywności. Przedstawione są one na Rys. 5.



Rys. 5 Wyniki pomiaru rezystywności otrzymane dla wody kranowej.

Jak widać z wykresu średnia wartość rezystywności to $\rho_{sr}=24,5$ Ωm . Wartość ta została użyta do weryfikacyjnych obliczeń wykonanych dla ziemi kwiatowej zgodnie z procedurą opisaną w publikacji [1]. Wyniki obliczeń uwzględniających procentową zawartość wody w ziemi potwierdziły prawidłowość przeprowadzanych pomiarów.

3.3 Badania próbki M1

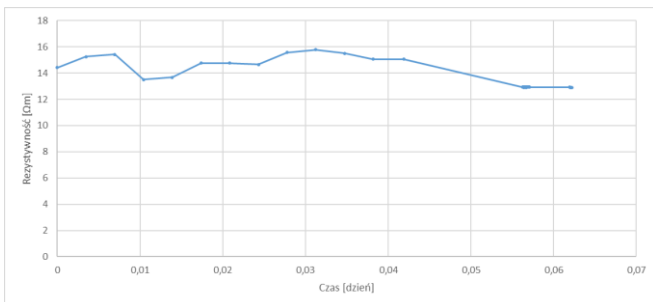
Próbka materiału oznaczonego symbolem M1 została poddana badaniom w dwóch etapach. W pierwszym z nich

zbadana była jako suchy materiał użyty wprost z opakowania. Powodem takiego podejścia były doświadczenia z rzeczywistych przypadków, w których niektórzy wykonawcy używają takich produktów w alternatywny sposób, tj. zasypują przygotowany otwór suchym proszkiem, a dopiero na koniec całość zalewają wodą. Przypadek tego etapu badania przedstawiony jest na Rys. 6.



Rys. 6 Próbkę M1 w czasie badania na sucho.

Uzyskane wyniki przedstawione są na Rys. 7.



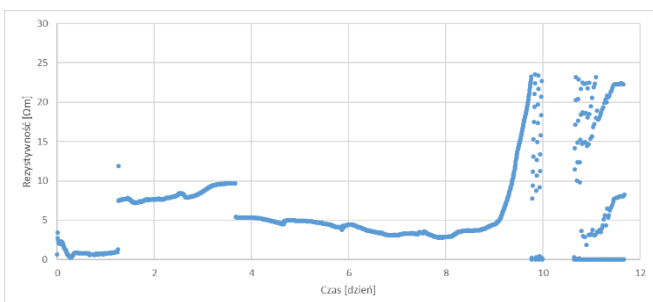
Rys. 7 Wyniki pomiarów rezystywności próbki M1 na sucho.

Uzyskane w badaniach wyniki rezystywności to $\rho_{\max}=15,779$ [Ωm], $\rho_{\min}=12,904$ [Ωm], $\rho_{\text{sr}}=14,342$ [Ωm]. Materiał początkowo, po zmieszaniu z wodą, odznaczał się konsystencją gęstego budyniu, by po kilku dniach stwardnieć do postaci przedstawionej na Rys. 8.



Rys. 8 Próbkę M1 w czasie badania na mokro.

Wyniki uzyskane dla tej próby przedstawione są na Rys. 9.



Rys. 9 Wyniki pomiarów dla próbki M1 w badaniu na mokro.

Jak można zauważyć wartość rezystywności znacząco zmienia swoją wartość w czasie. Przede wszystkim dotyczy to procesu krzepnięcia i powstawania lokalnych spękań utrudniających przepływ prądu (czyli zwiększającego wartość rezystywności). Największe wartości zmierzone w czasie testu to $\rho_{\min}=0,074$ [Ωm], $\rho_{\max}=23,561$ [Ωm] oraz $\rho_{\text{sr}}=11,817$ [Ωm]. Próbkę charakteryzowała się też specyficzną postacią fizyczną przypominającą zastygły beton, który wykazywał cechy niewchłaniania wody - po jej aplikacji ta pozostawała na powierzchni i nie wnikała wgłąb struktury (Rys. 10).



Rys. 10 Próbkę M1 wraz z dodatkiem wody.

Jak można zauważyć ostatnia część charakterystyki wykazuje się bardzo dużą zmiennością wartości, co można tłumaczyć znaczną ilością spękań, w znaczny sposób wpływających na wynik pomiaru.

3.4 Badania próbki M2

Próbka oznaczona symbolem M2 została przygotowana zgodnie z zaleceniami producenta, czyli zmieszana z wodą w określonej ilości, a następnie przelana do plastikowego pojemnika pomiarowego. Jej konsystencja przedstawiona jest na Rys. 11.



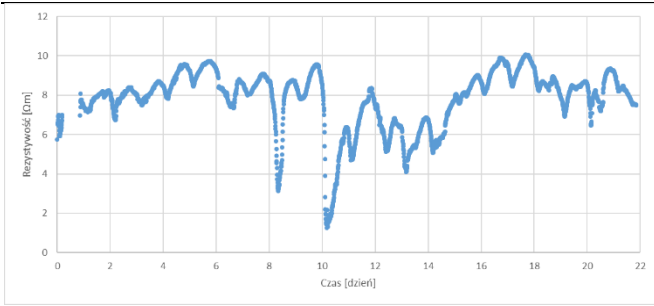
Rys. 11 Próbkę M2 zaraz po przygotowaniu do badań.

W czasie trzech tygodni testów konsystencja próbki uległa zmianie i finalnie przypominała wilgotny piasek (Rys. 12).



Rys. 12 Końcowa postać próbki M2.

Wyniki uzyskanych pomiarów rezystywności przedstawione są na Rys. 13.



Rys. 13 Wyniki pomiarów rezystywności dla próbki M2.

Patrząc na wyniki badań można zauważyć pewną dynamikę zmian wartości rezystywności, w szczególności w 8 i 10 dniu testu. Skrajne wartości zmierzone to $\rho_{\max}=10,058$ [Ωm], $\rho_{\min}=1,246$ [Ωm] oraz $\rho_{\text{sr}}=5,652$ [Ωm].

3.5 Badania próbki M3

Przed rozpoczęciem testu próbka M3 została przygotowana zgodnie z instrukcją producenta i wyglądała jak na Rys. 14.



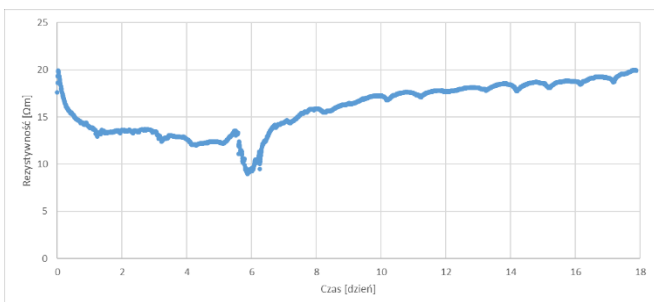
Rys. 14 Próbkę M3 na początku testu.

W krótkim czasie po rozpoczęciu pomiarów można było zaobserwować interesującą cechę tego materiału, mianowicie w odróżnieniu od innych badanych materiałów próbki osiadł na dnie plastikowego pojemnika, zaś użyta w procesie przygotowania woda pozostała powyżej powierzchni materiału. W dalszych dniach woda stopniowo ulegała odparowaniu, przez co w pojemniku pozostawał sam badany materiał (Rys. 15).



Rys. 15 Próbkę M3 na koniec testu.

Uzyskane wyniki badań przedstawione są na **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**



Rys. 16 Wyniki badań dla próbki M3.

Jak można zauważyć w pierwszych dwóch dniach wartość rezystywności zmniejszała się aż do ustabilizowania w ciągu kolejnych kilku dni. Efekt ten można tłumaczyć odparowywaniem wody, przez co większa część prądu pomiarowego płynęła przez badany materiał. Około szóstego dnia zaobserwowano minimalną wartość rezystywności, zaś kolejne dni testu przynosiły sukcesywny wzrost. Skrajne wartości zmierzone w trakcie badania to $\rho_{\max}=19,977$ [Ωm], $\rho_{\min}=8,077$ [Ωm] oraz $\rho_{\text{sr}}=14,477$ [Ωm].

3.6 Badania próbki M4

Próbka M4 została również przygotowana zgodnie z instrukcją producenta, czyli zmieszana z wodą w odpowiedniej proporcji (Rys. 17).



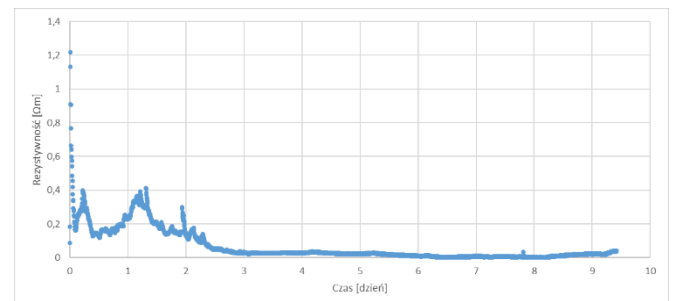
Rys. 17 Próbkę M4 na początku testu.

Po kilkunastu minutach od rozpoczęcia badania materiał opadł na dno i część wody pozostała powyżej powierzchni, ale w czasie kilku dni również i ona odparowała. Końcowa postać próbki na koniec testu przedstawiona jest na Rys. 18.



Rys. 18 Próbkę M4 na koniec testu.

Cały test trwał 9 dni, a uzyskane wyniki przedstawione są na wykresie (Rys. 19).



Rys. 19 Wyniki pomiarów dla próbki M4.

W czasie pierwszych trzech dni wartość rezystywności ulegała powolnej stabilizacji, po czym do końca testu nie odnotowano żadnych większych zmian. Skrajne wartości rezystywności zmierzone w trakcie badania to $\rho_{\max}=1,219$ [Ωm], $\rho_{\min}=1,75\text{e-}4$ [Ωm] oraz $\rho_{\text{sr}}=0,610$ [Ωm]. Wyjaśnieniem tego zjawiska może być fakt, iż materiał ten

jest bardzo zwiezły, a jego wysuszenie nie powoduje powstawania wewnętrznych spękań.

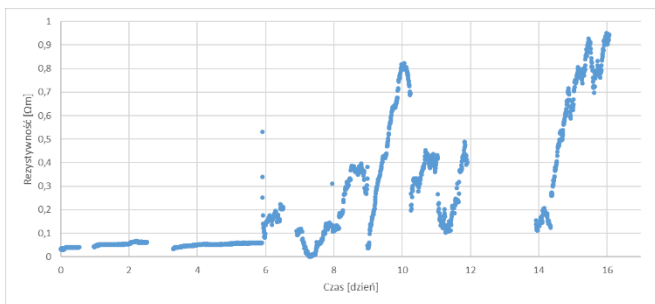
3.7 Badania próbki M5

Ostatnią badaną próbką była próbka oznaczona symbolem M5. Nieco różniła się ona od wcześniejszych tym, że producent wskazuje jej użycie bezpośrednio z opakowania, bez mieszania z wodą. Jej wygląd przedstawiony jest na Rys. 20.



Rys. 20 Próbką M5 w czasie testu.

Ponieważ w rzeczywistych warunkach materiał taki może zostać zmieszany z wodą stąd w szóstym dniu została ona dodana do próbki. Uległa ona wsiąknięciu w materiał, co zauważalnie zwiększyło rezystywność próbki (Rys. 21).



Rys. 21 Wyniki pomiarów dla próbki M5.

Od tego momentu rezystywność próbki ulegała wzrostowi, niemniej po lekkim potrząsaniu pudełkiem odczyty zauważalnie ulegały zmniejszeniu, ale nadal z tendencją wzrostową w następnym dniu. Skrajne zarejestrowane wartości to $\rho_{\max}=8,73e-4$ [Ωm], $\rho_{\min}=1,75e-4$ [Ωm] oraz $\rho_{sr}=0,029$ [Ωm].

4 Porównanie uzyskanych wyników

Wszystkie uzyskane w czasie badań wyniki zostały przedstawione w zbiorczej tabeli poniżej (Tabela 1).

Tabela 1 Porównanie wyników pomiarów dla wszystkich badanych próbek.

Próbka	Max [Ωm]	Min [Ωm]	Średnia [Ωm]
Ziemia kwiatowa	27,586	6,875	17,230
Woda	26,991	22,010	24,501

Próbka M1 (sucha)	15,779	12,904	14,342
Próbka M1 (mokra)	23,561	0,074	11,817
Próbka M2	10,058	1,246	5,652
Próbka M3	19,977	8,977	14,477
Próbka M4	1,219	1,75e-4	0,610
Próbka M5	0,951	8,73e-4	0,029

Jak można zauważyć w powyższym zestawieniu wartości rezystywności poszczególnych próbek są bardzo różne, co wynika bezpośrednio z użytych do ich produkcji materiałów. W niektórych przypadkach są one również różne od wartości deklarowanych przez producenta. Wartości te zmieniały się również w funkcji czasu, co może powodować problem przy obliczeniach spodziewanej wartości rezystancji uziomu wspomaganego tego rodzaju materiałem. Dodatkową wątpliwość może powodować kwestia jak obliczać spodziewaną wartość rezystancji uziemienia, w którego skład wchodzi tego rodzaju środki poprawiające parametry elektryczne gruntu. Jedną z proponowanych metod opisana jest w niniejszej publikacji [1].

5 Wnioski

Po przeprowadzeniu serii testów można z uzyskanych wyników wyciągnąć następujące wnioski.

1. Rzeczywista wartość rezystywności tego rodzaju materiałów często jest różna od tej, jaką deklaruje producent. Powodem takiego stanu rzeczy mogą być różne warunki przeprowadzania testów.
2. Istnieją znaczące różnice w wartościach rezystywności pomiędzy poszczególnymi próbkami. Z tego względu analizując możliwość użycia tego rodzaju materiałów celem polepszenia parametrów elektrycznych uziomu, powinien to być jeden z istotniejszych elementów tejże analizy.
3. Zmiana wartości rezystancji w czasie wraz ze zmianą stanu materiału ulega zmianie. W większości przypadków materiał przed zastosowaniem wymagał zmieszania z wodą. Jak pokazały badania woda odznacza się większą wartością rezystywności niż badane materiały, co skutkuje wzrostem rezystywności tak utworzonej mieszaniny. Fakt ten ma duże znaczenie przy wykonywaniu pomiarów odbiorczych - należało by je przeprowadzać po pewnym czasie wynikającym z czasu wiązania materiału.
4. Rezystywność zmienia się proporcjonalnie do wilgotności środowiska: im większa wilgotność, tym większa rezystancja.
5. Istotną kwestią jest jaką wartość rezystywności należy wziąć pod uwagę przy obliczeniach spodziewanej wartości rezystancji uziomu: maksymalną, minimalną, średnią czy otrzymaną po określonym czasie.
6. Obserwowana zmiana wartości rezystywności w niektórych przypadkach była znacząca, co przekłada się na znaczące rozbieżności w uzyskiwanych wartościach rezystancji uziemienia, a co będzie przedmiotem jednego z kolejnych artykułów.
7. Ponieważ uziemienia pełnią także rolę rozpraszania w gruncie prądu piorunowego stąd wskazane są dalsze

badania w kierunku odporności na duże prądy udarowe, wysoką temperaturę, wyładowania niezupełnie oraz uszkodzenia mechaniczne.

Literatura

1. Sobolewski K. *Numeric and measurement analysis of earthing resistance in layered soil including GEM material*, 2018 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)
2. Wołkowiński K. *Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych*, WNT Warszawa 1967
3. PN-EN IEC 62561-7:2018-04 *Elementy urządzenia piorunochronnego (LPCS) - Część 7: Wymagania dotyczące substancji poprawiających jakość uziemień.*
4. ASTM G57-06 *Standard test method for field measurement of soil resistivity using the Wenner four-electrode method.*



ZAPROSZENIE

INVITATION

ENERGETAB

15 - 17 Września September 2020

Bielsko-Biała al. Armii Krajowej 220

Hala Hall

L1

Stoisko
Stand no.

7

Spotkajmy się na Podbeskidziu podczas 33. Edycji Międzynarodowych Targów Bielskich ENERGETAB 2020! Na stoisku zaprezentujemy urządzenia, które produkujemy dla elektroenergetyki, a wszelkich informacji dotyczących oferty ZPUE S.A. udzieli Państwu nasi eksperci.

Let's meet in Podbeskidzie at the foot of Beskidy mountains for the 33rd International Bielsko Fair ENERGETAB 2020! At our booth we are going to present the equipment we manufacture for power industry sector and our experts will provide you with all the information concerning ZPUE S.A. offer.



Informujemy, że z uwagi na obecną sytuację epidemiczną, konieczna będzie wcześniejsza rejestracja na stronie internetowej organizatora targów (ZIAD). Jak wynika z dotychczasowych zapewnień, w połowie sierpnia zostanie tam opublikowany link do rejestracji uczestnictwa. Zapewniamy, że dołożymy wszelkich starań, aby Państwa wizyta na naszym stoisku była komfortowa i bezpieczna.

Please be advised that due to the current epidemic situation, prior registration on the website of the fair organizer (ZIAD) will be necessary. According to previous assurances, a link to registration for participation will be published there in mid-August. We assure you that we will make every effort to ensure that your visit in our stand is comfortable and safe.