

Marcin Chrzan, Szymon Moszyński, Daniel Pietruszczak

# Pomiary pomontażowe urządzeń i sieci elektroenergetycznych średniego napięcia SN

JEL: L94 DOI: 10.24136/atest.2018.411

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono analizę pomiarów pomontażowych urządzeń i sieci elektroenergetycznych średniego napięcia SN. Przedstawiono je na przykładach urządzeń przesyłowo-rozdziałowych występujących w różnych zakładach przemysłowo-wytwórczych w Polsce.

**Słowa kluczowe:** pomiary pomontażowe, przekładnik prądowy, sieć elektroenergetyczna, sieć średniego napięcia SN, wyłącznik średniego napięcia SN.

## Wstęp

W Polsce sieć elektroenergetyczna średniego napięcia SN jest jednym z elementów w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) [47] oraz [48]. Instalacje elektryczne SN oraz wszelkiego rodzaju urządzenia powiązane z tą siecią są obecnie nieodłącznym elementem prawidłowego funkcjonowania zakładów przemysłowych, obiektów budowlanych, jak również zwykłych budynków użyteczności mieszkalnej oraz publicznej. Poprawny stan techniczny ww. przyrządów jest bardzo ważny pod względem zachowania bezpieczeństwa życia i zdrowia ludzi, mienia oraz środowiska. Z tych powodów wymagany jest odpowiedni nadzór nad ich prawidłową eksploatacją oraz czynności dopuszczające dane urządzenia do eksploatacji, do czego zobowiązują przepisy prawa. Do takich czynności są zobligowani przede wszystkim właściciele, zarządcy danych obiektów, firmy wykonawcze, a także organy państwowe (nadzór budowlany, inspekcja pracy, straż pożarna).

Kontrola stanu technicznego urządzeń jest realizowana poprzez [14]:

- badania pomontażowe odbiorcze (realizowane po zamontowaniu i podłączeniu urządzenia, przed pierwszym oddaniem do eksploatacji);
- badania okresowe (są to badania sprawdzające aktualne parametry urządzenia po określonym okresie użytkowania);
- badania na żądanie (badania przeprowadzane w razie podejrzenia zaniedbań zasad bezpieczeństwa lub nagłej awarii urządzenia).

Pomiary pomontażowe wykonujemy na nowo zainstalowanych lub modernizowanych urządzeniach, po zakończeniu robót. Uzyskujemy w ten sposób dane o stanie technicznym badanego urządzenia elektrycznego. Dobry stan techniczny urządzeń, które będą zmontowane i w przyszłości eksploatowane, jest gwarancją bezawaryjnej, bezprzerwowej i bezpiecznej pracy. Zakres tych badań jest zazwyczaj szerszy niż badań okresowych i ma nam dać odpowiedź na pytania, czy:

- urządzenie zostało prawidłowo dobrane przez projektanta;
- zamontowano zgodnie z dokumentacją
- urządzenia nie są uszkodzone;
- ustawiono właściwe nastawy zabezpieczeń;
- czy jest zachowana ochrona przeciwporażeniowa podstawowa na obudowach urządzeń;
- sprawdzono funkcjonalnie działanie urządzenia;

- sygnalizacja działa poprawnie i czy sygnalizuje konkretne stany urządzeń;
- spełniono wszystkie warunki postawione w dokumentacjach technicznych, tak aby obwody elektryczne mogły być bezpiecznie eksploatowane.

Pomiary okresowe urządzeń już eksploatowanych służą do oceny bieżącego stanu technicznego w zakresie ich niezawodności i bezpieczeństwa pracy. Wyniki pomiarów przedstawione w odpowiednich raportach i protokołach decydują czy urządzenie będzie dalej eksploatowane, czy też będą podejmowane prace związane z ich naprawą, generalnym remontem lub wymianą na nowe [36].

Ważną kwestią jest również, kto może wykonywać pomiary elektryczne. Pracę pomiarową, zwłaszcza wykonywaną pod napięciem mogą nieść za sobą zagrożenia zarówno dla osób wykonujących pomiary, jak i osób postronnych. Z racji swojego charakteru i sposobu wykonywania, pomiary powinny być wykonywane przez co najmniej dwie osoby. Zarządzenie to jest spowodowane faktem, iż są to prace zaliczane do prac w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego. Dlatego, prace kontrolno-pomiarowe powinny być przeprowadzane przez osoby posiadające odpowiednie wykształcenie techniczne, doświadczenie zawodowe oraz, co najważniejsze, posiadać aktualne świadectwa kwalifikacyjne w zakresie pomiarowo-kontrolnym, upoważniające do wykonywania pomiarów pomontażowych i okresowych [29]. Ustawa Prawo Energetyczne art. 54 stanowi, że „Osoby zajmujące się eksploatacją sieci oraz urządzeń i instalacji określonych w przepisach, o których mowa w ust. 6, obowiązane są posiadać kwalifikacje potwierdzone świadectwem wydanym przez komisje kwalifikacyjne” [24]. Sprawdzenie spełnienia wymagań kwalifikacyjnych jest powtarzane co pięć lat. Komisje kwalifikacyjne zostały powołane przez odpowiednie organy państwowe, a mianowicie przez prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (URE). Najpopularniejszym i najbardziej znanym organem wydającym uprawnienia jest Stowarzyszenie Elektryków Polskich (SEP).

Osoba wykonująca pomiary może korzystać z osoby nie posiadającej aktualnego zaświadczenia kwalifikacyjnego, lecz musi być ona przeszkolona z zasad bezpiecznej pracy przy urządzeniach elektrycznych oraz znać sposoby udzielania pierwszej pomocy w razie przypadku porażenia prądem. Protokół z badań pomontażowych musi zostać podpisany przez wykonującego pomiary oraz zatwierdzony przez osobę, posiadającą aktualne świadectwo eksploatacji w zakresie dozoru.

Zgodnie z aktualnymi normami, wyróżniamy następujące pojęcia, charakteryzujące pomiary pomontażowe i okresowe [2]:

- sprawdzenie – czynności, za pomocą których możemy określić czy instalacja bądź urządzenie spełnia warunki określone w normach;
- oględziny – kontrola techniczna urządzeń za pomocą wszystkich ludzkich zmysłów (wzrok, słuch, węch, dotyk). Podczas oględzin nie wykorzystujemy żadnego sprzętu do kontroli stanu instalacji elektrycznej (tester napięcia, multimetrów);
- próba – kontrola techniczna urządzeń za pomocą sprzętu pomiarowego (m.in. multimetrów), za pomocą których możemy

określić aktualny stan techniczny badanego urządzenia i wartości niewykrywalnych podczas oględzin;

- protokolowanie – odczytanie i zapisanie wyników pomiarów podczas prób i oględzin;
- konserwacja – suma wszystkich działań i czynności technicznych i administracyjnych, wraz z nadzorem, mające na celu utrzymanie urządzeń w stanie zadowalającym i zgodnym z aktualnymi normami lub przywrócenie ich do tego stanu.

Osoby odpowiedzialne za projektowanie, budowę oraz eksploatację instalacji, urządzeń i sieci elektroenergetycznych oprócz wiedzy i doświadczenia z dziedziny elektrotechniki mają obowiązek znać przepisy prawa oraz reguły technicznych, określonych w normach. Normy są uporządkowanymi, powszechnie dostępnymi, stworzonymi w sposób przejrzysty, zatwierdzonymi i wydanymi przez upoważnioną jednostkę organizacyjną dokumentami, które w jasny i klarowny sposób kształtują dziedzinę elektrotechniki, w każdym zakresie jej funkcjonowania.

Najważniejsze przepisy prawne związane z elektroenergetyką są uregulowane w następujących rozporządzeniach i normach [34]:

- ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo Budowlane [Dz.U.2013.1409] określa podstawowe wymagania odnoszące się do budowy, eksploatacji urządzeń elektrycznych, instalacji piorunochronnych oraz instalacji elektrycznych;
- ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo Energetyczne [Dz.U.2012.1059] zawiera informacje prawne m.in. na temat kształtowania polityki energetycznej państwa, zasady zaopatrywania i użytkowania energii elektrycznej, paliw, działalności najważniejszych przedsiębiorstw energetycznych oraz organów zarządzających paliwami i energią. Produkcja, projektowanie, import, eksport, budowa, eksploatacja urządzeń i sieci elektroenergetycznych powinny być przeprowadzane w sposób racjonalny i oszczędny przy zachowaniu niezawodności dostaw energii elektrycznej, bezpieczeństwa otoczenia i obsługi przy spełnieniu wymagań ochrony środowiska oraz zgodności z najważniejszymi normami i przepisami prawnymi;
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U.10.239.1597] mówi m.in. o tym, jakie elementy powinny zawierać instalacje i sieci elektroenergetyczne oraz ich fizyczne umiejscowienie w zakładanych miejscach;
- rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych [Dz.U.2013.492] zawiera wymagania dotyczące bezpiecznej pracy przy urządzeniach i sieciach elektroenergetycznych, oraz rodzaje prac i zagrożeń wynikających z wykonywania robót elektrycznych;
- rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 kwietnia 2003 r., w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci [Dz.U.03.89.828] określa rodzaje prac, stanowiska, urządzenia, instalacje i sieci elektroenergetyczne, których eksploatacja musi być wykonywana przez osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje oraz informacje dotyczące postępowania kwalifikacyjnego i świadectw kwalifikacyjnych;
- ustawa z 11 maja 2001 r. – Prawo o miarach, zapewnia ona jednolitość miar i wymaganą dokładność pomiarów wielkości fizycznych na terenie Rzeczypospolitej Polskiej. Reguluje zagadnienia związane ze wszystkimi legalnymi jednostkami miar, ich wzorców oraz kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych;
- polska norma PN-E-04700 - Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych z dnia lutego 1998 „zawiera wy-

magania techniczne dotyczące wykonywania pomontażowych badań odbiorczych urządzeń i układów urządzeń o napięciu znamionowym wyższym niż 1kV, o napięciu znamionowym do 1kV oraz pomontażowych badań odbiorczych urządzeń i układów obwodów pomocniczych” [19];

- normy PN-HD - serii 60364 - Instalacje elektryczne niskiego napięcia, zawierają wszystkie wytyczne dotyczące eksploatacji, pomiarów pomontażowych, odbiorczych urządzeń i instalacji elektrycznych do 1kV. Jest to norma znowelizowana na podstawie starszej, wieloarkuszowej normy z serii PN-IEC-60364 będącej ścisłym odpowiednikiem międzynarodowej normy IEC. Pomiary odbiorcze i eksploatacyjne powinny być wykonywane według następujących wytycznych:

- prawidłowy pomiar powinien być wykonany w warunkach identycznych lub zbliżonych do warunków normalnej pracy urządzeń;
- należy sprawdzić prawidłowość działania przyrządów pomiarowych i sprawdzić czy wartość zmierzona oddaje wartość rzeczywistą,
- sprawdzić i zapoznać się z dokumentacją techniczną badanego urządzenia w celu ustalenia prawidłowej metody wykonania pomiaru;
- przed przystąpieniem do pomiarów zaleca się dokonać oględzin badanego urządzenia w celu stwierdzenia jego kompletności, prawidłowości w oznakowaniu, braku usterek oraz sprawdzenia stanu ochrony podstawowej, urządzeń ochronnych i poprawności wszystkich połączeń;
- należy ustalić poprawną metodę pomiarów;
- upewnić się czy badane urządzenie bądź instalacja jest pozbawiona napięcia, chyba, że pomiar musi być wykonywany pod napięciem. Wtedy zaleca się nie dotykać bez potrzeby części czynnych i przewodzących oraz zachowywać bezpieczną odległość od badanego urządzenia;
- po skończonych pomiarach należy pamiętać, że niektóre urządzenia charakteryzuje duża pojemność i mogą zagrażać porażeniem, nawet po wyłączeniu napięcia. Zaleca się wtedy rozładowanie potencjału do ziemi poprzez krótkotrwałe przyłączenie części czynnych i przewodzących do m.in. przewodu ochronnego PE lub ochronno-neutralnego PEN.

Metoda wykonania pomiaru wybierana przez osobę wykonującą pomiar powinna być najprostsza, zapewniająca osiągnięcie zakładanego rezultatu i mająca największą dokładność przy bezpośrednim dokonywaniu pomiaru. Musi zapewniać wiarygodność ich przeprowadzania poprzez: metodykę, wzorce, kwalifikacje osób wykonujących badania oraz protokoły, potwierdzające zgodność wyników z istniejącymi normami [5]. Niezastosowanie się do powyższych uwag lub nieuwzględnienie warunków atmosferycznych, które również mogą wpłynąć niekorzystnie mogą zafałszować wyniki pomiarów, a co za tym idzie - wzrasta potencjalne zagrożenie dla życia ludzkiego lub prawdopodobieństwo awarii nowo odebranych urządzeń elektrycznych.

Wartości zmierzone podczas pomiarów niestety nie oddają rzeczywistości w stu procentach. Dokładność pomiarów zależy przede wszystkim od klasy dokładności użytych przyrządów, doboru właściwej metody pomiarowej, parametrów urządzenia oraz uwarunkowań wynikających ze specyfiki badanego obiektu. Pomiar powinien być wykonany z jak największą dokładnością, z zalecanym uchybem pomiaru >20% [13]. Według normy PN-E-04700, odnoszącej się do wytycznych przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych „błąd pomiaru nie powinien być większy niż 5%, jeśli w wymaganiach szczegółowych zawartych w innych punktach normy nie ustalono inaczej, bądź nie wymagają mniejszego błędu inne normy i dokumenty” [19]. Należy zatem przyjąć bardziej restrykcyjne wyma-

gania, zwłaszcza jeśli dotyczy to konkretnych urządzeń, wymienionych w normie.

Po wykonanych pomiarach odbiorczo-okresowych, osoba wykonująca pomiary powinna wystawić protokół z badań, zatwierdzony przez osobę z odpowiednimi uprawnieniami. Jest to świadectwo potwierdzające zdolność urządzenia do eksploatacji [4].

Protokół z badań pomontażowych lub okresowych powinien zawierać:

- nazwę firmy, która wykonuje pomiary oraz numer protokołu;
- nazwę badanego urządzenia, wszystkie dane znamionowe, rodzaj zasilania, typ sieci;
- umiejscowienie badanego urządzenia, warunki atmosferyczne (jeśli od ich wpływu zależy poprawne działanie urządzenia);
- rodzaj i zakres wykonywanych pomiarów;
- data wykonania pomiarów;
- nazwisko osoby, która wykonuje pomiary oraz jego numer uprawnień;
- spis użytych mierników i przyrządów oraz ich numery seryjne;
- rysunek z zaznaczonymi urządzeniami, które badamy lub inny sposób identyfikacji badanych urządzeń;
- wyniki pomiarów przedstawione liczbowo;
- uwagi, zastrzeżenia i zalecenia wynikające z oględzin i pomiarów, zgodne w wymaganymi normami na które się powołujemy;
- wniosek końcowy, będący ostatecznym podsumowaniem czy badane urządzenie lub instalacja nadaje się do eksploatacji.

Odbiór i podanie napięcia, oprócz napisania protokołu powinien odbywać się komisyjnie przez zarządcę obiektu, w którym znajdują się odebrane urządzenia. Protokoły ze wszystkich kontroli i odbiorów pomontażowych powinny być załącznikiem do wpisu, znajdującego się w książce obiektu budowlanego [23].

**Z uwagi na ciągły rozwój technologii oraz nowelizacje i aktualizacje Polskich Norm dotyczących sieci i urządzeń elektroenergetycznych średniego napięcia SN autorzy artykułu zalecają zbadanie możliwości zastosowania nowszych wydań norm oraz aktualnych Polskich Norm od podanych w treści artykułu i w jego bibliografii.**

## 1 Wyłączniki średniego napięcia

Wyłącznikiem nazywamy łącznik elektryczny, mechanizmowy, który załącza, przewodzi i wyłącza prądy robocze w normalnych warunkach pracy układu oraz prądy zwarciove, przeciążeniowe, które zazwyczaj mają wartości o wiele większe niż nominalne. W warunkach pracy ze średnim napięciem wyłączniki muszą posiadać komory gaszące, niwelujące powstawanie łuku elektrycznego [10]. Najczęstszymi rozwiązaniami przeciwdziałającym temu zjawisku jest zastosowanie oleju, próżni lub gazu (zazwyczaj SF6) w obrębie łączenia styków. Przykład wyłącznika średniego napięcia został przedstawiony na Rys. 1.:

Jest to wyłącznik próżniowy z członem wysuwym, który charakteryzuje się minimalną energią powstałego podczas łączenia i rozłączania łuku elektrycznego. Łuk elektryczny zostaje zgaszony nawet przy minimalnym odstępnie styków. Taką skuteczność gwarantuje zastosowanie komory próżniowej, w której medium robocze (próżnia) nie jonizuje się [11]. Jest to rozwiązanie bardzo skuteczne i mniej kłopotliwe, niż w przypadku wyłączników wypełnionych trudnym w eksploatacji i składowaniu gazem SF6.

Według normy PN-E-05115 dotyczącej instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1kV „powinna być możliwa kontrola stanu położenia styków łączników wyłączających lub odłączających (włączając uzemiarki) albo przez

bezpośrednią kontrolę wzrokową styków, albo za pomocą mechanicznego wskaźnika położenia” [18]. Kontrola i pierwsze sprawdzenie wyłącznika powinna rozpocząć się od tych rzeczy. Stan położenia styków musi być łatwy do określenia przez użytkownika i odzwierciedlać rzeczywiste położenie.



**Rys. 1.** Wyłącznik próżniowy średniego napięcia, serii HVX z członem wysuwym firmy Schneider Electric [fot. opracowanie własne autorów artykułu]

Wyłączniki średniego napięcia, według normy PN-E-04700, podlegają następującym pomiarom pomontażowym [19]:

- rezystancja izolacji głównej;
- rezystancja przejścia głównych torów prądowych;
- pomiar niejednoczesności otwierania i zamykania oraz czasów własnych wyłącznika;
- analiza oleju (w przypadku wyłączników olejowych);
- analiza fizykochemiczna oraz pomiar ciśnienia gazu SF6 (w przypadku wyłączników, wypełnionych sześćsiufluorkiem siarki) oraz pomiar ciśnienia powietrza w przypadku wyłączników z tym medium.

### 1.1 Pomiar rezystancji izolacji głównej

Rezystancja izolacji głównej wyłącznika jest mierzona induktozem lub miernikiem rezystancji izolacji napięciem probierczym 2500 V, pomiędzy skrajnymi zaciskami otwartego wyłącznika oraz pomiędzy zaciskami, a ziemią przy zwartych stykach urządzenia. Wartości zmierzone rezystancji nie powinny być mniejsze, niż [19]:

- 1000MΩ, przy napięciu znamionowym  $\geq 10\text{kV}$ ;
- 3000MΩ, przy napięciach znamionowych  $10\text{kV} \geq U_n \geq 36\text{kV}$ ;
- 5000MΩ, przy napięciu znamionowym  $< 36\text{kV}$ .

Pomiar rezystancji izolacji wyłącznika należy wykonywać przy wilgotności względnej powietrza  $>80\%$ , ponieważ wartości zmierzone w innych warunkach niż wymienione będą miały charakter orientacyjny i nie oddający wartości rzeczywistej. Wyniki pomiarów nie mogą się różnić między sobą więcej niż o 50% największej zmierzonej wartości.

Na Rys. 2. zilustrowano pomiar rezystancji izolacji głównej, pomiędzy zaciskiem fazowym, a ziemią przy zamkniętych stykach wyłącznika.



**Rys. 2.** Pomiar rezystancji izolacji głównej wyłącznika Sn pomiędzy fazą a ziemią [fot. opracowanie własne autorów artykułu]

## 1.2 Pomiar niejednoczesności otwierania i zamykania oraz czasów własnych

Pomiary niejednoczesności otwierania i zamykania oraz czasów własnych wyłącznika polegają na sprawdzeniu czasu reakcji zadziałania styków wyłącznika w razie nagłej potrzeby jego zamknięcia lub otworzenia oraz sprawdzeniu czy styki we wszystkich fazach zamkną się w tym samym momencie. Parametry te są mierzone za pomocą specjalnych mierników, służących do diagnostyki włączników, który podłączamy do każdej fazy wyłącznika (początek i koniec), co pokazano na Rys. 3.. Pomiar tych parametrów polega na zainicjowaniu cyklu wyłącznika załącz-wyłącz-załącz lub wyłącz-załącz i załącz-wyłącz. Możemy to zrobić poprzez ręczne przesterowanie na przednim panelu wyłącznika, widocznym na Rys. 4. lub elektrycznie, pobudzając cewkę wyzwalacza [43].

Czasy niejednoczesności wyłącznika nie powinny być większe, niż [19]:

- 5ms podczas otwierania i zamykania styków wyłącznika, którego bieguny są sprzęgnięte mechanicznie;
- 10ms w przypadku otwierania i 20ms przy zamykaniu pozostałych typów wyłączników;
- 20ms w przypadku wyłączników wieloprzerwowych, z zestykami o połączeniu szeregowym w biegunie.

Czasy własne wyłączników średniego napięcia powinny być zgodne z danymi wytwórcy i umieszczone na tabliczce znamionowej urządzenia. Pomiar wykonujemy w przypadku, gdy bieguny nie są sprzęgnięte mechanicznie, a każdy z biegunów urządzenia jest instalowany oddzielnie w miejscu docelowym

Po podłączeniu miernika, wyłącznik wykonał cykl załącz-wyłącz-załącz. Otrzymano następujące wyniki, które pokazano na Rys. 4.. Otrzymane czasy są zgodne z normą oraz danymi znamionowymi wyłącznika. Urządzenie nadaje się do eksploatacji.



**Rys. 3.** Pomiar niejednoczesności otwierania i zamykania oraz czasów własnych wyłącznika [fot. opracowanie własne autorów artykułu]



**Rys. 4.** Wyniki pomiarów niejednoczesności otwierania i zamykania oraz czasów własnych wyłącznika [fot. opracowanie własne autorów artykułu]

## 1.3 Analiza stanu oleju

Olej zastosowany jako izolator w wyłącznikach olejowych musi spełniać następujące wymagania [19]:

- Nie może w nim występować woda ani żadne ciała stałe;
- Rezystywność oleju nie powinna być mniejsza niż 200GΩm;
- Wartość napięcia przebicia  $\leq 50kV$ .

Olej już w eksploatacji, pobrany 24 godziny po wypełnieniu nim urządzenia nie powinien w dalszym ciągu zawierać śladów wody. Wtedy napięcie przebicia, w przypadku braku informacji od producenta nie powinno być mniejsze, niż:

- 30kV, w przypadku urządzeń o napięciu znamionowym  $> 36kV$ ;
- 40kV, w przypadku urządzeń o napięciu znamionowym  $< 36kV$ .

## 2 Przekładniki prądowe średniego napięcia

Przekładniki prądowe służą do pomiarów dużych wartości prądów w miejscach, gdzie nie jest możliwe zmierzenie wartości prądu za pomocą standardowych przyrządów pomiarowych. Poprzez zainstalowanie ich w obwodach pierwotnych następuje przeniesienie sygnału ze strony pierwotnej na wtórną, w wyniku sprzężenia magnetycznego tych obwodów. Urządzenia te są transformatorami, których warunki pracy są zbliżone do stanu zwarcia. Zależnie od budowy mogą mieć wielokrotnie uzwojenia po stronie wtórnej z oddzielnymi od siebie rdzeniami, o parametrach takich samych lub zbliżonych [9]. Najważniejszymi parametrami przekładnika prądowego są:

- znamionowy prąd po stronie pierwotnej i wtórnej (A);
- moc znamionowa przekładnika prądowego (VA);
- klasa dokładności (np. 0,2; 0,5 dla przekładników pomiarowych oraz 5P; 10P dla przekładników do zabezpieczeń);
- przekładnia przekładnik prądowego (np. 100/1 A/A);
- współczynnik bezpieczeństwa urządzenia (FS);
- współczynnik graniczny dokładności (ALF);
- dopuszczalne napięcie pracy (V);
- prąd cieplny i dynamiczny (A).

Przykład przekładnika prądowego średniego napięcia został przedstawiony na Rys. 5. Przekładnik posiada 3 uzwojenia po stronie wtórnej 1S1-1S2 o mocy 2,5VA, 2S1-2S2 - 2,5VA, 3S1-3S2 - 5VA, przekładni 50/1/1/1 A/A/A. Jest to przekładnik wewnętrzny, zamontowany w polu rozdzielnic 10,5kV, który ma za zadanie zmierzyć wartość płynącego prądu na szynach rozdzielni i dostarczyć tę informację do odpowiednich przyrządów.

Przekładniki prądowe średniego napięcia, podlegają następującym pomiarom pomontażowym [19]:

- rezystancja izolacji głównej;
- rezystancja izolacji uzwojenia wtórnego;
- pomiar biegunowości;
- pomiar przekładni;
- wyznaczenie charakterystyki magnesowania rdzenia;
- pomiar spadków napięć po stronie wtórnej.



Rys. 5. Przekładnik prądowy wewnętrzny serii TPU 40.11, firmy ABB [fot. opracowanie własne autorów artykułu]

### 2.1 Pomiar rezystancji izolacji głównej

Rezystancja izolacji głównej przekładników prądowych jest mierzona indukctorem lub miernikiem rezystancji izolacji napięciem probierczym 2500V. Wartość zmierzona rezystancji w przypadku przekładnika średniego napięcia nie powinna być mniejsza, niż 1000MΩ. Pomiar rezystancji izolacji przekładnika należy wykonywać przy wilgotności względnej powietrza >80%, ponieważ wartości zmierzone w innych warunkach niż wymienione będą miały charakter orientacyjny i nie oddający wartości rzeczywistej [19].

### 2.2 Pomiar rezystancji izolacji uzwojenia wtórnego

Rezystancja izolacji uzwojenia wtórnego jest mierzona napięciem probierczym 1kV, pomiędzy:

- Początkiem uzwojenia pierwotnego, a początkami wszystkich uzwojeń wtórnych (1S1, 2S1, 3S1);
- Początkami uzwojeń wtórnych (1S1-2S1, 2S1-3S1, 1S1-3S1);
- Początkami uzwojeń wtórnych (1S1, 2S1, 3S1), a ziemią (PE).

Zmierzona wartość rezystancji izolacji uzwojenia wtórnego nie powinna być mniejsza niż 100MΩ. Na Rys. 6. zilustrowano pomiar rezystancji izolacji uzwojenia wtórnego przekładnika prądowego średniego napięcia, pomiędzy początkiem uzwojenia wtórnego 1S1, a uziemieniem PE. Zmierzona rezystancja mieściła się w granicach od 10GΩ do 15GΩ. Rezystancja izolacji uzwojenia wtórnego w znaczącym stopniu przekracza wartości minimalne, zapisane w normie, co jednoznacznie mówi, że urządzenie w tym aspekcie jest sprawne.



Rys. 6. Pomiar rezystancji izolacji uzwojenia wtórnego indukctorem Adex AD-1025 [fot. opracowanie własne autorów artykułu]

### 2.3 Wyznaczenie charakterystyki magnesowania rdzenia

Na podstawie przebiegu charakterystyki magnesowania można sprawdzić, czy przekładnik prądowy nie ma zwartych zwojów oraz czy rdzeń zachowuje swoje właściwości ferromagnetyczne. Rdzenie przekładników prądowych są wykonane z ferromagnetyka, posiadającego nieliniową charakterystykę magnesowania. Najpow-

szechniejszym materiałem, stosowanym w budowie rdzeni są specjalnie zaprojektowane blachy elektromechaniczne, których charakterystycznymi cechami są małe straty histerezy, wiroprądowe, posiadające dużą wartość współczynnika przenikalności magnetycznej oraz indukcji nasycenia [7].

Jedną z metod pomiaru charakterystyki magnesowania rdzenia jest podanie napięcia od strony wtórnej przekładnika, z jednocześnie wpiętym amperomierzem, mierzącym wartości prądu magnesującego i rozszynowaną stroną pierwotną. Punkty pomiarowe muszą być zagęszczone, stopniowo podnosząc wartość podawanego napięcia. Pomiar zostaje zakończony, gdy wartość prądu osiągnie znamionowy prąd przekładnika.

Na Rys. 7. przedstawiono pomiar charakterystyki magnesowania miernikiem MchM-2, który zadając odpowiednią wartość prądu magnesującego pozwala na graficzną identyfikację prawidłowości wyznaczonej charakterystyki. Prawidłowa charakterystyka magnesowania rdzenia powinna być nieliniowym wykresem logarytmicznym, zwłaszcza w początkowej fazie jej narastania. Pomiar polega na podłączeniu sond miernika do zacisków uzwojenia badanego rdzenia przekładnika.



**Rys. 7.** Wyznaczanie charakterystyki magnesowania rdzenia przekładnika miernikiem MchM-2 [fot. opracowanie własne autorów artykułu]

### 3 Linie kablowe średniego napięcia

Elektroenergetyczne linie kablowe średniego napięcia, w przedziale 6-30kV stanowią ważny element w sieciach dystrybucyjnych, oraz pośredniczą w przesyłaniu energii elektrycznej z urządzeń wysokich napięć do napięć najniższych. Możliwość diagnozowania defektów w elementach nowo wybudowanego połączenia lub w czasie jego długoletniej eksploatacji pozwala użytkownikowi na uniknięcie drogich awarii i nieoczekiwanych przerw w dostawie energii elektrycznej [32].

Diagnostyka nowo położonych linii kablowych pozwala na [3]:

- wykrycie błędów fabrycznych (np. zła jakość produkcji, zanieczyszczenia, uszkodzenia mechaniczne, ekstruzja warstwy polietylenu);
- wykrycie defektów powstałych podczas transportu linii kablowej (np. mechaniczne uszkodzenia izolacji, zgniecenia, przegięcia);
- wykrycie defektów instalatorskich (złe obrobienie kabla podczas prac montażowych, uszkodzenia mechaniczne, uszkodzenie złączy, muf itp.).

Linie kablowe będące dłuższy czas w eksploatacji ulegają procesom starzeniowym. Izolacja wszystkich typów kabli posiada swój limit wytrzymałości i użyteczności (np. szacowany czas użyteczności kabli z izolacją papierową wynosi od 30 do 40 lat). Kable te muszą zostać poddane pomiarom diagnostycznym, co określi:

- który z elementów linii kablowej jest najbardziej zużyty (np. mufa, izolacja kabla);
- stan zawilgocenia izolacji;

- straty dielektryczne;
- wytrzymałości izolacji na zadane napięcie probiercze podczas pomiarów, wraz z określeniem potencjalnych miejsc osłabienia linii kablowej.

Linie kablowe średniego napięcia podlegają następującym pomiarom pomontażowym [19]:

- sprawdzenie zgodności faz oraz ciągłości żył roboczych i powrotnych;
- pomiar rezystancji izolacji linii kablowej;
- próba napięciowa izolacji żył linii kablowej;
- pomiar wyładowań niepełnych WNZ;
- sprawdzenie wytrzymałości izolacji powłoki/osłony polwinilowej/polietylenowej.

#### 3.1 Pomiar rezystancji izolacji linii kablowej

Metodyka pomiaru rezystancji izolacji linii kablowej jest taka sama, jak w przypadku linii kablowej niskiego napięcia. Wykonujemy ją napięciem probierczym 2,5kV pomiędzy końcami linii i końcami linii, a ziemią. Wartości rezystancji izolacji, zmierzone w temperaturze 20°C linii o długości do 1km nie powinny być mniejsze niż [15]:

- 50MΩ dla kabli o izolacji papierowej;
- 40MΩ dla kabli o izolacji polwinilowej;
- 100MΩ dla kabli o izolacji polietylenowej, o napięciu znamionowym nie przekraczającym 30kV;
- 1000MΩ dla kabli zasilających elektrofiltry, kabli olejowych, kabli o izolacji polietylenowej o napięciu znamionowym wyższym niż 30kV.

Rezystancja izolacji kabla średniego napięcia zmierzona po wykonaniu próby napięciowej nie powinna być mniejsza niż 90% wartości zmierzonej przed wykonaniem tej próby.

#### 3.2 Próba napięciowa izolacji żył linii kablowej

Próbę napięciową linii kablowej średniego napięcia przeprowadza się poddając ją działaniu napięcia probierczego, o określonej krotności wartości skutecznej napięcia fazowego  $U_o$  w określonym czasie. Należy ją wykonać dla wszystkich żył kabla, podczas gdy pozostałe żyły (siłowe, powrotne i pancerz) powinny być zwarte i uziemione. Izolacja każdej zmierzonej żyły kabla, o napięciu poniżej 64/110kV, powinna wytrzymać zadane napięcie probiercze stałe, przemienne 50Hz lub wyprostowane, o wartości 75% napięcia probierczego fabrycznego w czasie nie krótszym niż 20 minut bez zjawiska przeskoku lub przebicia izolacji [15]. Pomiar ten powinien być wykonywany przez minimum 3 osoby [4].

Zgodnie z normą SEP-E-004, próbę napięciową wykonujemy [44]:

- napięciem przemiennym, sinusoidalnym o stałej amplitudzie i częstotliwości 50 Hz, gdzie napięciem próby jest wartość skuteczna napięcia;
- napięciem przemiennym, cosinusoidalno-prostokątnym (VLF) o stałej amplitudzie i częstotliwości 0,1 Hz. Napięciem próby jest wartość maksymalna napięcia;
- napięciem stałym DC lub wyprostowanym o stałej amplitudzie i polaryzacji. Napięciem próby jest wartość maksymalna napięcia.

**Tab. 1.** Napięcia probiercze podczas próby napięciowej [35]

Lp.	Napięcie znamionowe linii [kV]	Rodzaj napięcia probierczego	Wartość napięcia [kV]	Czas próby [min]
1	$1 \text{ kV} < U_N \leq 1 \text{ kV}$	1. DC	2,5	2
		Wykonanie pomiaru rezystancji izolacji miernikiem 2,5 kV jest równoznaczne z wykonaniem próby napięciowej wg punktu 1.		
2	$1 \text{ kV} < U_N \leq 30 \text{ kV}$	AC	$2U_o$	15
		VLF-CP 0,1 Hz	$3U_o$	15
		DC	$3U_o$	15
3	$30 \text{ kV} < U_N \leq 110 \text{ kV}$	AC	$2U_o$	30
		VLF-CP 0,1 Hz	$3U_o$	30
		DC	$3U_o$	30

Wartości szczytów napięcia probierczego i czasy próby dla linii kablowych średniego napięcia podano w Tab. 2. oraz Tab. 3.:

**Tab. 2.** Napięcia probiercze dla kabli o izolacji polwinitowej [4]

Napięcie znamionowe kabla $U_0/U$ [kV]	Napięcie probiercze przemienne [kV]		Napięcie probiercze wyprostowane [kV]		Czas próby
	Nowy kabel	Linia kablowa	Nowy kabel	Linia kablowa	
0,6/1	3,5	2,62	8,4	6,28	20 min.
3,6/6	11	8,25	26,4	19,8	
6/10	15	11,25	36	27	
8,7/15	22	16,5	52,8	39,6	
12/20	30	22,5	72	54	
18/30	45	33,75	108	81	

**Tab. 3.** Napięcia probiercze dla kabli o izolacji papierowej i z powłoką metalową [4]

Napięcie znamionowe kabla $U_0/U$ [kV]	Napięcie probiercze przemienne [kV]		Napięcie probiercze wyprostowane [kV]		Czas próby
	Nowy kabel	Linia kablowa	Nowy kabel	Linia kablowa	
0,6/1	3,5 <sup>1)</sup> 4 <sup>2)</sup>	2,62 <sup>1)</sup> 3 <sup>2)</sup>	8,4 <sup>1)</sup> 9,6 <sup>2)</sup>	6,28 <sup>1)</sup> 7,2 <sup>2)</sup>	20 min.
3,6/6	11 <sup>1)</sup> 14 <sup>2)</sup>	8,25 <sup>1)</sup> 10,5 <sup>2)</sup>	26,4 <sup>1)</sup> 33,6 <sup>2)</sup>	19,8 <sup>1)</sup> 25,2 <sup>2)</sup>	
6/10	15 <sup>1)</sup> 20 <sup>2)</sup>	11,25 <sup>1)</sup> 15 <sup>2)</sup>	36 <sup>1)</sup> 48 <sup>2)</sup>	27 <sup>1)</sup> 36 <sup>2)</sup>	
8,7/15	22	16,5	52,8	39,6	
12/20	30	22,5	72	54	
18/30	45	33,75	108	81	
23/40	57	42,75	136,8	102,6	

<sup>1)</sup> – kable jednożyłowe

<sup>2)</sup> – kable wielożyłowe

Podczas wykonywania próby napięciowej należy wykonać pomiar prądu upływu każdej żyły. Wartość jego nie powinna przekraczać 300  $\mu$ A/km lub 300L, gdzie L oznacza długość linii kablowej w kilometrach. Podczas pomiaru prądu, jego wartość nie powinna wzrastać w ciągu ostatnich 4 minut próby. W przypadku linii kablowej o długości nie większej niż 330 m, wartość prądu upływu nie powinna być mniejsza niż 100 $\mu$ A [19]. W przypadku braku stabilizacji mierzonej wartości prądu po 16 minutach, czas trwania próby należy wydłużyć do 30 minut. Po zakończeniu pomiaru i rozładowaniu linii kablowej należy uziemić wszystkie żyły i pozostawić uziemione na co najmniej 3 godziny. Po wykonanej próbie należy wykonać pomiar rezystancji izolacji linii kablowej [15].

Na Rys. 8. zostało przedstawione badanie linii kablowej średniego napięcia za pomocą zadajnika wysokonapięciowego ABK-45/55A „Kenetron”, posiadającego w sobie funkcje pomiaru prądu, napięcia oraz składowej stałej prądu upływu.

### 3.3 Sprawdzenie wytrzymałości izolacji powłoki/osłony polwinitowej lub polietylenowej

Izolacja powłoki linii kablowej jest sprawdzana w czasie 1 minuty i musi wytrzymać przyłożone napięcie probiercze stałe o wartości [19]:

- 5kV dla linii kablowej o napięciu znamionowym do 18/30kV;
- 10kV dla linii kablowej o napięciu znamionowym powyżej 18/30kV.

Prądów upływu w tym przypadku nie normalizuje się.



**Rys. 8.** Wykonywanie próby napięciowej linii kablowej za pomocą aparatu ABK-45/55A „Kenetron” [fot. opracowanie własne autorów artykułu]

### Podsumowanie

Kontrola stanu technicznego jak również dopuszczenie do eksploatacji urządzeń i sieci elektroenergetycznych średniego napięcia SN powinno być wykonywane zaraz po zakończeniu budowy, montażu lub remontu, do czego obligują nas odpowiednie normy i akty prawne. Uzyskujemy w ten sposób informacje, czy badane urządzenia oraz sieci będą dawały gwarancje niezawodnej i bezpiecznej ich pracy.

Wszystkie pomiary odbiorcze powinny być potwierdzone odpowiednim protokołem sprawdzenia, w którym muszą się znajdować wszystkie schematy, plany instalacji, urządzeń i sieci elektroenergetycznych, wykryte usterki, jeśli takie były oraz opis wykonanych prób i pomiarów. Procedury pomiarowe muszą być zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami prawnymi. Pomiary pomontażowe powinny być wykonywane przez osoby wykwalifikowane, których kwalifikacje są potwierdzone aktualnym świadectwem, wydanym przez odpowiednie komisje kwalifikacyjne. Pomiarom pomontażowym powinny podlegać sieci elektroenergetyczne oraz linie kablowe, które doprowadzając energię elektryczną, niezbędna do działania urządzeń, jak również same urządzenia. Ważną kwestią jest również sprawdzenie niezawodności zabezpieczeń i ochrony przeciwporażeniowej, która niejednokrotnie ratuje ludzkie życie w razie pojawienia się potencjału na obudowach urządzeń. Pomiarom sprawdzającym podlega również oświetlenie podstawowe, dzięki któremu możemy wykonywać codzienne prace, bez zagrożeń dla wzroku, jak również awaryjne, które ułatwia ewakuację z budynku w razie zagrożenia życia lub zdrowia.

### Bibliografia:

1. Boczkowski A., *Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych do 1 kV*, Warszawa, 2008.
2. Czapp S., *Kontrola stanu instalacji elektrycznych niskiego napięcia – przegląd aktualnych wymagań w zakresie prób i pomiarów*, Zeszyty naukowe wydziału elektrotechniki i automatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2010.

3. Diagnostyka kabli SN „Niezbędnik pomiarowca-diagnosty”, Megger.com
4. Drygała W., *Instrukcja ramowa – wytyczne przeprowadzania pracy kontrolno-pomiarowych i rozruchowych*, Elektrobudowa, 2010.
5. *Egzamin kwalifikacyjny elektryków (D i E) w pytaniach i odpowiedziach*, Zeszyt 9, COSiW SEP, Warszawa, 2008.
6. Jabłoński W., *Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2005, 2006, 2008.
7. Jalmużny W., Adamczewska D., Borowska-Banaś I., *Ocena zgodności charakterystyk magnesowania i stratności toroidalnych obwodów magnetycznych w różnych wymiarach*, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, r. 87 nr. 11/2011.
8. Katalog - Montaż, eksploatacja, utrzymanie wyłącznika próżniowego 12-36 kV HVX, Schneider Electric, 2011.
9. Katalog – Przekładniki średniego napięcia, RITZ Instrument Transformers.
10. Katalog - Wyłącznik próżniowy do 36 kV HVX, Schneider Electric.
11. Katalog – Wyłączniki próżniowe do zastosowań generatorowych, Siemens AG, 2013.
12. Lenartowicz R., Zdunek W., *Egzamin kwalifikacyjny – urządzenia instalacje i sieci elektroenergetyczne*, Dom wydawniczy Medium, Warszawa, 2010.
13. Łasak F., *Wykonywanie pomiarów odbiorczych i okresowych pomiarów ochronnych w instalacjach elektrycznych o napięciu znamionowym do 1 kV*, 2014.
14. Musiał E., *Badanie stanu ochrony przeciwporażeniowej w obwodach urządzeń energoelektronicznych*, biuletyn SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2006.
15. N SEP-E-004, Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa, COSiW SEP, Warszawa, 2004.
16. Pawelek R., *Ergonomia i zasady bezpiecznej pracy – wykład*, Instytut Elektrotechniki Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2007.
17. PN-IEC 60364-6-61, Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Sprawdzenie odbiorcze, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2000.
18. PN-E-05115, Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002.
19. PN-E-04700, Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1998.
20. PN-EN 12464-1, Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2004.
21. PN-HD 60364-4-41, Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2009.
22. PN-HD 60364-6, Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 6: sprawdzenie, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2008.
23. Prawo Budowlane. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r.
24. Prawo Energetyczne. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r.
25. Prawo o Miarach. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r.
26. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych.
27. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 kwietnia 2003 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci.
28. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
29. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.
30. Standardy techniczne obowiązujące dla urządzeń Wn, Sn, nn eksploatowanych w koncernie energetycznym Energa S.A., Energa S.A., Gdańsk, 2006.
31. Strzałka J., *Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach niskiego napięcia według prenormy SEP*, Zakład Elektroenergetyki AGH.
32. Wiatr J., Lenartowicz R., Orzechowski M., *Podstawy projektowania i budowy elektroenergetycznych linii kablowych Sn*, Zeszyty dla elektryków – nr. 1, Dom wydawniczy Medium, Warszawa, 2009.
33. Wiatr J., Orzechowski M., *Poradnik projektanta elektryka*, Dom Wydawniczy Medium, Warszawa, 2008.
34. <http://www.bezel.com.pl/index.php/instalacje-elektryczne/wymagania-przepisow-i-norm>
35. <http://www.bezel.com.pl/index.php/pomiary-elektryczne/pomiary-rezystancji-i-izolacji>
36. [http://www.porozumieniedlabezpieczenstwa.pl/standardy\\_bhp.html](http://www.porozumieniedlabezpieczenstwa.pl/standardy_bhp.html)
37. <http://www.bezel.com.pl/index.php/ochrona-przed-porazeniem/srodki-ochrony-przed-porazeniem>
38. <http://www.bezel.com.pl/index.php/ochrona-przed-porazeniem/czynniki-wplywajace-na-porazenie>
39. <http://www.elektro.info.pl/artykul/id1756,pomiary-oswietleniowe-wwnetrzach>
40. <http://www.bezel.com.pl/index.php/swiatlo-i-oswietlenie/wymagania-oswietleniowe>
41. <http://www.elektro.info.pl/artykul/id4809,wymagania-normalizacyjne-dla-oswietlenia-awaryjnego-czesc-1>
42. [http://hybryd.com.pl/pl/informacje/publikacje/wymagania\\_dla\\_sy-stemow\\_oswietlania\\_awaryjnego\\_-\\_przepisy/](http://hybryd.com.pl/pl/informacje/publikacje/wymagania_dla_sy-stemow_oswietlania_awaryjnego_-_przepisy/)
43. <http://www.elektryka.com.pl/pl/publikacje/katalog-publicacji/96-pomiary-czasow-wylacznikow-mocy>
44. <http://www.avstore.pl/baza-wiedzy/proba-napieciowa/>
45. <http://www.fachowelektryk.pl/technologie/kable-i-przewody/2039-badania-odbiorcze-kabli-sn-w-miejscu-zainstalowania-jak-i-po-co.html>
46. [https://www.tme.eu/html/PL/induktorowe-mierniki-izolacji-imi-341-1/ramka\\_2971\\_PL\\_pelny.html](https://www.tme.eu/html/PL/induktorowe-mierniki-izolacji-imi-341-1/ramka_2971_PL_pelny.html)
47. Chrzan M., Dudek K., Pietruszczak D., *Wybrane zagadnienia budowy izolowanych linii napowietrznych SN*; AUTOBUSY - Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe; Eksploatacja i testy; ISSN 1509-5878, e-ISSN 2450-7725, str. 765-771, Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM", AUTOBUSY 12(2017), Radom 2017.
48. Chrzan M., Dudek K., Pietruszczak D., *Wybrane zagadnienia projektowania i wykonania linii izolowanych linii napowietrznych SN*; AUTOBUSY - Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe; Eksploatacja i testy; ISSN 1509-5878, e-ISSN 2450-7725, str. 772-777, Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM", AUTOBUSY 12(2017), Radom 2017.
49. Moszyński Sz., *Analiza pomiarów pomontażowych urządzeń i sieci elektroenergetycznych nN i SN*, Praca dyplomowa magisterska, Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Promotor: Dr inż. Daniel Pietruszczak, Recenzent: Dr hab. inż. Marcin Chrzan, prof. UTH, Radom 2018.



50. Chaban A., Lis M., Szafraniec A., Chrzan M., Levoniuk V.: *Interdisciplinary modelling of transient processes in local electric power systems including long supply lines of distributed parameters*, Konferencja Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE) 2018, Strony 17-20, DOI: 10.1109/PTZE.2018.8503085, Wydawca IEEE, 2018/9/9.
51. Czaban A., Marek Lis, Chrzan M., Szafraniec A., Levoniuk V.: *Mathematical modelling of transient processes in power supply grid with distributed parameters*, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 94 NR 1/2018, 2018/1/1.

---

#### Post-assembly measurements of devices and energy network for MV power grids

The paper presents the analysis of post-assembly measurements of devices and energy network for MV power grids. They are presented on the examples of transmission and distribution devices present in various industrial and manufacturing plants in Poland.

---

**Keywords:** post-assembly measurements, current transformer, power grid, medium voltage MV power grids, MV voltage switch.

#### Autorzy:

**Dr hab. inż. Marcin Chrzan, prof. UTH** – Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e-mail: [m.chrzan@uthrad.pl](mailto:m.chrzan@uthrad.pl)

**Inż. Szymon Moszyński** – absolwent (2018 r.) Wydziału Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Nr albumu: 99433

**Dr inż. Daniel Pietruszczak** – adiunkt, Wydział Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e-mail: [d.pietruszczak@uthrad.pl](mailto:d.pietruszczak@uthrad.pl)