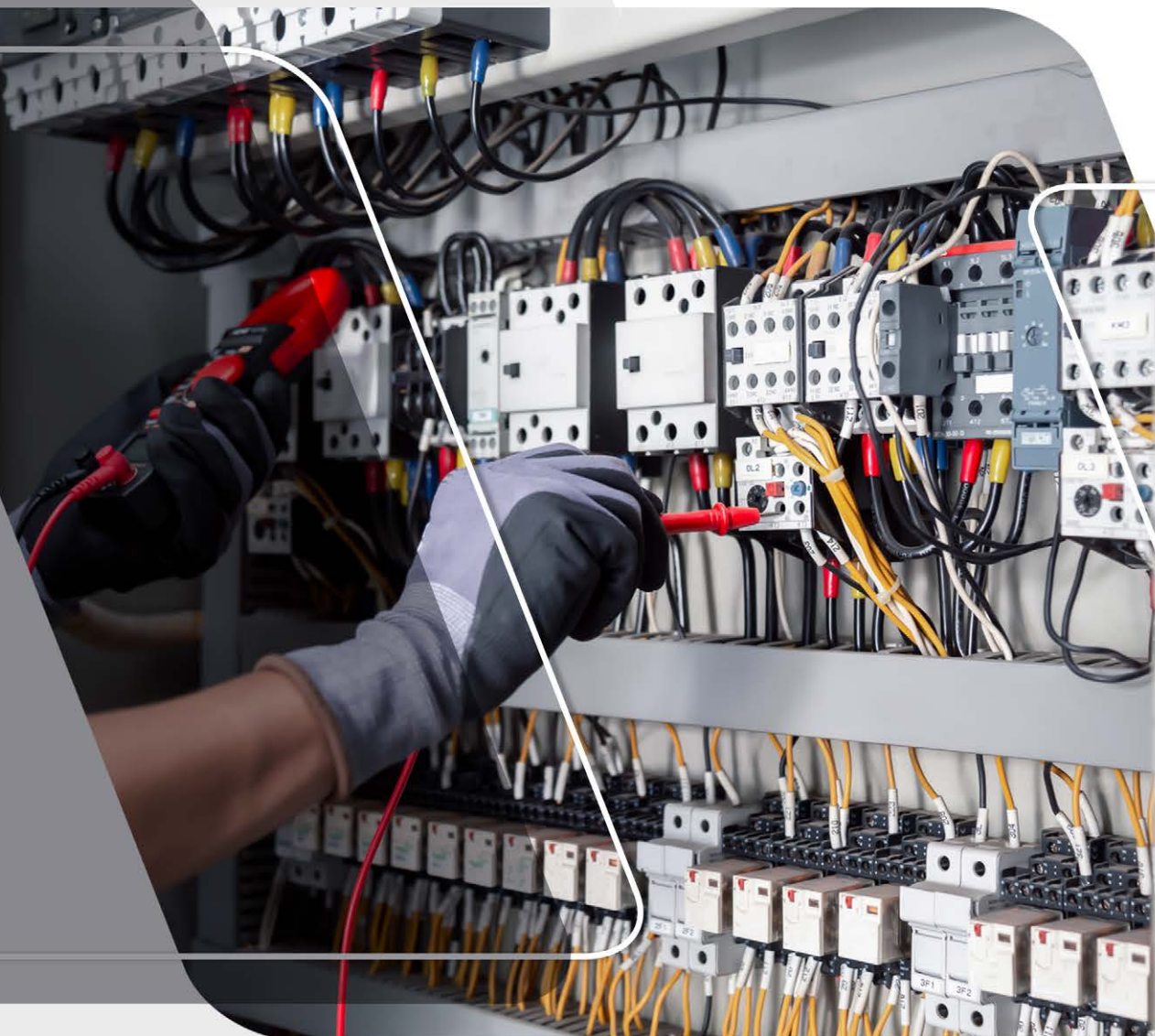




# Poradnik

## TRANSFORMATORY STACJE TRANSFORMATOROWE ROZDZIELNICE (2)



**Rozdzielnice  
niskich napięć –  
wpływ temperatury  
na bezpieczeństwo  
eksploatacji rozdziel-  
nic niskiego napięcia**

**Rozwiązania  
wspomagające  
bezpieczeństwo  
i niezawodność  
urządzeń elektroener-  
getycznych SN**

**Projekt zasilania  
w energię elektryczną  
obiektu użyteczności  
publicznej**

## Adres redakcji

ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa  
tel. 22 810 65 61  
faks 22 810 27 42  
redakcja@elektro.info.pl  
www.elektro.info.pl

**Reklama:** Karolina Rosa, krosa@medium.media.pl,  
Hanna Witkowska, hwitkowska@medium.media.pl,  
Monika Piekut, mpiekut@medium.media.pl

**Redakcja:** Anna Kuziemska, akuziemska@elektro.info.pl, Agnieszka Roszkowska,  
aroszkowska@elektro.info.pl

## Grupa MEDIUM

Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.K.  
ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa  
tel. 22 810 21 24, faks 22 810 27 42  
ISBN 978-83-64094-10-1

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Rozdzielnice niskich napięć – wpływ temperatury na bezpieczeństwo eksploatacji rozdzielnic niskiego napięcia (zagadnienia wybrane) (część 1.) | 4  |
| Pomiary harmonicznych w układach z transformatorami                                                                                           | 8  |
| Zwarcia łukowe w rozdzielnicach średniego i niskiego napięcia. Część 1. Podstawy teoretyczne                                                  | 14 |
| Zwarcia łukowe w rozdzielnicach średniego i niskiego napięcia. Część 2.                                                                       | 18 |
| Prawidłowa wentylacja w stacji transformatorowej                                                                                              | 22 |
| Rozdzielnice niskich napięć – wpływ temperatury na bezpieczeństwo eksploatacji rozdzielnic niskiego napięcia (część 2.)                       | 24 |
| Ograniczenie strat w transformatorach rozdzielczych – co możemy jeszcze zrobić?                                                               | 28 |
| Niezawodne rozdzielnice nn i SN oraz stacje ładowania od polskiego producenta                                                                 | 32 |
| Transformatory rozdzielcze – jak ograniczyć straty energii elektrycznej?                                                                      | 36 |
| Krajowe stacje słupowe SN/nn – przegląd rozwiązań                                                                                             | 40 |
| Rozdział pierwotny i wtórny energii elektrycznej – sprawdzone rozwiązania Elektrometal Energetyka SA                                          | 44 |
| Uproszczony projekt zasilania w energię elektryczną obiektu użyteczności publicznej (część 3.)                                                |    |
| Rozdzielnica budynku biurowego                                                                                                                | 50 |
| Oddziaływanie jednofazowego łuku zwarciovego na metalowe osłony rozdzielnic SN                                                                | 58 |
| Rozwiązania wspomagające bezpieczeństwo i niezawodność urządzeń elektroenergetycznych SN                                                      | 64 |
| Katalog firm                                                                                                                                  | 70 |

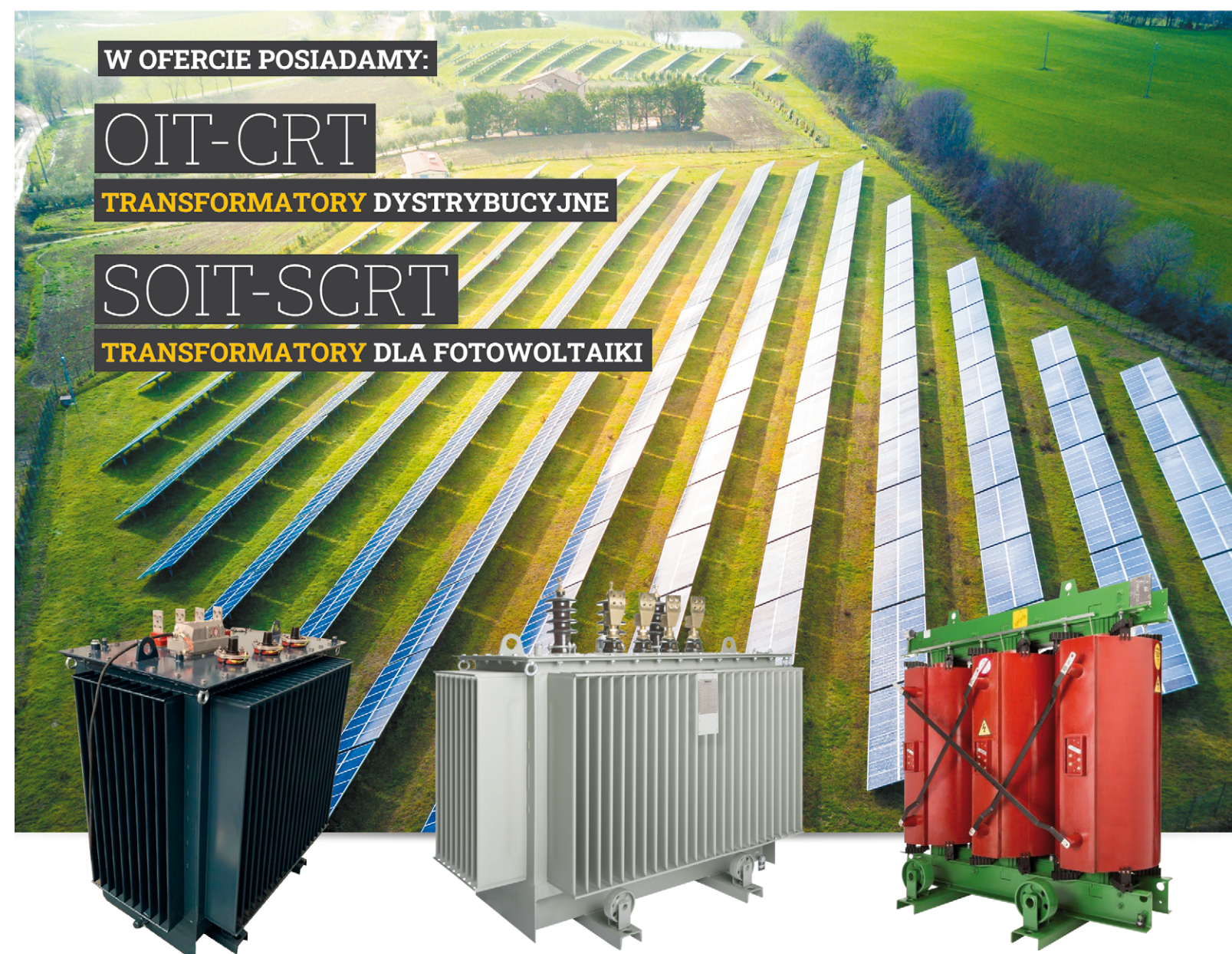
W OFERCIE POSIADAMY:

OIT-CRT

TRANSFORMATORY DYSTRYBUCYJNE

SOIT-SCRT

TRANSFORMATORY DLA FOTOWOLTAIKI



## I TRAFÓ

IMEFY wprowadza na rynek transformatory pozwalające na automatyczną regulację zacząpów, które zapewnią stabilność napięcia w dystrybucyjnych sieciach publicznych, prywatnych i przemysłowych. Kompensują one wahania średniego napięcia i reagują dynamicznie na zmiany w zasilaniu i obciążeniu przy niskim poziomie napięcia dzięki przełącznikowi ECOTAP VPD.

## TRANSFORMATORY ZGODNIE

z rozporządzeniem Komisji UE nr 1783/2019  
(ECODESIGN Etap 2)

PRODUCENT TRANSFORMATORÓW  
DYSTRYBUCYJNYCH I WYSOKOMOCOWYCH

**SPECJALIZACJA** – TRANSFORMATORY  
DO FOTOWOLTAIKI TYPU SOIT I SCRT

## TYPOWE MOCE I NAPIĘCIA:

1000 kVA 15,75/0,8 kV lub 21/0,8 kV  
2000 kVA 15,75/0,8 kV lub 21/0,8 kV  
4000 kVA 15,75/0,8 kV lub 21/0,8 kV  
5000 kVA 15,75/0,8-0,8 kV lub 21/0,8-0,8 kV  
6500 kVA 15,75/0,8-0,8 kV lub 21/0,8-0,8 kV

**INNA KONFIGURACJA MOCY I NAPIĘĆ  
WEDŁUG POTRZEB KLIENTA**

IMEFY POLSKA Sp. z o.o.

MidPoint 71, 53-332 Wrocław, ul. Powstańców Śląskich 9  
tel. 74 664 05 52  
transformatory@imefy.com  
www.imefy.com.pl



# Rozdzielnice niskich napięć – wpływ temperatury na bezpieczeństwo eksploatacji rozdzielnic niskiego napięcia (zagadnienia wybrane)

Kontynuując cykl poświęcony rozdzielnicom niskiego napięcia (a dokładnie połączeniom wewnętrznym w rozdzielnicach niskich napięć [9], [10], [11], [12] oraz [13]), tym razem autor zajął się zagadnieniem temperatury wewnątrz rozdzielnic nn.

Należy podkreślić, że żaden z zeszytów normy PN-EN 61439 [2], [3], [4], [5] i [6] nie został przywołany w aktach prawnych obowiązujących na terenie Polski. Zatem norma ma charakter zasady wiedzy technicznej [1]. Ponadto przywołane w normie [2] podmioty: pierwotny wytwórca i wytwórca zestawu są jedynie dostawcami rozdzielnic/rozdzielnic (zestawów/zestawu), tym samym nie ponoszą odpowiedzialności za proces budowlany z punktu widzenia ustawy Prawo budowlane [1] – są tylko dostawcami urządzenia. Taką odpowiedzialność ponosi w tym przypadku inwestor, projektant, kierownik robót, inspektor nadzoru itp. (użytkownik według [2]).

W tym miejscu należy zadać sobie pytanie: jeśli został opracowany projekt dla danej rozdzielniccy oraz dostępna jest norma przedmiotowa na urządzenie (rozdzielnicę), a także poszczególne elementy, które wchodzi w jej skład (aparaty elektryczne, przewody itd.), to gdzie występuje potencjalne zagrożenie? Kluczem do odpowiedzi jest słowo: **UZGODNIENIE**.

Norma PN-EN 61439-1 [2] traktuje rozdzielnicę (jak każda norma produktowa) jako z góry zdefiniowane urządzenie pracujące w określonych warunkach i tym samym definiuje część jej

parametrów. W tym miejscu właśnie pojawiają się **UZGODNIENIA**. Poniżej zostanie przedstawiony fragment tabeli z załącznika C „Szablon informacji użytkownika” [2], na podstawie którego producent zestawu (potocznie: prefabrykator) ma określić cechy, jakie ma spełniać dana rozdzielnica.

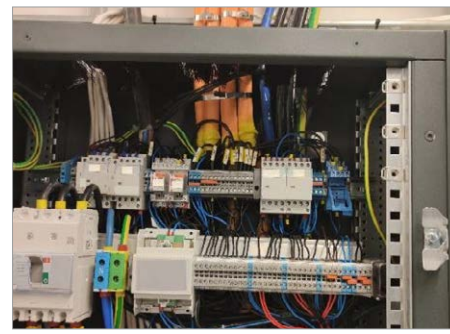
Szczególną uwagę należy zwrócić na trzecią kolumnę „Konfiguracja domyślna”. Otóż, jeśli użytkownik nie określi jakiegoś parametru (brak danej w projekcie lub nie poda czegoś itd.) prefabrykator może skorzystać z danych zawartych w normie.

**Należy zwrócić uwagę, że norma [2] określa nawet maksymalne wartości prądów zwarcio- wych, jakie można przyjmować przy budowie rozdzielnic [10]!** Tym samym taka rozdzielnica będzie wykonana zgodnie z normą [2], ale czy będzie spełniać wymagania stawiane jej w miejscu instalacji? Jak to może nieść ze sobą konsekwencje, autor opisał w cyklu artykułów „Połączenia wewnętrzne w rozdzielnicach niskich napięć” [9], [10], [11], [12] i [13] publikowanych na łamach „elektro.info”. Przyjmowanie wartości domyślnych może być szczególnie groźne w przypadku temperatury pracy rozdzielnic, który to parametr jest najczęściej pomijany podczas uzgodnień dokumentacji projektowej. Dlatego też niniejszy artykuł poświęcony będzie jest wyłącznie temu zagadnieniu.

## Warunki pracy

W normie PN-EN 61439-2 [3] w załączniku BB (informacyjny) przedstawiono punkty będące przedmiotem uzgodnienia pomiędzy producentem zestawu i użytkownikiem. W powyższym załączniku zawarto między innymi wymagania związane ze środowiskiem instalacji (**tab. 2**).

Należy zwrócić szczególną uwagę na ustalone wartości temperatury otoczenia:



Fot. 1. Przykład wprowadzenia przewodów do rozdzielnic fot. M. Orzechowski

A) dolną granicę:

- a) wewnątrz pomieszczeń:  $-5^{\circ}\text{C}$ ;
- b) na zewnątrz pomieszczeń:  $-25^{\circ}\text{C}$ .

B) górną granicę (**bez względu na miejsce instalacji**):  $40^{\circ}\text{C}$ ;

C) najwyższa średnia dzienna (**bez względu na miejsce instalacji**):  $35^{\circ}\text{C}$ ;

**Komentarz:** te same temperatury są opisane w części zasadniczej normy [2] i [3] (punkt 7.1.1).

W przypadku warunków polskich niezależnie od miejsca instalacji powyższe wymagania są spełnione, gdyż według IMGW-PIB [14] temperatury zarejestrowane np. w 2022 r. wynoszą odpowiednio:

- a) najniższa:  $-18,6^{\circ}\text{C}$ ;
- b) najwyższa:  $38,3^{\circ}\text{C}$ ;
- c) najwyższa średnia dobową:  $26^{\circ}\text{C}$ .

Zatem w warunkach krajowych parametry temperatury zostaną dotrzymane.

**Komentarz:** oczywiście w Polsce zarejestrowano wyższe i niższe temperatury [15], jednak należy podkreślić, że są to wyjątkowe sytuacje, mające charakter przejściowy.

Nasuwa się jednak pytanie: czy podawanie jedynie temperatury zewnętrznej (otoczenia) jest właściwe ze względu na funkcję, jaką pełni roz-

dzielnica i urządzenia, które są w niej zainstalowane – niezależnie od kraju instalacji i panujących tam warunków?

Jak zatem norma [2] określa temperaturę, jaka będzie wewnątrz rozdzielnic (zestawu)? Odpowiedź znajduje się w punkcie „9.2 Graniczne przyrosty temperatury” [2]. W tymże punkcie są opisane następujące warunki pracy rozdzielnic [2]:

- A) jest obciążona prądem znamionowym (obciążenie w 100%);
- B) średnia temperatura **otoczenia** rozdzielnic nie przekracza  $35^{\circ}\text{C}$ ;
- C) maks. przyrosty temperatury dla elementów wbudowanych (tzn. typowa aparatura rozdzielcza i sterownicza) – zgodnie z odpowiednimi wymaganiami norm wyrobu dla pojedynczych elementów wyposażenia lub zgodnie z instrukcjami producenta elementu, biorąc pod uwagę temperaturę w zestawie;

D) maks. przyrosty temperatury dla szyn zbiorczych i przewodów – ograniczony przyrost do m.in.:

- wytrzymałości mechanicznej materiału przewodzącego;
- ewentualnego wpływu na sąsiednie wyposażenie;
- dopuszczalnej temperatury granicznej materiałów izolacyjnych stykających się z przewodem;
- wpływu temperatury przewodu na aparaty przyłączone do niego.

**Komentarz:** w tym miejscu należy doprecyzować, że występuje rozdział ról:

- a) prefabrykator odpowiada za wyrób, tzn. na podstawie otrzymanej dokumentacji dobiera obudowę, rozmieszczenie aparatów i wewnętrzne połączenia oraz zgodność z normą PN-EN 61439;
- b) projektant ma dobrać aparaty i oczywiście przewody zewnętrzne.

Zatem to projektant powinien określić, jakie warunki mają panować w rozdzielnicach.

Na podstawie powyższych danych maksymalna temperatura wewnątrz rozdzielnic może wynosić (jeśli nie zostaną określone inne warunki w zamówieniu):

- » dla aparatów (wyłączniki powietrzne, wyłączniki mocy oraz dla aparatury modułowej):  $70^{\circ}\text{C}$ ;
- » dla przewodów i kabli – norma PN-HD 60364-5-52 [17] przewiduje maks. temperaturę otoczenia w zależności od typu izolacji:
  - $60^{\circ}\text{C}$  – dla izolacji z polichlorku winylu (PCV);
  - $80^{\circ}\text{C}$  – dla izolacji z polietylenu usieciowanego (XLPE) lub gumy etylenowo-propylenowej (ERP) i ERP.

Na podstawie zapisów normy PN-EN IEC 61439-1 [2] (tu punkty C i D – patrz wyżej) maksymalna temperatura wewnątrz rozdzielnic może wynosić  $60^{\circ}\text{C}$  (przy zastosowaniu przewodów i kabli z izolacją PCV, które są najczęściej stosowane do połączeń we wnętrzach rozdzielnic oraz jako przewody do zasilania odbiorników). Co to będzie oznaczać w praktyce? Aby odpowiedzieć na to pytanie, w przypadku przewodów i kabli należy skorzystać z normy PN-HD 60364-5-52 [17] (**tab. 3**).

**Komentarz:** w tym przypadku już nie posługujemy się spodziewanym przyrostem temperatury, a temperaturą maksymalną.

Stała temperatura  $60^{\circ}\text{C}$ , występująca w miejscu przyłączenia kabli odpływowych, powoduje konieczność ich przewymiarowania, gdyż w przypadku izolacji np.

- a) polwinitowej, obciążalność długotrwała takiego przewodu spada o 50%;
- b) z polwinitu usieciowanego – spada o 29%.

Powyższe wartości nie uwzględniają innych współczynników, takich jak np. sposób ułożenia, wyższe harmoniczne itd. Oczywiście można podjąć dyskusję, czy narażenie przewodów i kabli na dość krótkim odcinku wewnątrz rozdzielnic (z reguły kilka cm) powinno być brane pod uwagę

podczas doboru? Na poprzedniej stronie przedstawiono zdjęcie z przykładowym przyłączeniem przewodów odpływowych poprzez złączki gwintowe jednotorowe (zwane: ZUG) (**fot. 1**).

W praktyce szczególnie w miejscu przyłączenia przewodów zewnętrznych pojedyncze żyły różnych obwodów stykają się. Jeśli nastąpi przekroczenie temperatury dopuszczalnej długotrwale (wystarczy, że prąd obciążenia będzie miał wartość powyżej 50% wartości znamionowej) dla konkretnego przewodu, jego izolacja zacznie tracić swoją sztywność, a dodatkowo – podgrzewać pozostałe żyły, co w konsekwencji może doprowadzić (przy niewielkich odległościach) do zapalenia się izolacji, zwarcia łukowego lub po prostu zwarcia. Dodatkowo właśnie w górnej części obudowy, w której są wprowadzone przewody i kable opływowe, jest słabsze odprowadzanie ciepła. W tego typu sytuacjach spodziewany zakres ewentualnych uszkodzeń jest trudny do oszacowania. Na **fotografii 2** przedstawiono przykład uszkodzenia przewodów wewnątrz rozdzielnic – przewody (połączenia wewnętrzne) nie zostały poprawnie dobrane ze względu na ich obciążalność długotrwałą.

Jaki wpływ będzie miała temperatura  $60^{\circ}\text{C}$  na zabezpieczenia, a w szczególności

| Cechy                                                                                                                 | Podrozdział lub rozdział odniesienia       | Konfiguracja domyślna <sup>b</sup>             | Opcje podane w normie                | Wymaganie użytkownika <sup>a</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Układ elektryczny</b>                                                                                              |                                            |                                                |                                      |                                    |
| Układ uziemienia                                                                                                      | 5.6, 8.4.3.1, 8.4.3.2.3, 8.6.2, 10.5, 11.4 | Normy producenta, dobrane do lokalnych wymagań | TT / TN-C / TN-C-S / IT, TN-S        |                                    |
| Napięcie nominalne (V)                                                                                                | 3.8.9.1, 5.2.1, 8.5.3                      | Lokalne, zgodne z warunkami instalacji         | max 1 000 V a.c. lub 1 500 V d.c.    |                                    |
| Przebiegi przejściowe                                                                                                 | 5.2.4, 8.5.3, 9.1, Załącznik G             | Określone przez elektryczny system zasilania   | Kategoria przepięć I / II / III / IV |                                    |
| Przebiegi dorywcze                                                                                                    | 9.1                                        | Nominalne napięcie systemu + 1 200 V           | Brak                                 |                                    |
| Częstotliwość znamionowa $f_n$ (Hz)                                                                                   | 3.8.12, 5.5, 8.5.3, 10.10.2.3, 10.11.5.4   | Zgodnie z lokalnymi warunkami instalacji       | d.c./50 Hz/60 Hz                     |                                    |
| Dodatkowe wymagania dotyczące badań w miejscu instalowania: oprzewodowanie, działanie i funkcja                       | 11.10                                      | Normy producenta, zgodnie z zastosowaniem      | Brak                                 |                                    |
| <b>Zdolność zwarciowa wytrzymywana</b>                                                                                |                                            |                                                |                                      |                                    |
| Prąd zwarcioowy spodziewany na zaciskach zasilania $I_{sc}$ (kA)                                                      | 3.8.7                                      | Określony w systemie zasilania                 | Brak                                 |                                    |
| Prąd zwarcioowy spodziewany w obwodzie neutralnym                                                                     | 10.11.5.3.5                                | Max. 60 % wartości fazowych                    | Brak                                 |                                    |
| Prąd zwarcioowy spodziewany w obwodzie ochronnym                                                                      | 10.11.5.6                                  | Max. 60 % wartości fazowych                    | Brak                                 |                                    |
| Wymaganie w odniesieniu do SCPD w polu zasilającym                                                                    | 9.3.2                                      | Zgodnie z lokalnymi warunkami instalacji       | Tak / Nie                            |                                    |
| Koordinacja zabezpieczeń zwarcioowych, z uwzględnieniem szczegółów dotyczących zewnętrznych zabezpieczeń zwarcioowych | 9.3.4                                      | Zgodnie z lokalnymi warunkami instalacji       | Brak                                 |                                    |

Tab. 1. Fragment załącznika C (informacyjny) „Szablon informacji użytkownika” [2]

| Cechy                                             | Podrozdział lub rozdział odniesienia | Konfiguracja domyślna <sup>1</sup>        | Opcje podane w normie | Wymaganie użytkownika <sup>2</sup> |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Odporność na korozję                              | 10.2.2                               | Normalne Wewnętrzne/ Napowietrzne układy  | Brak                  |                                    |
| Temperatura otoczenia – dolna granica             | 7.1.1                                | Wewnętrzne: –5 °C<br>Napowietrzne: –25 °C | Brak                  |                                    |
| Temperatura otoczenia – górna granica             | 7.1.1                                | 40 °C                                     | Brak                  |                                    |
| Temperatura otoczenia – najwyższa średnia dzienna | 7.1.1, 9.2                           | 35 °C                                     | Brak                  |                                    |

Tab. 2. Fragment załącznika C, w którym przedstawiono konfigurację domyślną w zakresie temperatury otoczenia pracy rozdzielnic [3]

| Temperatura ziemi °C | Izolacja |            |
|----------------------|----------|------------|
|                      | PVC      | XLPE i EPR |
| 10                   | 1,10     | 1,07       |
| 15                   | 1,05     | 1,04       |
| 20                   | 1,00     | 1,00       |
| 25                   | 0,95     | 0,96       |
| 30                   | 0,89     | 0,93       |
| 35                   | 0,84     | 0,89       |
| 40                   | 0,77     | 0,85       |
| 45                   | 0,71     | 0,80       |
| 50                   | 0,63     | 0,76       |
| 55                   | 0,55     | 0,71       |
| 60                   | 0,45     | 0,65       |
| 65                   | –        | 0,60       |
| 70                   | –        | 0,53       |
| 75                   | –        | 0,46       |
| 80                   | –        | 0,38       |

Tab. 3. Współczynniki poprawkowe dla temperatury otaczającej innej niż 30°C, stosowane do obciążalności prądowej długotrwałej przewodów ułożonych w powietrzu [17]

na ich wyzwalacze termiczne? W artykule przedstawiono **tabele 4.** oraz **5.**, w których został opisany wpływ temperatury otoczenia na prądy zadziałania członów przeciążeniowych dla wyłączników nadprądowych oraz wyłączników mocy z wyzwalaczami termiczno-magnetycznymi.

Na podstawie **tabel 4.** i **5.** należy przyjąć, że przy temperaturze otoczenia wynoszącej 60°C:

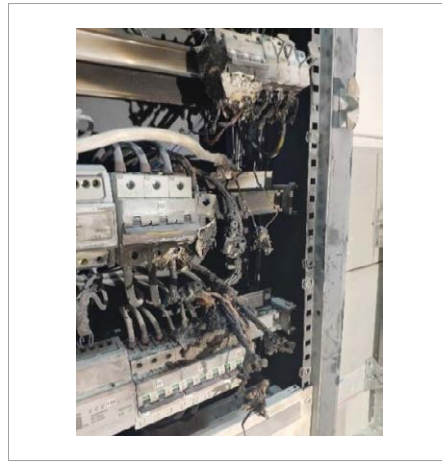
- wyłączniki modułowe – ich prąd znamionowy wyzwalacza termicznego spada o około 8–9% (dla przyrostu 30 K);
- wyłączniki mocy z wyzwalaczami termiczno-magnetycznymi – ich prąd znamionowy wyzwalacza termicznego spada o około 13% (dla przyrostu 30 K).

Należy podkreślić, że powyższe wartości w zakresie prądu znamionowego powiązane z temperaturą otoczenia wynikają z konstrukcji oraz norm produktowych wyłączników. Alternatywą dla nich jest stosowanie wyzwalaczy elektronicznych, które wykazują mniejszą zależność charakterystyki prądowej od temperatury otoczenia.

W kolejnej części artykułu, którą zamieścimy w marcowym wydaniu, przedstawimy praktyczne przykłady, które wyjaśnią problem wpływu temperatury na pracę wyposażenia rozdzielnic oraz przyłączonych przewodów i kabli.

## Literatura

- Ustawa Prawo budowlane (Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414, z późniejszymi zmianami – tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 1186).
- PN-EN IEC 61439-1:2011/2021-10 *Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe. Część 1: Postanowienia ogólne.* (Norma z 2011 – jest wersja polska (wycofana przez prezesa PKN); norma z 2021 – jest wersja angielska (zastępuje poprzedniczkę – według PKN). W praktyce jednak jest to norma niezharmonizowana z dyrektywą 2014/35/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia. Tym samym z punktu widzenia prawnego nadal obowiązuje norma z 2011 r. W omawianym zakresie nie ma większych różnic pomiędzy normami. Zostały przywołane obie ze względu na język tekstu).



Fot. 2. Przykład uszkodzenia przewodów wewnątrz rozdzielnic w wyniku zapalenia się izolacji fot. M. Orzechowski

zuje norma z 2011 r. W omawianym zakresie nie ma większych różnic pomiędzy normami. Zostały przywołane obie ze względu na język tekstu).

- PN-EN IEC 61439-2:2011/2021-10 *Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe. Część 2: Rozdzielnice i sterownice do rozdzielenia energii elektrycznej.* (Komentarz: patrz wyżej).
- PN-EN 61439-3:2012 *Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe. Część 3: Rozdzielnice tablicowe przeznaczone do obsługiwaniania przez osoby postronne (DBO).*
- PN-EN 61439-4:2013-06 *Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe. Część 4: Wymagania dotyczące zestawów przeznaczonych do instalowania na placu budowy (ACS).*
- PN-EN 61439-5:2015-02 *Rozdzielnice i sterownice niskonapięciowe. Część 5: Zestawy do dystrybucji mocy w sieciach publicznych.*
- IEC 60890 *A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and control-gear assemblies by calculation.*
- J. Wiatr, M. Orzechowski, Poradnik projektanta elektryka. Podstawy zasilania budynków mieszkalnych, użyteczności publicznej i innych obiektów nieprzemysłowych w energię elektryczną, Grupa Medium, wydanie VI, Warszawa 2021.

## ABSTRACT

**Low voltage switchgears – the influence of temperature on the operational safety of low voltage switchboards (selected issues) (part 1.)**

The article presents the threats resulting from insufficient temperature requirements inside the switchgear. Omitting this physical quantity in practice may result in damage to the switchgear or contribute to its incorrect operation and, in extreme cases, to its complete destruction.

**Keywords:** EN 61439, temperature inside the switchgear, fire hazard.

| B, C i D | Temperatura otoczenia T (°C) |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |  |  |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|--|--|
| In (A)   | -40                          | -30  | -20  | -10  | 0    | 10   | 20   | 30  | 40   | 50   | 60   | 70   |  |  |
| 0,5      | 0,61                         | 0,59 | 0,58 | 0,56 | 0,55 | 0,53 | 0,52 | 0,5 | 0,49 | 0,47 | 0,46 | 0,44 |  |  |
| 1        | 1,21                         | 1,18 | 1,15 | 1,12 | 1,09 | 1,06 | 1,03 | 1   | 0,97 | 0,94 | 0,91 | 0,88 |  |  |
| 1,6      | 1,84                         | 1,89 | 1,84 | 1,79 | 1,74 | 1,7  | 1,65 | 1,6 | 1,55 | 1,5  | 1,46 | 1,41 |  |  |
| 2        | 2,42                         | 2,36 | 2,3  | 2,24 | 2,18 | 2,12 | 2,06 | 2   | 1,94 | 1,88 | 1,82 | 1,76 |  |  |
| 3        | 3,63                         | 3,54 | 3,45 | 3,36 | 3,27 | 3,18 | 3,09 | 3   | 2,91 | 2,82 | 2,73 | 2,64 |  |  |
| 4        | 4,84                         | 4,72 | 4,6  | 4,48 | 4,36 | 4,24 | 4,12 | 4   | 3,88 | 3,76 | 3,64 | 3,52 |  |  |
| 6        | 7,26                         | 7,08 | 6,9  | 6,72 | 6,54 | 6,36 | 6,18 | 6   | 5,82 | 5,64 | 5,46 | 5,28 |  |  |
| 8        | 9,68                         | 9,44 | 9,2  | 8,96 | 8,72 | 8,48 | 8,24 | 8   | 7,76 | 7,52 | 7,28 | 7,04 |  |  |
| 10       | 12,1                         | 11,8 | 11,5 | 11,2 | 10,9 | 10,6 | 10,3 | 10  | 9,7  | 9,4  | 9,1  | 8,8  |  |  |
| 13       | 15,7                         | 15,3 | 15   | 14,6 | 14,2 | 13,8 | 13,4 | 13  | 12,6 | 12,2 | 11,8 | 11,4 |  |  |
| 16       | 19,4                         | 18,9 | 18,4 | 17,9 | 17,4 | 17   | 16,5 | 16  | 15,5 | 15   | 14,6 | 14,1 |  |  |
| 20       | 24,2                         | 23,6 | 23   | 22,4 | 21,8 | 21,2 | 20,6 | 20  | 19,4 | 18,8 | 18,2 | 17,6 |  |  |
| 25       | 30,3                         | 29,5 | 28,8 | 28   | 27,3 | 26,5 | 25,8 | 25  | 24,3 | 23,5 | 22,8 | 22   |  |  |
| 32       | 38,7                         | 37,8 | 36,8 | 35,8 | 34,9 | 33,9 | 33   | 32  | 31   | 30,1 | 29,1 | 28,2 |  |  |
| 40       | 48,4                         | 47,2 | 46   | 44,8 | 43,6 | 42,4 | 41,2 | 40  | 38,8 | 37,6 | 36,4 | 35,2 |  |  |
| 50       | 60,5                         | 59   | 57,5 | 56   | 54,5 | 53   | 51,5 | 50  | 48,5 | 47   | 45,5 | 44   |  |  |
| 63       | 76,2                         | 74,3 | 72,5 | 70,6 | 68,7 | 66,8 | 64,9 | 63  | 61,1 | 59,2 | 57,3 | 55,4 |  |  |

Tab. 4. Prąd znamionowy wyłącznika modułowego z wyzwalaczem termiczno-magnetycznym typu S200 w funkcji temperatury otoczenia [16]

| XT1    | Temp. otoczenia T (°C) |     |     |     |       |     |      |     |       |      |     |     |    |     |
|--------|------------------------|-----|-----|-----|-------|-----|------|-----|-------|------|-----|-----|----|-----|
| In [A] | 10                     | 20  | 30  | 40  | 45    | 50  | 60   | 70  |       |      |     |     |    |     |
| 16     | 13                     | 18  | 12  | 18  | 11,9  | 17  | 11,2 | 16  | 10,8  | 15,5 | 11  | 15  | 10 | 14  |
| 20     | 16                     | 23  | 15  | 22  | 14,7  | 21  | 14   | 20  | 13,6  | 19,4 | 13  | 19  | 12 | 18  |
| 25     | 20                     | 29  | 19  | 28  | 18,2  | 26  | 17,5 | 25  | 16,9  | 24,2 | 16  | 23  | 15 | 22  |
| 32     | 26                     | 37  | 25  | 35  | 23,8  | 34  | 22,4 | 32  | 21,7  | 31,0 | 21  | 30  | 20 | 28  |
| 40     | 32                     | 46  | 31  | 44  | 29,4  | 42  | 28   | 40  | 27,1  | 38,7 | 27  | 38  | 25 | 35  |
| 50     | 40                     | 58  | 39  | 55  | 37,1  | 53  | 35   | 50  | 33,9  | 48,4 | 33  | 47  | 31 | 44  |
| 63     | 51                     | 72  | 49  | 69  | 46,2  | 66  | 44,1 | 63  | 42,7  | 61   | 41  | 59  | 39 | 55  |
| 80     | 64                     | 92  | 62  | 88  | 58,8  | 84  | 56   | 80  | 54,2  | 77   | 53  | 75  | 49 | 70  |
| 100    | 81                     | 115 | 77  | 110 | 73,5  | 105 | 70   | 100 | 67,8  | 97   | 66  | 94  | 61 | 88  |
| 125    | 101                    | 144 | 96  | 138 | 91,7  | 131 | 87,5 | 125 | 84,7  | 121  | 82  | 117 | 77 | 109 |
| 160    | 129                    | 184 | 123 | 176 | 117,6 | 168 | 112  | 160 | 108,4 | 155  | 105 | 150 | 98 | 140 |

Tab. 5. Prąd znamionowy wyłącznika mocy typu Tmax XT, z wyzwalaczem termiczno-magnetycznym w funkcji temperatury otoczenia [16]

**elektro**  
**info**

**Profesjonalne szkolenia dla elektryków online!**

Kompensacja mocy biernej. Podstawy teoretyczne i zastosowania praktyczne.

**Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!**

**www.kursy.elektro.info.pl**

# Pomiary harmonicznych w układach z transformatorami

Jakość energii elektrycznej (JEE) określana jest między innymi jako miara różnicy rzeczywistego napięcia do napięcia o przebiegu sinusoidalnym o częstotliwości 50 Hz. Odbiorcy energii elektrycznej przykładają dużą wagę do zagadnień związanych z JEE. Wynika to przede wszystkim ze stale zwiększającego się kosztu energii elektrycznej oraz coraz częstszych awarii urządzeń zasilanych energią słabej jakości.

Pogarszanie się JEE spowodowane jest m.in. wzrostem liczby zainstalowanych odbiorników nieliniowych, np. układów sterujących pracą silników, urządzeń wykorzystujących zasilacze impulsowe, wprowadzających do systemu elektroenergetycznego (SEE) składowe harmoniczne. Najważniejsze przyczyny oraz skutki odkształconych przebiegów prądów i napięć zostały opisane w [1]. Szybki rozwój urządzeń oraz technik pomiarowych doprowadził do możliwości bardzo szczegółowej analizy JEE [7]. Poddawane pomiarom i analizie parametry oraz ich wartości są szczegółowo określone w normach międzynarodowych.

Badania zawartości wyższych harmonicznych przeprowadzane są w celu analizy JEE. Jest to niezbędne w celu określenia potrzeby oraz możliwości zastosowania rozwiązań technicznych mających na celu poprawę JEE.

Wzrost wiedzy oraz znajomość zagrożeń, które mogą zostać spowodowane obecnością harmonicznych, doprowadził do przeciwdziałania pogarszaniu się parametrów JEE. Powodem przykładania coraz większej wagi do szkodliwości wyższych harmonicznych w SEE jest powstawanie nowych urządzeń, wymagających sinusoidalnego prądu wejściowego. Obecnie jednym z większych problemów jest duża liczba odbior-

ników nieliniowych o niewielkiej mocy jednostkowej zainstalowanych w danym miejscu. Przykładem tego może być oświetlenie oraz sprzęt elektroniczny zastosowany w zakładach przemysłowych i gospodarstwach domowych. Negatywny wpływ harmonicznych na pracę wielu urządzeń jest wtedy bardzo niebezpieczny [2].

Od początku lat dwutysięcznych badania JEE uznawane są jako odrębna gałąź nauki i techniki o interdyscyplinarnym charakterze. W ramach ogólnej kategorii wiedzy, jaką jest wiedza o JEE, występują takie dziedziny nauki jak: modelowanie i analiza, metody i środki techniczne pomiaru, źródła złej jakości energii, środki poprawy jakości energii, normalizacja, taryfikacja i kontrakty oraz skutki złej jakości energii. Wraz z rozwojem techniki zauważalny jest wzrost liczby publikacji dotyczących bardzo ważnego dla SEE zagadnienia jakim jest JEE [3].

## Wpływ odkształceń prądów i napięć na pracę urządzeń zainstalowanych w SEE

Odształcenia prądów i napięć mogą mieć różny wpływ na urządzenia SEE. Obecność harmonicznych w napięciu zasilającym ma największy wpływ na urządzenia elektroniczne. W celu ich prawidłowego funkcjonowania przy ich projektowaniu zakłada się niemal idealnie sinusoidalne przebiegi napięć i prądów o częstotliwości podstawowej.

Jednym z najważniejszych problemów, będącym skutkiem występowania harmonicznych, jest zmniejszona zdolność przesyłowa odbiorników. Jest to spowodowane zbyt dużą wartością obciążenia, które przekracza obciążenia związane z mocą zainstalowanych odbiorników. Do pozostałych, równie istotnych zakłóceń wywołanych harmonicznymi należą [3]:

- » przeciążenia sieci;
- » zwiększone straty czynne;
- » zwiększony pobór mocy biernej;

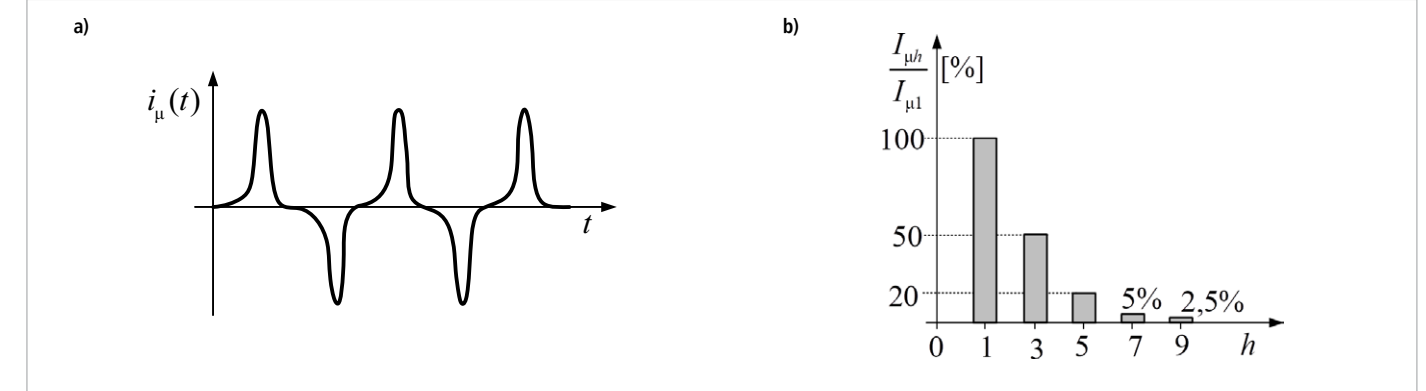
- » przeciążenia przewodów neutralnych;
- » przedwczesne starzenie się generatorów, transformatorów, silników, baterii kondensatorów;
- » zjawiska rezonansowe;
- » zbyt niska wartość współczynnika mocy;
- » obecność napięć pomiędzy przewodami ochronnymi a neutralnymi;
- » zakłócenia w pracy urządzeń elektronicznych;
- » zakłócenia w sieciach telekomunikacyjnych;
- » niewłaściwy odczyt energii przez liczniki indukcyjne;
- » nieprawidłowe działanie wyłączników.

Prądy harmoniczne zwiększają wartość skuteczną prądu w instalacjach elektrycznych i pogarszają jakość napięcia zasilania. Doprowadzają do obciążenia sieci i możliwego uszkodzenia urządzeń, zakłóceń normalnej pracy urządzeń oraz zwiększenia kosztów eksploatacji.

## Transformator jako źródło harmonicznych

Transformator może być źródłem zarówno harmonicznych prądu, jak i napięcia. Z powodu nieliniowej charakterystyki magnesowania dla zasilającego transformatora SEE jest on źródłem harmonicznych prądu. Dla układu, który jest zasilany przez transformator, jest źródłem harmonicznych napięcia.

W przypadku niewielkiego wzrostu napięcia  $U_{we}$  – zasilającego transformator powyżej wartości znamionowej – punkt pracy na jego charakterystyce magnesowania znajduje się w obszarze nasycenia magnetycznego [3]. Zauważalny jest wtedy wzrost prądu magnesującego  $I_\mu$  oraz zwiększenie jego odkształcenia. Przykładowy przebieg odkształcony prądu magnesującego wraz z jego widmem harmonicznym został przedstawiony na **rysunku 1**. Taka sytuacja może być efektem wyłączania lub załączania dużej liczby odbiorów mocy biernej poprzez wyłączanie dławików lub załącza-



Rys. 1. Przykładowy: a) odkształcony prąd magnesujący transformatora oraz b) jego widmo harmonicznych otrzymane dla  $U_{we} = 115\% U_n$ , gdzie:  $h$  – rząd harmonicznej [2]

nie baterii kondensatorów. Zjawisko to dotyczy głównie transformatorów bez regulacji napięcia. System jest wtedy niewystarczająco obciążony, a transformator pobiera większą ilość zniekształconego prądu. W takim przypadku napięcie po stronie wtórnej transformatora jest odkształcone.

Przy konstruowaniu transformatorów uwzględnia się dodatkowe straty mocy, wynikające z prądów harmonicznych potrójnych, przepływających przez uzwojenia połączone w trójkąt. Zawartość harmonicznych potrójnych w sieciach SN jest mała, ponieważ strona transformatora, po której uzwojenie jest połączone w trójkąt (SN), zawiera harmoniczne potrójne generowane po stronie niskiego napięcia (nN) i nie przepuszcza ich do sieci SN. W systemach przesyłowych wykorzystywane są transformatory NN/WN o grupie połączeń YNyn0. W przypadku braku w takim transformatorze dodatkowego uzwojenia, połączonego w trójkąt, może wystąpić duże odkształcenie napięcia po stronie wtórnej transformatora. Dzięki połączeniu uzwojeń typu trójkąt/gwiazda odkształcenia napięcia trzecią harmoniczną nie są problemem w transformatorach w sieciach rozdzielczych i przemysłowych [3].

Praca urządzeń energoelektronicznych zasilanych z transformatora SN/nN może spowodować pojawienie się składowej stałej prądu i w konsekwencji nasycenie rdzenia transformatora. Innym powodem nasycenia rdzenia jest wzrost wartości szczytowej napięcia, wynikający z odkształcenia harmonicznego. Największym skutkiem przepływu odkształconych prądów jest zwiększenie strat mocy w transformatorze [3].

W sytuacji, w której transformator trójfazowy jest załączany w stanie jałowym, występują udary prądu magnesującego. Konsekwencją tego zjawiska może być zbędne zadziałanie zabezpieczenia różnicowego transformatora.

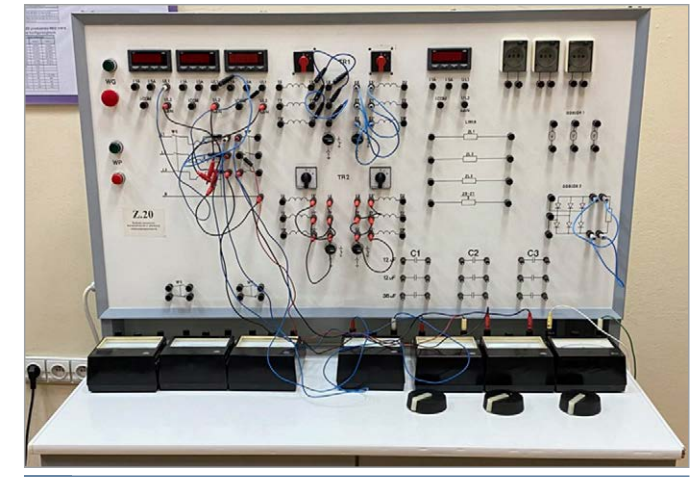
Wartość prądu udarowego zależy od mocy znamionowej transformatora, właściwości magnetycznych, z których wykonano rdzeń, oraz odległości rdzenia od uzwojenia. Wartość prądu udarowego może być porównywalna z wartością prądu płynącego przez transformator podczas zwarcia zewnętrznego. Prąd udarowy w związku ze stratami energii zmniejsza się, jednak jego wartość może utrzymywać się na poziomie prądu znamionowego przez ok. 1 s. Jedną z najważniejszych cech prądu udarowego jest jednak to, że zawiera harmoniczne parzyste i nieparzyste, spośród których najbardziej znacząca jest 2. harmoniczna [4]. W celu uniknięcia zbędnego zadziałania zabezpieczenia różnicowego stosuje się blokowanie jego działania, wykorzystując do tego celu 2. harmoniczną prądu różnicowego.

Kolejnym zakłóceniem, które może wywołać zbędne zadziałanie zabezpieczenia różnicowego, jest znaczny strumień magnesujący we wnętrzu rdzenia transformatora, będący wynikiem przewzbudzenia transformatora. W tym przypadku prąd pierwotny oraz wtórny transformatora zawiera m.in. 5. harmoniczną. W celu eliminacji zbędnego zadziałania zabezpieczenia stosowane jest blokowanie jego działania, wykorzystując do tego celu 5. harmoniczną prądu różnicowego.

Kolejnym zakłóceniem, które może wywołać zbędne zadziałanie zabezpieczenia różnicowego, jest znaczny strumień magnesujący we wnętrzu rdzenia transformatora, będący wynikiem przewzbudzenia transformatora. W tym przypadku prąd pierwotny oraz wtórny transformatora zawiera m.in. 5. harmoniczną. W celu eliminacji zbędnego zadziałania zabezpieczenia stosowane jest blokowanie jego działania, wykorzystując do tego celu 5. harmoniczną prądu różnicowego.

## Opis stanowiska laboratoryjnego do pomiarów harmonicznych

Stanowisko laboratoryjne [5] do pomiarów harmonicznych wyposażone jest w regulowa-



Rys. 2. Płyta czołowa stanowiska laboratoryjnego do pomiaru harmonicznych

ne trójfazowe źródło napięcia, składające się z trzech autotransformatorów. Maksymalne regulowane napięcie jednego autotransformatora wynosi 250 V, natomiast maksymalny prąd obciążenia wynosi 10 A. Stanowisko wyposażone jest w wyłącznik główny WG oraz wyłącznik pomocniczy WP (**rys. 2**). Wyłącznik główny zrealizowany jest za pomocą stycznika trójfazowego o obciążeniu maksymalnym 16 A i służy do załączania autotransformatorów. Rolą wyłącznika pomocniczego WP jest umożliwienie ustawienia wstępnego napięcia zasilania. Rozwiązanie to jest niezbędne, gdy istnieje potrzeba ustawienia określonego napięcia zasilania. Napięcie z autotransformatorów regulowane jest fazowo w zakresie 0÷250 V ac za pomocą pokręteł.

W stanowisku zainstalowane są dwa transformatory: TR1 i TR2. Są one wykorzystane w celu badania przenoszenia wyższych harmonicznych przez transformatory o różnych konstrukcjach i różnych połączeniach uzwojeń. Transformator TR1 jest jednostką trójkolumnową trójfazową, natomiast transformator TR2 zbudowany jest z trzech jednostek jednofazowych, które odpowiadają transformatorowi

## STRESZCZENIE

W artykule opisano wpływ odkształconych przebiegów prądów i napięć na pracę urządzeń zainstalowanych w SEE. Przedstawiono transformator jako źródło harmonicznych prądu. Opisano stanowisko laboratoryjne przeznaczone do pomiarów zawartości harmonicznych w układach z transformatorami. Przedstawiono przykładowe wyniki badania zawartości harmonicznych w prądach po dwóch stronach transformatora obciążonego prostownikiem 6-pulsowym.

**Słowa kluczowe:** jakość energii elektrycznej, harmoniczne, transformatory, analizatory jakości energii elektrycznej, stanowiska laboratoryjne.

| Parametry                                    | Transformator TR1<br>(trójfazowy trójkolumnowy) | Transformator TR2<br>(trzy jednostki jednofazowe) |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Moc znamionowa                               | 250 VA                                          | 100 VA (jedna jednostka)                          |
| Znamionowe napięcie fazowe strony GN         | 220 V                                           | 220 V                                             |
| Znamionowe napięcie fazowe strony DN         | 57 V                                            | 57 V                                              |
| Znamionowy prąd obciążenia uzwojeń strony GN | 0,37 A                                          | 0,45 A                                            |
| Znamionowy prąd obciążenia strony DN         | 1,46 A                                          | 1,75 A                                            |

Tab. 1. Parametry transformatorów zainstalowanych w stanowisku laboratoryjnym [5]



Rys. 3. Trójfazowy analizator JEE C.A 8332B

pięciokolumnowemu. Uzwojenia transformatorów TR1 i TR2 mogą być połączone w trójkąt lub gwiazdę oraz pracować z uziemionym lub nieziemionym punktem gwiazdowym. Parametry transformatorów zostały przedstawione w tabeli 1. W stanowisku laboratoryjnym zainstalowane są po dwie żarówki energooszczędne (na każdą fazę) z zapłonem elektronicznym (napięcie znamionowe 230 V ac, moc jednej żarówki: 18 W).



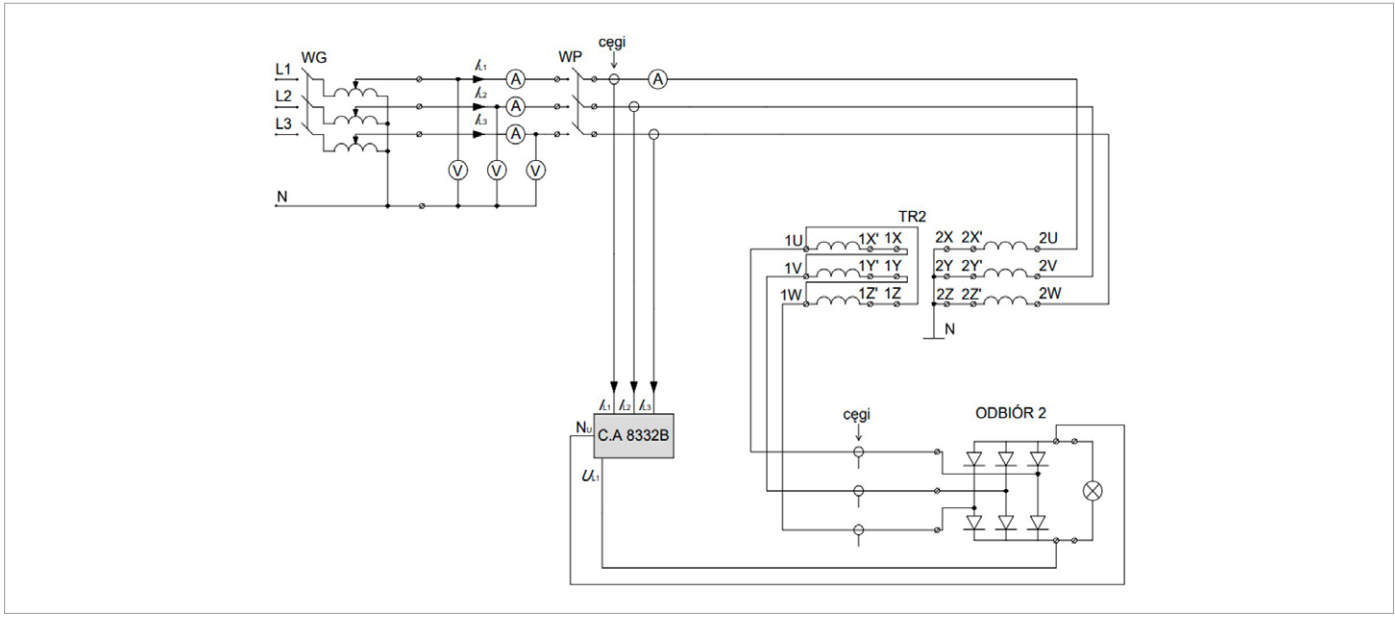
Rys. 4. Miernik cęgowy F27

W celu przeprowadzania badań przy obciążeniu transformatora przekształtnikiem energoelektronicznym w stanowisku zainstalowany jest prostownik 6-pulsowy. Jest on wykonany na bazie trójfazowego, dwupołkowego mostka prostowniczego, którego napięcie znamionowe wyjściowe wynosi 600 V, a maksymalny prąd obciążenia 25 A. Jako obciążenie prostownika w ramach przeprowadzonych badań wykorzystana została

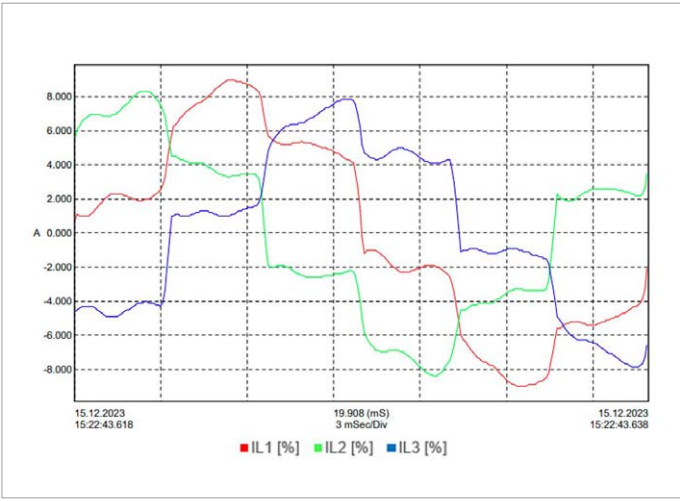
żarówka o mocy 60 W i napięciu znamionowym 230 V ac.

Pomiary w stanowisku laboratoryjnym przeprowadzane są za pomocą dwóch analizatorów jakości energii elektrycznej firmy Chauvin Arnoux: C.A 8332B [8] (rys. 3.) oraz F27 [9] (rys. 4.). Analizator C.A 8332B nie ma możliwości pomiaru składowej stałej (dc) i mierzy jedynie składowe przemienne (ac) prądów i napięć, natomiast miernik F27 oprócz składowych przemiennych może dodatkowo mierzyć zawartości składowej stałej w prądach i napięciach.

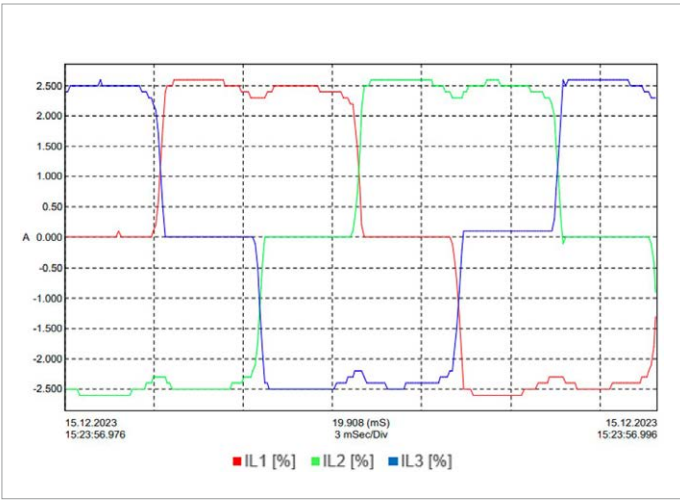
W ramach pracy [6] wykonano wiele układów połączeń z transformatorami TR1 i TR2, prostownikiem 6-pulsowym i żarówkami energooszczędnymi do wykonania pomiaru wyższych harmonicznych. Na rysunku 5. przedstawiono przykładowy układ połączeń do wykonania badania wyższych harmonicznych w układzie z transformatorem TR2 i prostownikiem 6-pulsowym. Pomiary harmonicznych w prądach powinny zostać wykonane po dwóch stronach transformatora TR2 – po stronie zasilania i po stronie odbiornika. Transformator zasilany jest od strony dolnego napięcia połączonej w gwiazdę (zaciski 2U, 2V, 2W), której znamionowe napięcie fazowe wynosi 57 V. Napięcie fa-



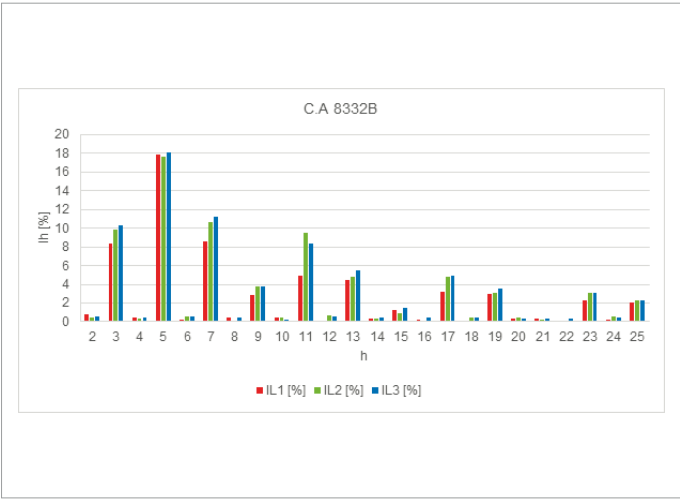
Rys. 5. Schemat pomiarowy do wyznaczania zawartości harmonicznych przy obciążeniu transformatora TR2 prostownikiem 6-pulsowym [6]



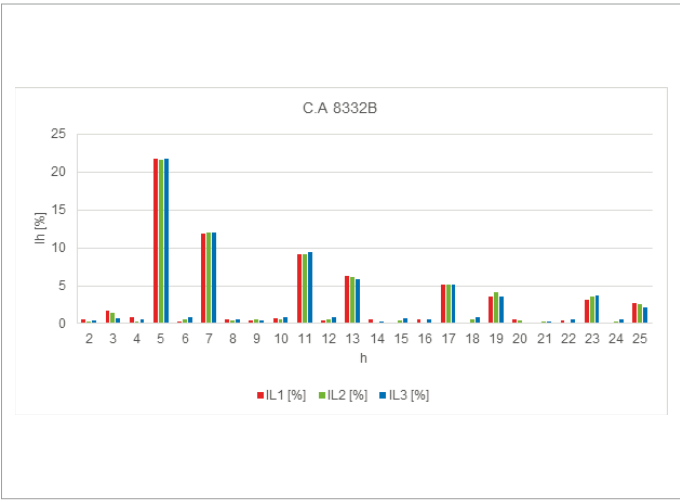
Rys. 6. Przebiegi czasowe prądów fazowych po stronie zasilania transformatora (zastosowano mnożnik 10 w stosunku do wartości rzeczywistych prądów) [6]



Rys. 8. Przebiegi czasowe prądów fazowych po stronie odbiornika (zastosowano mnożnik 10 w stosunku do wartości rzeczywistych prądów) [6]



Rys. 7. Zawartość harmonicznych w prądach fazowych zasilających transformator (bez 1. harmonicznej) [6]



Rys. 9. Zawartość harmonicznych w prądach fazowych po stronie odbiornika (bez 1. harmonicznej) [6]

zowe zasilające transformator TR2 powinno być ustawione przy otwartym wyłączniku pomocniczym WP i wynosić 46 V (wtedy na wyjściu prostownika będzie napięcie 220 V dc), aby nie uszkodzić żarówki obciążającej prostownik. Gdy wymagana wartość napięcia zasilającego zostanie ustawiona, należy zamknąć wyłącznik WP.

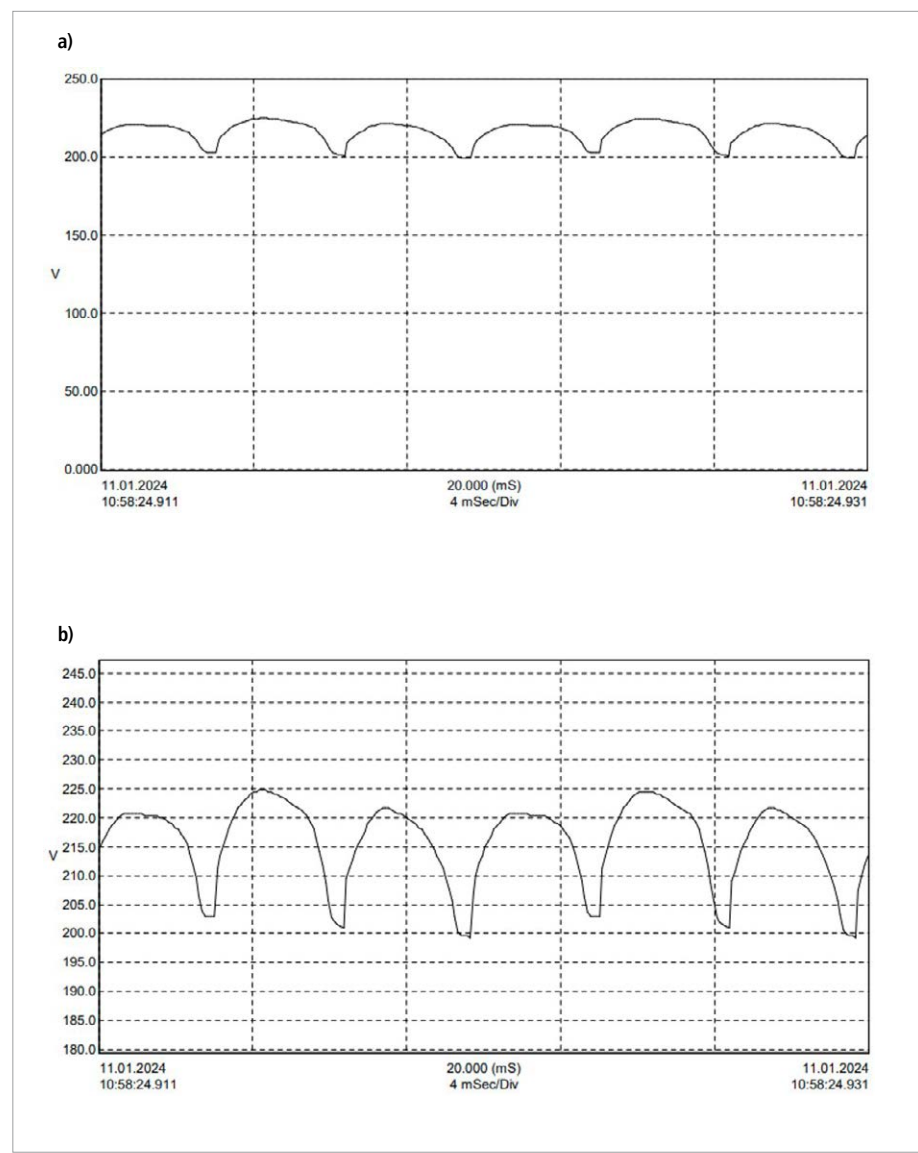
### Przykładowe wyniki pomiarów harmonicznych

Przedstawiono wyniki badania transformatora TR2 obciążonego prostownikiem 6-pulsowym. Wyniki pomiarów harmonicznych prądu w przewodach zasilających transformator, uzyskane dla każdej fazy za pomocą analizatorów C.A. 8332B i F27, są do siebie bardzo zbliżone. Zmierzone współczynniki THD<sub>i</sub> znajdują się w przedziale od 22,1% (miernik F27, pomiar AC, faza L1) do 27,3% (analizator C.A. 8332B, pomiar AC, faza L3). Przebiegi prądów po stronie

zasilania transformatora przedstawione na rysunku 6. charakteryzują się znacznym odkształceniem. Pomiary harmonicznych prądów uzyskane za pomocą analizatora C.A 8332B zostały zobrazowane w postaci wykresu widma harmonicznego, przedstawionego na rysunku 7. Jak widać, największą zawartość mają harmoniczne nieparzyste z dominującą 5. harmoniczną. Zauważalna jest również obecność 3. harmonicznej. Zawartość 5. harmonicznej wyniosła maksymalnie 18,1% (faza L3). Zawartość harmonicznych znacząco spada po 25. harmonicznej. Składowa stała (dc) – zmierzona za pomocą cęg F27 dla faz L1, L2, L3 – wyniosła, w stosunku do harmonicznej podstawowej, kolejno: 66,2%, 33,2%, 25,8%.

Wyniki pomiarów harmonicznych prądu po stronie odbiornika uzyskane dla każdej fazy za pomocą analizatorów C.A. 8332B i F27 są do siebie bardzo zbliżone, co potwierdza po-

prawność wykonanych pomiarów. Współczynnik THD<sub>i</sub> znajduje się w granicy od 28% (miernik F27, pomiar AC+DC, faza L3) do 29,5% (miernik F27, pomiar AC, faza L1). Przebiegi prądów po stronie odbioru, przedstawione na rysunku 8., charakteryzują się znacznym odkształceniem. Jak widać, największą zawartość mają harmoniczne nieparzyste z dominującą 5. harmoniczną. Zawartość 5. harmonicznej wyniosła maksymalnie 22,7% (faza L1). Zgodnie z przewidywaniami, można zauważyć zmniejszoną zawartość harmonicznych potrójnych po stronie transformatora połączonej w trójkąt, ponieważ uzwojenia transformatorów połączone w trójkąt stanowią obwód zwarty dla prądów harmonicznych potrójnych. Zawartość harmonicznych znacząco spada po 25. harmonicznej. Składowa stała (dc) – zmierzona za pomocą cęg F27 dla faz L1, L2, L3 – wyniosła, w stosunku do harmonicznej podstawowej, kolejno: 62,2%, 37,9%, 61,6%.



Rys. 10. Przebieg czasowy napięcia na wyjściu prostownika 6-pulsowego: a) w pełnej skali, b) powiększony [6]

Pomiary harmoniczných prądów uzyskane za pomocą analizatora C.A 8332B zostały zobrazowane w postaci wykresu widma harmonicznego, przedstawionego na **rysunku 9**.

Na **rysunku 10**, przedstawiono przebieg czasowy napięcia na wyjściu prostownika 6-pulsowego (**rys. 5**). Na wyjściu prostownika występują niewielkie wahania napięcia i jego amplituda zmienia się w przedziale od 200 V do 225 V.

## I Podsumowanie

Urządzenia elektryczne do prawidłowego działania wymagają napięcia zasilającego, którego wartość jest najbardziej bliska wartości napięcia znamionowego. Odbiorniki elektroniczne, wymagające energii o odpowiednio wysokiej jakości, mogą być jednocześnie źródłem odkształconego napięcia zasilającego. Wynika to z ich nieliniowych charakte-

rystyk prądowo-napięciowych. Pomiary wartości harmoniczných przeprowadzane są w celu analizy możliwości wystąpienia błędnego działania urządzeń, wywołanego znaczącym odkształceniem przebiegów prądów i napięć oraz stwierdzenia potrzeby zainstalowania systemów ograniczających propagację harmoniczných. Przeprowadzone w ramach pracy [6] badania pozwoliły na zweryfikowanie wiedzy teoretycznej poprzez wykonanie pomiarów harmoniczných w wielu wariantach układów laboratoryjnych z transformatorami.

## I Literatura

1. G. Hołdyński, Z. Skibko, Analiza odkształceń prądów i napięć na przykładzie wybranego obiektu widowskiego, „elektro.info” 11/2014, <https://www.elektro.info.pl/artukul/miernictwo/58629,analiza-zjawiska-odksztalcen-pradow-i-napiec-na-przykladzie-wybranego-obiektu-widowskiego> [dostęp: 10.12.2023].

branego-obiektu-widowskiego [dostęp: 10.12.2023].

2. Z. Hanzelka, Jakość energii elektrycznej, część 4., Wyższe harmoniczne napięć i prądów, portal internetowy firmy Twelve Electric: [www.twelvee.com.pl](http://www.twelvee.com.pl) [dostęp: 10.12.2023].
3. A. Smolarczyk, Z. Żagan, Harmoniczne w systemach elektroenergetycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2023.
4. W. Winkler, A. Wiszniewski, Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 2013.
5. A. Smolarczyk i inni, Laboratorium cyfrowej elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.
6. K. Nowak, Pomiary harmoniczných w wybranych układach elektroenergetycznych, Praca dyplomowa inżynierska (promotor: dr hab. inż. Adam Smolarczyk), Politechnika Warszawska, Warszawa 2024.
7. K. Chmielowiec i inni, Pomiary porównawcze analizatorów jakości energii elektrycznej – eksperyment pomiarowy w ramach Pikniku Jakości Energii Elektrycznej, „elektro.info” 9/2015, <https://www.elektro.info.pl/artukul/jakosc-energii-elektrycznej/60562,pomiary-porownawcze-analizatorow-jakosci-energii-elektrycznej-eksperyment-pomiarowy-w-ramach-pikniku-jakosci-energii-elektrycznej> [dostęp: 10.12.2023].
8. CHAUVIN ARNOUX, Three phase power quality analyzer user's manual: [https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/download/nf-ca\\_8332\\_ca\\_8334.pdf](https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/download/nf-ca_8332_ca_8334.pdf) [dostęp: 10.12.2023].
9. CHAUVIN ARNOUX, Clamp – on harmonic meter Models F23, F25 & F27, <https://www.aemc.com/userfiles/files/resources/brochures/950-BR-F232527.pdf> [dostęp: 10.12.2023].

## ABSTRACT

### Harmonics measurements in systems with transformers

The article describes the impact of distorted current and voltage waveforms on the operation of devices installed in the power system. The transformer is presented as a source of current harmonics. A laboratory stand intended for measuring harmonic content in systems with transformers is described. Examples of test results for harmonic content in currents on both sides of a transformer loaded with a 6-pulse rectifier are presented.

**Keywords:** power quality, harmonics, transformers, power quality analyzers, laboratory stations.

PRE  
EDWARD BIEL



Zapraszamy do zapoznania się z nowymi katalogami produktów PRE Biel oraz EVB24 do pobrania na naszej stronie

## Producent

## Stacji i rozdzielnic SN

## Rozdzielnic nN

## Stacji ładowania pojazdów EVB

## Obudów w II klasie ochronności

### KONTAKT:

Edward Biel  
32-060 Liszki  
Piekary 363 k. Krakowa  
tel./faks: +48 12 429 73 43  
[biuro@prebiel.pl](mailto:biuro@prebiel.pl)

[www.prebiel.pl](http://www.prebiel.pl), [www.evb24.pl](http://www.evb24.pl)

PRE Edward Biel od początku swojej działalności zajmuje się produkcją rozdzielnic i szaf niskiego napięcia, przeznaczonych dla energetyki zawodowej, infrastruktury publicznej, budownictwa oraz przemysłu. W naszej ofercie można znaleźć produkty i rozwiązania techniczne o szerokim profilu zastosowania. Wykonujemy zamówienia standardowe oraz te spoza naszego katalogu, starając się tym samym zaspokoić coraz większe wymagania Klientów. Prowadzimy prefabrykację rozdzielnic w wielu systemach znanych producentów. Wykonujemy usługi w zakresie prefabrykacji rozdzielnic i szaf sterowniczych na indywidualne życzenie Klienta.

### W NASZEJ OFERCIE MAMY M.IN.

- Stacje SN transformatorowe betonowe i metalowe,
- Złącza Kablowe SN,
- Rozdzielnice SN – RSS w izolacji powietrznej z polem wyłącznikowym,
- Rozdzielnice GPZ,
- Rozdzielnice Wewnętrzne nN – RWT,
- Rozdzielnice Słupowe nN – RST,
- Tablice Licznikowe TLP,
- Stacje Ładowanie Pojazdów – EVB – AC i DC do 450 kVa,
- Rozdzielnice Budowlane RB,
- Rozdzielnice modułowe TROX i TROY,
- Rozdzielnice przemysłowe do 4000A,
- Drzwi osłonne,
- Obudowy do IP 66,
- Obudowy ognioochronne FIREBOX,
- Obudowy REM 2 (aluminiowe w II klasie ochronności i złącza)

✎ dr inż. Michał Czosnyka – Politechnika Wrocławska, mgr inż. Radosław Dudzik, mgr inż. Marcin Orzechowski – ABB

# Zwarcia łukowe w rozdzielnicach średniego i niskiego napięcia

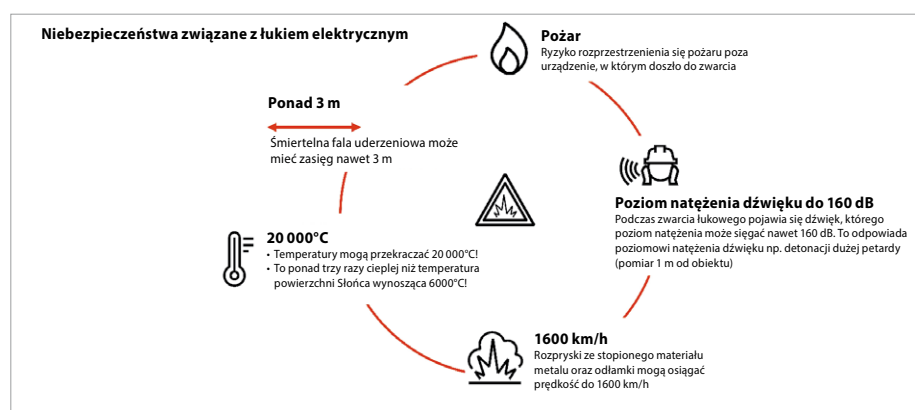
## Podstawy teoretyczne

Prezentowany artykuł stanowi pierwszą część cyklu publikacji dotyczących zwarć łukowych w rozdzielnicach elektrycznych. Ukazujące się cyklicznie poszczególne części publikacji będą stanowiły bogate źródło wiedzy teoretycznej i praktycznej na temat zjawiska zwarć łukowych oraz środków ochrony. Cykl artykułów jest skierowany głównie do projektantów, inspektorów nadzoru oraz kierowników budowy, którzy zgodnie z ustawą Prawo budowlane [1] odpowiadają za proces budowlany, a tym samym powinni mieć wiedzę na temat tego groźnego zjawiska. Prezentowana na łamach czasopisma seria tematyczna może być również przydatnym źródłem wiedzy dla osób związanych z utrzymaniem ruchu lub podejmujących inwestycyjne procesy decyzyjne.

Rozdzielnica elektryczna to zespół aparatów i urządzeń służących do bezpiecznego rozdziału, zabezpieczenia oraz pomiaru energii elektrycznej na każdym poziomie napięcia zasilającego. W toku pracy rozdzielnic elektrycznej może w niej dojść do wielu stanów awaryjnych, z których najbardziej powszechne są zwarcia. Zwarcie elektrycznym można nazwać połączenie dwóch lub więcej punktów sieci zasilającej, pomiędzy którymi występuje różnica potencjałów. Zwarcie charakteryzuje przepływ prądów o wartości znacznie przewyższającej prądy płynące w stanie ustalonym. W klasycznej teorii zwarć rozpatrywane są zwykle zwarcia metaliczne lub przez stosunkowo niewielką impedancję [2], [3] – jednofazowe, wielofazowe i doziemne.

Omawiając tematykę dotyczącą zwarć, często przywołuje się teorię związaną z rodzajami, przyczynami i skutkami klasycznych zwarć metalicznych. W ramach tego cyklu postanowiono tę kwestię pominąć. Została ona bowiem dostatecznie rozwinięta chociażby w artykułach [3], [4], publikowanych już na łamach czasopisma. Pozostawia to pole do szerokiego rozwinięcia traktowanej zwykle powierzchownie tematyki zwarć łukowych. Chociaż zwarcia metaliczne są powszechnie występującymi stanami awaryjnymi, nie są one najniebezpieczniejsze. Stosując aparaty elektryczne o odpowiedniej wytrzymałości zwarciorowej, można takie zwarcia wykryć i bezpiecznie wyłączyć w wymaganym czasie.

Rozdzielnice elektryczne odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu bezpiecznej dystrybucji energii elektrycznej oraz ochrony instalacji elektrycznych. Jednakże wciąż istnieje wiele zagrożeń



Rys. 1. Skutki zwarcia łukowego [8]

związanych z eksploatacją tych rozdzielnic. Jednym z najpoważniejszych zagrożeń w rozdzielnicach elektrycznych jest ryzyko wystąpienia zwarć łukowych, które mogą prowadzić do poważnych uszkodzeń sprzętu i stanowić bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia i życia personelu.

Zwarcia łukowe, nazywane również zwarciami łukowymi awaryjnymi lub wewnętrznymi, nie występują tak często jak klasyczne zwarcia, jednakże ze względu na swój charakter, a więc palący się w zjonizowanym powietrzu łuk elektryczny, są szczególnie niebezpieczne i stanowią bezpośrednie zagrożenie dla życia i zdrowia oraz powodują liczne straty materialne [6], [7]. Najbardziej negatywnymi skutkami wystąpienia łuku awaryjnego są śmierć osób wykonujących prace w pobliżu miejsca awarii oraz pożar.

Jak przedstawiono na **rysunku 1.**, skutki zwarcia łukowego nie są tylko ograniczone do uszkodzeń rozdzielnicy lub ewentualnie elementów w jej bezpośredniej bliskości. Szkod,

jakie może ze sobą nieść wystąpienie zwarcia łukowego, wykraczają daleko poza typowe stany awaryjne występujące w instalacji elektrycznej. Do najbardziej zmiennych skutków zwarcia łukowego można zaliczyć:

- » wzrost temperatury nawet do 2000°C, i tym samym wysokie ryzyko powstania pożaru,
- » wystąpienie fali uderzeniowej i wzrost natężenia dźwięku mogący spowodować okaleczenie i utratę słuchu,
- » rozprysk elementów konstrukcyjnych i stojonych elementów metalowych.

Stąd też zasadne jest, aby szczególnie osoby odpowiedzialne za proces budowlany oraz eksploatację urządzeń i instalacji elektrycznych miały świadomość ryzyka, jakie niesie ze sobą to zjawisko.

## | Statystyki

Przytoczenie wiarygodnych statystyk dotyczących wypadków związanych ze zvarciami łukowymi jest niezwykle trudne, ponieważ bardzo często

takie informacje nie są udostępniane do wiadomości publicznej ani do urzędów statystycznych. Z informacji publikowanych przez *Occupational Health & Safety Association* [9] w USA wynika, że każdego roku w Stanach Zjednoczonych dochodzi do ponad 7 000 pożarów wywołanych przez zwarcia łukowe, powodujących w sposób pośredni lub bezpośredni śmierć ponad 400 osób.

Dla porównania w Indiach statystyka wypadków spowodowanych łukiem elektrycznym została przedstawiona w **tabeli 1**.

Porównując statystyki z tego samego roku dotyczące USA i Indii, uzyskujemy następujące wartości:

- » całkowita liczba osób poszkodowanych w wypadkach:
  - a) USA – 7 000 poszkodowanych;
  - b) Indie – 172 osoby poszkodowane (maks. w 2018 r.);
- » liczba ludności w obu krajach w 2018 r. [12]:
  - a) USA – 326,8 mln mieszkańców;
  - b) Indie – 1 369 mln mieszkańców.

Z powyższych danych wynika, że w USA 40 razy więcej osób niż w Indiach ulega wypadkom spowodowanym łukiem elektrycznym!; jednocześnie w USA żyje ponad 4 razy mniej ludzi niż w Indiach.

Dla uzyskania jeszcze szerszego obrazu należy podać, iż w Stanach Zjednoczonych w 2021 r. doszło do 353 500 pożarów w budynkach mieszkalnych – pożary te spowodowały 2840 zgonów i 11 400 obrażeń [13]. Przytoczone powyższe dane są bardzo skrajne, tzn. dane z USA są bardziej realne, co prawdopodobnie wynika z wymagań firm ubezpieczeniowych. Większość krajów nie prowadzi szczegółowych statystyk z podziałem na czynniki powodujące wypadki. Na podstawie danych z USA można stwierdzić, że łuk elektryczny stanowi poważną część przyczyn wypadków, dlatego też należy traktować ochronę przed łukiem elektrycznym jako jedno z kryteriów przy projektowaniu, wykonywaniu i eksploatacji instalacji elektrycznych.

W Polsce brak jest takich danych na poziomie krajowym. Dane np. z górnictwa, kolejnictwa są bardzo szczątkowe. Z dokumentu na temat wypadków przy pracy w 2023 r., opublikowanego przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) [14], można się dowiedzieć, że:

- a) liczba osób poszkodowanych wynosiła 68 663;
- b) kontakt z prądem elektrycznym, wysoką temperaturą, substancjami stwarzającymi zagrożenie lub mieszaninami stwarzającymi zagrożenie oraz materiałami zawierającymi szkodliwe czynniki biologiczne odpowiada za 3% wszystkich wypadków – tzn. generuje to 2 060 poszkodowanych.

Niestety, brakuje głębszego podziału na przyczyny wypadków, a „prąd elektryczny” jako przyczyna jest łączony z innymi czynnikami. Nieprecyzyjność w raportowaniu przyczyn wypadków jest niestety problemem ogólnokrajowym i nie dotyczy jedynie GUS, ale również raportów publikowanych cyklicznie przez POZ do Ministerstwa Zdrowia [15].

## I Zwarcie łukowe

Powietrze znajdujące się pod ciśnieniem atmosferycznym stanowi dielektryk (izolator) o wytrzymałości napięciowej rzędu 32 kV/cm. Nie oznacza to, że w gazie tym nie może dojść do wyładowania elektrycznego. Zasadniczo w gazach wyróżnia się trzy rodzaje wyładowania (przepływu prądu elektrycznego): wyładowanie jarzeniowe, wyładowanie iskrowe, wyładowanie łukowe.

Do zainicjowania wyładowania jarzeniowego oraz iskrowego niezbędne jest wysokie napięcie. Ich wpływ na pracę urządzeń elektrycznych WN i NN jest często utożsamiany z wyładowaniami niepełnymi, które także negatywnie wpływają na pracę i bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych.

W urządzeniach pracujących przy napięciach średnim (do 30 kV) i niskim (do 1 kV) dominującym rodzajem wyładowania elektrycznego, jakie może powstać w przestrzeni izolacyjnej, jest jednak wyładowanie łukowe [16].

Wyładowanie łukowe charakteryzuje – w przeciwieństwie do pozostałych – duża gęstość prądu elektrycznego, dochodząca do  $10^4$  kA/m<sup>2</sup>, oraz

niewielki spadek napięcia na kolumnie łukowej, w której dochodzi do przepływu prądu (nawet do 10V). Wyładowanie to zachodzi w tzw. kanale plazmowym, pełniącym rolę przewodnika. Jest podtrzymywane przez emisję elektronów z rozgrzanej powierzchni lub/i termiczną jonizację cząstek związaną z wysoką temperaturą gazu w przestrzeni, w której dochodzi do wyładowania. W przypadku wyładowania łukowego bardzo szybko dochodzi do jonizacji kanału plazmowego na tyle trwałej, że samoistne zgaszenie się łuku jest niemożliwe, chociaż nie oznacza to, że wyładowanie zawsze będzie się charakteryzować stabilnością – może mieć charakter przerywany i jest nazywane wtedy łukiem uporczywym. Jedynym sposobem przerwania tego rodzaju wyładowania w rozdzielniczy elektrycznej jest odłączenie źródła energii. Istotne jest zatem jego jak najszybsze wymuszone zgaszenie poprzez odłączenie napięcia zasilającego.

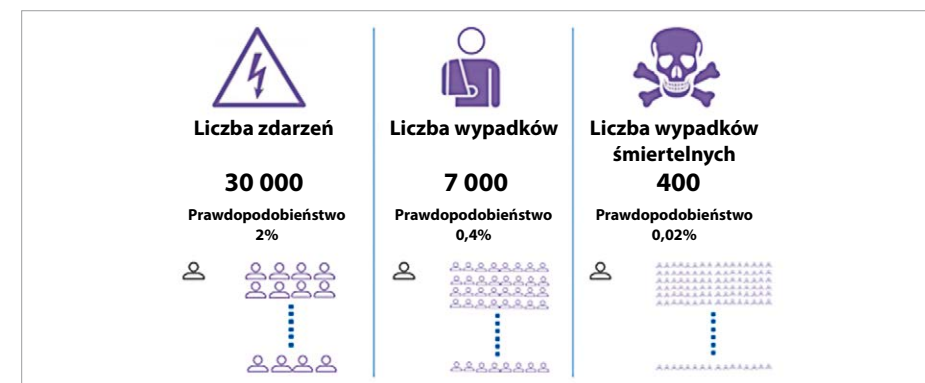
Jest to szczególnie niebezpieczny rodzaj zwar-  
cia, ponieważ do przepływu prądu o dużej warto-  
ści należy dodać wydzielanie się energii cieplnej  
z kolumny łukowej, która może osiągać tempe-  
raturę nawet ponad 10000 K [17].

Zwarcia łukowe stanowią zatem najbardziej niebezpieczne awarie w sieciach i urządzeniach elektrycznych i są realnym zagrożeniem dla zdrowia i życia ludzi.

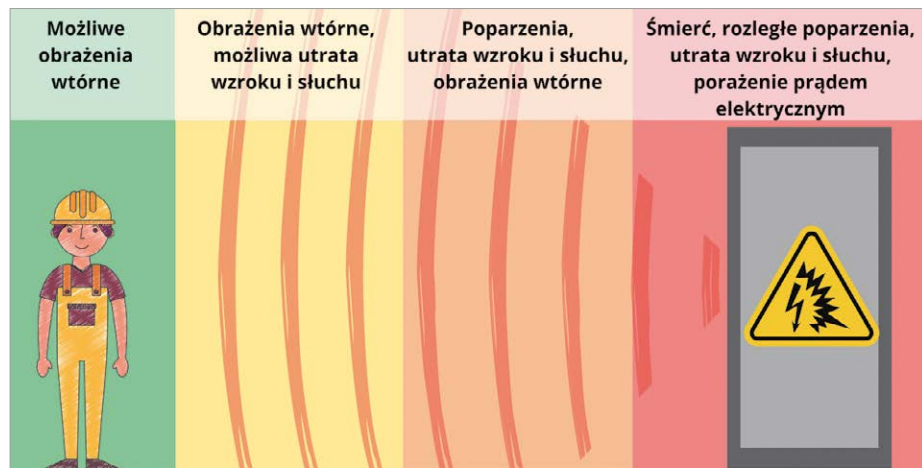
Pomimo tego, że na tle wielu innych stanów awaryjnych i zwarć bezpośrednich zwarcia łukowe występują rzadko, ich katastrofalny charakter powinien być brany pod uwagę w toku projekto-

| Rok  | Skutek wypadku               |                                  | ogólna liczba wypadków | wypadek z winy ofiary |
|------|------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|
|      | poszkodowani ponieśli śmierć | pozostałe przypadki (ranni itp.) |                        |                       |
|      | [-]                          | [-]                              |                        |                       |
| 2015 | 125                          | 42                               | 167                    | -                     |
| 2016 | 106                          | 26                               | 132                    | 96                    |
| 2017 | 104                          | 34                               | 138                    | 115                   |
| 2018 | 128                          | 44                               | 172                    | 149                   |

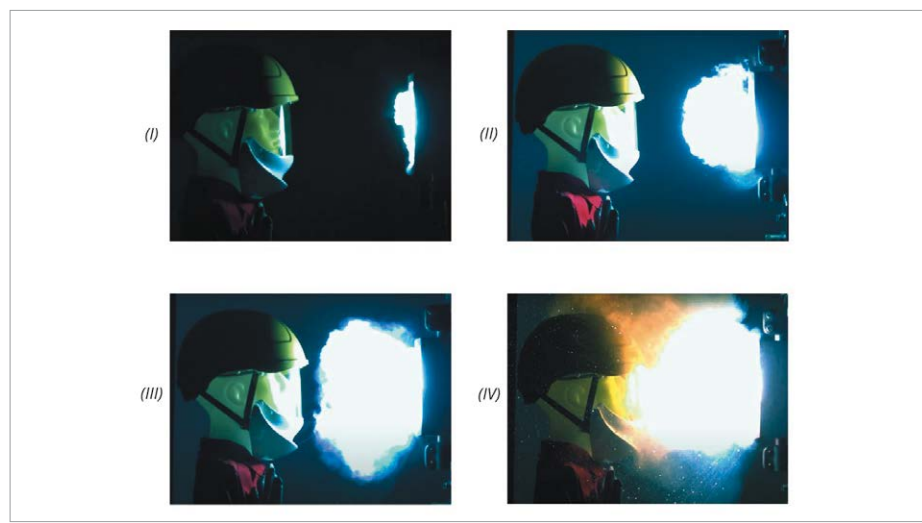
Tab. 1. Statystyka wypadków w Indiach w latach 2015–2018 [11]



Rys. 2. Statystyka wypadków w Stanach Zjednoczonych Ameryki w roku 2018, gdzie przyczyną był łuk elektryczny (prawdopodobieństwo wyznaczone na próbie 1 521 000 aktywnie pracujących elektryków w USA) [10]



Rys. 3. Narażenie obsługi i osób przebywających w pobliżu rozdzielnic, w której nastąpi zwarcie łukowe, w zależności od odległości od niej [opracowanie własne]



Rys. 4. Możliwe narażenia personelu na działanie łuku elektrycznego [19]

wania urządzeń elektroenergetycznych, a w szczególności rozdzielnic na każdym poziomie napięcia zasilania. Z problematyką awaryjnych zwań łukowych można mieć do czynienia na wszystkich poziomach powszechnie stosowanych napięć zasilania. Zarejestrowane wypadki dowodzą, że napięcie zasilające poniżej 230V również może być groźne.

Najczęstszą przyczyną wystąpienia zwarcia łukowego w obrębie rozdzielnic są błędy ludzkie, związane m.in. z błędnymi operacjami łączeniowymi, pracą pod napięciem lub w pobliżu napięcia, pozostawionymi podczas pracy narzędziami w rozdzielnicach i nieprzestrzeganiem harmonogramu napraw, przeglądów i remontów rozdzielnic. Do innych przyczyn można zaliczyć postępującą w czasie degradację izolacji, ponadnormatywny wzrost temperatury spowodowany słabym stykiem, niewystarczającą wentylacją rozdzielnic, błędami w doborze pod kątem obciążalności długotrwałej oraz odporności zwarciowej oprzewodowania, kondensację pary wodnej, przepięcia powodujące

przebicia izolacji, nadmierną gęstość upakowania [4] oraz działalność zwierząt i gryzoni.

Analizy oraz eksperymenty wskazują, że trójfazowe zwarcia łukowe, których przyczyną nie są błędy ludzkie, rozpoczynają się zwykle od zwarcia jednofazowego doziemnego lub dwufazowego. Przekształcanie się tego rodzaju zwań w zwarcie trójfazowe sprzyja metalowi i uziemiona konstrukcja rozdzielnic. Pod wpływem sił elektromagnetycznych, a także za sprawą konwekcji, łuk awaryjny przemieszcza się wzdłuż torów prądowych – aż do momentu, gdy zostanie zatrzymany przez przegrody izolacyjne. Szybkość przemieszczania się kolumny łukowej zależy od wartości prądu łuku, konfiguracji torów prądowych oraz konstrukcji rozdzielnic.

### Skutki zwań łukowych

Skutki zwarcia łukowego są niebezpieczne dla: samego urządzenia, w którym doszło do uszkodzenia, budynku, w którym urządzenie było użytkowane, sieci elektroenergetycznej i osób przebywających w pobliżu takiego urządzenia. Skutki

ekspozycji człowieka na łuk awaryjny zależą od czasu trwania ekspozycji, odległości od kolumny łukowej i energii samego łuku. Można wśród nich wyróżnić następujące skutki (w kolejności od najcięższego do najłżejszego) [18]:

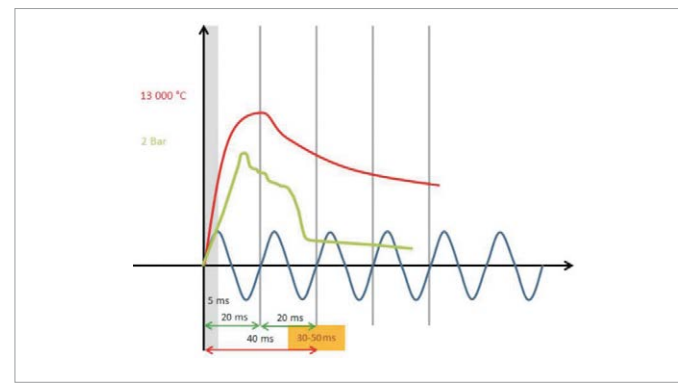
- » śmierć,
- » utrata słuchu i wzroku,
- » poparzenia lekkie i rozległe,
- » porażenie prądem elektrycznym,
- » obrażenia wtórne: złamania, krwotoki wewnętrzne, lekkie obrażenia, otarcia, stłuczenia w wyniku pośrednich skutków spowodowanych falą uderzeniową,
- » głuchota, porażenie narządu wzroku,

Możliwe fatalne skutki, jakie niesie ze sobą obecność człowieka w miejscu, w którym powstało zwarcie łukowe, należy minimalizować. Kluczowym elementem jest stosowanie specjalistycznej odzieży ochronnej. Pracownicy powinni być również wyposażeni w rękawice, kaski, osłony twarzy oraz buty ochronne, które są odporne na działanie łuku elektrycznego (rys. 3.).

Ważnym środkiem ochronnym jest również ograniczenie konieczności manualnej obsługi urządzeń narażonych na zwarcia łukowe. Dzięki zastosowaniu zdalnego monitoringu oraz systemów automatycznego wyłączania, można skutecznie zredukować ryzyko narażenia pracowników na bezpośrednie skutki wyładowania. Zdalne sterowanie i pomiar pozwalają na bezpieczne zarządzanie operacjami technicznymi, co jest szczególnie istotne w miejscach o podwyższonym ryzyku.

Dodatkowo wdrożenie procedur okresowej oceny ryzyka oraz regularne szkolenia pracowników mają kluczowe znaczenie dla utrzymania wysokiego poziomu bezpieczeństwa w miejscu pracy. Ocena ryzyka powinna obejmować nie tylko analizę potencjalnych zagrożeń, ale także aktualizację środków ochronnych w miarę rozwoju technologii i zmieniających się warunków pracy. Pracownicy muszą być regularnie szkoleni w zakresie rozpoznawania sytuacji niebezpiecznych oraz prawidłowego korzystania z dostępnych środków ochrony, co znacząco zmniejsza ryzyko wypadków (rys. 4.).

Łuk elektryczny, który powstał w urządzeniu w wyniku zwarcia łukowego, cechuje się dużą wartością gęstości energii, co w efekcie doprowadza do gwałtownego wzrostu temperatury zjonizowanego gazu, w którym rozwinęła się kolumna łukowa, i do szybkiego wzrostu ciśnienia wewnątrz zamkniętej przestrzeni rozdzielnic. Zjawisko ma charakter dynamiczny. Jeden okres palącego się łuku, a więc 20 ms, wystarczy, aby temperatura wzrosła do ponad 10 000°C, a ciśnienie do 2 atmosfer (rys. 5.).

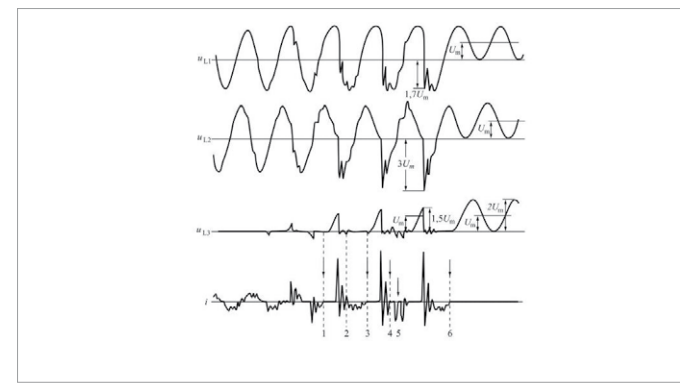


Rys. 5. Zależność temperatury oraz ciśnienia wewnątrz rozdzielnic w funkcji czasu przepływu prądu zwarcioowego [20]

Podczas zwarcia charakteryzującego się występowaniem łuku uporczywego bardzo często dochodzi do silnych przepięć, które mogą doprowadzić do uszkodzenia izolacji w innych, nieobjętych awarią miejscach sieci zasilającej. W konsekwencji może to doprowadzić do pojawiających się lawinowo kolejnych zwań – niekonięcznie podczas tej awarii. Przepięcia, które występują podczas zwarcia łukowego, mogą osiągać wartość nawet trzy razy większą niż znamionowe napięcie pracy danej sieci. Należy podkreślić, że ograniczniki przepięć mogą nie zareagować prawidłowo, gdyż nie są badane pod kątem

tego typu przepięć. Przypadek, o którym mowa, można zaobserwować na rysunku 6., pokazującym przebiegi prądów i napięć podczas uporczywego zwarcia łukowego doziemnego.

Podczas zwarcia łukowego na skutek przepływu prądów o znacznej wartości uwidaczniają się siły elektrodynamiczne, które działają na kable, przewody, szyny i inne elementy zasilające. W rozdzielnicach niskiego napięcia jest to szczególnie widoczne ze względu na duże wartości prądów i niewielkie odległości pomiędzy przewodnikami. W wyniku wzajemnego oddziaływania na siebie przewodników z prądem w czasie zwarcia, może



Rys. 6. Przebieg napięć w poszczególnych fazach oraz prądu zwarcioowego w instalacji, w której wystąpiło zwarcie łukowe L3-PE [2]

dojść do uszkodzenia mechanicznego rozdzielnic, wywołującego kolejne zwarcia potęgujące to zjawisko. Zdarza się też, że pierwsze zwarcie, z pozoru niegroźne, spowoduje degradację izolacji innych elementów rozdzielnic. Jeśli nie zostanie to wykryte podczas oględzin i pomiarów po tym zwarcu, a rozdzielnica zostanie załączona, wówczas może dojść do kolejnego zwarcia łukowego, które może mieć znacznie poważniejsze skutki.

literatura do artykułu na  
**elektro.info.pl**

## Dlaczego warto prenumerować elektro.info?

- » 10 numerów w roku (numery łączone: 1/2, 7/8 – w cenie numeru pojedynczego)
- » Przesyłka na koszt wydawnictwa
- » Prenumerata w formie pdf do pobrania na nośnik zewnętrzny (laptop, tablet itp.)
- » Link do pobrania wersji pdf czasopisma otrzymujesz niezwłocznie po ukazaniu się danego numeru
- » Dostęp do wszystkich treści zamieszczonych na stronie internetowej www.elektro.info.pl otrzymujesz niezwłocznie po zaksięgowaniu wpłaty na konto

### Prenumerata papierowa



**EDUKACYJNA ROCZNA**  
10 numerów + roczny  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (365 dni)  
cena: 93,00 zł

**PÓŁROCZNA**  
5 numerów + półroczny  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (183 dni)  
cena: 93,00 zł

**ROCZNA**  
10 numerów + roczny  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (365 dni)  
cena: 156,00 zł

**DWULETNI**  
20 numerów + dwuletni  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (730 dni)  
cena: 282,00 zł

### Prenumerata PDF



**ROCZNA**  
10 numerów + roczny  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (365 dni)  
cena: 156,00 zł

**DWULETNI**  
20 numerów + dwuletni  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (730 dni)  
cena: 282,00 zł

### Prenumerata papierowa + PDF



**ROCZNA**  
10 numerów + roczny  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (365 dni)  
cena: 202,00 zł

**DWULETNI**  
20 numerów + dwuletni  
dostęp do wszystkich  
treści portalu (730 dni)  
cena: 282,00 zł

### FORMULARZ ZAMÓWIENIA

Zamawiam:

» Prenumeratę papierową:

☐ edukacyjną – 93 zł ☐ półroczną – 93 zł  
☐ roczną – 156 zł ☐ dwuletnią – 282 zł od numeru

» Prenumeratę PDF:

☐ roczną – 156 zł ☐ dwuletnią – 282 zł od numeru

» Prenumeratę papierową + PDF:

☐ roczną – 202 zł ☐ dwuletnią – 366 zł od numeru

Nazwa firmy

Ulica i numer

Kod pocztowy

Miejscowość

Osoba zamawiająca

Rodzaj działalności

NIP

Telefon kontaktowy

e-mail:

Wysyłka będzie realizowana po dokonaniu wpłaty na konto:  
Volkswagen Bank Polska S.A., 09 2130 0004 2001 0616 6862 0001

Administratorem Państwa danych osobowych jest Grupa MEDIUM Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.K., nr KRS: 0000537655, z siedzibą w 04-112 Warszawa, ul. Karłowicza 18, tel. +48 22 810-21-24, wydawca elektro.info.  
Wyrażam zgodę na przetwarzanie moich danych osobowych przez Grupę MEDIUM Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.K. w celu zamówienia prenumeraty. Przystępuję do ograniczonej odpowiedzialności Sp.K. w celu zamówienia prenumeraty. Podaję dane ma charakter dobrowolny. Dane są chronione zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r.

Upoważniam GRUPĘ MEDIUM do wystawienia faktury VAT bez podpisu odbiorcy.  
Data: ..... Podpis: .....

# Zwarcia łukowe w rozdzielnicach średniego i niskiego napięcia

Prezentowany artykuł stanowi kolejną część cyklu publikacji dotyczących zwarć łukowych w rozdzielnicach elektrycznych. Ukazujące się cyklicznie poszczególne części publikacji będą stanowiły bogate źródło wiedzy teoretycznej i praktycznej na temat zjawiska zwarć łukowych oraz środków ochrony. Cykl artykułów jest głównie skierowany do projektantów, inspektorów nadzoru oraz kierowników budowy, którzy zgodnie z ustawą Prawo budowlane [1] odpowiadają za proces budowlany, a tym samym powinni mieć wiedzę na temat tego groźnego zjawiska. Prezentowana na łamach czasopisma seria tematyczna może być również przydatnym źródłem wiedzy dla osób związanych z utrzymaniem ruchu lub podejmujących inwestycyjne procesy decyzyjne.

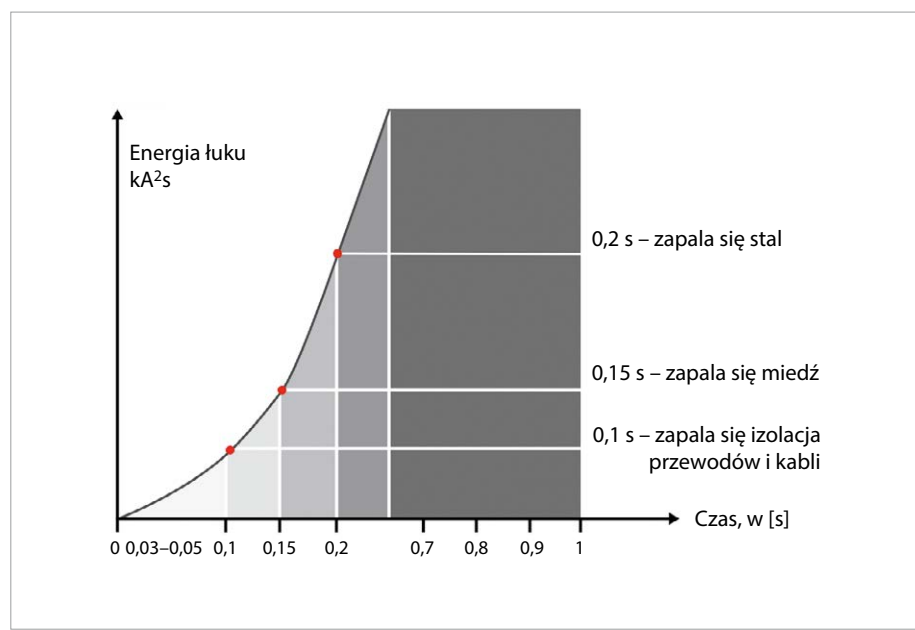
Podczas zwarcia łukowego, na skutek przepływu prądów o znacznej wartości uwidaczniają się siły elektrodynamiczne, które działają na kable, przewody, szyny i inne elementy zasilające. W rozdzielnicach niskiego napięcia jest to szczególnie widoczne ze względu na duże wartości prądów i niewielkie odległości pomiędzy przewodnikami. W wyniku wzajemnego oddziaływania na siebie przewodników z prądem w czasie zwarcia, może dojść do uszkodzenia mechanicznego rozdzielnic, wywołującego kolejne zwarcia potęgujące zjawisko. Zdarza się też, że pierwsze zwarcie, z pozoru niegroźne, spowoduje degradację izolacji innych elementów rozdzielnic. Jeśli nie zostanie to wykryte podczas oględzin i pomiarów po tym zwarcu, a rozdzielnica zostanie załączona, wówczas może dojść do kolejnego zwarcia łukowego, które może mieć znacznie poważniejsze skutki.

W celu przybliżenia powstających zagrożeń w tej części artykułu zostanie opisana spodziewana wartość wydzielanej energii oraz mechanizm rozwoju zwarcia.

## Energia wydzielana podczas zwarcia

Energia wydzielona w miejscu zwarcia łukowego zależy od wartości chwilowej napięcia łuku, prądu łuku oraz czasu trwania zwarcia łukowego [18].

$$W = \int_0^{t_k} u_a i_a dt$$



Rys. 1. Skutki wydzielonej podczas zwarcia łukowego energii w funkcji czasu trwania zwarcia łukowego [8]

gdzie:

$W$  – energia łuku, w [kJ],

$t_k$  – czas palenia się łuku, w [s],

$u_a$  – napięcie łuku, w [V],

$i_a$  – natężenie prądu zwarcia płynącego w łuku, w [kA].

Napięcie łuku ( $u_a$ ) jest napięciem wzdłuż rdzenia łuku, które jest zmienne w czasie i rośnie wprost proporcjonalnie do długości łuku. Czas palenia się łuku ( $t_k$ ) – od momentu zapalenia się aż do chwili jego wyłączenia (zgaśnięcia). Moc elektryczna doprowadzona do rdzenia łuku jest w większości rozpraszana do otoczenia poprzez promieniowanie,

przewodnictwo i konwekcję, a niewielka jej część przetwarzana jest na energię fali akustycznej – i to tylko w przypadku, gdy chwilowa moc łuku ulegnie zmianie. Przyjmuje się, że moc promieniowania z rdzenia łuku stanowi od 50 do 75% całkowitej mocy doprowadzonej.

Ze względu na specyfikę zjawiska, dokładne wartości energii w warunkach rzeczywistych są trudne do oszacowania, jednakże jej teoretyczna wartość może być wyznaczona z poniższych zależności, przyjmując zastępczą wartość napięcia palącego się w powietrzu łuku elektrycznego, wyznaczoną ze wzoru [21]:

$$U_{av} = 35 + 1,6d_a + 6,6I_a$$

gdzie:

$U_{av}$  – zastępcza wartość napięcia łuku, w [kV],

$d_a$  – długość łuku, w [mm],

$I_a$  – wartość skuteczna prądu zwarcia, w [kA].

Na tej podstawie można wyznaczyć przybliżoną wartość energii łuku powietrznego o danej długości  $d_a$  i dla stałej wartości skutecznej prądu zwarcia  $I_a$ , i czasie trwania zwarcia  $t_k$ :

$$W_A = U_{av} I_a t_k$$

gdzie:

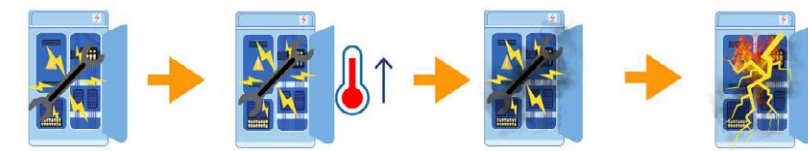
$W_A$  – energia wyładowania łukowego, w [kJ].

Energia, jaka wydzielą się w miejscu zwarcia łukowego, jest na tyle duża, że w zasadzie – niezależnie od wartości napięcia zasilającego – do określenia zakresu uszkodzeń cieplnych kluczowy jest czas trwania zwarcia.

Z wykresu uszkodzeń cieplnych wynika (rys. 1.), że po 100 ms trwania zwarcia zapala się izolacja przewodów, po 150 ms – miedź, po 200 ms – stal, a po 500 ms następuje gwałtowny wzrost uwolnionej energii, który jest katastrofalny dla otoczenia.



Rys. 2. Etapy powstawania zwarcia łukowego na skutek ponadnormatywnego wzrostu temperatury [opracowanie własne]



Rys. 3. Etapy powstawania zwarcia łukowego na skutek błędu ludzkiego i zwarcia metalicznego [opracowanie własne]

REKLAMA

**elektro** **Profesjonalne szkolenia dla elektryków online!**

Kompensacja mocy biernej. Podstawy teoretyczne i zastosowania praktyczne.

**Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!**

**www.kursy.elektro.info.pl**

## Mechanizm rozwoju zwarcia łukowego w rozdzielnicach

Analizując statystyki dotyczące różnego rodzaju pożarów w przemysłowych instalacjach elektrycznych, można wysnuć wniosek, że mechanizm rozwoju awarii, której konsekwencją są zwarcie łukowe oraz pożar, jest następujący (**rys. 2.**):

- 1) ponadnormatywny wzrost temperatury,
- 2) degradacja izolacji,
- 3) zwęglenie izolacji,
- 4) jonizacja gazu,
- 5) rozwój wyładowania łukowego,
- 6) pożar.

W tym miejscu warto zatrzymać się nad pierwotnymi przyczynami ponadnormatywnego wzrostu temperatury. Wzrost temperatury ponad temperatury dopuszczalne w rozdzielnicach może być spowodowany:

- 1) błędami w doborze przekrojów szyn miedzianych oraz oprzewodowania wewnątrz rozdzielnic – zagadnienia te były poruszone w [4] i nie będą rozwijane w tej publikacji;
- 2) niewłaściwym doбором obudowy rozdzielnic pod kątem temperatury wewnętrznej, stopnia ochrony IP – [4] i [22];
- 3) niewłaściwym doбором elementów rozdzielnic energii elektrycznej wewnątrz rozdzielnic pod kątem odporności zwarcia – chodzi tu szczególnie o oprzewodowanie, które łączy aparaturę z mostem głównym. Często zdarza się, że część obwodów jest wyprowadzana sprzed aparatu głównego, gdzie spodziewane prądy zwarcia są znaczne – taki przewód, przez który przepłynie prąd zwarcia, może w pierwszej chwili wytrzymać przepływający prąd zwarcia, jednak jego izolacja zostanie wstępnie uszkodzona, a dalsza degradacja będzie postępować już przy prądach roboczych, co w konsekwencji może doprowadzić do zwarcia łukowego. Dobór elementów rozdzielnic pod kątem odporności zwarcia został opisany w [23].

Przytoczony w tym miejscu proces, w którym rozwija się zwarcie łukowe, jest stosunkowo długotrwały. Poprzez cykliczny monitoring rozdzielnic oraz właściwy dobór aparatów i oprzewodowania można jednak zapobiec rozwojowi tego rodzaju awarii.

O wiele bardziej dynamicznym zjawiskiem jest zwarcie łukowe, poprzedzone klasycznym zwarcim, które spowodowało wydzielanie się dużej ilości energii cieplnej w obrębie rozdziel-

nicy. Do takiego rodzaju zwarcia może dojść na skutek błędu ludzkiego. Statystyki wypadków podają, że niemal 60% występujących zwarc łukowych jest spowodowanych właśnie błędem ludzkim (pozostawionym w rozdzielnicach narzędziem, niewłaściwą eksploatacją rozdzielnic, zastosowaniem nieodpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych). Biorąc to pod uwagę, przebieg rozwoju zwarcia łukowego jest następujący (**rys. 3.**):

- 1) zwarcie klasyczne,
- 2) wzrost temperatury,
- 3) zwęglenie izolacji/odparowanie metalu,
- 4) jonizacja gazu,
- 5) rozwój wyładowania łukowego,
- 6) pożar.

Mając na uwadze katastrofalne skutki zwarcia łukowego dla osób i mienia znajdującego się w pobliżu miejsca zwarcia, powinno się zastosować odpowiednie środki chroniące rozdzielnicę. Energia wyładowania łukowego, wydzielająca się w miejscu zwarcia, jest na tyle duża, że wykrycie tego stanu awaryjnego w odpowiednim momencie przez klasyczne zabezpieczenia przeciwzwarcia jest w zasadzie niemożliwe ze względu na charakter awarii oraz długi czas detekcji.

Środki techniczne, które zapobiegają powstaniu negatywnych skutków zwarcia łukowego lub ograniczają ich rozprzestrzenianie, można podzielić na dwie grupy: ochronę pasywną (bierną) i ochronę aktywną. Zagadnienia te będą szczegółowo rozwijane w kolejnych częściach cyklu.

## Literatura

1. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, Kancelaria Sejmu, 1994.
2. P. Kacejko, J. Machowski, P. Pijarski, i A. Smolarczyk, Zwania w systemach elektroenergetycznych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2022.
3. H. Markiewicz, Urządzenia elektroenergetyczne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016.
4. M. Orzechowski, Rozdzielnice niskich napięć – wpływ temperatury na bezpieczeństwo eksploatacji rozdzielnic niskiego napięcia (zagadnienia wybrane), „elektro.info” 1–2/2024.
5. M. Orzechowski, Połączenia wewnętrzne w rozdzielnicach niskich napięć – część 1., „elektro.info” 11/2020.
6. I. Surówka, Instalacje elektryczne. Zwania łukowe w rozdzielnicach elektroenergetycznych SN i nn, Europejski Instytut Mie-

dzi, 2017. [Online]. Dostępne na: <https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2017/01/zwania-lukowe-w-rozdzielnicach-elektroenergetycznych-SN-i-nn.pdf>.

7. S.J. Kulas, H. Supronowicz, Analiza łuku elektrycznego awaryjnego i sposoby ograniczania jego skutków. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2014.
8. ABB, *Smarter safety. IEC low- and medium-voltage arc flash mitigation solutions for greater protection and productivity*, ABB, 2021.
9. OSHA, Occupational Safety and Health Administration. [Online]. Dostępne na: <https://www.osha.gov/>.
10. ABB i Jarbas Ferro, „Arc protected Assembly. How to increase safety of the Switchgear”. 2018.
11. Elegrow Technology, „Arc Flash – What Is It? How To Prevent It”.
12. USCB, „United States Census Bureau”. [Online]. Dostępne na: <https://www.census.gov>
13. A. Redlak, „Przegląd pożarniczy”.
14. GUS, „Wypadki przy pracy w 2023 r.” [Online]. Dostępne na: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/wypadki-przy-pracy-w-2023-r-dane-wstepne,3,54.html>.
15. M. Czosnyka, B. Wnukowska, Porażenie prądem elektrycznym Statystyka POZ w latach 2020-2021, „elektro.info” 3/2023.
16. Z. Flisowski, Technika wysokich napięć, WNT, Warszawa 2014.
17. D. Maliczewski, Wyładowania w gazach pod niskim ciśnieniem. Słupsk: Pomorska Akademia Pedagogiczna w Słupsku, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, 2002.
18. S. Gierlotka, Łuk elektryczny i skutki jego działania na człowieka, „elektro.info” 9/2008.
19. HUBIX, OPEN ARC oraz Środki Ochrony Indywidualnej. [Online]. Dostępne na: <https://www.youtube.com/watch?v=kMsqnESliuA>
20. Hager, System Manual Passive arc fault protection. Agardio.arc. Hager.
21. A. Klajn, H. Markiewicz, I. Surówka, Nowa metoda eliminacji łuku zakłócenia w urządzeniach elektrycznych.
22. M. Orzechowski, Rozdzielnice niskich napięć – stopień ochrony (kod IP), „elektro.info” 7–8/2023.
23. M. Orzechowski, M. Mikulski, Połączenia wewnętrzne w rozdzielnicach niskich napięć – studium przypadków – odporność zwarcia elementów realizujących rozdział energii, „elektro.info” 1–2/2022.



## Profesjonalne szkolenia dla elektryków online!

### Ochrona odgromowa i przepięciowa budynków

**Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!**

[www.kursy.elektro.info.pl](http://www.kursy.elektro.info.pl)



## Profesjonalne szkolenia dla elektryków online!

### Ewakuacja ludzi z płonącego budynku i jej wspomaganie. Oświetlenie awaryjne i ewakuacyjne

**Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!**

[www.kursy.elektro.info.pl](http://www.kursy.elektro.info.pl)

# Prawidłowa wentylacja w stacji transformatorowej

Stacje transformatorowe odgrywają kluczową rolę w systemie elektroenergetycznym, zapewniając ciągłość dostaw energii elektrycznej. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na energię rośnie potrzeba efektywnego chłodzenia transformatorów, które w trakcie pracy generują znaczne ilości ciepła. Efektywne chłodzenie ma na celu zapobieganie przegrzewaniu się urządzeń, co mogłoby prowadzić do ich uszkodzenia lub zmniejszenia efektywności.

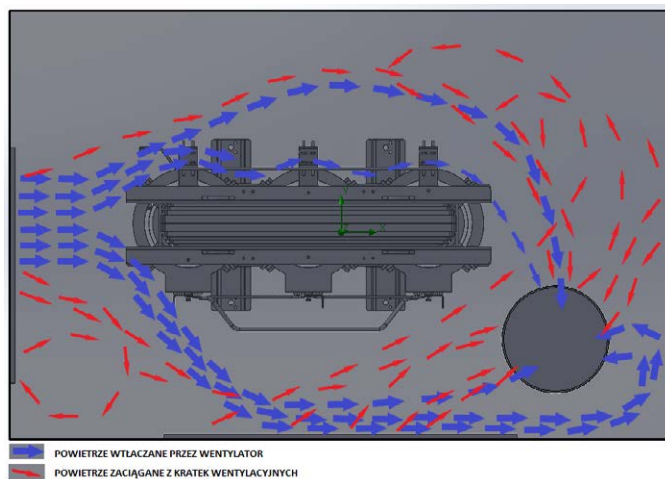
Fot. 1. Bliskie umieszczenie kratki wentylacyjnych i wentylatora wyciągowego powoduje ograniczoną skuteczność wentylacji



W artykule omówiono zagadnienia związane z chłodzeniem transformatorów suchych żywicznych w stacjach transformatorowych. Transformatory suche żywiczne wykonane są z żywicy będącej złym przewodnikiem ciepła. W odróżnieniu od transformatorów olejowych, gdzie rdzeń wraz z uzwojeniami umieszczony jest w zamkniętej kadzi, a olej transformatorowy zapewnia równomierne odprowadzanie ciepła, transformatory suche żywiczne posiadają kanały powietrzne do chłodzenia uzwojeń.

## Struktura stacji transformatorowej

Producenci betonowych stacji transformatorowych stosują różne rozwiązania do chłodzenia transformatorów żywicznych: w drzwiach komory transformatorowej umieszczają wentylator nawiewowy, a na



Rys. 1. Symulacja przepływu powietrza w stacji – widok z góry

dachu nad transformatorem – wentylator wyciągowy. Natomiast transformator żywiczny jest ustawiony prostopadłe do drzwi.

Wentylator w drzwiach nadmuchiwa powietrze na pierwszą kolumnę transformatora, co powoduje, że strumień powietrza właściwie omija drugą i третią kolumnę, co zostało pokazane na **rysunku 1**.

Warto zauważyć, że nawet pierwsza kolumna jest tylko częściowo chłodzona.

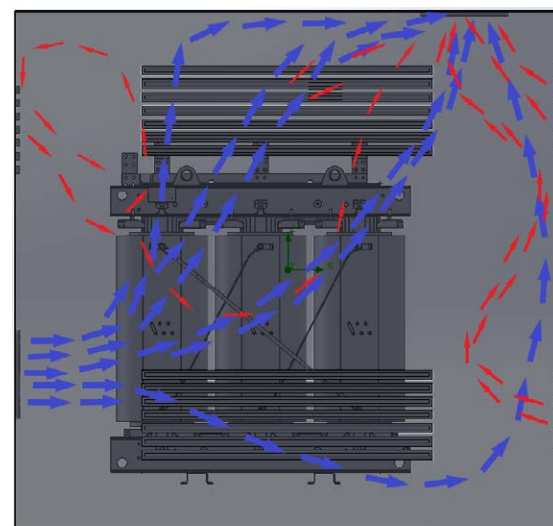
Wentylator wyciągowy umieszczony na dachu betonowej stacji transformatorowej wyciąga powietrze tam, gdzie napotyka najmniejsze opory przepływu. Następuje wyciąg powietrza wtłoczonego przez wentylator drzwiowy oraz powietrza z kratki wentylacyjnych w ścianach stacji. Nie następuje jednak wyciąg powietrza z kanałów chłodzących zabudowanych w uzwojeniach transformatora. Taki sposób chłodzenia prowadzi do nierównomiernego nagrzewania uzwojeń transformatora, co skutkuje ich przegrzewaniem i może spowodować uszkodzenie. Dodatkowo umieszczenie w bliskiej odległości kratki wentylacyjnych i wentylatora wyciągowego na dachu nie zapewnia wystarczającego przepływu powietrza w celu schłodzenia transformatora (**fot. 1.**). Jest to szczególnie istotne w przypadku zastosowania transformatora suchego żywicznego na farmach fotowoltaicznych, gdzie mogą wystąpić harmoniczne powodujące nadmierne nagrzewanie się rdzenia transformatora. Przykładowy rozkład temperatury rdzenia transformatora został przedstawiony na **rysunku 3**.

Brak odpowiedniego chłodzenia drugiej i trzeciej kolumny najczęściej powoduje zadziałanie zabezpieczenia temperaturowego i wyłączenie transformatora spod napięcia.

Jedynie firma Elektrobud ze Wschowy opatentowała skuteczny sposób chłodzenia transformatorów żywicznych oraz stacje transformatorowe ICZ-E.

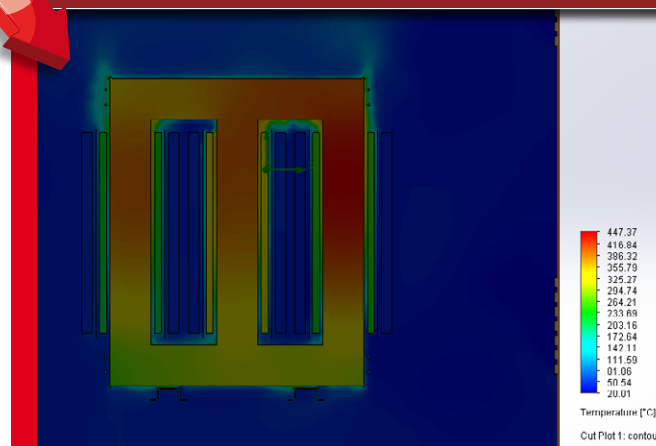
## Mniej kabli – więcej oszczędności

Wnętrzowa stacja transformatorowa ICZ-E wymaga znacznie mniejszej ilości kabli nn, jak również skróconej ich długości, co ma duże przełożenie



Rys. 2. Symulacja przepływu powietrza, widok z boku

Rys. 3. Symulacja rozkładu temperatury w rdzeniu transformatora



na oszczędności energii. Dzięki nowoczesnej, innowacyjnej stacji transformatorowej ICZ-E SN/nn można do minimum ograniczyć straty w przesyłce energii elektrycznej. Jednym ze sposobów ich obniżenia jest zredukowanie do minimum odległości pomiędzy stacją transformatorową a zakładem produkcyjnym, poprzez umieszczenie stacji transformatorowej wewnątrz hali produkcyjnej, tak aby znajdowała się jak najbliżej maszyn i urządzeń elektrycznych. Jednak nie wszystkie stacje transformatorowe mogą być przeniesione do wnętrza budynków – tylko stacje wewnętrzne mogą znajdować się w hali produkcyjnej. Funkcję taką spełniają właśnie specjalistyczne stacje transformatorowe ICZ-E. Zastosowanie ICZ-E eliminuje konieczność zakupu drogich kabli niskiego napięcia, które zastępujemy tańszymi kablami średniego napięcia.

Różnica w zmniejszeniu strat w przesyłce energii elektrycznej, jaką uzyskuje się przy wykorzystaniu wewnętrznej stacji transformatorowej ICZ-E w porównaniu do standardowej stacji transformatorowej, jest diametralna. Dzięki zastosowaniu unikalnych rozwiązań, wewnętrzna, kompaktowa stacja transformatorowa ICZ-E generuje o wiele niższe straty ciepła niż tradycyjne stacje transformatorowe (zarówno kontenerowe, jak i słupowe). Przedsiębiorca stosujący stację transformatorową ICZ-E do zasilania swojego zakładu zużywa o ok. 20% mniej energii elektrycznej w stosunku do rozwiązania tradycyjnego.

## Zalety stacji ICZ-E

Wśród dostępnych na rynku stacji transformatorowych jedynie opatentowana wewnętrzna stacja transformatorowa spełnia wymagania przemysłu w obniżaniu kosztów stałych. Wewnętrzne stacje transformatorowe ICZ-E (Inteligentne Centrum Zarządzania Energią) są produkowane przez polską firmę Elektrobud P.S.A.

Dodatkowo w odniesieniu do wspomnianej wcześniej estetyki należy podkreślić fakt, iż zabudowa stacji transformatorowej na hali produkcyjnej zwiększa możliwości zagospodarowania terenu oraz wpływa korzystnie na wygląd otoczenia i bezpieczeństwo. Cena wewnętrznych stacji transformatorowych ICZ-E jest porównywalna z cenami tradycyjnych stacji transformatorowych. Jakość stacji potwierdzona jest posiadanymi certyfikatami. Wewnętrzne stacje transformatorowe ICZ-E zostały opatentowane pod numerem 14690 w Unii Europejskiej. Wewnętrzne stacje transformatorowe ICZ-E realizują strategię dotyczącą efektywności energetycznej, która jest integralnym elementem pakietu znanego jako „Fit for 55” – gospodarka niskoemisyjna poprzez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Zostały również wyróżnione godłem „Eko-Inspiracja 2013” w kategorii produkt.

Dla każdego klienta firma Elektrobud P.S.A. jest w stanie wyliczyć wymierną korzyść finansową, którą uzyska klient, wybierając wewnętrzną stację transformatorową ICZ-E. Zajmujemy się również pomocą przy uzyskiwaniu wszystkich wymaganych formalności. Nasz zespół projektowy z chęcią pomoże stworzyć plan zagospodarowania wewnętrznej stacji transformatorowej ICZ-E wewnątrz budynku czy też hali produkcyjnej lub na dachu.

## Parametry użytkowe ICZ-E

Wnętrzowa stacja transformatorowa ICZ-E jest produkowana w typoszeregu 100, 250, 400, 630, 800,

1000 kVA. Jest urządzeniem kompaktowym, mogącym zawierać w sobie cztery zintegrowane elementy tworzące jedną całość:

- rozdzielnicę SN,
- transformator żywiczny zgodny z rozporządzeniem (UE) 1783/2019,
- rozdzielnicę nn,
- baterię kondensatorów lub innych urządzeń pomocniczych.

Zgodnie z kwalifikacją odporności pożarowej według § 212, ustęp 4 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wewnętrzną stację transformatorową ICZ-E kwalifikuje się do klasy odporności pożarowej E. Dla wewnętrznej stacji transformatorowej ICZ-E nie trzeba wyznaczać strefy pożarowej, stacja może być zlokalizowana w dowolnym miejscu w obiekcie. Zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. § 323 ust. 2 pkt 2 i § 327 ust. 2, poziom hałasu i drgań nie stanowi zagrożenia dla osób przebywających w sąsiedztwie wewnętrznej stacji transformatorowej ICZ-E. Stacja transformatorowa ICZ-E ma przygotowane miejsca do przyłączenia zewnętrznych kanałów wentylacji wymuszonej (nawiewnej/wywiewnej). Przewidziano możliwość zabudowy układu SZR w stacji transformatorowej ICZ-E dla potrzeb zasilania rezerwowego oraz przyłączenia zespołu prądotwórczego. Opcjonalnie można wbudować zdalny monitoring z wizualizacją pracy stacji transformatorowej tj. poboru mocy, zdalnego otwarcia/zamknięcia wyłącznika głównego, wyłączenie napięcia, czy „zrzutu mocy”. Obudowa stacji transformatorowej ICZ-E jest wykonana w stopniu ochrony obudowy (kodzie IP) od IP41 do IP54. Metalowa obudowa stacji transformatorowej ICZ-E stanowi także ekran dla promieniowania elektromagnetycznego.

## Nietypowe rozwiązania

Przemysłowe stacje transformatorowe ICZ-E za sprawą zastosowania nowoczesnych systemów sterowania mogą być zdalnie nadzorowane, dzięki czemu są praktycznie bezobsługowe. Ich obsługa sprowadza się do okresowych przeglądów i konserwacji, co obniża koszty eksploatacji. Producent zapewnia dostawę urządzeń, ich profesjonalny montaż, uruchomienie oraz serwis gwarancyjny i pogwarancyjny. Jako producent stacji transformatorowych mamy swoje własne biuro projektowe, dzięki czemu możemy podjąć się także nietypowych rozwiązań i instalacji. Jeżeli Państwa firma posiada stare stacje transformatorowe, możliwa jest również ich modernizacja, która pozwoli ograniczyć straty energii elektrycznej oraz przynieść wymierne korzyści finansowe. Zapraszamy do współpracy.

Fot. 2. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na energię rośnie potrzeba efektywnego chłodzenia transformatorów, które w trakcie pracy generują znaczne ilości ciepła



ELEKTROBUD P.S.A.  
67-400 Wschowa  
ul. Nowopolska 10  
tel. 65 547 66 00  
faks 65 547 66 09  
wschowa@elektrobud.pl  
[www.elektrobud.pl](http://www.elektrobud.pl)



# Rozdzielnice niskich napięć – wpływ temperatury na bezpieczeństwo eksploatacji rozdzielnic niskiego napięcia

## Przykłady praktyczne

Kontynuując cykl poświęcony rozdzielnicom niskiego napięcia (a dokładnie połączeniom wewnętrznym w rozdzielnicach niskich napięć [9], [10], [11], [12] oraz [13]), tym razem autor zajął się zagadnieniem temperatury wewnątrz rozdzielnic nn. W kolejnej części artykułu przedstawiamy praktyczne przykłady, które wyjaśnią problem wpływu temperatury na pracę wyposażenia rozdzielnic oraz przyłączonych przewodów i kabli.

### I Przykład 1.

Temperatura wewnątrz rozdzielnic (w górnych partiach obudowy) będzie wynosiła +60°C. Należy ustalić, czy poprawnie dobrany przewód do zasilania odbiornika na obciążalność i przeciążalność długotrwałą dla warunków normalnych (tu: ułożone na korycie, temperatura otoczenia 25°C, obciążenie liniowe, 2 tory stykające się) będzie zabezpieczony również w rozdzielnic dla warunków tam panujących. Obliczenia należy wykonać dla następujących prądów obciążenia:

- 1) I<sub>B1</sub> = 13 A,
- 2) I<sub>B2</sub> = 140 A.

A) Dobór przewodów na obciążalność długotrwałą i przeciążalność dla warunków normalnych:

- 1) I<sub>B1</sub> = 13 A:

Jako zabezpieczenie przewodu zasilającego odbiornik należy przyjąć wyłącznik nadprądowy typu S203 B16 o I<sub>n1</sub> = 16 A (dla 30°C<sup>\*)</sup>, przez co wymagany przekrój przewodu wyniesie:

$$I_{B1} = 13\text{ A} \leq I_{n1(dla 30^{\circ}\text{C})} = 16\text{ A} \leq I_z$$

$$I_z \geq \frac{1,45 \cdot 16}{1,45} \geq 16\text{ A}$$

Zgodnie z normą PN-HD 60364-5-52:2011 [17], przy sposobie ułożenia „E”, warunki spełnia przewód YDYżo 5x2,5 w klasie reakcji na ogień Eca (PN-EN 13501-6:2014-04):

$$I_z = I_{dd} \cdot k_t \cdot k_p = 30 \cdot 1,06 \cdot 0,82 = 26,08\text{ A} > 16\text{ A}$$

Warunek spełniony.

- 2) I<sub>B2</sub> = 140 A:

Jako zabezpieczenie przewodu zasilającego odbiornik należy przyjąć wyłącznik mocy typu T<sub>max</sub> XT 160 A TMD z wyzwalaczem termiczno-magnetycznym o I<sub>n1</sub> = 160 A (dla 40°C<sup>\*)</sup>, przez co wymagany przekrój przewodu wyniesie:

<sup>\*)</sup> Prąd znamionowy wyzwalacza termicznego dla temperatury znamionowej.

$$I_{B1} = 140\text{ A} \leq I_{n1(dla 40^{\circ}\text{C})} = 160\text{ A} \leq I_z$$

$$I_z \geq \frac{1,45 \cdot 160}{1,45} \geq 160\text{ A}$$

Zgodnie z normą PN-HD 60364-5-52:2011 [17], przy sposobie ułożenia „E”, warunki spełnia przewód YKYżo 5x70 w klasie reakcji na ogień Eca (PN-EN 13501-6:2014-04):

$$I_z = I_{dd} \cdot k_t \cdot k_p = 196 \cdot 1,06 \cdot 0,82 = 170,36\text{ A} > 160\text{ A}$$

Warunek spełniony.

B) Dobór przewodów na obciążalność długotrwałą i przeciążalność dla warunków, jakie występują w rozdzielnic:

- 1) I<sub>B1</sub> = 13 A:

Jako zabezpieczenie przewodu zasilającego odbiornik należy przyjąć wyłącznik nadprądowy typu S203 B16 o I<sub>n1</sub> = 14,6 A (dla 60°C<sup>\*\*)</sup>, przez co wymagany przekrój przewodu wyniesie:

$$I_{B1} = 13\text{ A} \leq I_{n1(dla 60^{\circ}\text{C})} = 14,6\text{ A} \leq I_z$$

$$I_z \geq \frac{1,45 \cdot 14,6}{1,45} \geq 14,6\text{ A}$$

Zgodnie z normą PN-HD 60364-5-52:2011 [17], przy sposobie ułożenia „E”, warunki spełnia kabel YDYżo 5x4 w klasie reakcji na ogień Eca (PN-EN 13501-6:2014-04):

<sup>\*\*) Prąd wyzwalacza termicznego dla temperatury występującej w miejscu instalacji, tu: 60°C.</sup>

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagrożenia wynikające z niewystarczających wymagań w zakresie temperatury wewnątrz rozdzielnic. Pominiecie tej wielkości fizycznej w praktyce może doprowadzić do uszkodzenia rozdzielnic lub przyczynić się do jej niepoprawnej pracy, a w skrajnym przypadku – do jej całkowitego zniszczenia. **Słowa kluczowe:** PN-EN 61439, temperatura wewnątrz rozdzielnic, zagrożenie pożarowe.

$$I_z = I_{dd} \cdot k_t \cdot k_p = 37 \cdot 0,5 \cdot 0,82 = 15,17\text{ A} > 14,6\text{ A}$$

Warunek spełniony.

- 2) I<sub>B2</sub> = 140 A:

Należy przyjąć jako zabezpieczenie kabla zasilającego odbiornik wyłącznik mocy typu T<sub>max</sub> XT 160 A TMD z wyzwalaczem termiczno-magnetycznym o I<sub>n1</sub> = 140 A (dla 60°C<sup>\*\*)</sup>, przez co wymagany przekrój przewodu wyniesie:

$$I_{B1} = 140\text{ A} \leq I_{n1(dla 40^{\circ}\text{C})} = 140\text{ A} \leq I_z$$

$$I_z \geq \frac{1,45 \cdot 140}{1,45} \geq 140\text{ A}$$

Zgodnie z normą PN-HD 60364-5-52:2011, przy sposobie ułożenia „E”, warunki spełnia kabel YKYżo 5x150 w klasie reakcji na ogień Eca, zgodnie z normą PN-EN 13501-6:2014-04:

$$I_z = I_{dd} \cdot k_t \cdot k_p = 319 \cdot 0,5 \cdot 1 = 159,5\text{ A} > 140\text{ A}$$

gdzie:

I<sub>n</sub> – prąd znamionowy lub prąd nastawy zabezpieczenia przewodu, w [A],  
I<sub>z</sub> – wymagana minimalna długotrwała obciążalność prądowa przewodu, w [A],  
I<sub>dd</sub> – długotrwała obciążalność przewodu odczytana z tablicy B.52.10 normy PN-HD 60364-5-52 [17], w [A],  
k<sub>t</sub> – współczynnik poprawkowy uwzględniający temperaturę otaczającego powietrza odczytany z tablicy B.52.14 normy PN-HD 60364-5-52 [17], w [-],  
k<sub>p</sub> – współczynnik uwzględniający liczbę obwodów stykających się odczytany z tablicy B.52.17 normy PN-HD 60364-5-52 [17], w [-].

Warunek spełniony.

**Komentarz:** W przypadku kabli o wskazanym przekroju, ich sposób wprowadzenia z rozdzielnic zapewnia, że na odcinku wewnątrz rozdzielnic ich stykanie się z pozostałymi obwodami jest pomijalne. Dlatego przyjęto współczynnik k<sub>p</sub> = 1.

Podsumowanie dla I<sub>B1</sub> = 13 A:

|                       | Temp. otoczenia | Typ zabezpieczenia | Typ przewodu |
|-----------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| Warunki normalne      | + 25°C          | S203 B16           | YDYżo 5×2,5  |
| Warunki w rozdzielnic | + 60°C          | S203 B16           | YDYżo 5×4    |

Podsumowanie dla I<sub>B2</sub> = 140 A:

|                       | Temp. otoczenia | Typ zabezpieczenia            | Typ przewodu |
|-----------------------|-----------------|-------------------------------|--------------|
| Warunki normalne      | + 25°C          | T <sub>max</sub> XT 160 A TMD | YKYżo 5×70   |
| Warunki w rozdzielnic | + 60°C          | T <sub>max</sub> XT 160 A TMD | YKYżo 5×150  |

Sprawdźmy zatem, przy jakiej temperaturze wewnątrz rozdzielnic nie będzie konieczności przewymiarowania przewodów i kabli – **przykład 2.**

### I Przykład 2.

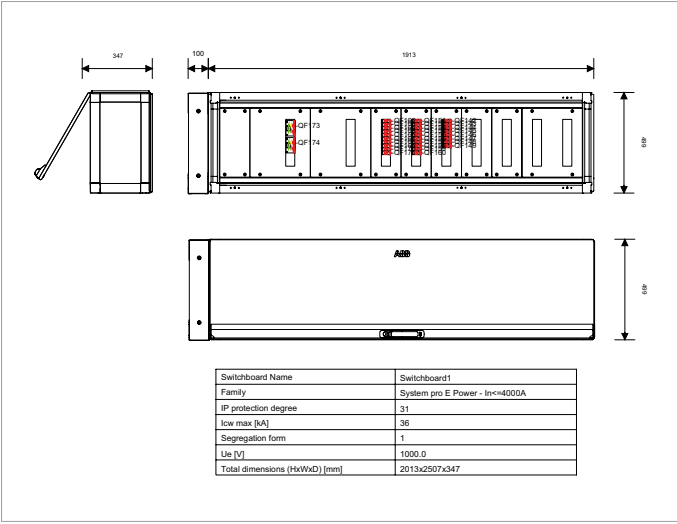
Należy wyznaczyć optymalną temperaturę wewnątrz rozdzielnic dla danych jak w **przykładzie 1.**

- 3) I<sub>B1</sub> = 13 A:

$$I_z \geq 14\text{ A}$$

$$k_t = \frac{I_z}{I_{dd} \cdot k_p} = \frac{14}{30 \cdot 0,82} = 0,57$$

Na podstawie tablicy B.52.14 normy PN-HD 60364-5-52 [17] odczytana wartość temperatury wynosi 55°C. Sprawdzenie:



Rys. 1. Elewacja rozdzielnic wraz z jej wymiarami do przykładu 3. rys. M. Orzechowski

$$I_z = I_{dd} \cdot k_t \cdot k_p = 30 \cdot 0,61 \cdot 0,82 = 15,01\text{ A} > 14\text{ A}$$

- 4) I<sub>B2</sub> = 140 A:

$$I_z \geq 160\text{ A}$$

$$k_t = \frac{I_z}{I_{dd}} = \frac{160}{196} = 0,81$$

Na podstawie tablicy B.52.14 normy PN-HD 60364-5-52 [17] odczytana wartość temperatury wynosi 40°C. Sprawdzenie:

$$I_z = I_{dd} \cdot k_t \cdot k_p = 196 \cdot 0,87 \cdot 1 = 170,52\text{ A} > 160\text{ A}$$

Warunek spełniony.

**Komentarz:** W przypadku kabli o przekroju powyżej 70 mm<sup>2</sup> wpływ stykania się kabli wewnątrz rozdzielnic jest pomijany, pod warunkiem że rozdzielnica jest prawidłowo zaprojektowana i wykonana, a przewody oraz kable są wprowadzane do niej zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. W przeciwnym wypadku wartość współczynnika k<sub>p</sub> powinna uwzględnić wzajemne oddziaływanie poszczególnych obwodów – co będzie oczywiście powodowało konieczność przewymiarowywania tych przewodów i kabli.

Przeanalizujemy teraz, jakie faktycznie temperatury występują wewnątrz rozdzielnic – **przykład 3.**

### I Przykład 3.

Należy wyznaczyć temperaturę wewnątrz rozdzielnic, w której będą zabudowane następujące aparaty:

- 1) S201-B10 – 8 szt.;
- 2) S201-B16 – 20 szt.;
- 3) T<sub>max</sub> XT 160 A TMD – 2 szt.

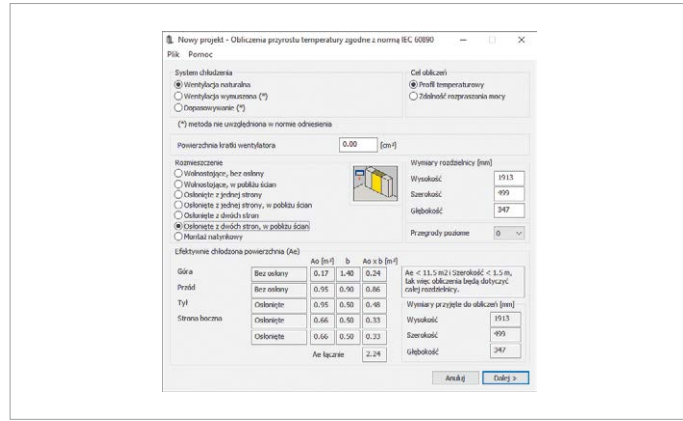
Jako temperaturę zewnętrzną należy przyjąć:

- a) 35°C – zgodnie z PN-EN 61439 [1], [2];
- b) 25°C – typowa temperatura występująca w pomieszczeniu rozdzielni głównej.

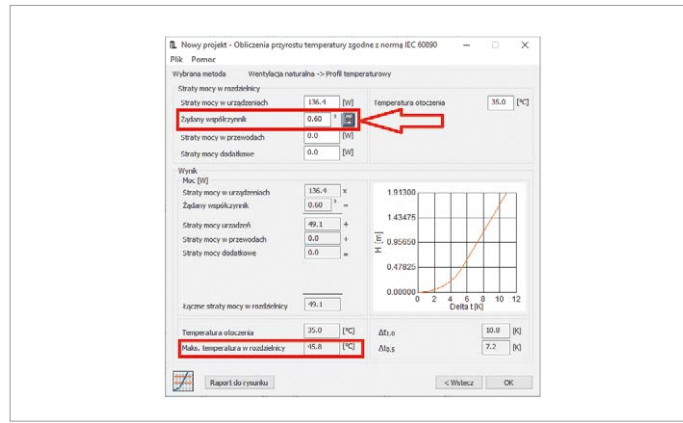
Powyższe zestawienie stanowi część rozdzielnic głównej. Pozostałe elementy nie będą uwzględniane.

**Obliczenia:**

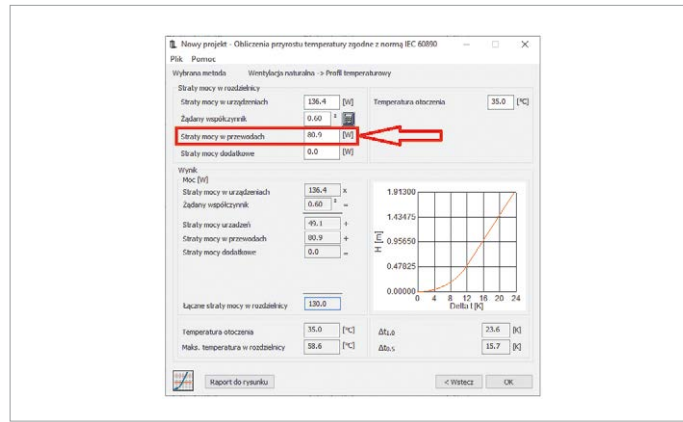
Na podstawie powyższych danych wstępnie dobrano obudowę ABB typu pro E Power o parametrach przedstawionych na **rysunku 1.**



Rys. 2. Okno programu ABB e-Design DOC® służące do obliczeń termicznych [16]



Rys. 3. Okno programu ABB e-Design DOC® z wynikami obliczeń termicznych dla ustawień domyślnych [16]



Rys. 4. Okno programu ABB e-Design DOC® z wynikami obliczeń termicznych, uzupełnionymi o straty w przewodach [16]

W rozdzielnicach nie uwzględniono szyn do rozdziału energii w jej wnętrzu. Dodatkowe elementy wchodzące w skład obudowy, które należy uwzględnić w bilansie cieplnym:

- przewód typu LgY 2,5 – 60 m – przewody fazowe (neutralne – pominięte);
- przewód typu LgY 70 – 8 m – przewody fazowe (neutralne – pominięte).

Szyny, które stanowią rozdział energii pomiędzy poszczególnymi obudowami, zostaną pominięte.

Obliczenia należy przeprowadzić zgodnie z normą IEC 60890 *A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear*

*assemblies by calculation* [7], która opisuje sposób wyznaczenia temperatury wewnątrz rozdzielnic. Aby przyspieszyć obliczenia oraz zobrazować je graficznie, skorzystamy z programu ABB e-Design DOC® (rys. 2.).

Program w ustawieniach standardowych ma nastawę temperatury otoczenia wynoszącą 35°C. Straty mocy z poszczególnych urządzeń pobiera z danych katalogowych. Dodatkowo wprowadza współczynnik jednoczesności, który można korygować według własnych potrzeb (rys. 3.).

**Komentarz:** żądany współczynnik wynika wprost z zapisów normy [3] – tablica 101 „Wartości założonego obciążenia”. Poniżej fragment tablicy 101 [3].

| Rodzaj obciążenia                | Założony współczynnik obciążenia |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Rozdział – 2 i 3 obwody          | 0,9                              |
| Rozdział – 4 i 5 obwodów         | 0,8                              |
| Rozdział – 6 do 9 obwodów        | 0,7                              |
| Rozdział – 10 lub więcej obwodów | 0,6                              |
| Aktuator elektryczny             | 0,2                              |
| Silniki ≤ 100 kW                 | 0,8                              |
| Silnik > 100 kW                  | 1,0                              |

Bez uwzględnienia dodatkowych strat temperatura maksymalna (w górnych częściach rozdzielnic) wynosi 45,8°C. Ponadto na wykresie z prawej strony przedstawiono zmianę temperatury w funkcji wysokości rozdzielnic.

Straty mocy od przewodów wchodzących w skład danego pola wynoszą odpowiednio (PN-EN 61349-1 [2]):

- przewód typu LgY 2,5 – 60 m – przewody fazowe (neutralne – pominięte);

$$P_{v1} = L \cdot R_{46} \cdot I_{\max}^2 = R_{20} \cdot \left( \frac{T_{\theta}}{293,15} \right)^{1,16} \cdot I_{\max}^2 = 60 \cdot 0,00741 \cdot \left( \frac{(293,15 + 25,8)}{293,15} \right)^{1,16} \cdot 10^2 = 49,1 \text{ W}$$

- przewód typu LgY 70 – 8 m – przewody fazowe (neutralne – pominięte).

$$P_{v2} = L \cdot R_{55} \cdot I_{\max}^2 = R_{20} \cdot \left( \frac{T_{\theta}}{293,15} \right)^{1,16} \cdot I_{\max}^2 = 8 \cdot 0,000268 \cdot \left( \frac{(293,15 + 25,8)}{293,15} \right)^{1,16} \cdot 116^2 = 31,8 \text{ W}$$

gdzie:

$P_{\text{UX}}$  – strata mocy w przewodzie służącym do połączeń wewnętrznych w rozdzielnicach, w [W],

$L$  – długość przewodu, w [m],

$R_{55}$  – rezystancja przewodu w temperaturze 55°C, w [Ω],

$I_{\max}$  – maksymalna wartość prądu płynąca w przewodzie przyjęta na podstawie załącznika H [2], w [A],

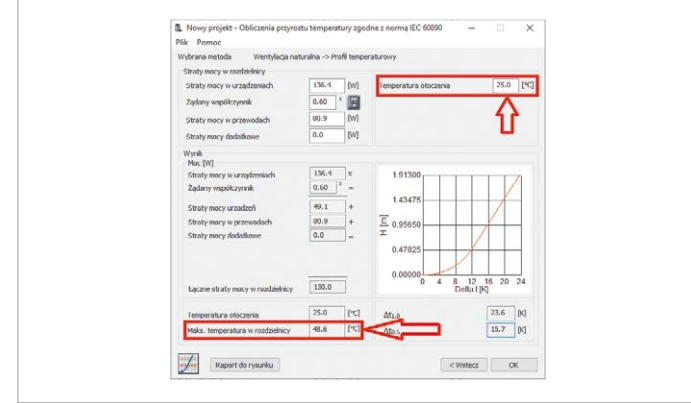
$R_{20}$  – rezystancja przewodu w temperaturze 20°C, w [Ω],

$T_{\theta}$  – temperatura końcowa, w [K].

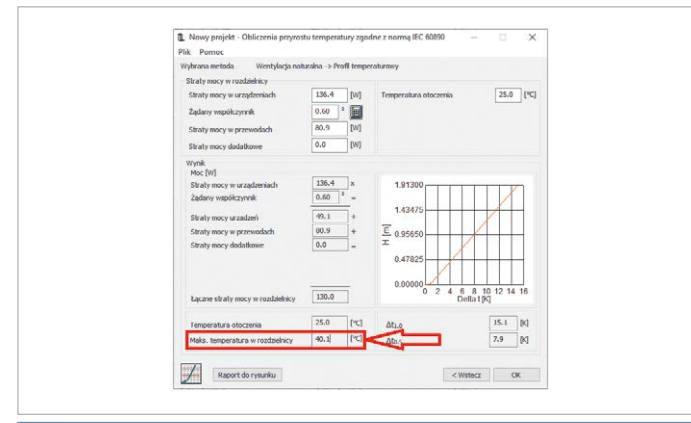
Wyznaczone wartości strat należy wprowadzić do programu (rys. 4.).

Po uwzględnieniu strat mocy w przewodach do połączeń wewnętrznych temperatura maksymalna w rozdzielnicach wzrosła do **58,6°C**. Sprawdzimy teraz, jak zmieni się temperatura wewnątrz rozdzielnic, jeśli wprowadzimy temperaturę otoczenia, jaka faktycznie występuje w pomieszczeniu: **25°C** (rys. 5.).

Po uwzględnieniu typowej temperatury, jaka występuje w pomieszczeniu rozdzielni głównej, maksymalna temperatura wewnątrz spadła do **48,6°C** (różnica temperatur pozostała taka sama).



Rys. 5. Okno programu ABB e-Design DOC® z wynikami obliczeń termicznych, uzupełnionymi o straty w przewodach i temperaturze 25°C [16]



Rys. 6. Okno programu ABB e-Design DOC® z wynikami obliczeń termicznych, uzupełnionymi o straty w przewodach i temperaturze 25°C [16]

Należy podkreślić, że nie uwzględniono szyn głównych rozdzielnic oraz przewodów i kabli odpływowych itd. – zatem ostatecznie temperatura byłaby jeszcze wyższa o kilka stopni. Następnym krokiem będzie wprowadzenie paneli wentylacyjnych na górze i dole rozdzielnic – o łącznej powierzchni czynnej 100 cm<sup>2</sup> (rys. 6.). Podobny efekt można osiągnąć, zwiększając głębokość obudowy min. dwukrotnie!

Jak należało się spodziewać, temperatura wewnątrz rozdzielnic spadła. Natomiast istotne jest to, że zastosowanie niewielkiej wentylacji o całkowitej powierzchni czynnej 100 cm<sup>2</sup> (sumaryczna powierzchnia czynna kratki na dole i górze obudowy) może przyczynić się do obniżenia temperatury już o **8,5°C**.

## Wnioski końcowe

- Wykonanie rozdzielnic zgodnie z normą PN-EN 61439 [2], [3], [4], [5] i [6] nie gwarantuje jej prawidłowej eksploatacji – w zakresie temperatury otoczenia. PN-EN 61439 zakłada temperaturę otoczenia, która w praktyce przekłada się na wysokie temperatury we wnętrzu rozdzielnic. To z kolei powoduje konieczność przewymiarowania elementów przyłączonych do niej (przewodów i kabli) oraz aparatów w niej zabudowanych.
- Założenie, że niewielkie wypełnienie obudowy (np. 50%) gwarantuje, że temperatura wewnątrz rozdzielnic nie przekroczy wartości dopuszczalnych długotrwale (40°C), może być błędne, co zostało udowodnione w przykładzie 3. Szczególnie gdy w rozdzielnicach nie będzie wentylacji.
- Poprawny dobór przewodów na obciążalność i przeciążalność dla warunków występujących na obiekcie nie gwarantuje ich poprawnej eksploatacji. Przy skrajnie niekorzystnej konstrukcji rozdzielnic (np. zbyt

mała, przewody wewnątrz stykające się, brak wentylacji itd.) może się okazać, że dojdzie do przekroczenia temperatury dopuszczalnej długotrwale dla izolacji przewodów do niej przyłączonych. W konsekwencji może to doprowadzić do ich zapalenia, zwarć łukowych lub po prostu zwarcia. Aby zapobiec temu zjawisku, konieczne będzie ich przewymiarowanie, tak aby dostosować ich obciążalność długotrwale do warunków panujących w samej rozdzielnicach.

- Podział odpowiedzialności za urządzenie, jakim jest rozdzielnica, wynika właśnie z UZGODNIEN, gdyż:

- wytwórca pierwotny [1] (producent komponentów) wraz z wytwórcą zestawu [2] (prefabrykatorem) ma wykonać rozdzielnicę zgodnie z projektem (UZGODNIENIAMI [1]) i normą [2], [3], [4], [5] i [6]. To oni odpowiadają za konstrukcję rozdzielnic, rozmieszczenie aparatów, połączenia wewnętrzne – aż do przyłączonych przewodów zewnętrznych (przewody i kable zasilające i odpływowe);
- użytkownik [2] ma określić cechy dla niego istotne, tzn. obciążalność długotrwale, typ i nastawy aparatów, wyposażenie rozdzielnic, przewody i kable zasilające i odpływowe, parametry zwarciowe itd.; **Zatem jeśli projektant nie określi jakichś parametrów rozdzielnic, np. temperatury wewnątrz, stopnia IP, wybranych prądów zwarciowych itd., to wytwórca zestawu może je przyjąć na podstawie PN-EN 61439 [2], [3], [4], [5] i [6]. Tym samym wytwórca zestawu spełni wymagania normy oraz projektu – choć może się okazać, że dostarczone rozwiązanie nie spełnia wymagań dla danej lokalizacji. W takiej sytuacji to użytkownik [2] (inwestor, projektant, kierownik robót i/lub inspektor nadzoru) ponosi odpowiedzialność za daną rozdzielnicę. Ewentualne spory może rozstrzygnąć sąd z powództwa cywilnego [1], [8], [9], [10], [11], [12] i [13].**

- Zalecenia:

- W dokumentacji projektowej powinny znaleźć się zapisy o oczekiwanej temperaturze wewnątrz rozdzielnic. Temperatura wewnątrz nie powinna przekraczać 40°C w miejscu wprowadzenia przewodów i kabli do rozdzielnic (góra rozdzielnic), gdyż to może mieć wpływ na jej bezawaryjną eksploatację.
- Jedynym rozwiązaniem jest każdorazowe wyznaczenie temperatury wewnątrz rozdzielnic zgodnie z IEC 60890 [7] lub wykorzystanie programów na niej opartych, np.: ABB e-Design DOC®, ABB Connect Partner Hub. Obliczenia powinny być zamieszczone w dokumentacji projektowej. Jeśli na etapie projektu nie ma możliwości wskazania konkretnego rozwiązania (np. zamówienie publiczne), wówczas w dokumentacji powinien znaleźć się zapis nakazujący dostawcy rozwiązania przedstawienie odpowiednich obliczeń, zgodnie z IEC 60890 [7].



literatura  
do artykułu na

elektro.info.pl

## ABSTRACT

**Low voltage switchgears – the influence of temperature on the operational safety of low voltage switchboards (selected issues) (part 1.)**

The article presents the threats resulting from insufficient temperature requirements inside the switchgear. Omitting this physical quantity in practice may result in damage to the switchgear or contribute to its incorrect operation and, in extreme cases, to its complete destruction.

**Keywords:** EN 61439, temperature inside the switchgear, fire hazard.

# Ograniczenie strat w transformatorach rozdzielczych – co możemy jeszcze zrobić?

Straty w sieci energetycznej różnią się znacznie w poszczególnych krajach na całym świecie. Liczby wahają się od mniej niż 4% do ponad 20%. W większości krajów daje to możliwość znacznych oszczędności. Transformatory rozdzielcze są wykorzystywane do przekształcania energii elektrycznej ze średniego napięcia – poziomu, na którym energia jest przesyłana lokalnie i dostarczana do wielu odbiorców przemysłowych – do poziomu niskiego napięcia – zazwyczaj wykorzystywanego przez konsumentów indywidualnych i sektor usługowy.

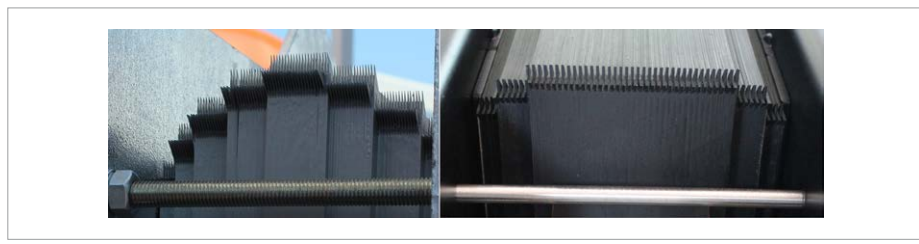
Transformatory rozdzielcze mogą charakteryzować się stosunkowo wysoką efektywnością energetyczną w porównaniu do innych urządzeń elektrycznych. Sprawność nowoczesnych jednostek waha się od 90 do ponad 99%. Pracują one jednak w trybie ciągłym i mają długą żywotność – zwykle od 30 do 40 lat. W rezultacie niewielki wzrost wydajności może skutkować znacznymi oszczędnościami energii w całym okresie eksploatacji transformatora. Jednak w wielu firmach budżet zakupowy jest oddzielony od budżetu operacyjnego. W rezultacie decyzje zakupowe często opierają się wyłącznie na cenie dostawy (analiza krótkoterminowa), zamiast uwzględniać całkowity koszt eksploatacji transformatora (analiza długoterminowa). Takie decyzje mają negatywne skutki utrzymujące się przez dziesięciolecia.

Szacuje się, że przejście na energooszczędne transformatory dystrybucyjne może zaoszczędzić w Europie 18,5 TWh rocznego zużycia energii elektrycznej (UE-25). Odpowiada to rocznej produkcji 3 elektrowni jądrowych (1000 MW) [1]. Potencjał oszczędności energii i wpływ na środowisko liczony jest do roku 2050 w Unii Europejskiej i na poziomie światowym. Potencjalne oszczędności w roku 2050 będą wynosiły około 35 TWh energii elektrycznej w Europie, co odpowiada około czterem milionom ton zmniejszonej emisji CO<sub>2</sub> [2].

## Straty w transformatorach

Straty energii dzielą się na trzy odrębne klasy [1, 2]:

**Straty stanu jałowego:** spowodowane histerezą i prądami wirowymi w rdzeniu transformatora. Jest to stała strata energii, która występuje od momentu podłączenia transformatora do sieci elektroenergetycznej. W przeciętnej europejskiej sieci dystrybucyjnej straty bez



Rys. 1. Przykład rdzeni transformatorów suchych o różnych grubościach blach rys. K. Kuczyński

obciążenia stanowią nawet 70% strat całkowitych [1].

**Straty obciążeniowe:** spowodowane stratami rezystancyjnymi w uzwojeniach i przewodach oraz prądami wirowymi w konstrukcji stalowej i uzwojeniach.

**Straty na chłodzenie:** niektóre transformatory wymagają dodatkowo chłodzenia mechanicznego – co wymaga dodatkowego zużycia energii. Im większe są straty wewnętrzne urządzenia, tym większa potrzeba chłodzenia i większe zużycie energii przez układ wentylacji. Straty te są stosunkowo małe w porównaniu ze stratami obciążeniowymi i stanu jałowego.

Istnieje kilka sprawdzonych rozwiązań technicznych poprawiających efektywność energetyczną transformatora rozdzielczego [1]. Straty stanu jałowego można zmniejszyć poprzez zastosowanie materiałów o ograniczonych stratach oraz właściwą konstrukcję i montaż. Straty obciążenia w przybliżeniu są proporcjonalne do kwadratu prądu obciążenia. Można je zmniejszyć, zwiększając przekrój poprzeczny uzwojeń. Zużycie energii na potrzeby chłodzenia można zmniejszyć, utrzymując pozostałe rodzaje strat energii na niskim poziomie.

Łącząc te techniki, można zbudować transformator dystrybucyjny oparty na najlepszej dostępnej technologii, który ma również – w zdecydowanej większości przypadków – najniższy koszt „cyklu życia”. Straty operacyjne

zazwyczaj stanowią od 30% do 70% całkowitego kosztu posiadania transformatorów rozdzielczych [1, 2]. Okresy zwrotu inwestycji w transformatory o wysokiej sprawności są stosunkowo krótkie, często poniżej dwóch lat w przypadku wysokich cen energii elektrycznej. Wewnętrzna stopa zwrotu w wydajnych transformatorach stale przekracza 10%, a czasami nawet 70% w stosunku do starszych modeli transformatorów [1].

Dalszy wzrost sprawności transformatorów można osiągnąć poprzez wymianę rdzeni ze stali krzemowej na nowe rodzaje materiałów magnetycznych, np. taśmy amorficzne. Materiały amorficzne zostały opracowane w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku [1]. Materiały te powstają w wyniku szybkiego chłodzenia ciekłego stopu na wirującym walcu, co zapewnia powstanie struktury pozbawionej sieci krystalicznej, która jest podobna do szkła.

Amorficzny materiał stopowy charakteryzuje się małą grubością, niskimi stratami i niski-

## STRESZCZENIE

W artykule omówiono zagadnienia dotyczące możliwości ograniczenia strat w rdzeniach transformatorów rozdzielczych.

**Słowa kluczowe:** transformator rozdzielczy, ograniczenie strat energii, efektywność energetyczna, rdzeń magnetyczny.

mi kosztami produkcji [2]. Dlatego w porównaniu z konwencjonalnym transformatorem ze stali krzemowej zastosowanie transformatora ze stopu amorficznego jest skutecznym sposobem zmniejszenia strat energii w dystrybucyjnej sieci elektroenergetycznej [2]. Badania wykazały, że przy tej samej mocy znamionowej strata bez obciążenia w transformatorze ze stopu amorficznego wynosi 35,4% w przypadku tradycyjnego transformatora typu S11, zgodnie z Ekoprojektem [2]. Obecnie amorficzny stop na bazie żelaza jest stosowany w transformatorach rozdzielczych klasy premium, gdzie rdzenie transformatorów są wykonane z nawiniętego materiału ze stopu amorficznego uformowanego w prostokątne jarzma. Z jednej strony budowa rdzenia i kształt uzwojenia transformatora ze stopu amorficznego różnią się od tradycyjnych. Natomiast stop amorficzny często charakteryzuje się mniejszą indukcją nasycenia ( $B_s$ ) i jest wrażliwy na naprężenia [2]. W tabeli 1. porównano właściwości stopu amorficznego i powszechnie stosowanej stali krzemowej.

Transformator z rdzeniem amorficznym w obwodzie magnetycznym jest zbudowany z metalowych taśm ze stopu amorficznego. Pozwala to na budowanie transformatorów o bardzo niskich stratach na biegu jałowym (do 70–80% mniej niż typy konwencjonalne sprzed kilkudziesięciu lat). Ze względu na elastyczną konstrukcję rdzenia, moc transformatorów z rdzeniem amorficznym jest obecnie ograniczona do 10 MVA. Transformatory z rdzeniem amorficznym są od 5 do 20% cięższe niż transformatory konwencjonalne o tej samej mocy [1, 3]. Najczęściej są zanurzone w oleju, choć obecnie można spotkać wykonania suche, oferowane w specjalnych obudowach z uwagi na łatwość uszkodzenia mechanicznego rdzenia w transporcie. Przykładowe straty stanu jałowego oraz straty obciążeniowe zaprezentowane są w tabeli 2.

## Harmoniczne

Na efektywność energetyczną transformatora negatywny wpływ mają także harmoniczne prądu. W europejskiej sieci publicznej prądu harmoniczne powodują dodatkowe straty energii w transformatorach rozdzielczych wynoszące około 10% (źródło: projekt SEEDT w ramach programu Inteligentna Energia Unii Europejskiej. SEEDT tworzy uzasadnienie biznesowe dla rozwoju i rozpowszechniania energooszczędnych transformatorów dystrybucyjnych). Poza tym prądy harmoniczne również skracają żywotność transformatora [1].

| Materiał                         | $B_s$ | $\rho$                        | $W_{1,3/50}$ | $d$   |
|----------------------------------|-------|-------------------------------|--------------|-------|
|                                  | [T]   | [ $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ] | [W/kg]       | [mm]  |
| Stal krzemowa                    | 2,03  | 50                            | 0,440        | 0,23  |
| Taśma amorficzna na bazie żelaza | 1,56  | 130                           | 0,070        | 0,025 |

Tab. 1. Porównanie właściwości stopu amorficznego i powszechnie stosowanej stali krzemowej [3]  
 $B_s$  – indukcja nasycenia,  $\rho$  – opór elektryczny właściwy,  $W_{1,3/50}$  – straty,  $d$  – grubość materiału magnetycznego

| Moc transformatora, w [kVA] | Rdzeń ze stali krzemowej     |                            | Rdzeń amorficzny             |                            |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
|                             | Straty stanu jałowego, w [W] | Straty obciążeniowe, w [W] | Straty stanu jałowego, w [W] | Straty obciążeniowe, w [W] |
| 250                         | 650                          | 3250                       | 160 (75%)*                   | 2300                       |
| 400                         | 930                          | 4600                       | 210 (77%)*                   | 3650                       |
| 630                         | 1300                         | 6500                       | 300 (77%)*                   | 4930                       |

\* Redukcja strat stanu jałowego

Tab. 2. Przykładowe straty stanu jałowego oraz straty obciążeniowe produkowanych transformatorów [3]

## Rozporządzenia KE

W 2009 r. Parlament Europejski uchwalił obowiązującą obecnie wersję dyrektywy 2009/125/WE (z dnia 21 października 2009 r.), zwanej Ekoprojektem, która nakazała wyznaczenie grup produktów związanych z energią, mogących na etapie projektowania i produkcji spowodować zmniejszenie jej zużycia. Na kolejnym etapie wdrażania Ekoprojektu wybrano produkty różnych branż poprzez wydanie kolejnych rozporządzeń wykonawczych do dyrektywy. Są to między innymi: urządzenia gospodarstwa domowego, oświetlenie, pompy elektryczne, wentylatory napędzane silnikiem elektrycznym, zasilacze. Transformatory uznaje się za produkty związane z energią w rozumieniu art. 2 ust. 1 dyrektywy 2009/125/WE [5-7].

Po długich pracach uzgodniono, jakie parametry techniczne są wymagane dla transformatorów i zapisane w Rozporządzeniu Komisji Europejskiej nr 548/2014 [6]. Rozporządzenie odnosi się do transformatorów energetycznych wprowadzanych na rynek Unii Europejskiej po 30 czerwca 2015 r. i dotyczy energetycznych transformatorów olejowych oraz transformatorów suchych o minimalnej mocy znamionowej 1 kVA, wykorzystywanych w sieciach dystrybucji i przesyłu energii oraz w zastosowaniach przemysłowych [5].

Rozporządzenie Komisji (UE) 2019/1783 z dnia 1 października 2019 r. [7] zmieniło rozporządzenie (UE) nr 548/2014 z dnia 21 maja 2014 r. [6] w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do transformatorów elektroenergetycznych małej, średniej i dużej mocy. Rozporządzenie [8]

wprowadziło również definicję „transformatora nasłupowego średniej mocy” to jest o mocy znamionowej od 25 kVA do 400 kVA.

W artykule 1. nowelizacji rozporządzenia [7] wprowadzone zostały następujące zapisy dotyczące przedmiotu i zakresu stosowania.

Punkt pierwszy mówi, że rozporządzenie ustanawia wymogi dotyczące Ekoprojektu odnośnie wprowadzania do obrotu lub oddawania do użytku transformatorów elektroenergetycznych o minimalnej mocy znamionowej wynoszącej 1 kVA, wykorzystywanych w sieciach przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej 50 Hz lub do zastosowań przemysłowych. Dodatkowo rozporządzenie ma zastosowanie do transformatorów nabytych po dniu 11 czerwca 2014 r.

Punkt drugi stwierdza, że rozporządzenie [7] **nie ma zastosowania** do transformatorów specjalnie zaprojektowanych do następujących zastosowań:

a) przekładników zaprojektowanych specjalnie w celu przekazywania sygnału informacyjnego do przyrządów pomiarowych, mierników oraz urządzeń ochronnych lub sterujących lub podobnych urządzeń;

b) transformatorów zaprojektowanych specjalnie i przeznaczonych do zasilania prądem stałym prostowników elektronicznych lub prostowników obciążenia. Wyłączenie to nie obejmuje transformatorów, które są przeznaczone do zasilania prądem przemiennym ze źródeł prądu stałego, takich jak transformatory do zastosowań w turbinach wiatrowych i zastosowań fotowoltaicznych lub transformatory zaprojektowane do zastosowań w zakresie przesyłu i dystrybucji prądu stałego;

c) transformatorów zaprojektowanych specjalnie do celów bezpośredniego podłączenia do pieca;

d) transformatorów zaprojektowanych specjalnie do celów instalacji na stałych lub pływających platformach morskich, morskich turbinach wiatrowych lub na pokładach statków i wszelkich innych jednostkach pływających;

e) transformatorów zaprojektowanych specjalnie na potrzeby sytuacji (o ograniczonym czasie trwania), w których dochodzi do przerw w normalnym zasilaniu energią elektryczną w wyniku nieprzewidzianego zdarzenia (jak np. awaria zasilania) lub remontu stacji, ale nie w celu trwałego ulepszenia istniejącej podstacji;

f) transformatorów (z odrębnymi lub automatycznie połączonymi uzwojeniami) podłączonych do sieci trakcyjnej zasilanej prądem stałym lub przemiennym, bezpośrednio lub za pośrednictwem przetwornika, wykorzystywanych w stałych instalacjach do zastosowań kolejowych;

g) transformatorów uziemiających zaprojektowanych specjalnie w celu podłączenia ich do systemu zasilania w celu uzyskania punktu zerowego na potrzeby uziemienia systemu, bezpośrednio lub poprzez impedancję;

h) transformatorów trakcyjnych zaprojektowanych specjalnie do celów zamontowania na taborze, podłączonych do sieci trakcyjnej zasilanej prądem stałym lub przemiennym, bezpośrednio lub za pośrednictwem przetwornika, do użytku specjalnego w stałych instalacjach do zastosowań kolejowych;

i) transformatorów rozruchowych zaprojektowanych specjalnie na potrzeby uruchamiania trójfazowego silnika indukcyjnego, tak aby wyeliminować spadki napięcia zasilania, które w trakcie normalnego działania są pozbawione zasilania;

j) transformatorów probierczych zaprojektowanych specjalnie do stosowania w obwodzie w celu uzyskania określonego napięcia lub prądu na potrzeby badań urządzeń elektrycznych;

k) transformatorów spawalniczych zaprojektowanych specjalnie do stosowania w urządzeniach do spawania łukiem elektrycznym lub do spawania oporowego;

l) transformatorów zaprojektowanych specjalnie na potrzeby zastosowań wymagających zabezpieczenia przeciwybuchowego zgodnie z dyrektywą 94/9/WE Parlamentu Europejskiego i Rady oraz zastosowań w górnictwie podziemnym;

m) transformatorów zaprojektowanych specjalnie do zastosowań głębinowych (podwodnych);

n) transformatorów sprzęgających sieci średniego napięcia (SN) o mocy do 5 MVA, stosowanych w systemie konwersji napięcia sieciowego, które są umieszczane w miejscu połączenia dwóch poziomów napięcia dwóch sieci średniego napięcia i które muszą być w stanie poradzić sobie z przeciążeniami w sytuacjach awaryjnych;

o) transformatorów elektroenergetycznych średniej i dużej mocy zaprojektowanych specjalnie jako element systemu zapewnienia bezpieczeństwa obiektów jądrowych zdefiniowanych w art. 3 dyrektywy Rady 2009/71/Euratom;

p) trójfazowych transformatorów elektroenergetycznych średniej mocy o mocy znamionowej poniżej 5 kVA, z wyjątkiem wymogów określonych w pkt 4 lit. a), b) i d) załącznika I do rozporządzenia [7].

Dodatkowo w punkcie trzecim znajduje się zapis, że transformatory elektroenergetyczne średniej i dużej mocy, niezależnie od tego, kiedy zostały po raz pierwszy wprowadzone do obrotu lub oddane do użytku, są poddawane ponownej ocenie zgodności i muszą spełniać wymogi niniejszego rozporządzenia, jeżeli zostały poddane wszystkim następującym działaniom [7]:

a) wymiana rdzenia (lub jego części);  
b) wymiana pełnego uzwojenia (lub większej liczby pełnych uzwojeń).

Ma to zastosowanie bez uszczerbku dla zobowiązań prawnych wynikających z innych przepisów unijnego prawodawstwa harmonizacyjnego, którym produkty te mogą podlegać.

Ograniczenie strat odbyło się w dwóch etapach – pierwszy zakończył się 1 lipca 2021 roku. W tym dniu wszedł w życie drugi etap, obniżający straty. Dla transformatorów rozdzielczych o mocach poniżej  $\leq 3150$  kVA i napięciach  $U_m \leq 24$  kV, transformujących z napięcia średniego na niskie, wykorzystano jako referencyjne normy CENELEC dla transformatorów olejowych EN 50464-1 i suchych EN 50541-1. Parametry transformatorów do mocy 2500 kVA wprowadzone w załączniku nr I do Rozporządzenia Komisji (UE) nr 548/2014, są bardzo zbliżone do parametrów przedstawionych w normach, i z nich też zostało zaczerpnięte nazewnictwo określające poziomy strat, odpowiednio dla strat jałowych  $A_0$ , a dla obciążeniowych  $A_k$ ,  $B_k$  i  $C_k$  [7].

Ciekawostką jest załącznik IV do rozporządzenia [7], w którym podano parametry najlepszych rozwiązań technicznych, dostępnych na

rynku transformatorów elektroenergetycznych średniej mocy w dniu przyjęcia tego rozporządzenia [5, 6]:

a) olejowe transformatory elektroenergetyczne średniej mocy:  $A_0 - 20\%$ ,  $A_k - 20\%$ ;

b) suche transformatory elektroenergetyczne średniej mocy:  $A_0 - 20\%$ ,  $A_k - 20\%$ ;

c) transformatory elektroenergetyczne z rdzeniem amorficznym:  $A_0 - 50\%$ ,  $A_k - 50\%$ .

Znajduje się tam uwaga, że dostępność materiału do produkcji transformatorów z rdzeniem amorficznym wymaga dalszego opracowania, zanim w przyszłości będzie można uznać, że takie wartości strat stały się minimalnymi wymogami. Możliwości zatem są...

## I Literatura

1. R. Targosz, *Energy efficiency of distribution transformers*, Leonardo Energy-whyte papers, maj 2009.
2. A. De Almeida, B. Santos, F. Martins, *Energy-efficient distribution transformers in Europe: impact of Ecodesign regulation*, Energy Efficiency (2016) 9:401–424, DOI: 10.1007/s12053-015-9365-z.
3. M. Najgebauer, K. Chwastek, J. Szczygłowski, *Energy efficient distribution transformers*, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), R. 87 NR 2/2011, s. 111–114.
4. Z. Liu, L. Zhang, B. Wu, M. Jin, D. Yao, D. Zhang, D. Chen, *Measurement Analysis and Improvement of Vibroacoustic Characteristics of Amorphous Alloy Transformer*, Energies 2022, 15, 949, DOI:10.3390/en15030949.
5. K. Kuczyński, Transformatory rozdzielcze – jak ograniczyć straty energii elektrycznej?, „elektro.info” 12/2023.
6. Rozporządzenie Komisji Europejskiej nr 548/2014.
7. Rozporządzenie Komisji (UE) 1783/2019 z dnia 1 października 2019 r. zmieniające Rozporządzenie (UE) nr 548/2014 z dnia 21 maja 2014 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do transformatorów elektroenergetycznych małej, średniej i dużej mocy, Dz. UE nr L 272 z dn. 25.10.2019.

## ABSTRACT

**Reducing Losses in Distribution Transformers – What Else Can We Do?**

The article discusses issues related to the possibility of reducing of energy losses in the cores of distribution transformers.

**Keywords:** distribution transformer, reduction of energy losses, energy efficiency, magnetic core.



# ELEKTROBUD

## ICZ-E NOWOCZESNE ROZWIĄZANIE DO HAL PRZEMYSŁOWYCH

## Ogranicz do minimum straty w przesyle energii elektrycznej

Dzięki zastosowaniu unikalnych rozwiązań, wewnętrzna, kompaktowa stacja transformatorowa ICZ-E generuje o wiele niższe straty ciepła niż tradycyjne stacje transformatorowe (zarówno kontenerowe, jak i słupowe). Przedsiębiorca stosujący stację transformatorową ICZ-E do zasilania swojego zakładu zużywa o ok. 20% mniej energii elektrycznej w stosunku do rozwiązania tradycyjnego.

Wnętrzowa stacja transformatorowa ICZ-E jest produkowana w typoszeregu 100, 250, 400, 630, 800, 1000 kVA. Jest urządzeniem kompaktowym, mogącym zawierać w sobie cztery zintegrowane elementy tworzące jedną całość:

- rozdzielnicę SN,
- transformator żywniczny zgodny z rozporządzeniem (UE) 1783/2019,
- rozdzielnicę nn,
- baterię kondensatorów lub innych urządzeń pomocniczych.

## ZALETY WNĘTRZOWEJ STACJI TRANSFORMATOROWEJ ICZ-E:

- ICZ-E wymaga znacznie mniejszej ilości kabli nn oraz skróconej ich długości, co ma duże przełożenie na oszczędności energii.
- Zredukowanie do minimum odległości pomiędzy stacją

transformatorową a zakładem produkcyjnym, poprzez umieszczenie stacji transformatorowej wewnątrz hali produkcyjnej, tak aby znajdowała się jak najbliżej maszyn i urządzeń elektrycznych.

- Stacja transformatorowa ICZ-E ma przygotowane miejsca do przyłączenia zewnętrznych kanałów wentylacji wymuszonej (nawiewno-wywiewnej).
- Możliwość zabudowy układu SZR dla potrzeb zasilania rezerwowego oraz przyłączenia zespołu prądotwórczego.
- Opcjonalnie można wbudować zdalny monitoring z wizualizacją pracy stacji transformatorowej, tj. poboru mocy, zdalnego otwarcia/zamknięcia wyłącznika głównego, wyłączenia napięcia czy „zrzutu mocy”.
- Dzięki zastosowaniu nowoczesnych systemów sterowania ICZ-E może być nadzorowana zdalnie, dzięki czemu stacja jest praktycznie bezobsługowa. Jej obsługa sprowadza się do okresowych przeglądów i konserwacji.

Jakość stacji potwierdzona jest posiadanymi certyfikatami. Wnętrzowe stacje transformatorowe ICZ-E zostały opatentowane pod numerem 14690 w Unii Europejskiej. Wnętrzowe stacje transformatorowe ICZ-E realizują strategię dotyczącą efektywności energetycznej, która jest integralnym elementem pakietu znanego jako „Fit for 55” – gospodarka niskoemisyjna poprzez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Zostały również wyróżnione godłem „Eko-Inspiracja 2013” w kategorii produkt.

# Niezawodne rozdzielnice nn i SN oraz stacje ładowania od polskiego producenta

Nasza rodzinna firma Producent Rozdzielnic Elektrycznych PRE Edward Biel działa od 1993 r. i zajmuje się produkcją rozdzielnic elektrycznych średniego i niskiego napięcia oraz stacji ładowania pojazdów elektrycznych EVB. W ofercie znajdziemy produkty i rozwiązania techniczne o szerokim profilu zastosowania w energetyce zawodowej, przemyśle, infrastrukturze, budownictwie, e-mobilności – także dla klientów indywidualnych. Jesteśmy na rynku od 29 lat i dzięki zdobytemu doświadczeniu stosujemy innowacyjne technologie i stale rozwijamy swój asortyment.

W naszej ofercie znajdziecie Państwo funkcjonalne i uniwersalne w zastosowaniu wyroby, takie jak stacje transformatorowe SN/nn, rozdzielnice elektryczne SN, złącza kablowe SN, rozdzielnice słupowe RST nn, rozdzielnice wewnętrzne RWT nn, rozdzielnice przemysłowe do 6300 A, złącza kablowe i rozdzielnice metalowe w II klasie ochrony oraz szafy do stacji GPZ.

Firma specjalizuje się w produkcji rozdzielnic nn dla szerokiego grona odbiorców m.in.: złącza kablowe i szafki pomiarowe nn, rozdzielnice budowlane RB, rozdzielnice mieszkaniowe, szafy sterownicze, szafy oświetlenia ulicznego SON, szafy automatyki, w tym układy SZR, rozdzielnice modułowe, rozdzielnice ognioochronne FIREBOX oraz rozdzielnice multimedialne. Wychodząc naprzeciw rozwojowi elektromobilności w Polsce i w Europie produkujemy także stacje ładowania pojazdów elektrycznych. Wykonujemy zamówienia standardowe oraz te spoza naszego katalogu, starając się tym samym zaspokoić coraz większe wymagania klientów.

PRE Edward Biel jest dynamicznie rozwijającą się firmą, stale powiększającą swoją ofertę i dostosowującą się do zmian na rynku. W ostatnich latach ulepszyliśmy nasze produkty i wprowadziliśmy nowe produkty, takie jak R-PZ – rozdzielnice podziemne, rozdzielnice w obudowach metalowych w II klasie ochrony REM-2, podłogi i przegrody siatkowe dla stacji SN/nn, stacje ładowania pojazdów elektrycznych EVB. Prowadzimy prefabrykację rozdzielnic w wielu systemach znanych producentów. Wykonujemy usługi w zakresie prefabrykacji szaf sterowniczych na indywidualne życzenie klienta. Do grona naszych odbiorców należą: jednostki samorządowe, producenci i dystrybutorzy energii, zakłady przemysłowe, hurtownie elektrycz-

ne, firmy instalacyjne, firmy budowlane, projektanci oraz osoby prywatne.

## I Rozdzielnice przemysłowe RP

Charakteryzują się one prostymi i przejrzystymi układami połączeń elektrycznych oraz mają budowę, która gwarantuje bezpieczeństwo obsługi. Dzięki zastosowaniu wysokiego stopnia ochrony IP (IP4X – IP55) rozdzielnice RP mogą być eksploatowane bezpośrednio obok maszyn i urządzeń. Bardzo ważnym aspektem przy konstruowaniu naszych rozdzielnic jest ich niezawodność i łatwa możliwość rozbudowy. Dodatkowymi zaletami są: wysoka odporność na uszkodzenia mechaniczne (IK10), prądy znamionowe szyn głównych do 6300 A oraz prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany 40 kA/1 s.

Rozdzielnice przemysłowe RP mają aparaturę rozdzielną, zabezpieczeniową i sterowniczą dla obwodów głównych do 4000 A i pomocniczych do 630 A, która może być instalowana jako człon:

- » stałe, gdzie wszystkie aparaty zamontowane są na stałe na płycie lub szynie TH35;
- » wysuwne, jako pojedynczy aparat lub zestaw aparatów, które są zamontowane w wysuwnej kasie.

Obudowa może być wykonana z blachy aluminiowej lub stalowej (łączzonej poprzez nitowanie lub śrubowe) – obudowa aluminiowa OU-1S lub Stalowa OU-1/OU-2. Malowana jest proszkowo w dowolnym kolorze. Wymiary dostosowane do rodzaju, ilości wyposażenia oraz indywidualnych potrzeb klienta. Obudowa ma dużą odporność na oddziaływanie środowiska i promieniowanie UV. Jest wykonana w I lub II klasie ochrony. **II klasa ochrony** obudowy osiągnięta jest poprzez nałożenie dodatkowej warstwy izolacyjnej, umieszczonej w trwały spo-



Rys. 1. Złącze aluminiowe w II klasie ochrony REM2

sób na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni obudowy. Grubość warstwy zapewnia właściwy stopień izolacji, co potwierdzają posiadane certyfikaty Instytutu Energetyki.

Wentylacja umożliwia stały przepływ powietrza poprzez zastosowanie labiryntu wentylacyjnego, przy jednoczesnym wyeliminowaniu wnikania zanieczyszczeń i gromadzenia się wody i wilgoci.

Drzwi pełne lub transparentne, jednostronne lub dwustronne, o kącie otwarcia 120°, mają zawiasy wewnętrzne oraz wielopunktowe ryglowanie. Mogą być wyposażone w zamek bęb-

kowy o dowolnym kształcie, zamek baszkilowy zamykany na kłódkę lub wkładkę systemową.

Oszynowanie wykonane jest szynami miedzianymi w zależności od wymaganej obciążalności prądowej i typu aparatury. Szyny Cu mogą znajdować się w dowolnej części modułu (góra, tył, dół), dzięki wyprofilowaniu zapewniają łatwy dostęp podczas podpinania okablowania.

## I Stacje ładowania

W odpowiedzi na rosnące zainteresowanie pojazdami elektrycznymi oraz rozwojem rynku elektromobilności w Polsce i na świecie, firma PRE Edward Biel wprowadziła w 2017 do oferty produktowej stacje ładowania pojazdów elektrycznych typu EVB.

EVB to seria nowoczesnych i innowacyjnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Stacje są produkowane w całości w Polsce i stanowią znakomitą alternatywę dla stacji zagranicznych producentów. Stacje ładowania EVB charakteryzują się wysoką wytrzymałością, w tym na działania wandal, oraz jakością wykonania, przyjaznym wzornictwem, dostępnością wielu konfiguracji oraz gwarancją bezpieczeństwa użytkowania.

Stacje EVB spełniają wszelkie wymagania przepisów prawnych wynikających z Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz rozporządzeń do ww. ustawy. Stacje wykonywane są również zgodnie z obowiązującymi polskimi oraz europejskimi normami. Stacje EVB to niezbędny element każdej prywatnej lub ogólnodostępnej sieci ładowania. Stacje ładowania produkcji PRE Edward Biel umożliwiają zarządzanie, kontrolę dostępu, przekazywanie danych, rozliczanie oraz raportowanie usług ładowania. Stacje wyposażone są w lokalny lub zdalny system zarządzania infrastrukturą ładowania zgodny z obowiązującymi wymaganiami prawnymi oraz ogólnodostępnymi protokołami komunikacji. System umożliwia zarządzanie infrastrukturą ładowania właścicielom i zarządcom obiektów budowlanych. Dostępna aplikacja pozwala na łatwy dostęp do stacji oraz usługi ładowania użytkownikom pojazdów elektrycznych.

Konstrukcje stacji wykonywane są w technologii REM2. Technologia ta umożliwia wykonanie obudowy metalowej w II klasie ochrony. W ofercie znajdują się stacje ładowania prądem zmiennym AC o mocy do 44 kW oraz prądem stałym DC o mocy do 150 kW. Mogą być wyposażone we wtyczki lub gniazda opisane w dalszej części prezentacji.

Każdy punkt ładowania działa niezależnie i posiada osobny licznik zużytej energii. Ponadto zastosowano płynną regulację zużycia energii oraz dynamiczny układ kontroli dla każdego punktu ładowania. Stacje mogą posiadać przełącznik licznikowy do instalacji licznika do rozliczenia z operatorem energetycznym. Wszystkie produkowane stacje mogą zostać wyposażone w dodatkowe elementy, m.in. lokalizator GPS, monitoring, ekran multimedialny do wyświetlania treści reklamowych lub punkt Wi-Fi. Zastosowane wyposażenie stacji eliminuje konieczność instalowania przed stacją dodatkowej rozdzielnic lub szafy z zabezpieczeniami. Obudowa stacji wykonana jest z bardzo wytrzymałego, lekkiego i niekorodującego aluminium pokrytego warstwą lakieru nakładanego metodą elektrostatyczną. Na front/tył obudowy zastosowano szybę hartowaną bezpieczną, z możliwością pokrycia indywidualną grafiką. Wszystkie stacje wyposażone są w układy chłodzenia i grzania stacji, które skutecznie stabilizują temperaturę wewnątrz stacji.

PRE Edward Biel produkuje również słupki EVB Inbox do ładowania „małej elektromobilności” oraz urządzeń multimedialnych. Tworzone produkty oraz rozwiązania stacji mają szeroki profil zastosowania. Pracując nad nowymi rozwiązaniami powstały stacje ładowania EVB e-wall AC montowane w ścianie, co znacznie ułatwia użytkowanie oraz pozwala zachować estetyczny wygląd elewacji.

Produkowane przez nas stacje obsługują następujące systemy ładowania:

- » **system ładowania poziom 1** – moc ładowania 3,7 kW, pojazd ładuje się prądem jednofazowym 16 A, napięciem 230 V, brak komunikacji pomiędzy pojazdem a punktem ładowania, ładowanie odbywa się przez przetwornik AC/DC zainstalowany w pojeździe;
- » **system ładowania poziom 2** – moc ładowania 3,7 kW, pojazd ładuje się prądem jednofazowym 16 A, napięciem 230 V, zabezpieczenie dodatkowe kabla poprzez IC-CPD, ładowanie



Rys. 2. Rozdzielnica nN – RWT

odbywa się przez przetwornik AC/DC zainstalowany w pojeździe;

### » system ładowania poziom 3

a) wariant B – moc ładowania 7,3 – 43 kW, pojazd ładowany jest prądem jednofazowym lub trójfazowym do 63 A, napięciem 230 V lub 400 V, stacja komunikuje się z pojazdem, stacja wyposażona w gniazda;

b) wariant C – moc ładowania 7,3-43 kW, pojazd ładowany jest prądem jednofazowym lub trójfazowym do 63 A, napięciem 230 V lub 400 V, stacja komunikuje się z pojazdem, stacja wyposażona we wtyczkę z kablem;

Ładowanie odbywa się przez przetwornik AC/DC zainstalowany w pojeździe;

» **system ładowania poziom 4** – moc ładowania 22 – 50 (150) kW, pojazd ładuje się prądem DC do 125 A (250), napięciem regulowanym w zakresie 50 – 500 V, stacja komunikuje się z pojazdem, stacja wyposażona jest we wtyczkę z kablem. Ładowanie prądem stałym odbywa się przez przetwornik AC/DC znajdujący się w stacji ładowania. Liczba i moc przetworników zastosowanych



Rys. 3. Najpopularniejsze konfiguracje stacji ładowania EVB



Rys. 4. Rozdzielnica RSS – pole wyłącznikowe SN

w stacji DC określa maksymalną moc stacji oraz czas ładowania pojazdów elektrycznych. Stacje EVB max DC oraz EVB max Advert DC, w zakresie wtyczek typu CHAdeMO, są kompatybilne z funkcjonalności V2G.

W produkowanych przez nas stacjach stosujemy następujące standardy wtyczek i gniazd, choć na specjalne zamówienie stację ładowania możemy wyposażyć także w inne wtyczki i gniazda.

» wtyczka typu 1 – zapewnia ładowanie wyłącznie prądem przemiennym (AC) przy zasilaniu jednofazowym, umożliwia ładowanie mocami 7,3 kW, stosowana w systemie ładowania poziomu 3, według normy: SAE J1772.

» wtyczka typu 2 – zapewnia ładowanie wyłącznie prądem przemiennym (AC) przy zasilaniu jednofazowym 230V lub trójfazowym 400V, umożliwia ładowanie mocami od 7,3 do 43 kW, stosowane w systemie ładowania poziomu 3 lub 4, według normy: IEC 62196-2.

» gniazdo typu 2 – dostarcza wyłącznie prąd przemienny (AC) przy zasilaniu jednofazowy 230V lub trójfazowy 400V, umożliwia ładowanie mocami od 7,3 do 43 kW, stosowana w systemie ładowania poziomu 3, według normy: IEC 62196-2.

» wtyczka CCS Typ-2 – zapewnia ładowanie wyłącznie prądem stałym (DC) o napięciu w zakresie 50 – 500V, umożliwia ładowanie mocami od 20 do 50 kW, stosowana w systemie ładowania poziomu 4, według normy: IEC 62196-3.

» wtyczka CHAdeMO – dostarcza wyłącznie prąd stały (DC) o napięciu w zakresie 50 – 500V. Umożliwia ładowanie mocami od 20 do 50 kW, stosowana w systemie ładowania poziomu 4, według normy: JEV G105.

## I Rozdzielnice SN

W ofercie mamy również rozdzielnice typu RSS-24w przeznaczoną do zastosowania w stacjach transformatorowych, jak i w złączach kablowych średniego napięcia do 24 kV, w szczególności tam, gdzie niedopuszczalne są rozwiązania z izolacją SF<sub>6</sub>. Nasze rozdzielnice SN przechodzą próby napięciem 50 kV o częstotliwości 50 Hz. Do najważniejszych parametrów użytkowych należą: prąd znamionowy ciągły 630 A oraz prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany 40 kA.

Obudowa wykonana jest z blachy alucynkowej, łączonej za pomocą połączeń nitowych i śrubowych. Konstrukcja obudowy wykonana jest w taki sposób, aby umożliwić łatwy dostęp do aparatury, co zwiększa bezpieczeństwo i intuicyjną obsługę w trakcie trwania prac instalacyjnych i eksploatacyjnych. System blokad mechanicznych uniemożliwia zdjęcie osłony przed wyłączeniem napięcia i zamknięciem uziemnika, czy wykonanie błędnych czynności łączeniowych.

W rozdzielnicach zastosowany jest rozłącznik typu NALF 24 w izolacji powietrznej, a pola rozdzielcze wykonane są w wersji łukoochronnej.

Nasze rozdzielnice SN stanowią kompaktowy układ o wymiarach 1800×651×1010 mm (wys×szer×gł). Małe gabaryty pól rozdzielczych pozwalają na zastąpienie nimi zestawów rozdzielczych, w których zastosowano izolację gazową (SF<sub>6</sub>), eliminując proces związany z kontrolą i utylizacją tego gazu. Wypozażone są w stałe przegrody izolacyjne, uniemożliwiające dostęp obsługi do elementów znajdujących się pod napięciem. W naszym rozwiązaniu wyeliminowano przegrodę izolacyjną wsuwaną ręcznie między styki rozłącznika w przypadku konieczności dostępu do pola rozdzielczego. Podobne ustawienie rozłączników i uziemników umożliwia łatwy układ załączania i rozłączania, bez potrzeby stosowania układu przeniesienia napędu.

Drzwi przedziałów (rozłącznikowego i kablowego) zakładane są w układzie haków, których konstrukcja pozwala na łatwe i niezawodne zamykanie poprzez samonaprowadzanie. Drzwi wyposażone są we wzorniki pozwalające na jednoznaczne wizualne określenie położenia noży rozłącznika i uziemnika bez ich otwierania.

System blokad mechanicznych uniemożliwia wykonanie błędnych czynności łączeniowych oraz zabezpiecza przed uzyskaniem dostępu do pola przed wyłączeniem napięcia i zamknięciem uziemnika.

## I Doświadczenie

Przez ponad 27 lat realizujemy z powodzeniem projekty także kompleksowe. Uczestniczymy w targach, spotkaniach seminaryjnych oraz konferencjach naukowych, które pozwalają stale rozwijać produkty pod kątem jakości i rozwiązań technicznych. Nasze produkty spełniają wszelkie wymagania przepisów prawnych wynikających z obowiązujących ustawy i rozporządzeń. Wykonywane są również zgodnie z obowiązującymi polskimi oraz europejskimi normami.

W odpowiedzi na zapotrzebowanie Klientów PRE Edward Biel świadczy usługi projektowe, lakierowania proszkowego, obróbki blach stalowych i aluminiowych oraz grawerowania laserowego. Zatrudniamy wielu wysoko wykwalifikowanych pracowników, którzy stale podnoszą jakość techniczną produktów. Dzięki zastosowaniu różnorodnych rozwiązań technicznych nasze produkty charakteryzują się funkcjonalnym wykonaniem i wysoką jakością.

Istotą działalności PRE Edward Biel jest produkcja bezpiecznych, wysokojakościowych urządzeń elektrycznych stworzonych na potrzeby i wymagania Klientów. Usatysfakcjonowany Klient jest kluczową wartością naszej firmy. Wdrożony i doskonalony System Zarządzania Jakością zapewnia wyprodukowanie niezawodnych rozdzielnic i układów ładowania, które mogą być eksploatowane przez wiele lat. Wykonujemy zamówienia standardowe oraz te spoza naszego katalogu, starając się tym samym zaspokoić coraz większe wymagania Klientów.

Serdecznie zapraszamy do współpracy oraz na naszą stronę internetową: [www.prebiel.pl](http://www.prebiel.pl).



**Producent Rozdzielnic Elektrycznych**  
Edward Biel  
Piekary 363  
32-060 Liszki k. Krakowa  
tel./faks 12 429 73 43  
[biuro@prebiel.pl](mailto:biuro@prebiel.pl)  
[www.prebiel.pl](http://www.prebiel.pl)

# W naszej księgarni znajdziecie Państwo książki z dziedziny:



elektrotechnika  
instalacje  
budownictwo

- budownictwa
- chłodnictwa
- ciepłownictwa i ogrzewnictwa
- gazownictwa
- instalacji sanitarnych
- ochrony środowiska
- wentylacji i klimatyzacji
- instalacji elektrycznych
- informatyki
- oraz programy, słowniki, poradniki

księgarnia**techniczna**.com.pl

## Księgarnia Techniczna Grupa MEDIUM

ul. Karczewska 18

04-112 Warszawa

tel.: 22 810 21 24

faks 22 810 27 42

e-mail: [eib@ksiegarniatechniczna.com.pl](mailto:eib@ksiegarniatechniczna.com.pl)
[www.ksiegarniatechniczna.com.pl](http://www.ksiegarniatechniczna.com.pl)


# Transformatory rozdzielcze – jak ograniczyć straty energii elektrycznej?

**Znaczący wzrost cen energii elektrycznej spowodował, że standardy efektywności energetycznej w poszczególnych krajach stały się coraz bardziej rygorystyczne, a do ich spełnienia konieczne jest zastosowanie materiałów magnetycznych o obniżonych stratach. Z tego powodu sprawność transformatorów jest przedmiotem uwagi pionu dystrybucji energii elektrycznej w wielu krajach, gdyż stanowią one bardzo „żywy” składnik majątku trwałego przedsiębiorstwa – są eksploatowane średnio przez 20–25 lat.**

## I Transformatory rozdzielcze SN/nn

Transformatory rozdzielcze SN stanowią najliczniejszą grupę jednostek transformatorowych w polskim systemie elektroenergetycznym. Wykorzystując dane zamieszczone w raportach rocznych Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPIREE) z lat 2020–2022, w tabelach 1. i 2. przedstawiono liczbę transformatorów rozdzielczych NN, WN i SN oraz sumaryczną moc wszystkich transformatorów.

Analizując te dane, można stwierdzić, że transformatory rozdzielcze SN stanowią około 98,8% ogólnej liczby zainstalowanych w kraju transformatorów. Natomiast znacznie mniejszy (około 29%) jest udział łącznej mocy znamionowej transformatorów rozdzielczych SN w sumarycznej mocy wszystkich transformatorów. Interesujące jest także poznanie tendencji wzrostowych w odniesieniu do liczby i mocy znamionowych transformatorów. Dla transformatorów rozdzielczych SN średnioroczny przyrost ich liczby waha się na poziomie od 0,5 do 0,8%, a średnioroczny przyrost ich mocy znamionowych – na poziomie od 0,4 do 1,7%.

## I Źródła strat

Straty mocy w rdzeniu transformatora z taśmy amorficznej mogą być nawet czterokrotnie mniejsze w porównaniu do strat w rdzeniu z materiału konwencjonalnego, a wyznacza

je pole powierzchni pętli histerezy magnetycznej. Wydaje się, że to bardzo niewielkie ograniczenie strat mocy, rzędu dziesiątek/setek watów (w zależności od mocy transformatora), nie ma znaczenia ekonomicznego. Jeżeli jednak przeprowadzi się obliczenia dla całego systemu energetycznego w dłuższym okresie, to oszczędności wynikające z tytułu wymiany rdzenia są znaczące [1, 2]. Koszt zakupu transformatorów amorficznych jest zwykle wyższy od transformatorów z rdzeniem ze stali krzemowej, ale równoważą to niższe koszty eksploatacji.

Wielkość strat energii w transformatorach zdeterminowana jest konstrukcją transformatora, a wynika to z warunków eksploatacji, które powinny być określone przez kupującego. Niższe straty transformatora są związane zwykle z koniecznością zastosowania droższych materiałów, a zatem wyższą ceną transformatora, lecz w efekcie wpływają na obniżenie kosztów eksploatacji.

Straty energii w transformatorach energetycznych można podzielić na dwie grupy [2]:

- » straty jałowe, zwane inaczej stratami w rdzeniu transformatora;
  - » straty obciążeniowe, nazywane również stratami w przewodach uzwojenia lub stratami w miedzi, które można klasyfikować według przyczyn ich powstania.
- Podstawowe znaczenie dla transformatorów rozdzielczych odgrywają straty jałowe, wobec często występujących bardzo znacznych zmian obciążeń. Zasadniczy wpływ na powstawanie strat jałowych w materiale rdzenia odgrywają głównie dwa czynniki: właściwości materiałów magnetycznych oraz technologia składania rdzenia.

Aby wpłynąć na te straty, należy przeanalizować właściwości i cechy materiałów magne-

tycznych, z których wykonywane są rdzenie, oraz technologię ich wykonania, a w szczególności staranność ich składania. Dlatego w ostatnich latach zastosowano szereg nowych rozwiązań technologicznych i materiałowych. Wyniki badań prowadzonych w dziedzinie materiałów magnetycznych wykorzystywane są również w innych urządzeniach elektrycznych, głównie w silnikach elektrycznych [3–5].

W zakresie działań prowadzących do zmniejszenia stratności rdzenia i w efekcie do obniżania strat jałowych w transformatorach należy wymienić [1–5]:

- » stosowanie stali amorficznej, która posiada bardzo niską stratność, bardzo dużą trwałość i niestety kruchość mechaniczną po obróbce termicznej poprawiającej właściwości magnetyczne oraz znikomą grubość. Proces technologiczny wytwarzania szkieł metalicznych opiera się na metodzie szybkiego chłodzenia roztopionego metalu na szybko obracającym się bębnie, w wyniku czego otrzymuje się bardzo cienką taśmę metaliczną, mającą amorficzną strukturę;
- » stosowanie coraz cieńszych blach magnetycznych w celu ograniczenia prądów wirowych; oferowane stale magnetyczne o grubości 0,025 mm zastosowane w postaci wąskich taśm w rdzeniach małych transformatorów i cewek; przy większych transformatorach na rdzenie stosuje się stal o grubości 0,18 mm. Niestety, przy zmniejszaniu grubości stali bardzo szybko rosną koszty – zarówno samych surowców, jak i koszty wytworzenia rdzenia ze względu na skomplikowaną budowę;
- » wykorzystanie mechanicznych i termicznych procesów obróbki materiałów magnetycznych stosowanych na rdzenie, w celu zmniejszenia strat;

» stop amorficzny, którego głównym składnikiem jest Fe (żelazo), w porównaniu z konwencjonalnymi materiałami, takimi jak stal krzemowa, ma niewielkie straty stanu jałowego (straty rdzenia), na poziomie od 20 do 30% wartości strat stali krzemowej.

W związku ze wzrostem liczby instalacji OZE istnieje konieczność dostosowania konstrukcji transformatorów do zmiany charakteru obciążeń na pojemnościowy oraz stosowania ograniczników przepięć w transformatorach współpracujących z OZE. Alternatywnym rozwiązaniem jest stosowanie izolacji o wyższej odporności na przebicie. W związku ze wzrostem napięć w sieci obsługującej energetykę rozproszoną, dla utrzymania gwarantowanej wartości napięcia powinno stosować się transformatory z przełącznikami zaczepek. Wyższe harmoniczne, wprowadzane przez niektóre falowniki, powodują nadmierny wzrost strat i przegrzewanie się transformatorów. Powoduje to konieczność przyjmowania mocy rzeczywistej niższej niż moc znamionowa transformatora [6].

## I Rozporządzenia KE

W 2009 r. Parlament Europejski uchwalił obowiązującą obecnie wersję dyrektywy 2009/125/WE (z dnia 21 października 2009 r.), zwanej Ekoprojektem, która nakazała wyznaczenie grup produktów związanych z energią, mogących na etapie projektowania i produkcji spowodować zmniejszenie jej zużycia. Na kolejnym etapie wdrażania Ekoprojektu wybrano produkty różnych branż poprzez wydanie kolejnych rozporządzeń wykonawczych do dyrektywy. Są to między innymi: urządzenia gospodarstwa domowego, oświetlenie, pompy elektryczne, wentylatory napędzane silnikiem elektrycznym, zasilacze. Transformatory uznaje się za produkty związane z energią w rozumieniu art. 2 ust. 1 dyrektywy 2009/125/WE [2, 7].

Po długich pracach uzgodniono, jakie parametry techniczne są wymagane dla transformatorów i zapisane w Rozporządzeniu Komisji Europejskiej nr 548/2014 [7]. Rozporządzenie to odnosi się do transformatorów energetycznych wprowadzanych na rynek Unii Europejskiej po 30 czerwca 2015 i dotyczy energetycznych transformatorów olejowych oraz transformatorów suchych o minimalnej mocy znamionowej 1 kVA, wykorzystywanych w sieciach dystrybucji i przesyłu energii oraz w zastosowaniach przemysłowych [2].

Rozporządzenie Komisji (UE) 2019/1783 z dnia 1 października 2019 r. [8] zmieniło Rozporządzenie (UE) nr 548/2014 z dnia 21 maja 2014 r. [7]

w sprawie wykonania Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do transformatorów elektroenergetycznych małej, średniej i dużej mocy. Rozporządzenie [8] wprowadziło również definicję „transformatora nasłupowego średniej mocy” to jest o mocy znamionowej nieprzekraczającej 400 kVA w wykonaniu do eksploatacji na wolnym powietrzu i zaprojektowany specjalnie do montażu na elementach wsporczych napowietrznych linii elektroenergetycznych.

W artykule 1 nowelizacji rozporządzenia [8] wprowadzone zostały następujące zapisy dotyczące przedmiotu i zakresu jej stosowania.

Punkt pierwszy mówi, że rozporządzenie ustanawia wymogi dotyczące Ekoprojektu odnośnie do wprowadzania do obrotu lub oddawania do użytku transformatorów elektroenergetycznych o minimalnej mocy znamionowej wynoszącej 1 kVA, wykorzystywanych w sieciach przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej 50 Hz lub do zastosowań przemysłowych. Dodatkowo rozporządzenie ma zastosowanie do transformatorów nabytych po dniu 11 czerwca 2014 r.

Punkt drugi stwierdza, że rozporządzenie [8] nie ma zastosowania do transformatorów specjalnie zaprojektowanych do następujących zastosowań:

- a) przekładników zaprojektowanych specjalnie w celu przekazywania sygnału informacyjnego do przyrządów pomiarowych, mierników oraz urządzeń ochronnych lub sterujących lub podobnych urządzeń;
- b) transformatorów zaprojektowanych specjalnie i przeznaczonych do zasilania prostowników elektronicznych lub prostowników obciążenia. Wyłączenie to nie obejmuje trans-

formatorów, które są przeznaczone do zasilania prądem przemiennym ze źródeł prądu stałego, takich jak transformatory do zastosowań w turbinach wiatrowych i zastosowań fotowoltaicznych lub transformatory zaprojektowane do zastosowań w zakresie przesyłu i dystrybucji prądu stałego;

c) transformatorów zaprojektowanych specjalnie do celów bezpośredniego podłączenia do pieca;

d) transformatorów zaprojektowanych specjalnie do celów instalacji na stałych lub pływających platformach morskich, morskich turbinach wiatrowych lub na pokładach statków i wszelkich innych jednostek pływających;

e) transformatorów zaprojektowanych specjalnie na potrzeby sytuacji (o ograniczonym czasie trwania), w których dochodzi do przerwy w normalnym zasilaniu energią elektryczną w wyniku nieprzewidzianego zdarzenia (jak np. awaria zasilania) lub remontu stacji, ale nie w celu trwałego ulepszenia istniejącej podstacji;

f) transformatorów (z odrębnymi lub automatycznie połączonymi uzwojeniami) podłączonych do sieci trakcyjnej zasilanej prądem stałym lub przemiennym, bezpośrednio lub za pośrednictwem przetwornika, wykorzystywanych w stałych instalacjach do zastosowań kolejowych;

g) transformatorów uziemiających zaprojektowanych specjalnie w celu podłączenia ich do systemu zasilania w celu uzyskania punktu neutralnego na potrzeby uziemienia systemu, bezpośrednio lub poprzez impedancję;

h) transformatorów trakcyjnych zaprojektowanych specjalnie do celów zamontowania na taborze, podłączonych do sieci trakcyjnej zasilanej prądem stałym lub przemiennym, bezpo-

## STRESZCZENIE

W artykule omówiono zagadnienia dotyczące możliwości ograniczenia strat w blachach transformatorowych i rdzeniach z nich składanych oraz wymagania dla transformatorów rozdzielczych.

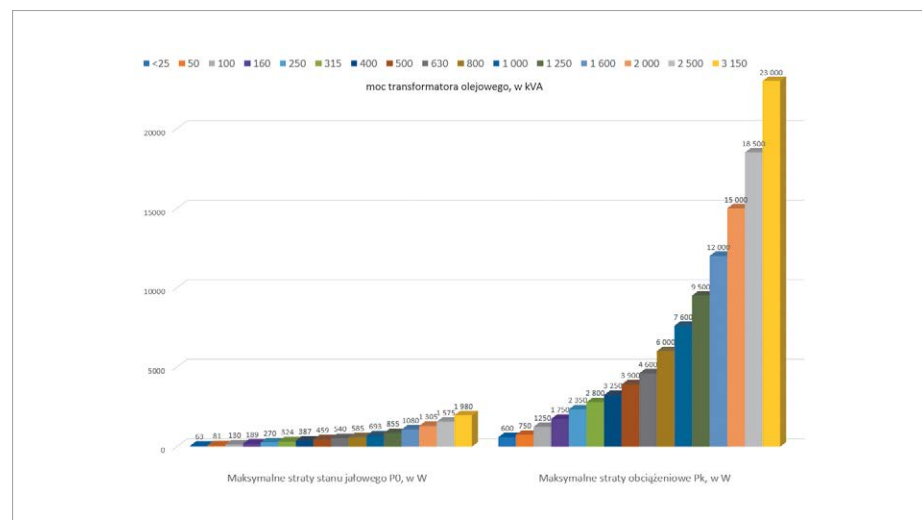
**Słowa kluczowe:** transformator rozdzielczy, ograniczenie strat energii, efektywność energetyczna.

| Rok  | Transformatory |       |         |         | Udział transformatorów SN, w [%] |
|------|----------------|-------|---------|---------|----------------------------------|
|      | NN             | WN    | SN      | Ogółem  |                                  |
| 2020 | 224            | 2 813 | 260 074 | 263 111 | 98,846                           |
| 2021 | 226            | 2 826 | 261 459 | 264 511 | 98,846                           |
| 2022 | 219            | 2 845 | 263 268 | 266 332 | 98,850                           |

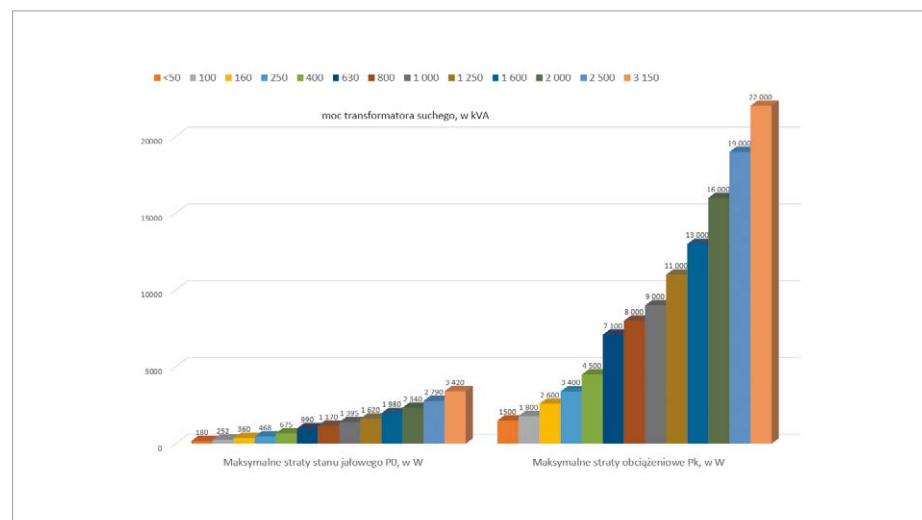
Tab. 1. Ogólna liczba transformatorów i liczba transformatorów SN w latach 2020–2022 [1]

| Rok  | Transformatory |        |        |         | Udział transformatorów SN | Średnia moc transformatorów SN |
|------|----------------|--------|--------|---------|---------------------------|--------------------------------|
|      | NN             | WN     | SN     | Ogółem  |                           |                                |
| –    | MVA            | MVA    | MVA    | MVA     | %                         | kVA                            |
| 2020 | 62 400         | 61 965 | 51 853 | 176 218 | 29,43                     | 199,38                         |
| 2021 | 63 060         | 62 878 | 52 096 | 178 034 | 29,26                     | 199,25                         |
| 2022 | 60 959         | 63 726 | 53 014 | 177 699 | 29,83                     | 201,37                         |

Tab. 2. Sumaryczna moc znamionowa transformatorów krajowych i łączna moc znamionowa transformatorów SN w latach 2020–2022 [1]



Rys. 1. Maksymalne straty obciążeniowe i maksymalne straty stanu jałowego dla trójfazowych olejowych transformatorów elektroenergetycznych o mocy znamionowej  $\leq 3150$  kVA po 1 lipca 2021 r. [7]



Rys. 2. Maksymalne straty obciążeniowe i maksymalne straty stanu jałowego dla trójfazowych suchych transformatorów elektroenergetycznych o mocy znamionowej  $\leq 3150$  kVA po 1 lipca 2021 r. [7]

średnio lub za pośrednictwem przetwornika, do użytku specjalnego w stałych instalacjach do zasilania kolejowych;

i) transformatorów rozruchowych zaprojektowanych specjalnie na potrzeby uruchamiania trójfazowego silnika indukcyjnego, tak aby wyeliminować spadki napięcia zasilania, które w trakcie normalnego działania są pozbawione zasilania;

j) transformatorów probierczych zaprojektowanych specjalnie do stosowania w obwodzie, w celu uzyskania określonego napięcia lub prądu na potrzeby badań urządzeń elektrycznych;

k) transformatorów spawalniczych zaprojektowanych specjalnie do stosowania w urządzeniach do spawania łukiem elektrycznym lub do spawania oporowego;

l) transformatorów zaprojektowanych specjalnie na potrzeby zastosowań wymagających

zabezpieczenia przeciwwybuchowego, zgodnie z Dyrektywą 94/9/WE Parlamentu Europejskiego i Rady oraz zastosowań w górnictwie podziemnym;

m) transformatorów zaprojektowanych specjalnie do zastosowań głębinowych (podwodnych);

n) transformatorów sprzęgających sieci średniego napięcia (SN) o mocy do 5 MVA, stosowanych w systemie konwersji napięcia sieciowego, które są umieszczane w miejscu połączenia dwóch poziomów napięcia dwóch sieci średniego napięcia i które muszą być w stanie poradzić sobie z przeciążeniami w sytuacjach awaryjnych;

o) transformatorów elektroenergetycznych średniej i dużej mocy, zaprojektowanych specjalnie jako element systemu zapewnienia bezpieczeństwa obiektów jądrowych zdefiniowanych w art. 3 dyrektywy Rady 2009/71/Euratom;

p) trójfazowych transformatorów elektroenergetycznych średniej mocy, o mocy znamionowej poniżej 5 kVA, z wyjątkiem wymogów określonych w pkt 4 lit. a), b) i d) załącznika I do rozporządzenia [7].

Dodatkowo w punkcie trzecim znajduje się zapis, że transformatory elektroenergetyczne średniej i dużej mocy, niezależnie od tego, kiedy zostały po raz pierwszy wprowadzone do obrotu lub oddane do użytku, są poddawane ponownej ocenie zgodności i muszą spełniać wymogi rozporządzenia [7], jeżeli zostały poddane wszystkim następującym działaniom:

- wymiana rdzenia (lub jego części);
- wymiana pełnego uzwojenia (lub większej liczby pełnych uzwojeń).

Ma to zastosowanie bez uszczerbku dla zobowiązań prawnych wynikających z innych przepisów unijnego prawodawstwa harmonizacyjnego, którym produkty te mogą podlegać.

Ograniczenie strat odbyło się w dwóch etapach – pierwszy zakończył się 1 lipca 2021 roku. W tym dniu wszedł w życie drugi etap, obniżający straty. Dla transformatorów rozdzielczych o mocach poniżej  $\leq 3150$  kVA i napięciach  $U_m \leq 24$  kV, transformujących z napięcia średniego na niskie, wykorzystano jako referencyjne normy CENELEC dla transformatorów olejowych EN 50464-1 i suchych EN 50541-1. Parametry transformatorów do mocy 2500 kVA, wprowadzone w załączniku nr 1 do Rozporządzenia Komisji (UE) nr 548/2014, są bardzo zbliżone do parametrów przedstawionych w normach i z nich też zostało zaczerpnięte nazewnictwo określające poziomy strat, odpowiednio: dla strat jałowych  $A_0$ , a dla obciążeniowych  $A_k$ ,  $B_k$  i  $C_k$  [7].

Dla trójfazowych olejowych transformatorów elektroenergetycznych o mocy  $\leq 3150$  kVA z uzwojeniem średniego napięcia  $U_m \leq 24$  kV i uzwojeniem nn  $U_m \leq 1,1$  kV, straty obciążeniowe i straty stanu jałowego nie mogą przekraczać wartości podanych na **rysunku 1**.

Natomiast dla trójfazowych suchych transformatorów elektroenergetycznych o mocy  $\leq 3150$  kVA z uzwojeniem średniego napięcia  $U_m \leq 24$  kV i uzwojeniem nn  $U_m \leq 1,1$  kV, straty obciążeniowe i straty stanu jałowego nie mogą przekraczać wartości podanych na **rysunku 2**.

Dodatkowo należy podkreślić, że zgodnie z tabelą I.3 z załącznika nr 1 do Rozporządzenia Komisji (UE) nr 548/2014 [7], gdy napięcie  $U_m = 36$  kV dla jednego z uzwojeń, a drugie  $U_m \leq 1,1$  kV maksymalne dopuszczalne straty podane na **rysunkach 1. i 2.** muszą zostać zwiększone o 15% w przypadku strat stanu jałowego oraz o 10% w przypadku strat obciążeniowych.

Zgodnie z punktem 1.3 z załącznika nr 1 do Rozporządzenia Komisji (UE) nr 548/2014, wymogi dotyczące transformatorów elektroenergetycznych o mocy znamionowej  $\leq 3150$  kVA wyposażonych w połączenia odczepowe, które są przystosowane do celów eksploatacji w stanie podłączenia do zasilania lub w stanie obciążenia do celów dostosowania napięcia (regulacja napięcia), dopuszczalne straty podane na **rysunkach 1. i 2.** muszą zostać zwiększone o 20% w przypadku strat stanu jałowego oraz o 10% w przypadku strat obciążeniowych. Poziomy strat obciążeniowych i strat stanu jałowego podane na **rysunkach 1. i 2.** nie mają zastosowania do olejowych transformatorów montowanych na słupach o mocy od 25 do 315 kVA. Dla nich dopuszczalne wartości strat zostały określone w tabeli I.6 Rozporządzenia [7].

Ciekawostką jest załącznik IV do rozporządzenia [7], w którym podano parametry najlepszych rozwiązań technicznych dostępnych na rynku transformatorów elektroenergetycznych średniej mocy w dniu przyjęcia tego rozporządzenia:

- olejowe transformatory elektroenergetyczne średniej mocy:  $A_0 - 20\%$ ,  $A_k - 20\%$ ;

- suche transformatory elektroenergetyczne średniej mocy:  $A_0 - 20\%$ ,  $A_k - 20\%$ ;

- transformatory elektroenergetyczne z rdzeniem amorficznym:  $A_0 - 50\%$ ,  $A_k - 50\%$ .  
Znajduje się tam uwaga, że dostępność materiału do produkcji transformatorów z rdzeniem amorficznym wymaga dalszego opracowania, zanim w przyszłości będzie można uznać, że takie wartości strat stały się minimalnymi wymogami.

## I Literatura

- Energetyka, dystrybucja, przesył, Raport 2021, Raport 2022, Raport 2023, PTPIREE.
- K. Kuczyński, Energooszczędne rozwiązania w zakresie transformatorów rozdzielczych SN/nn, „elektro.info” 11/2022.
- K. Kuczyński, Transformatory rozdzielcze SN/nn – możliwości ograniczenia strat, „elektro.info” 5/2016.
- N. DeCristofaro, *Amorphous metals in electric-power distribution applications*, Materials Research Society Bulletin, 1998, vol. 23, iss. 5, 50–56.
- K. Inagaki, M. Kuwabara, K. Sato, K. Fukui, S. Nakajima, D. Azuma, *Amorphous transformer contributing to global environmental protection*, Hitachi Review, 2011, vol.60, no 5, 250–256.

6. Z. Szymański, „Zagrożenia dla transformatorów współpracujących z OZE”, Seminarium „Szanse i efekty jakie niesie ze sobą rozwój fotowoltaiki”, 25 października 2023 r. Łódź.

7. Rozporządzenie Komisji Europejskiej nr 548/2014.

8. Rozporządzenie Komisji (UE) 1783/2019 z dnia 1 października 2019 r. zmieniające Rozporządzenie (UE) nr 548/2014 z dnia 21 maja 2014 r. w sprawie wykonania Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do transformatorów elektroenergetycznych małej, średniej i dużej mocy, Dz. UE nr L 272 z dn. 25.10.2019.

## ABSTRACT

### Distribution Transformers – How to Reduce Electricity Losses?

The article discusses issues related to the possibility of reducing losses in transformer sheets and cores composed of them, and the requirements for distribution transformers.

**Keywords:** distribution transformers, reduction of energy losses, energy efficiency.

REKLAMA

JULIAN WIATR

## PODSTAWY PROJEKTOWANIA PRZYDOMOWYCH SYSTEMÓW PV

WYDANIE PAPIEROWE:

45 zł

WYDANIE ELEKTRONICZNE:

35 zł

(EBOOK)

PDF



Publikacja prezentuje praktyczne podejście do projektowania systemów fotowoltaicznych w odniesieniu do wymagań wynikających z Ustawy o odnawialnych źródłach energii.

Poruszono w niej między innymi zagadnienia związane z ograniczeniem mocy generatora PV w układach współpracujących z siecią elektroenergetyczną oraz omówiono metodykę neutralizacji tych ograniczeń. Opisane zostały m.in. zasady doboru przewodów i ich zabezpieczeń, metody projektowania ochrony odgromowej oraz ochrony przeciwporażeniowej zarówno po stronie stałoprądowej, jak i przeniennoprądowej.

### BONUS!

- Metodyka instalowania systemów PV na stacjach paliw płynnych i gazowych.
- Uproszczony projekt instalacji przydomowego systemu PV.
- Wykorzystanie fotowoltaiki do zasilania znaków drogowych oraz oświetlenia terenu w miejscach, gdzie doprowadzanie energii z sieci elektroenergetycznej jest ekonomicznie nieuzasadnione

**ZAMÓW:** [www.wydawniczy.pl](http://www.wydawniczy.pl), [www.ksiegarniatechniczna.com.pl](http://www.ksiegarniatechniczna.com.pl)

# Krajowe stacje słupowe SN/nn – przegląd rozwiązań

Słupowe stacje transformatorowe są stacjami napowietrznymi przeznaczonymi do zasilania odbiorców miejskich, osiedlowych i wiejskich oraz odbiorców przemysłowo-usługowych z sieci napowietrznej lub kablowej SN najczęściej o napięciu 15 lub 20 kV.

Stacje słupowe należą do najprostszych i najtańszych, a przez to najczęściej spotykanych w kraju rozwiązań stacji elektroenergetycznych SN [1]. W kraju znajduje się ich prawie 170 tys., co stanowi ponad 60% wszystkich stacji elektroenergetycznych SN na terenie Polski. Są powszechnie stosowane w stacjach wiejskich, które stanowią najliczniejszą grupę stacji SN w naszym kraju [4]. Ich realizacja stwarza najmniej problemów formalnoprawnych, jest szybka, a eksploatacja – mimo uzależnienia od warunków atmosferycznych – łatwa. Stacje te mają więc kluczowe znaczenie w kontekście budowy nowych stacji SN/nn lub modernizacji już istniejących obiektów na obszarach wiejskich, np. stacji wieżowych, starych stacji słupowych na żerdziach ŻN [4].

Stacja słupowa jest stacją napowietrzną jednoprzebiegową, wyposażoną w transformator o mocy znamionowej przeważnie do 400 kVA [1]. Spotyka się jednak rozwiązania z transformatorem o mocy znamionowej do 630 kVA. Transformatory umieszczane są na podeście montażowym bądź na ziemi pod słupem – wówczas stacja musi zostać ogrodzona.

Ze względu na moc znamionową transformatorów, stacje słupowe podzielone są na trzy zasadnicze grupy: do 100 kVA, od 160 do 250 kVA lub 400 kVA i ewentualnie 630 kVA [2].

## STRESZCZENIE

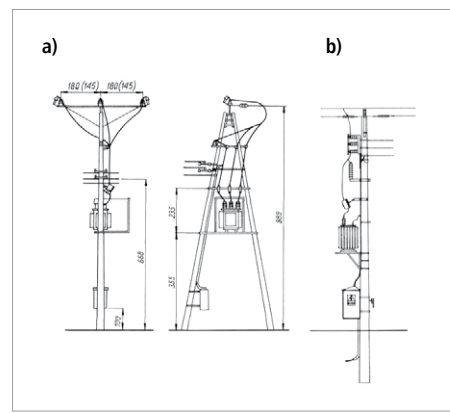
W artykule przedstawiono przegląd krajowych rozwiązań słupowych stacji SN. Przedstawiono charakterystykę ogólną stacji słupowych SN oraz charakterystykę rozwiązań krajowych. Przedstawiono wymagania stawiane stacjom słupowym. Omówiono stosowane rozwiązania konstrukcyjne, zwracając szczególną uwagę na wybrane aspekty techniczne i konstrukcję nośną. **Słowa kluczowe:** stacja elektroenergetyczna, stacja słupowa, rozwiązanie techniczne, rozwiązanie konstrukcyjne.

Konstrukcja nośna stacji jest obecnie najczęściej słupem wykonanym z pojedynczej lub podwójnej żerdzi strunobetonowej wirowanej typu E, EM lub EPV. Niemniej jednak przez długi okres czasu do konstrukcji nośnej stacji słupowej używano dwóch lub czterech żerdzi ŻN wykonanych z żelbetu w trzech rodzajach układu: A, podwójnego A lub bramowym. Dopiero pod koniec lat 80. XX wieku wprowadzono żerdzie strunobetonowe wirowane, które przyczyniły się do zmian w konstrukcji nośnej [4]. Obecnie dla stacji słupowych wyposażonych w transformator o mocy znamionowej do 400 kVA stosuje się standardowo rozwiązanie oparte na jednej żerdzi strunobetonowej wirowanej. Żerdzie, na jakich stawia się obecnie stacje słupowe, są wykonane z betonu lub żelbetu i zasilane napowietrznie lub kablo; występują w układach krańcowym lub przelotowym. Przy układzie krańcowym konstrukcja wsporczą stacji może być brana pod uwagę, w niektórych funkcjach, jako słup krańcowy o naciągu z przebiegiem 0-12 kN dla linii SN oraz różnych naciągów wypadkowych dla linii nn [2].

Zasadniczo w stacjach słupowych żerdzie powinny mieć wysokość 10,5 lub 12 m, a ich wytrzymałość powinna wynosić 10 lub 12 kN. Przy czym przy zasilaniu stacji linią napowietrzną SN wysokość żerdzi zależy od wysokości, na jakiej zawieszona jest wspomniana linia.

W stacji słupowej linia zasilająca SN połączona jest z transformatorem poprzez odłącznik z uziemnikiem lub rozłącznik z uziemnikiem i podstawy bezpiecznikowe SN. Bezpieczniki wysokiego napięcia stanowią zabezpieczenie zwarciorowe transformatora i umiejscowione są w każdej fazie. Dodatkowo w przypadku zasilania kablowego występuje głowica kablowa SN.

Konstrukcja stacji umożliwia montaż ograniczników przepięć SN na każdej fazie – w celu ochrony transformatora przed przepięciami mogącymi wystąpić w linii SN. Instalacja ogranicz-



Rys. 1. Słupowe stacje transformatorowe o napięciu do 20 kV (wymiary w centymetrach): a) typu STS o mocy znamionowej transformatora do 100 kVA, b) typu STSR o mocy znamionowej transformatora do 400 kVA [1]

ników przepięć musi być poprzedzona ich właściwym doбором.

Wypośażenie stacji po stronie nn zależy od charakteru wyprowadzeń obwodów niskiego napięcia. Najczęściej są to bezpieczniki lub rozłączniki z bezpiecznikami zabezpieczającymi dane wyprowadzenia (linie sieci rozdzielczej niskiego napięcia) [1]. Rozdział obwodów nn w zależności od potrzeb może być wykonany z zastosowaniem rozdzielnic montowanych na żerdzi stacyjnej lub wolnostojących, złączy kablowych wolnostojących, szaf oświetleniowych słupowych i wolnostojących oraz rozłączników słupowych nn [7]. Połączenia transformator – rozdzielnica nn realizuje się kablami YAKY lub YKY. Podobnie realizuje się połączenia rozdzielnic i szaf słupowych z napowietrznymi obwodami niskiego napięcia wykonywanymi przewodami gołymi. Kable i przewody prowadzone na stacji mogą być instalowane na drabinkach kablowych lub za pomocą uchwytów i taśm mocowanych bezpośrednio do żerdzi. Połączenie kabli i przewodów do zacisków transformatora zależy od mocy transformatora i zastosowanego okablowania [6]. Szczegó-

ły dotyczące tych połączeń zawarte są w albumach stacji [6] i [7].

Stacje słupowe mogą być realizowane w wersji z pełnym wyposażeniem stron średniego i niskiego napięcia oraz w wersji z uproszczonym wyposażeniem po stronie średniego napięcia (np. bez podstaw bezpiecznikowych SN, bez pomostu obsługi) [4]. Rozwiązania uproszczone zasadniczo pozbawione są pomostu obsługi i nie zaleca się ich stosowania w sytuacji, gdy moc znamionowa transformatorów przekracza 100 kVA.

Stacje słupowe mogą być lokalizowane w odległości minimum 3 m od budynków wykonanych z materiałów niepalnych lub minimum 5 m od pozostałych budynków [3]. Realizacja budowy takich stacji jest szybka i łatwa. Rozwiązania są zestandaryzowane, proste i przejrzyste, a dzięki łatwemu dostępowi dla obsługi nie stwarzają problemów w eksploatacji. Przy czym obsługa stacji może odbywać się jedynie przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, bowiem są to rozwiązania napowietrzne i występuje tu silny wpływ warunków zewnętrznych na eksploatację. Stacje słupowe wymagają rozbudowanej ochrony odgromowej [3].

Na **rysunku 1.** przedstawiono sylwetki przykładowych stacji słupowych, na **rysunku 2.** przedstawiono zdjęcie takiej stacji, natomiast na **rysunku 3.** przedstawiono zdjęcie stacji słupowej starego typu.

## Wymagania dla stacji słupowych

Wymagania ogólne dla stacji słupowych określone są najczęściej przez operatora systemu dystrybucyjnego w wytycznych dotyczących standaryzacji tych stacji lub w specyfikacjach funkcjonalnych. Przykładem takich dokumentów są: [9], [10] i [11]. Proces projektowania i budowy tych stacji musi być realizowany zgodnie z zasadami wiedzy technicznej i obowiązującymi w tym zakresie aktami prawnymi (ustawami i rozporządzeniami), instrukcją ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej – opracowaną przez operatora systemu dystrybucyjnego właściwego dla terenu lokalizacji stacji oraz dokumentami technicznymi opracowanymi przez wspomnianego operatora i normami przedmiotowymi, z których najważniejszą jest norma PN-EN IEC 61936-1:2022-04 *Instalacje elektroenergetyczne o napięciu wyższym od 1 kV AC i 1,5 kV DC* [8]. Konstrukcja i wykonanie stacji słupowej SN/nn musi gwarantować prawidłowość jej pracy przy wymaganych parametrach systemu elektroenergetycznego.

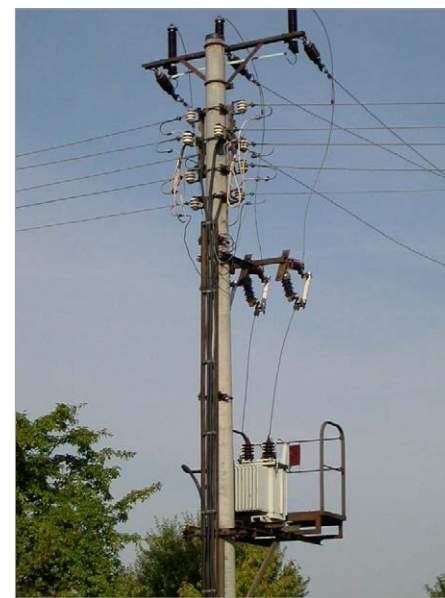
## Charakterystyka rozwiązań krajowych

Stacje słupowe mają wiele wariantów rozwiązań, co pozwala na optymalny dobór ich wyposażenia, dostosowany do potrzeb inwestora. Mogą być użytkowane w bardzo zróżnicowanych warunkach na terenie całego kraju. Istnieją rozwiązania dla terenów górskich i trudno dostępnych, z przeznaczeniem do montażu ręcznego.

W kraju istnieje wiele rozwiązań słupowych stacji transformatorowych SN/nn. Należą do nich m.in.:

- » słupowe stacje transformatorowe SN/nn typu STN, STNu z transformatorami o mocy do 630 kVA na żerdziach wirowanych,
- » słupowe stacje transformatorowe 20/0,4 kV z transformatorami o mocy do 400 kVA na żerdziach wirowanych typu STSp(b),
- » słupowe stacje transformatorowe typu STSR i STSRp 20/400 na żerdziach wirowanych typu E i EPV,
- » słupowe stacje transformatorowe STSpb-W 20(30)/630,
- » słupowe stacje transformatorowe 20/0,4 kV typu STSd i STSdP z transformatorami o mocy do 250 kVA na żerdziach drewnianych,
- » słupowe stacje transformatorowe typu STE z transformatorami o mocy do 630 kVA na żerdziach wirowanych typu E.

Stacje słupowe STN i STNu z transformatorami o mocy znamionowej do 630 kVA przeznaczone są głównie do zasilania odbiorców zlokalizowanych na terenach wiejskich lub podmiejskich z sieci napowietrznej albo kablowej średniego napięcia, najczęściej 15 lub 20 kV. Przy czym rozwiązania STN dotyczą stacji z pełnym wyposażeniem stron średniego i niskiego napięcia, a rozwiązania STNu – stacji z uproszczonym wyposażeniem po stronie średniego napięcia (np. bez podstaw bezpiecznikowych, bez pomostu obsługi) [7]. Konstrukcje wsporcze stacji umożliwiają pełnienie przez nie funkcji słupa krańcowego dla linii napowietrznych średniego i niskiego napięcia oraz słupa przelotowego, odporowego lub odporowo-naróżnego dla linii średniego napięcia, a także słupa krańcowego dla linii niskiego napięcia. Stacja jest przystosowana do zainstalowania po stronie średniego napięcia odłącznika (rozłącznika) lub odłącznika (rozłącznika) z uziemnikiem albo odłącznika (rozłącznika)-ziemnika (rozłącznik-ziemnika). Stacje są zbudowane z żerdzi typu E o długościach: 8,2; 9; 10,5; 12 lub 13,5 m, o wytrzymałości od 6 do 35 kN [7].



Rys. 2. Zdjęcie słupowej stacji transformatorowej 20 kV [4]



Rys. 3. Zdjęcie słupowej stacji transformatorowej starego typu – stacji napowietrznej słupowej na żerdziach ŻN w układzie podwójnego A rys. W. Dołęga

Stacje słupowe STSp(b) są realizowane w wielu wariantach wykonania i są, podobnie jak poprzednio omawiane stacje, wykorzystywane do zasilania z sieci napowietrznej lub kablowej SN m.in. odbiorców zlokalizowanych na terenach wiejskich lub podmiejskich. W tej stacji transformator jest połączony z zasilającą linią SN przez odłącznik (rozłącznik) z uziemnikiem i podstawy bezpiecznikowe SN [7]. Możliwa jest również instalacja ograniczników przepięć SN. Wyprowadzenia obwodów mają wpływ na wyposażenie stacji po stronie niskiego napię-

| Słupowe stacje transformatorowe |                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                           |                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                                                 |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Typ stacji                      | STN i STNu                                                                                                                                                                                                                                                    | STSp(b)                                                                                   | STSR i STSRp                                                                                       | STSpb-W                                                                                       | STSE                                                                                                            |
| Napięcie znamionowe stacji      | 15/0,4 kV<br>20/0,4 kV                                                                                                                                                                                                                                        | 15/0,4 kV<br>20/0,4 kV<br>(30/0,4 kV)                                                     | 15/0,4 kV<br>20/0,4 kV                                                                             | 15/0,4 kV<br>20/0,4 kV<br>(30/0,4 kV)                                                         | 20/0,4 kV                                                                                                       |
| Napięcie znamionowe izolacji    | 24 kV                                                                                                                                                                                                                                                         | 24 kV, 36 kV                                                                              | 24 kV                                                                                              | 24 kV, 36 kV                                                                                  | 20 kV                                                                                                           |
| Rodzaj transformatora           | Napowietrzny typu                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                           |                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                                                 |
|                                 | TDO, TNOSCT, TNOSPH, TNOSB, TNOSN, TNOSNH                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                           |                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                                                 |
| Moc i masa transformatora       | do 100 kVA – 750 kg,<br>160-250 kVA – 1250 kg,<br>400 kVA – 1650 kg,<br>630 kVA – 2150 kg                                                                                                                                                                     | do 100 kVA – 750 kg,<br>160-250 kVA – 1250 kg,<br>400 kVA – 1650 kg,<br>630 kVA – 2150 kg | 25 kVA – 350 kg,<br>250-400 kVA – 1500 kg,<br>400 kVA – 2000 kg,<br>630 kVA – 2500 kg,             | 630 kVA (800,1000) –<br>do 3000 kg                                                            | do<br>250 kVA – 1250 kg,<br>400 kVA – 1650 kg,<br>630 kVA – 2150 kg                                             |
| Zasilanie stacji SN             | Linia napowietrzna o napięciu 15, 20 (30) kV z przewodami:<br>AFL-6 – 35, 50, 70 mm <sup>2</sup><br>PAS(SAX), BLL-T,BLX-T, AAsXS <sub>n</sub> , AALXS – 35, 50, 70 mm <sup>2</sup><br>z kablami uniwersalnymi samonośnymi SAXKA, EXCEL 3x10/10, AXCES 3x70/35 |                                                                                           |                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                                                 |
|                                 | Linia kablowa o napięciu 15, 20 (30) kV z kablami o żyłach Al lub Cu                                                                                                                                                                                          |                                                                                           |                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                                                 |
| Typy żerdzi                     | Żerdzie wirowane typu E o długościach: 8,2; 9; 10,5, 12; 13,5 m i siłach wierzchołkowych 6–35 kN                                                                                                                                                              | Żerdzie wirowane typu E o długościach: 10,5, 12; 13,5 m i siłach wierzchołkowych 6–12 kN  | Żerdzie wirowane typu E o długościach: 8,2; 9; 10,5, 12; 13,5 m i siłach wierzchołkowych 2,5–12 kN | Żerdzie wirowane typu EM o długościach: 10,5, 12; 13,5; 15 m i siłach wierzchołkowych 6–35 kN | Żerdzie wirowane typu E i EM o długościach: 9; 10,5, 12; 13,5 m i siłach wierzchołkowych 12, 15, 20, 25 i 33 kN |

Tab. 1. Wybrane stacje słupowe SN/nn [7]

cia. Rozdzielnice RS-W, które stosuje się do rozdziału obwodów nn, umieszcza się albo na żerdzi stacyjnej albo jako wolnostojące. Stacje są zbudowane z żerdzi typu E o długościach: 10,5; 12 lub 13,5 m, o wytrzymałości od 6 do 12 kN [7].

Stacje słupowe typu STSR i STSRp są realizowane w wielu wariantach wykonania i – tak jak wcześniej przedstawiane rozwiązania stacji słupowych – są wykorzystywane głównie do zasilania odbiorców na terenach wiejskich i podmiejskich. Występują w dwóch wersjach: podstawowej – z odłącznikiem z uziemnikiem, ogranicznikiem przepięć, podstawami bezpiecznikowymi i transformatorem napowietrznym jako wyposażeniem strony SN oraz uproszczonej – bez podstaw bezpiecznikowych strony SN i pomostu obsługi [7]. W tych stacjach stosuje się zasadniczo transformatory o mocy znamionowej 100, 160, 250 lub 400 kVA. Można jednak zastosować jednostkę o mocy 630 kVA. Mostki służące do łączenia aparatury i osprzętu z linią średniego napięcia wykonuje się przewodami w osłonie izolacyjnej. Stacje są zbudowane z żerdzi typu E o długościach: 8,2; 9; 10,5; 12 lub 13,5 m, o wytrzymałości od 2,5 do 12 kN [7].

Stacje słupowe typu STSpb-W są – tak jak wcześniej przedstawiane rozwiązania stacji słupowych – wykorzystywane m.in. do zasilania odbiorców na terenach wiejskich i pod-

miejskich. Występują w dwóch wersjach: podstawowej i uproszczonej (bez podstaw bezpiecznikowych SN). Mogą być używane w układzie słupa krańcowego dla linii zarówno niskiego, jak i średniego napięcia. Po stronie SN istnieje możliwość zabudowania odłącznika lub odłącznika z uziemnikiem. Rozdział obwodów nn może być realizowany przez: rozdzielnice RS-W na żerdzi stacyjnej lub wolnostojące, złącza kablowe wolnostojące, szafy oświetleniowe słupowe i wolnostojące oraz rozłączniki słupowe nn [7]. Stacje są zbudowane z żerdzi typu EM o długościach: 10,5; 12; 13,5 lub 15 m, o wytrzymałości od 6 do 35 kN [7].

Stacje słupowe typu STSd i STSdP są realizowane w wielu wariantach wykonania i – tak jak wcześniej przedstawiane rozwiązania stacji słupowych – są wykorzystywane m.in. do zasilania odbiorców na terenach wiejskich i podmiejskich. Występują w dwóch wersjach: podstawowej – z odłącznikiem (rozłącznikiem) z uziemnikiem, ogranicznikiem przepięć, podstawami bezpiecznikowymi i transformatorem napowietrznym jako wyposażeniem strony SN oraz uproszczonej – bez podstaw bezpiecznikowych strony SN i pomostu obsługi. W tych stacjach stosuje się transformatory o mocy znamionowej maksymalnie do 250 kVA. Wyposażenie stacji po stronie nn uwarunkowane jest charak-

terem wyprowadzeń obwodów nn. Konstrukcję nośną stacji stanowi słup bliźniaczy lub pojedynczy z żerdzi drewnianych [4].

Stacje słupowe typu STE są – podobnie jak wcześniej przedstawiane rozwiązania stacji słupowych – wykorzystywane m.in. do zasilania odbiorców na terenach wiejskich i podmiejskich. Wykonuje się je na słupach pojedynczych z żerdzi wirowanych typu E i EM, wyposaża w transformator o mocy znamionowej maksymalnie do 630 kVA i stosuje na napięcie do 20 kV [7]. Występują w dwóch wersjach: podstawowej – z odłącznikiem z uziemnikiem, ogranicznikiem przepięć, podstawami bezpiecznikowymi i transformatorem napowietrznym jako wyposażeniem strony SN oraz uproszczonej – bez podstaw bezpiecznikowych strony SN i pomostu obsługi [7]. Stacje są zbudowane z żerdzi typu E i EM o długościach: 9; 10,5; 12 i 13,5 m, o wytrzymałości 12, 15, 20, 25 lub 33 kN [7].

Powyżej w tabeli 1. przedstawiono rozwiązania wybranych krajowych stacji słupowych, z oznaczeniami stosowanymi przez producentów, wyposażeniem i wybranymi danymi technicznymi.

**I Wnioski**

Stacje słupowe SN są ważnymi elementami sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej

na terenach wiejskich i podmiejskich. Dzięki swej prostocie i niskim kosztom inwestycyjnym i eksploatacyjnym zdominowały ten segment infrastruktury, stając się zdecydowanie najliczniejszą grupą stacji SN w kraju.

Krajowa oferta stacji słupowych jest bardzo szeroka i obejmuje wiele typów stacji. Zróżnicowane parametry, a także różnorodne rozwiązania konstrukcji nośnych takich stacji umożliwiają postawienie ich w różnych lokalizacjach na terenie kraju, nawet na obszarach górskich lub trudno dostępnych. Ponadto pozwalają na optymalny dobór ich wyposażenia, dostosowany do potrzeb inwestora.

Wymagania ogólne dla stacji słupowych określone są przez operatora systemu dystrybucyjnego właściwego dla terenu lokalizacji stacji w wytycznych dotyczących standaryzacji tych stacji lub specyfikacjach funkcjonalnych, natomiast proces projektowania i budowy tych stacji musi być realizowany zgodnie z zasadami wiedzy technicznej i obowiązującymi w tym zakresie aktami prawnymi (ustawami i rozporządzeniami), instrukcją ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej, opracowaną przez operatora systemu dystrybucyjnego właściwego dla terenu lokalizacji stacji, oraz

dokumentami technicznymi opracowanymi przez wspomnianego operatora i normami przedmiotowymi.

**I Literatura**

1. W. Dołęga, Stacje elektroenergetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
2. Praca zbiorowa pod redakcją A. Rynkowskiego i W. Jabłońskiego, Sieci, instalacje i urządzenia elektroenergetyczne o napięciu powyżej 1 kV. Poradnik inżyniera elektryka, projektanta i inwestora, Wydawnictwo Verlag Dashofer Sp. z o.o., Warszawa 2013.
3. W. Dołęga, Stacje elektroenergetyczne SN/nn – wybrane aspekty bezpieczeństwa. „elektro.info” nr 11/2022, s. 18-23.
4. W. Dołęga, Wiejskie stacje elektroenergetyczne SN, „Energetyka” nr 5/2017, s. 316-320.
5. Album słupowych stacji transformatorowych SN/nn z transformatorami o mocy do 630 kVA na żerdziach wirowanych, tom I, PT-PiREE, 2020.
6. Album słupowych stacji transformatorowych SN/nn z transformatorami o mocy do 630 kVA na żerdziach wirowanych, tom II, PT-PiREE, 2020.

7. Katalog – Słupowe stacje transformatorowe, ZPUE Włoszczowa, 2021.
8. PN-EN IEC 61936-1:2022-04 Instalacje elektroenergetyczne o napięciu wyższym od 1 kV AC i 1,5 kV DC. Część 1: AC
9. Specyfikacja techniczna: Słupowe stacje transformatorowe SN/nn, ENERGIA Operator S.A., wersja 03, 2017.
10. Stacje transformatorowe słupowe SN/nn. Standard w sieci dystrybucyjnej ENEA Operator Sp. z o.o., 2015.
11. Standard techniczny nr 25/2017 – Stacje transformatorowe słupowe SN/nn do stosowania w TAURON Dystrybucja S.A., TAURON Dystrybucja S.A., 2017.

### ABSTRACT

**National MV/LV post substations – review of solutions**

In this paper, post medium voltage substations are shown. General profile of national solutions for post MV/LV substations are shown. Selected technical aspects of constructional solutions for post MV/LV substations are described. Requirements for post MV/LV substations are presented. Review of technical and constructional solutions for post MV/LV substations are committed.

**Key words:** substation, post substation, technical solution, constructional solution.

REKLAMA

JULIAN WIATR

## PRAKTYCZNE ASPEKTY OBLICZANIA ZWARĆ W SIECIACH ORAZ INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

WYDANIE PAPIEROWE: **39 zł**

WYDANIE ELEKTRONICZNE: **30 zł** (EBOOK)

**NOWOŚĆ**  
Seria: **NIEZBĘDNIK ELEKTRYKA**

Praktyczne aspekty obliczania zwarć w sieciach oraz instalacjach elektrycznych niskiego napięcia

PDF Adobe

W książce przedstawiono metodykę prowadzenia obliczeń zwarciowych w sieciach oraz instalacjach elektrycznych niskiego napięcia, rozszerzoną o obliczanie zwarć w sieciach elektroenergetycznych średniego napięcia. Opisano wpływ silników na prądy zwarciowe, które mogą przyczyniać się do wzrostu prądu zwarciowego. Zjawisko to należy uwzględnić przy doborze odporności zwarciowej dołączanych aparatów i urządzeń elektrycznych. Pomińcie silników w obliczeniach prądów

zwarciowych może skutkować doбором aparatów lub urządzeń o zbyt małej odporności zwarciowej. Uzupełnieniem publikacji jest opis metody składowych symetrycznych zawierający szczegółowe wytyczne zastosowania rachunku macierzowego będącego elementem algebry liniowej wykorzystywanej przy obliczaniu zwarć. Zawarte w książce liczne przykłady rachunkowe pozwalają na łatwe zrozumienie treści teoretycznych i stosowanie ich w praktyce projektowej.

Mariusz Radziszewski, Monika Miñkowska

# Rozdział pierwotny i wtórny energii elektrycznej

– sprawdzone rozwiązania Elektrometal Energetyka SA

ELEKTROMETAL ENERGETYKA SA od kilku lat dostarcza na potrzeby odbiorców w całym kraju jak również za granicą rozwiązania z zakresu elektroenergetyki, wśród których dominują rozdzielnice średnich napięć typu e<sup>2</sup>ALPHA dedykowane do rozdziału pierwotnego lub wtórnego energii elektrycznej w strategicznych obiektach elektroenergetycznych takich jak GPZ, GSZ, RPZ, główne rozdzielnie kopalń i zakładów przemysłowych, elektrowni i elektrociepłowni, rozdzielni sieciowych i podstacji trakcyjnych. Odpowiedzią na stale rosnące potrzeby użytkowników oraz konieczność dostosowania się do specyficznych i ponadstandardowych wymagań jest opracowanie bogatej oferty rozwiązań konstrukcyjnych w ramach serii rozdzielnic e<sup>2</sup>ALPHA.

Zespół Elektrometal Energetyka SA, bazując na olbrzymiej wiedzy i doświadczeniu w projektowaniu, konstruowaniu, produkcji i wdrażaniu urządzeń średnich napięć, zrealizował szereg kontraktów i umów dla kilkudziesięciu strategicznych polskich i zagranicznych spółek branży elektroenergetycznej.

Nieustannie wzbogacając swoją wiedzę nowymi doświadczeniami i tajnikami dotyczącymi m.in. norm i wymagań dla stosowanych urządzeń, będąc jednocześnie blisko pracujących pod napięciem urządzeń, prowadząc rozmowy ze służbami eksploatacyjnymi strategicznych obiektów elektroenergetycznych, a co najważ-

niejsze – słuchając ich potrzeb – stworzył i wdrożył serię nowoczesnych rozdzielnic w izolacji powietrznej. Do tej grupy należą m.in. rozdzielnice jednosystemowe e<sup>2</sup>ALPHA, rozdzielnice dwusystemowe e<sup>2</sup>ALPHA-2S oraz rozdzielnice górnicze e<sup>2</sup>ALPHA-G. Realizacje oparte o serię e<sup>2</sup>ALPHA spotkały się z pełną akceptacją i uznaniem Inwe-

|                                                                   | Jednosystemowa rozdzielnica SN e <sup>2</sup> ALPHA |                                          |           | Dwusystemowa rozdzielnica SN e <sup>2</sup> ALPHA-2S |            | Górnicza rozdzielnica e <sup>2</sup> ALPHA-G |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------|
| System szyn zbiorczych                                            | 1                                                   |                                          |           | 2                                                    |            | 1                                            |
| Przedziały                                                        | 4                                                   |                                          |           | 8                                                    |            | 5                                            |
| Dekompresja wewnętrzna                                            | –                                                   |                                          |           | •                                                    |            | •                                            |
| Dekompresja zewnętrzna                                            | •                                                   |                                          |           | •                                                    |            | •                                            |
| Napięcie znamionowe rozdzielnic                                   | 12 kV                                               | 17,5 kV                                  | 24 kV     | 12kV                                                 | 17,5kV     | 12kV                                         |
| Prąd znamionowy szyn zbiorczych, pól zasilających i sprzęgłowych  | 630-2000A                                           | 630-2000A                                | 630-1250A | 630-2500A                                            | 630-2500A  | do 1250 A                                    |
| Prąd znamionowy krótkotrwaływytrzymywany (3/(1s) <sup>4</sup> )   | do 31,5 kA                                          | do 31,5 kA                               | do 25 kA  | do 31,5 kA                                           | do 31,5 kA | do 25 kA                                     |
| Odporność na działanie łuku wewnętrznego (1s)/(0,1s) <sup>4</sup> | do 31,5 kA                                          | do 31,5 kA                               | do 25 kA  | do 31,5 kA                                           | do 31,5 kA | do 25 kA                                     |
| Wysokość pola                                                     | 2100-2200 <sup>3</sup> mm                           | 2100-2200 <sup>3</sup> mm                | 2300 mm   | 2680 mm                                              | 2680 mm    | 1800 mm                                      |
| Głębokość pola                                                    | 1250 <sup>1</sup> / 1350 <sup>2</sup> mm            | 1250 <sup>1</sup> / 1350 <sup>2</sup> mm | 1440 mm   | 1750 mm                                              | 1750 mm    | 1480 mm                                      |
| Dopuszczenie WUG                                                  | •                                                   |                                          |           | o                                                    |            | •                                            |

Objaśnienia: <sup>1</sup> prąd szyn zbiorczych do 1250 A (12–17,5 kV), <sup>2</sup> prąd szyn zbiorczych do 2000 A (12–17,5 kV), do 2500 A (12 kV), <sup>3</sup> 2200 mm dla prądu znamionowego powyżej 1600 A, <sup>4</sup> czas trwania zwarcia dla Rozdzielnic e<sup>2</sup>ALPHA-G, •/o – standard/opcja

Tab. 1. Charakterystyka rozdzielnic serii e<sup>2</sup>ALPHA



Rys. 1. Zalety konstrukcji rozdzielnic e<sup>2</sup>ALPHA

storów w zadaniach o różnych poziomach złożoności i skomplikowania, potwierdzając tym samym funkcjonalność i niezawodność urządzeń.

### Unikatowa konstrukcja dostosowana do potrzeb użytkowników – seria rozdzielnic e<sup>2</sup>ALPHA

Konstruktorzy Elektrometal Energetyka SA wykorzystując dotychczasową wiedzę praktyczną oraz posługując się najnowocześniejszym oprogramowaniem wielowymiarowym, stworzyli unikatowe, najmniejsze na rynku konstrukcje w pełni przedziałowych pól rozdzielczych SN.

Stworzono konstrukcje odporne na szkodliwe czynniki atmosferyczne, przystosowane do pracy w wysokiej temperaturze i wilgotności. Ze względu na stale rosnące wymagania dotyczące wytrzymałości zwarciorowej, obwody prądowe rozdzielnic zostały poddane

szczegółowej analizie za pomocą metody elementów skończonych (MES). Na jej podstawie można było optymalnie rozmieścić podpory szyn oraz ich przekroje.

Kolejne typy rozdzielnic w ramach serii e<sup>2</sup>ALPHA (tj. rozdzielnice e<sup>2</sup>ALPHA-2S, e<sup>2</sup>ALPHA-G) bazują na wielu sprawdzonych rozwiązaniach konstrukcyjnych stosowanych w rozdzielnicach jednosystemowej e<sup>2</sup>ALPHA. Niewątpliwymi zaletami są np. pełne rezerwowanie szyn zbiorczych w rozdzielnicach e<sup>2</sup>ALPHA-2S wykorzystywane w strategicznych stacjach elektroenergetycznych, jak również dekompresja wewnętrzna gazów połukowych w rozdzielnicach górniczych e<sup>2</sup>ALPHA-G, stosowanej w podziemiach wyrobisk górniczych.

### Bezpieczeństwo i wygoda użytkownika serii e<sup>2</sup>ALPHA

Elektrometal Energetyka SA dostarcza klientom tylko sprawdzone i przebadane rozwiązania. Każda nowo projektowana konstrukcja

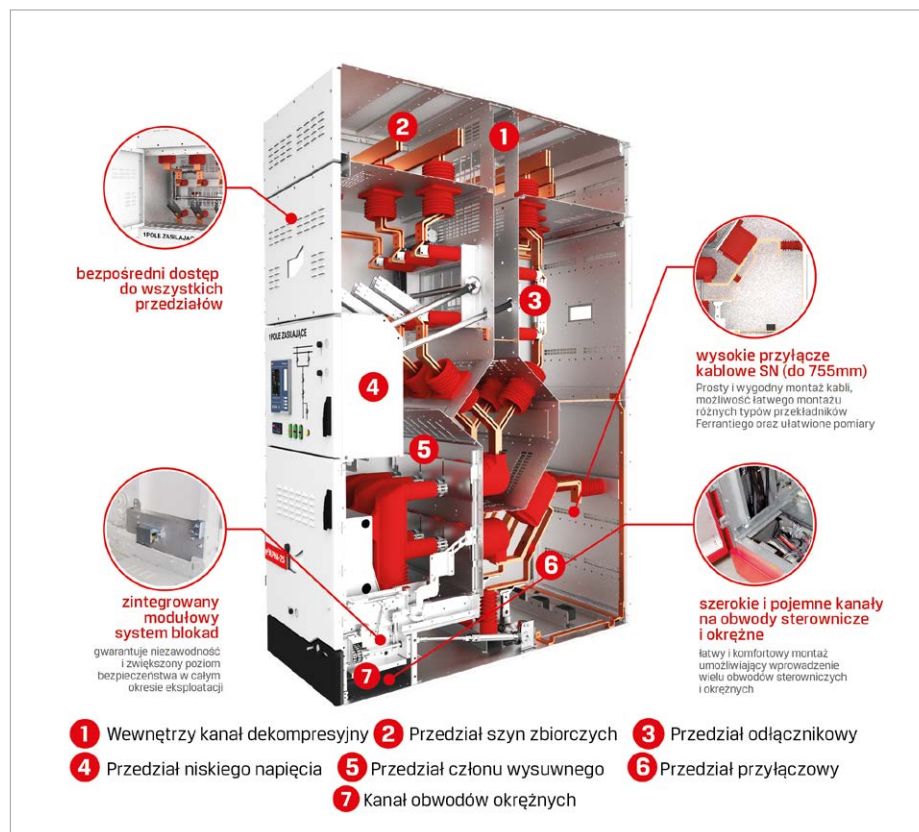
rozdzielnic przed wprowadzeniem do seryjnej produkcji przechodzi szereg prób i badań dla potwierdzenia wysokiej jakości, funkcjonalności oraz zgodności z aktualnie obowiązującymi normami i przepisami. Badania wykonywane są przez wysokokwalifikowany personel w laboratoriach własnych, jak również w zewnętrznych akredytowanych laboratoriach badawczych.

Dzięki stosowaniu i przestrzeganiu rygorystycznych standardów jakościowych, użytkownik otrzymuje wysokiej klasy niezawodny produkt spełniający wymagania pod względem funkcjonalno – eksploatacyjnym.

Konstruktorzy Elektrometal Energetyka SA zdecydowanie postawili na bezpieczeństwo! W tym celu w serii rozdzielnic e<sup>2</sup>ALPHA zastosowano autorski system blokad, wykonany w postaci jednego zintegrowanego modułu, nie wymagającego regulacji każdej blokady z osobna oraz eliminujący konieczność regulacji rozdzielnic przez producenta po zainstalowaniu na obiekcie. Rozdzielnice zostały również wypo-



Rys. 2. Widok pola rozdzielczego e²ALPHA



Rys. 3. Zalety konstrukcji rozdzielni e²ALPHA-2S

sażone w niezależny od typu wyłącznika system sterowania żaluzjami i blokadami.

W celu ułatwienia montażu i uruchomienia rozdzielni zaprojektowano, w zależności od typu konstrukcji, obszerne i łatwo dostępne przedziały obwodów okężnych, połączone z pojemnym wewnętrznym kanałem obwodów sterowniczych, który biegnie pionowo wzdłuż całego pola rozdzielczego. Rozwiązanie takie umożliwia wprowadzenie bardzo dużej ilości przewodów sterowniczych przy jednoczesnej wygodzie ich instalowania.

Dla wygody eksploatacji pól e²ALPHA, przy zachowaniu pełnej przedziałowości, w rozdzielnicach zastosowane zostały wysokie przyłącza kablowe (550 mm dla e²ALPHA i 755 mm dla e²ALPHA-2S), pozwalając na prosty i wygodny montaż kabli SN czy przekładników różnego typu.

Konstrukcje serii e²ALPHA zostały przystosowane do współpracy z aparaturą łączeniową i pomiarową różnych producentów, pozwalając tym samym użytkownikowi na swobodę doboru urządzeń pracujących w rozdzielnicach.

Nowoczesne podejście do projektowania rozdzielnic, prowadzące do optymalizacji konstrukcji e²ALPHA, pozwoliły na uzyskanie niewielkich gabarytów urządzeń, ułatwiając tym samym użytkownikowi dostęp do przedziału nn oraz łatwiejszą obserwację wskazań. Kompaktość i sztywna konstrukcja sprawia, że rozdzielnice z powodzeniem mogą pracować w obiektach o ograniczonej przestrzeni do ich posadowienia.

### Rozdzielnica jednosystemowa e²ALPHA

Rozdzielnica e²ALPHA jest doskonałym rozwiązaniem dla energetyki przemysłowej, dystrybucyjnej oraz kopalnianej. Zaawansowana konstrukcja wraz z niezawodnym systemem blokad predysponuje ją do zastosowań w szczególnie ważnych częściach systemu energetycznego, gdzie wymagana jest duża pewność zasilania (np. GPZ-ty, elektrownie, kopalnie).

Konstrukcja pola rozdzielczego e²ALPHA została wykonana z prefabrykowanych blach stalowych oraz Al-Zn o grubości od 1 do 3 mm. W miejscach szczególnie narażonych na oddziaływanie łuku wewnętrznego i ciśnienia gazów połukowych, wykorzystano wysokogatunkową blachę stalową o grubości 3 mm pokrytą farbą proszkową. Dodatkowo, w przypadku pól wykonywanych w łukoodporności 31,5 kA/1 s, drzwi przedziałów: przyłączowego oraz członu wysuwowego zaopatrzone w dodatkowe wzmocnienia i ekrany.

### Rozdzielnica dwusystemowa e²ALPHA-2S

e²ALPHA-2S jest rodziną nowoczesnych w pełni przedziałowych rozdzielnic wewnętrznych średniego napięcia z podwójnym systemem szyn zbiorczych. Standardowy typoszerzeg e²ALPHA-2S składa się z celek rozdzielczych o szerokości 650, 800 i 1100 mm. Wysoki stopień bezpieczeństwa eksploatacji rozdzielnic e²ALPHA-2S został osiągnięty dzięki zastosowaniu rozbudowanego systemu blokad mechanicznych i elektrycznych oraz wzmocnionej konstrukcji mechanicznej pola cechującej się znacznym poziomem łukoodporności. Rozdzielnica występuje w wykonaniu IP4X, IP54 oraz WUG. Rozdzielnica e²ALPHA-2S dedykowana jest do rozdziału pierwotnego lub wtórnego energii elektrycznej w strategicznych obiektach elektroenergetycznych, gdzie wymagana jest duża niezawodność zasilania oraz możliwość rezerwowania drugim systemem szyn zbiorczych.

Konstrukcja pola składa się z sześciu niezależnych i wygradzonych metalowymi przegrodami przedziałów silnoprądowych (przedział szyn zbiorczych systemu I; przedział szyn zbiorczych systemu II; przedział odłącznika systemu I; przedział odłącznika systemu II; przedział wyłącznikowy, przedział przyłączowy/kablowy). Dodatkowo pole e²ALPHA-2S zostało wyposażone w jeden wewnętrzny kanał dekompresyjny, który w momencie wystąpienia w którymkolwiek z przedziałów zwarcia, zbiera i odprowadza powstałe ciśnienie oraz gazy połukowe w jedno miejsce.

Konstrukcja e²ALPHA-2S została zaprojektowana w sposób umożliwiający dostęp do każdego z przedziałów rozdzielni bez konieczności ingerencji w kolejny np. sąsiedni przedział. Rozwiązanie takie jest wygodne zarówno z perspektywy eksploatacji urządzenia jak również czynności serwisowych i przeglądowych. Podczas prac konserwacyjnych w obrębie jednego z przedziałów nie ingerujemy w inny.

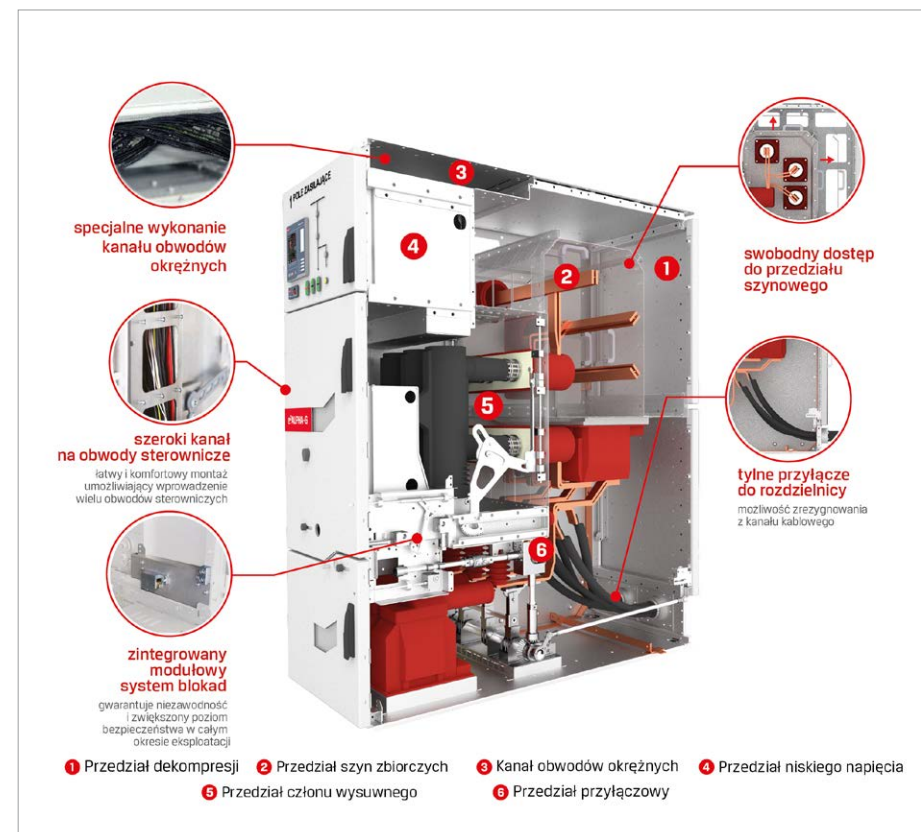
Specjalnie na potrzeby rozdzielni e²ALPHA-2S powstała rodzina odłączników o obciążalności zwarciorowej 31,5 kA/3 s, co zostało potwierdzone licznymi próbami w instytutach i laboratoriach.

### Rozdzielnica górnicza e²ALPHA-G

e²ALPHA-G jest rodziną nowoczesnych czteropredziałowych rozdzielnic wewnętrznych średniego napięcia, przystosowanych do zabudowy w wyrobiskach kopalń węgla kamiennego.



Rys. 4. Widok pola rozdzielczego e²ALPHA-2S



Rys. 5. Zalety konstrukcji rozdzielni e²ALPHA-G



Rys. 6. Widok pola rozdzielczego e²ALPHA-G

nego i miedzi. Wysoki stopień bezpieczeństwa obsługi rozdzielnic e²ALPHA-G został osiągnięty dzięki zastosowaniu rozbudowanego systemu blokad mechanicznych i elektrycznych oraz wzmocnionej konstrukcji mechanicznej pola wyróżniającej się znacznym poziomem łukoodporności. Rozdzielnicę cechuje specjalna konstrukcja odporna na wysoką temperatu-

rę oraz wilgotność, a także możliwość podłączenia kabli od tyłu bez konieczności budowy specjalnego kanału kablowego.

Rozdzielnica e²ALPHA-G jest doskonałym rozwiązaniem dla energetyki górniczej. Zaawansowana konstrukcja, niewielkie gabaryty (m. in. wysokość 1800 mm), predysponuje ją do zastosowań w niskich wyrobiskach kopalń węgla ka-

miennego i miedzi, ze szczególnym uwzględnieniem trudnych warunków środowiskowych (wysoka temperatura i wilgotność).

Konstrukcja pola rozdzielczego e²ALPHA-G została wykonana z prefabrykowanych blach stalowych oraz ocynkowanych o grubości od 1 do 3 mm. W miejscach szczególnie narażonych na oddziaływanie łuku wewnętrznego oraz ciśnienia gazów połączonych wykorzystano wysokogatunkową blachę stalową o grubości 3 mm pokrytą farbą proszkową. Dodatkowo zastosowano szereg rozwiązań technicznych eliminujących niekorzystny wpływ wysokiej temperatury i wilgotności w miejscu zainstalowania. Ponadto konstrukcja rozdzielnic e²ALPHA umożliwia dekompresję wewnętrzną gazów połączonych, co predysponuje ją do stosowania w podziemiach wyrobisk górniczych.

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono tylko podstawowe i najbardziej namacalne korzyści ze stosowania serii rozdzielnic e²ALPHA. Dodatkowe funkcjonalności rozdzielnic, osiągane są poprzez stosowanie nowoczesnej elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej e²TANGO, która w połączeniu z unikatowym rozwiązaniem konstrukcyjnym rozdzielnic – buduje niezawodny system, znacząco podnoszący poziom bezpieczeństwa. Dzisiejsza elektroenergetyka to nie tylko podstawowe rozdzielnice średnich napięć służące wyłącznie do rozdziału energii elektrycznej. Od urządzeń średnich napięć wymaga się coraz większej cyfryzacji. Funkcjonalności takie jak zdalne sterowanie, monitoring czy zdalny dostęp, są już w zasadzie standardem. Firma ELEKTROMETAL ENERGETYKA SA dostrzega potrzeby rynku, jednocześnie wprowadzając na potrzeby elektroenergetyki nowe trendy, czego wynikiem są kolejne, znajdujące zastosowanie zarówno na rynku polskim jak i zagranicznym – funkcjonalne urządzenia.



Elektrometal Energetyka SA

Elektrometal Energetyka SA

02-830 Warszawa

ul. Mazura 18A

tel. 22 350 75 50

faks 22 350 75 51

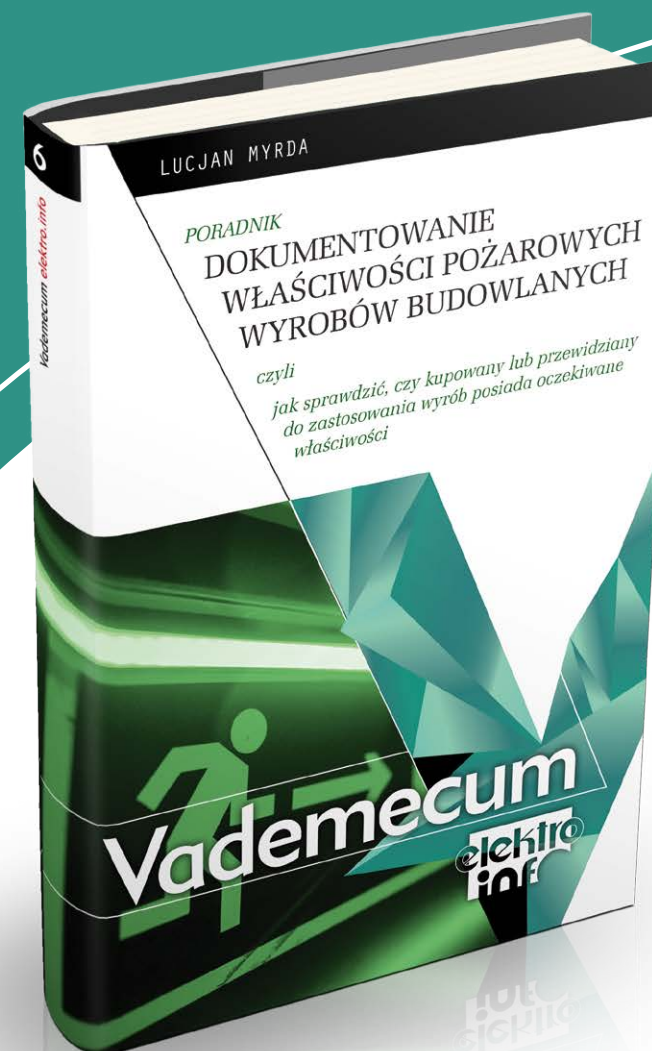
eaz@elektrometal-energetyka.pl

www.elektrometal-energetyka.pl



Rys. 7. Sterownik polowy e²TANGO

# PREMIERA ENERGETAB 2022



Lucjan Myrda

## Poradnik dokumentowanie właściwości pożarowych wyrobów budowlanych

Jak sprawdzić, czy kupowany lub przewidziany do zastosowania wyrób posiada oczekiwane właściwości?

Stan prawny: lipiec 2022

Książka zawiera materiały pomocnicze dotyczące dokumentowania właściwości wyrobów budowlanych!

Publikacja miesięcznika



Zamów:

[www.wydawniczy.pl](http://www.wydawniczy.pl)

# Uproszczony projekt zasilania w energię elektryczną obiektu użyteczności publicznej

## Rozdzielnica budynku biurowego

### Podstawa opracowania

1. Zlecenie inwestora.
2. Warunki techniczne wydane przez zakład energetyczny.
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tekst jednolity: Dz.U. z 2022 roku poz. 1225).
4. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. Nr 109/2010 poz. 719 z późniejszymi zmianami).
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 roku w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. z 2016 r. poz. 1966 z późniejszymi zmianami).
6. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 roku w sprawie krajowych ocen technicznych (Dz.U. z 2016 r. poz. 1968).
7. Wizja lokalna w terenie.
8. Projekt zagospodarowania terenu.
9. N SEP-E 005 *Dobór przewodów elektrycznych do zasilania urządzeń przeciwpożarowych, których funkcjonowanie jest niezbędne w czasie pożaru.*
10. PN-IEC 60364-5-523:2002 *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.*
11. PN-HD 60364-4-41:2017-09 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.*
12. PN-IEC 60364-5-56:2019 *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Instalacje bezpieczeństwa.*
13. PN-EN 54-4:2001 *Systemy sygnalizacji pożarowej. Część 4: Zasilacze.*
14. PN-EN 12101-10:2007 *Systemy rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Część 10: Zasilacze.*
15. Scenariusz rozwoju zdarzeń pożarowych.
16. Uzgodnienie z rzeczoznawcą ds. zabezpieczeń ppoż. oraz uzgodnienie z rzeczoznawcą ds. bhp.

### Opis stanu istniejącego

Przy elewacji budynku zainstalowane jest złącze kablowe, do którego doprowadzono zasilanie z Rozdzielnic Główniej Kompleksu oraz Szafy Zasilania Awaryjnego (patrz część 2., „elektro.info” nr 10/2023).

### Opis techniczny

W pomieszczeniu Rozdzielni Główniej Budynku, stanowiącej pomieszczenie wydzielone pożarowo (REI 120), należy zainstalować:

- » Rozdzielnicę Główną Budynku (RGB), wykonaną w drugiej klasie ochronności,
- » Rozdzielnicę Klimatyzacji (RKlim.), wykonaną w drugiej klasie ochronności,
- » Rozdzielnicę Zasilającą Urządzenia Ppoż. (Rpocz.), wykonaną w drugiej klasie ochronności – poza opracowaniem,
- » zasilacz UPS o mocy 30 kVA,
- » Rozdzielnicę Główną Lokalnej Sieci Komputerowej (RG LSK), wykonaną w drugiej klasie ochronności,
- » dwa klimatyzatory o mocy 3 kW każdy.

Plan instalacji przedstawia **rysunek 1**. Schemat RGB przedstawiają **rysunki 2a, 2b** oraz **2c**. Schemat ideowy układu sterowania zrzutem obciążenia przedstawia **rysunek 3**. W RGB należy wykonać układ SZR sieć/zespół prądowłórczy oraz układ dwuobwodowego Przeciwożarowego Wyłącznika Prądu:

- » PWP1 – przycisk uruchamiający z sygnalizacją stanu położenia styków aparatu wykonawczego należy zainstalować w pomieszczeniu ochrony; służy do wyłączenia urządzeń powszechnego użytku w czasie pożaru,
- » PWP2 – przycisk uruchamiający z sygnalizacją stanu położenia styków aparatu wykonawczego należy zainstalować w pomieszczeniu RGB; służy do wyłączenia zasilania w energię elektryczną urządzeń przeciwpożarowych na polecenie dowódcy akcji ratowniczo-gaśniczej, po zakończonej ewakuacji ludzi uwięzionych w płonącym budynku. Świecenie lampki czerwonej oznacza załączone napięcie do zasilania odbiorników. Zgaśnięcie lampki czerwonej i zapalenie się lampki zielonej oznacza zdjęcie napięcia z zasilanych odbiorników i stanowi sygnał dla ratowników o możliwości przystąpienia do akcji ratowniczo-gaśniczej. Lampka koloru żółtego stanowi sygnalizację świetlną obwodu sterowania PWP. Brak świecenia tej lampki oznacza uszkodzenie w obwodzie sterowania i konieczność sprawdzenia ciągłości obwodu sterowania PWP.

Budynek jest zasilany z sieci elektroenergetycznej nn 3x230/400 V. W przypadku zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej zasilanie przejmuje zespół prądowłórczy. Po rozruchu zespołu prądowłórczego następuje zrzut obciążenia przez rozłączenie zasilania RKlim. Po powrocie napięcia w sieci elektroenergetycznej następuje załączenie RKlim, co jest równoznaczne z zasilaniem wszystkich odbiorników przyłączonych do RGB.

### Opis działania automatyki zrzutu obciążenia RKlim. przed przejęciem zasilania przez ZP – rysunek 3.

Zanik napięcia w sieci elektroenergetycznej  $\Rightarrow$  uruchomienie procedury startu ZP. Napięcie na zaciskach ZP pojawi się po 10 s (napięcie na wyjściu SZR pojawi się po 30 sekundach), co spowoduje rozwarcie styków K3. Zwarcie w sterowniku SZR styku zwierzonego powoduje wystawienie cewek WW łącznika Q1  $\Rightarrow$  zadziałanie cewki WW łącznika Q1 z jednoczesnym zwarciem styków pomocniczych SP1 w łączniku Q1  $\Rightarrow$  ustawienie dźwigni napędu łącznika Q1 w pozycji neutralnej, po czym tor zasilania cewek WW pozostaje w stanie bez napięcia. Pojawienie się napięcia na wyjściu SZR powoduje wystawienie przekaźnika K1  $\Rightarrow$  na 2 sekundy zostaje wystawiany przekaźnik K2  $\Rightarrow$  załączenie styków łączników Q1 na otwarcie  $\Rightarrow$  napęd silnikowy otwiera Q1, ustawiając dźwignię napędu w pozycji wyłączzone, rozłączając zasilanie RKlim. Powrót napięcia w sieci elektroenergetycznej powoduje przełączenie układu automatyki SZR, zrzut napięcia z przekaźnika K3, którego styki ulegają zwarceniu, podając napięcie na przekaźnik K4. Przekaźnik ten z sekwencją czasową  $t = 20$  s powoduje uruchomienie załączenia toru zasilania RKlim. Zespół prądowłórczy przez 3 minuty pozostaje w stanie pracy jałowej w celu wychłodzenia uzwojeń prądnicy, po czym ulega samoczynnemu wyłączeniu. Układ automatyki rozruchu zespołu prądowłórczego oraz zrzutu obciążenia RKlim. jest przygotowany do zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej.

### Obliczenia

#### Dobór kabli zasilania podstawowego:

Spodziewany prąd obciążenia:

$$I_z = \frac{P_z}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_z} = \frac{190000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 343,21 \text{ A}$$

Należy przyjąć zabezpieczenie WTN2gG400.

Wymagana dopuszczalna długotrwała obciążalność prądowa z uwzględnieniem przeciążalności wynosi:

$$I_z \geq \frac{k_2 \cdot I_n}{1,45} = \frac{1,6 \cdot 400}{1,45} = 441,38 \text{ A}$$

Zgodnie z normą PN-HD 60364-5-52:2011 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-52: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Oprzewodowanie*, po uwzględnieniu krajowych warunków rezystywności cieplnej gruntu ( $k_{rg} = 1,18$ ) oraz obciążalności czwartej żyły ( $k_p = 0,91$ ), przy sposobie ułożenia D1 kabla w ziemi, warunki spełni kabel: 2xYAKXS 4x240.

Sprawdzenie dobranej kabla z warunku na spadek napięcia:

$$\begin{aligned} R_{ik} &= \frac{l}{\gamma \cdot S} = \frac{40}{33 \cdot 2 \cdot 240} = 0,0025 \Omega \\ X_{ik} &= x' \cdot l = 0,08 \cdot 0,04 = 0,0032 \Omega \\ \Delta U &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_b}{U_n} \cdot (R_{ik} \cdot \cos \varphi_z + X_{ik} \cdot \sin \varphi_z) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 343,21}{400} \cdot (0,025 \cdot 0,8 + 0,0032 \cdot 0,6) = 0,58 \% < 5 \% \end{aligned}$$

Uwaga! Złącze kablowe wykonane zostanie w drugiej klasie ochronności.

#### Dobór kabli zasilania awaryjnego:

- » kabel wydawczy zasilający szafę zasilania awaryjnego:

$$I_b = \frac{P_z}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{250000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 361,28 \text{ A}$$

Zgodnie z normą PN-HD 60364-5-52:2011 *Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-52: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Oprzewodowanie*, po uwzględnieniu krajowych warunków rezystywności cieplnej gruntu ( $k_{rg} = 1,18$ ) oraz obciążalności czwartej żyły ( $k_p = 0,91$ ), przy sposobie ułożenia D1 kabla w ziemi, warunki spełni kabel: 2x(YKXS 4x120) + LgYzo 120:

$$I_z = 1,18 \cdot 0,91 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 223 = 383,13 \text{ A} > 362,28 \text{ A}$$

- » budynek biurowy:

$$I_b = \frac{P_z}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_z} = \frac{80000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 144,51 \text{ A}$$

REKLAMA



## ZAMÓW LUB PRZEDŁUŻ PRENUMERATĘ, DOSTANIESZ GRATIS EBOOK!

#### PRENUMERATA PAPIER:

ROCZNA: 204 zł

DWULETANIA: 360 zł

PÓŁROCZNA/EDUKACYJNA: 122 zł

#### MOŻESZ KUPIĆ TEŻ SAM E-BOOK

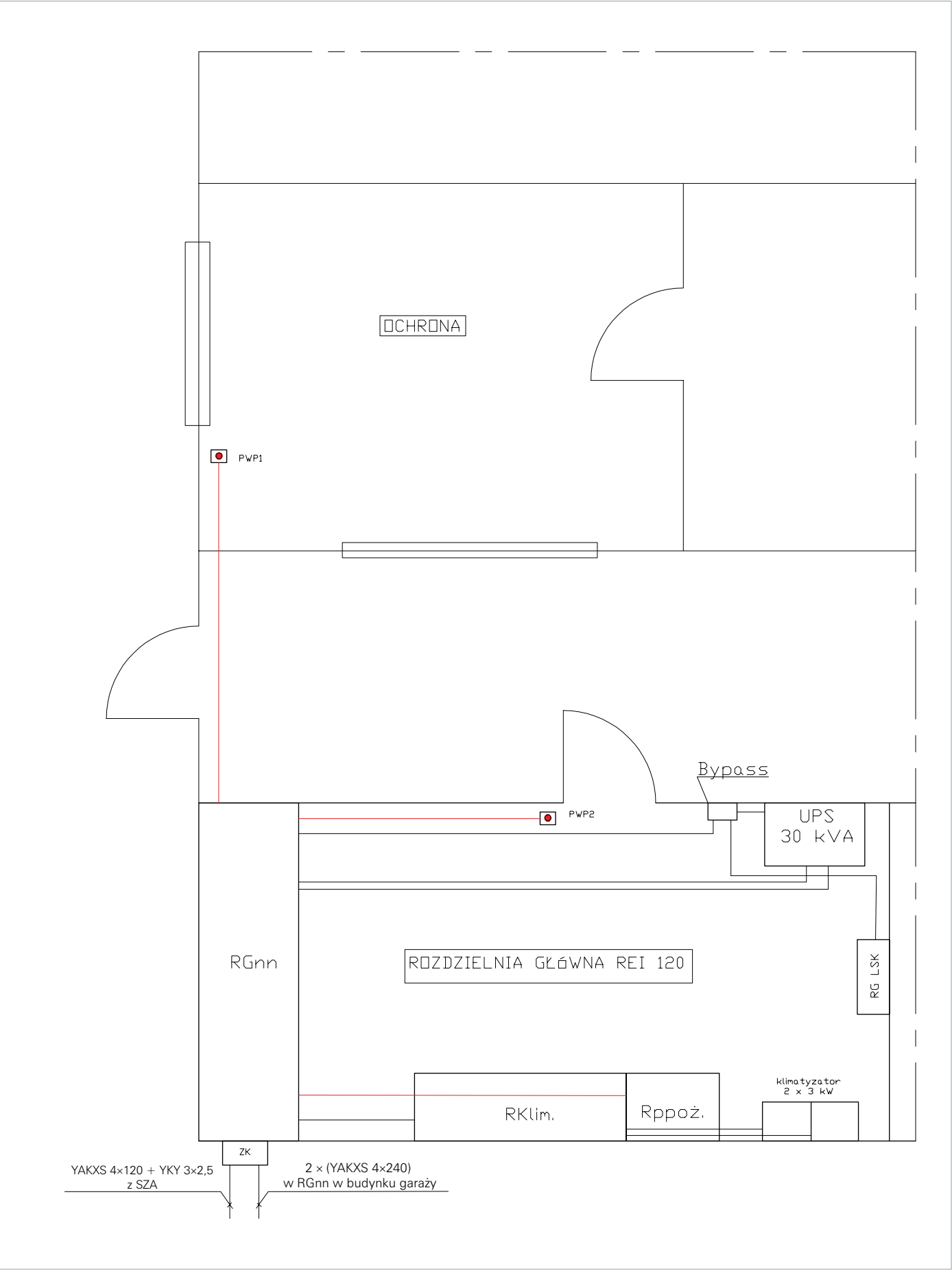
Badania instalacji elektrycznych niskiego napięcia – 35 zł

#### PRENUMERATA PDF:

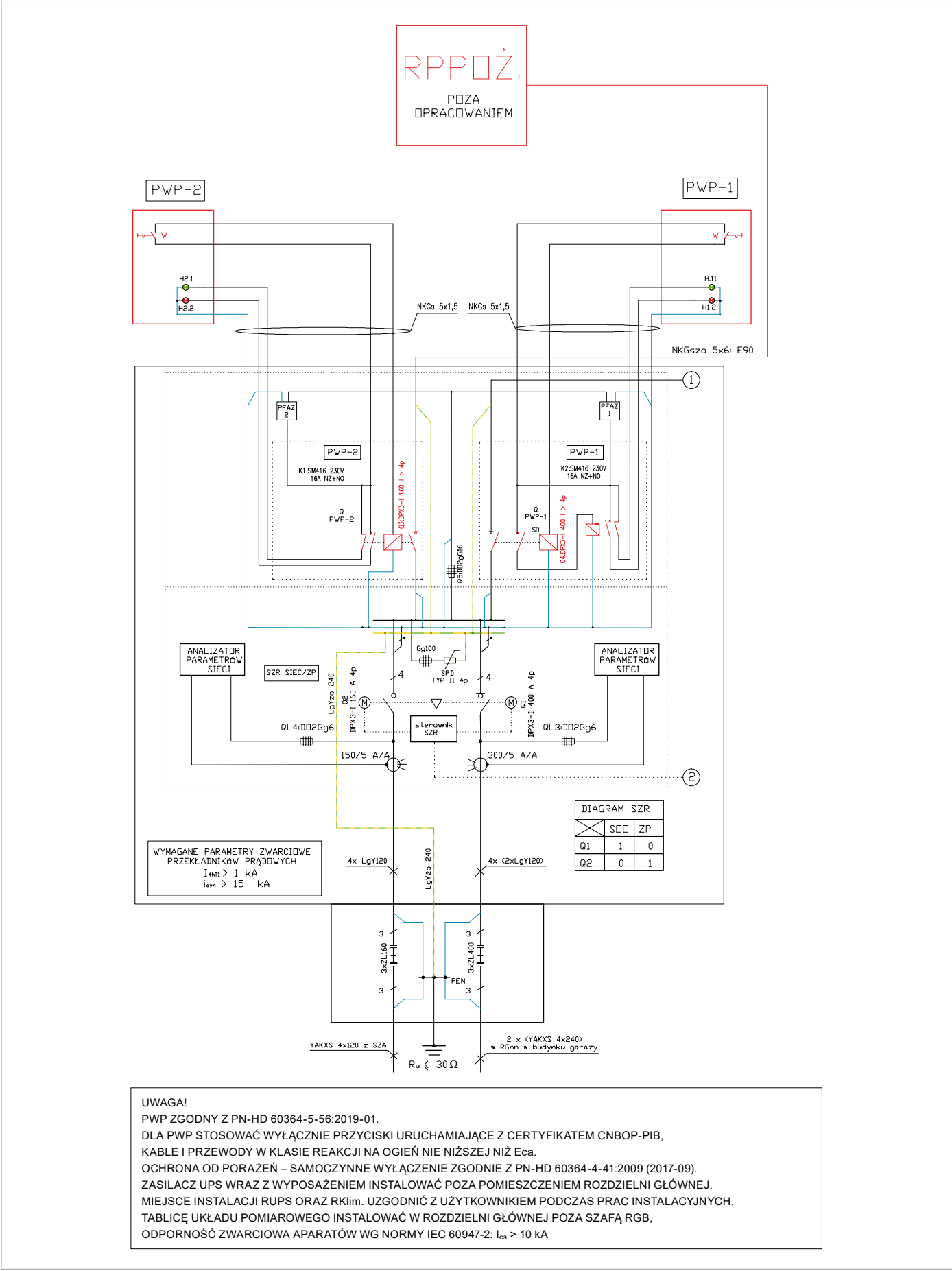
ROCZNA: 183 zł

DWULETANIA: 324 zł

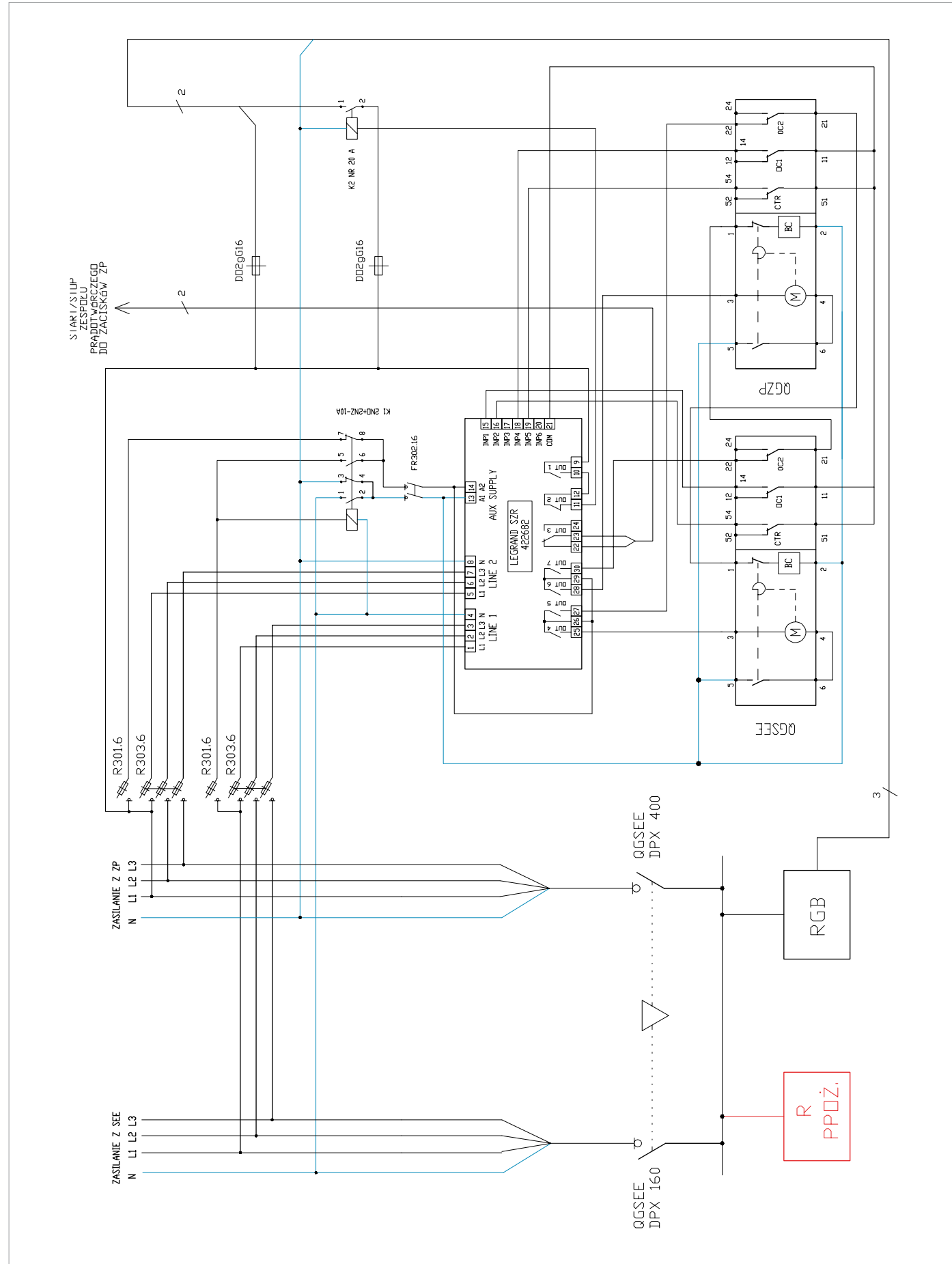
Zamówienia: **WYDAWNICZY.PL**



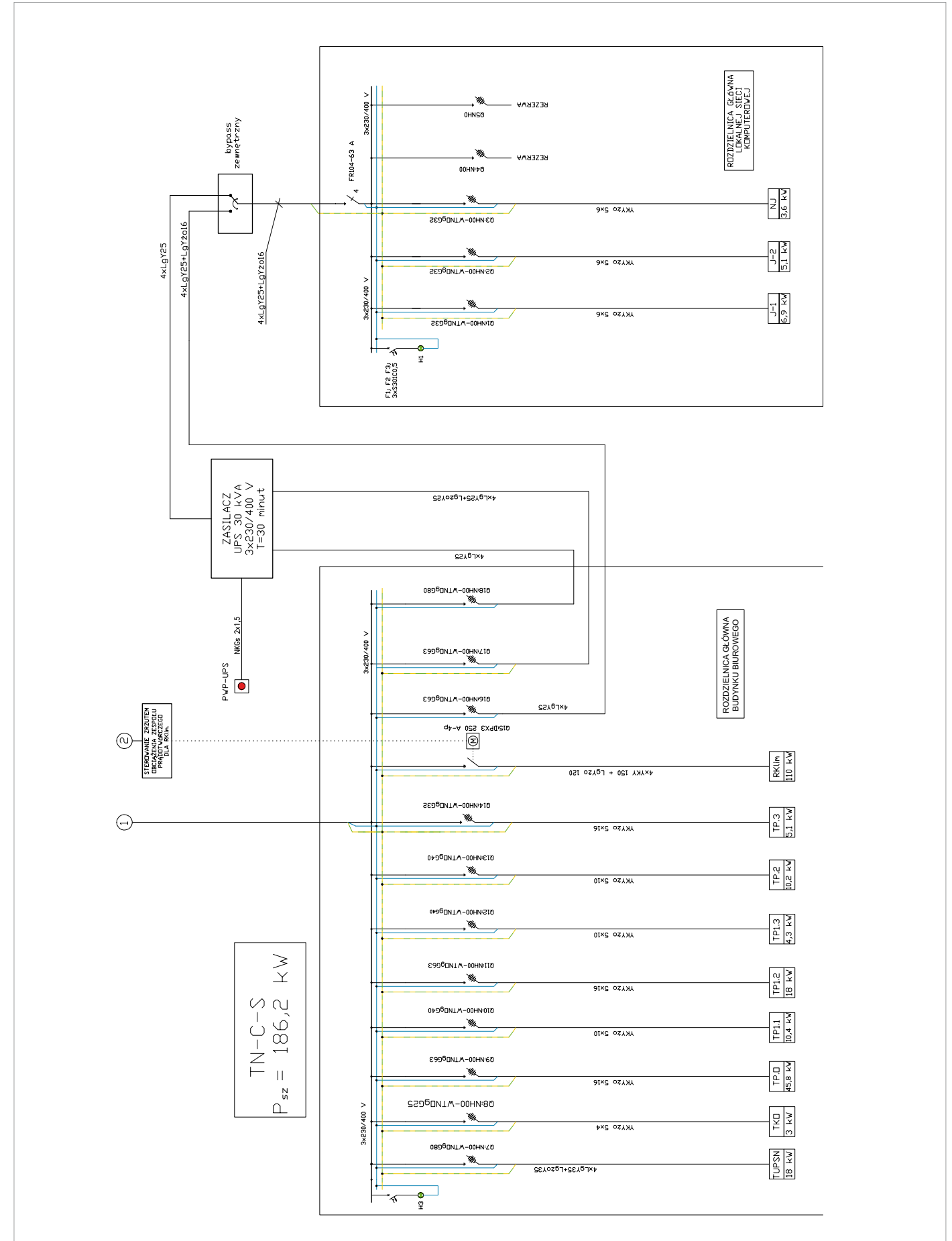
Rys. 1. Rozmieszczenie poszczególnych urządzeń w pomieszczeniu RGB rys. J. Wiatr



Rys. 2a Schemat zasilania RGB wraz z PWP rys. J. Wiatr



Rys. 2b Schemat automatyki SZR sieć/ZP rys. J. Wiatr



Rys. 2c Schemat zasilania obwodów przyłączonych do RGB rys. J. Wiatr



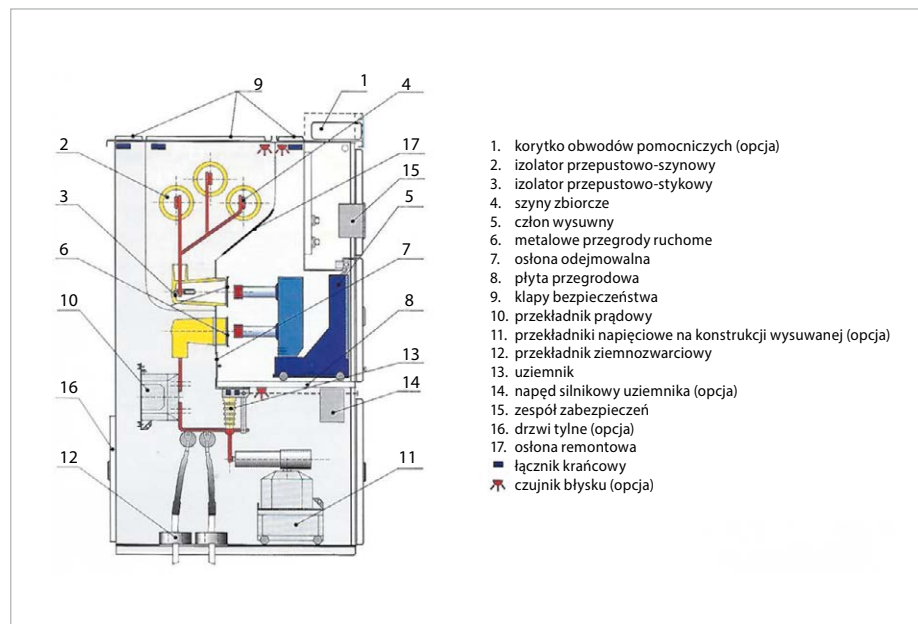
# Oddziaływanie jednofazowego łuku zwarciovego na metalowe osłony rozdzielnic SN

Obecnie zdecydowaną większość eksploatowanych rozdzielnic elektroenergetycznych SN stanowią rozdzielnice w osłonach metalowych w izolacji powietrzno-stałej. Opracowanie wyłączników małogabarytowych (próżniowych, SF<sub>6</sub>) umożliwiło budowę małogabarytowych pól rozdzielczych SN. Pola takie umożliwiają obniżenie kosztów inwestycyjnych pomieszczeń ruchu elektrycznego.

W eksploatacji rozdzielnic najgroźniejsze zagrożenia stanowią zakłócenia zwarciovowe, a w szczególności wewnętrzne zwarcia łukowe. Najczęstszą przyczyną zwarć łukowych w rozdzielnicach SN są przeskoki łuku po zabrudzonej powierzchni izolacyjnej lub od elementów konstrukcyjnych toru prądowego o ostrych krawędziach, naruszonych w sposób nieświadomy przez obsługę w trakcie prac konserwacyjno-remontowych lub pomiarowych. Statystycznie najczęściej dochodzi do zwarć jednofazowych.

Przeskoki łuku w układzie faza–ziemia (zwarcie jednofazowe) w kolejnych etapach rozwoju wyładowania łukowego mogą przekształcić się w zwarcia dwu- lub trójfazowe, lub zwarcia mieszane z udziałem ziemi. Metalowe osłony rozdzielnic połączone są z przewodem ochronnym PE na potencjale ziemi. Pod działaniem sił elektromagnetycznych łuk przemieszcza się od źródła zasilania aż do miejsca, w którym napotyka przeszkodę izolacyjną.

Na rozwijający się łuk elektryczny działają zarówno siły elektromagnetyczne, jak i siły unoszenia (obecność plazmy o wysokiej tem-



Rys. 1. Przykładowa budowa pola rozdzielczego SN rys. J. Wosik, S. Wapniarski, M. Habrych, B. Miedziński

peraturze). W większości przypadków zasilanie rozdzielnic odbywa się od dołu – przez wprowadzenie kabla do przedziału przyłączeniowego z kanału kablowego (rys. 1.).

Interesujące są oddziaływania łuku zwarciovego jednofazowego w polach zasilających rozdzielnic SN (pomiędzy fazą a osłoną metalową, połączoną z przewodem ochronnym PE) oraz w polach odpływowych zasilanych z szyn zbiorczych, zwykle zlokalizowanych w górnej części rozdzielnic. Podczas jednofazowego zwarcia łukowego można wyróżnić trzy rodzaje jego oddziaływania na pole rozdzielcze:

1. Oddziaływanie elektrodynamiczne na osłonę i tor/tory prądowe,
2. Oddziaływanie mechaniczne na osłonę wywołane wzrostem ciśnienia wewnątrz osłony pola,
3. Oddziaływanie cieplne wywołane wysoką temperaturą łuku elektrycznego.

## Oddziaływanie elektrodynamiczne podczas zwarcia łukowego jednofazowego

### Jednofazowe zwarcie łukowe w polu odpływowym

Schemat obwodu zwarciovego dla takiego przypadku przedstawiono na rysunku 2.

Prąd zwarciovym przepływa od szyn zbiorczych w kierunku dołu (do przedziału odpływowego – przyłączeniowego). Przepływ prądu do miejsca zwarcia łukowego odbywa się równoległe do ścianki osłony wykonanej ze stali (materiał ferromagnetyczny). Pole magnetyczne pochodzące od toru prądowego ulega znie-

kształceniu (pole niesymetryczne) [1]. Pole to jest źródłem siły elektrodynamicznej, skierowanej do elementu ferromagnetycznego (ścianki osłony), wyznaczonej wg zasady odbicia lustrzanego [1], co ilustrują rysunki 3. i 4.

### Układ obliczeniowy według metody odbicia lustrzanego

Wartość tej siły określa zależność (1):

$$F = C \frac{1}{2a} i i_1 \quad (1)$$

gdzie:

C – stała zależna od ukształtowania przewodu z prądem,  
a – odległość od osi toru prądowego do osłony,  
 $i_1$  – prąd odbicia lustrzanego,

$$i_1 = \frac{\mu - 1}{\mu + 1} i \quad (2)$$

gdzie:

$\mu$  – przenikalność magnetyczna ferromagnetyka (stal),  
i – prąd zwarcia łukowego.

Z przebiegu prądu zwarciovego wynika, że maksymalna siła oddziaływania elektrodynamicznego występuje najpóźniej po czasie 10 ms – nie ma więc technicznej możliwości jej ograniczenia w polach rozdzielczych wyposażonych w wyłączniki. Wartość tej siły nie jest na tyle duża, aby spowodować trwałe odkształcenie ścianki, ale może wywołać jej wibracje (prąd przemienny).

### Jednofazowe zwarcie łukowe w polu zasilającym

Schemat obwodu elektrycznego dla tego przypadku przedstawiono na rysunku 5.

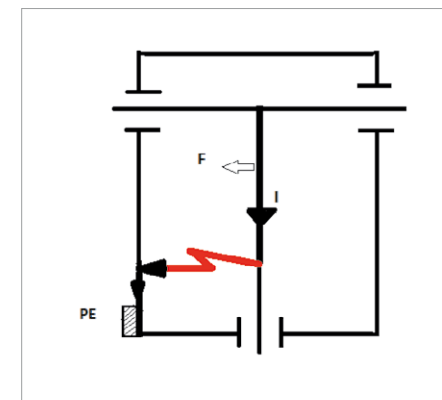
Prąd zwarciovym przepływa torem prądowym do miejsca zwarcia łukowego i następnie ścianką osłony do przewodu ochronnego. W ścianie osłony można wyobrazić sobie rozpyły strug prądowych oddziałujących z prądem w torze prądowym, co ilustruje rysunek 6. [1, 2].

Według uproszczonego modelu można wyznaczyć wielkość sił  $F_s$ , działających na ściankę osłony i na tor prądowy  $F_t$ . Siły te działają w przeciwnych kierunkach [1, 2]. Siła działająca na ściankę:

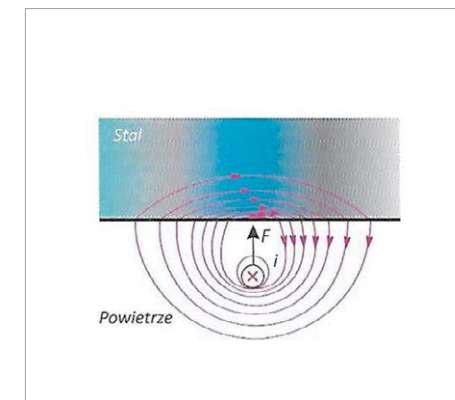
$$F_s = \mu_{Fe} \frac{l^2}{2\pi a} \quad (3)$$

gdzie:

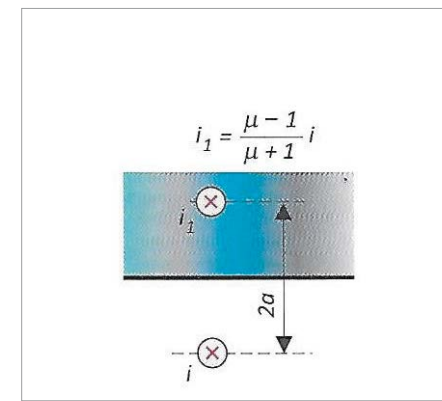
i – prąd zwarcia łukowego,  
 $\mu_{Fe}$  – przenikalność magnetyczna osłony,  
a – odległość toru prądowego od ścianki,



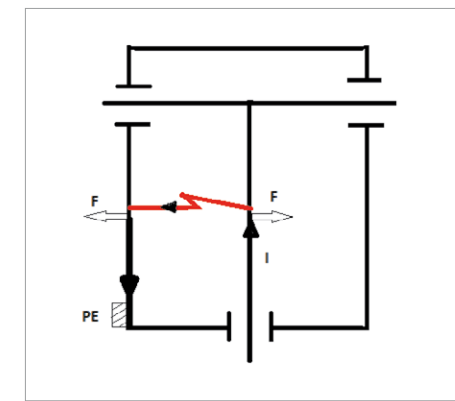
Rys. 2. Schemat przepływu prądu w polu odpływowym przy zwarciu jednofazowym rys. J. Wosik, S. Wapniarski, M. Habrych, B. Miedziński



Rys. 3. Przyciąganie przewodu, w którym płynie prąd, do płyty ferromagnetycznej – rozkład linii indukcji magnetycznej [1]



Rys. 4. Przyciąganie przewodu, w którym płynie prąd do płyty ferromagnetycznej – układ obliczeniowy w metodzie odbicia lustrzanego [1]



Rys. 5. Schemat przepływu prądu w polu dopływowym przy zwarciu jednofazowym rys. J. Wosik, S. Wapniarski, M. Habrych, B. Miedziński

l – długość równoległego toru prądowego przewodzącego prąd zwarcia jednofazowego.

Siła działająca na tor prądowy  $F_t$ :

$$F_t = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi a} \quad (4)$$

gdzie:

$\mu_0$  – przenikalność magnetyczna powietrza,  
l – długość równoległych torów prądowych.  
Stopa łuku na powierzchni osłony spychana jest w kierunku jej narożnika. Maksymalne siły elektrodynamiczne pochodzą od prądu udarowego, a więc występują maksymalnie po 10 ms od chwili zaistnienia zwarcia łukowego.

### Oddziaływanie mechaniczne łuku zwarciovego na ścianki osłony pola rozdzielczego

Do analizy tej przyjmuje się następujące założenia [1, 2, 3]:

- » prąd w powietrzu jest łukiem swobodnym palącym się pomiędzy elektrodami: katodą i anodą,
- » powietrze jest gazem doskonałym,
- » duża część energii pobieranej z sieci przez łuk jest przetwarzana w ciepło, które drogą prze-

wodnictwa i unoszenia jest przekazywane do otaczającego powietrza wewnątrz osłony,

» przenoszenie prądu na styku między elektrodami i łukiem odbywa się za pośrednictwem stopy katodowej i stopy anodowej.

Budowę kolumny łukowej, rozkład natężenia pola elektrycznego i temperatury oraz spadków napięcia wzdłuż kolumny łukowej ilustruje rysunek 7. [1].

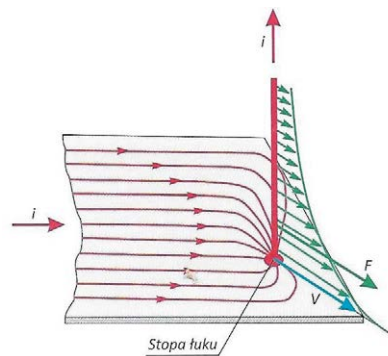
Dla gazu rozróżnia się:

- » ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu  $C_p$  oraz ciepło właściwe przy stałej objętości  $C_v$ ,
- » stosunek  $\frac{C_p}{C_v} = \kappa$  jest wykładnikiem adiabaty,
- » różnica  $C_p - C_v = R$  jest uniwersalną stałą gazową (dla gazu doskonałego  $R = 8,3143 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),
- » w kolumnie łuku rozróżnia się rdzeń (część wewnętrzną łuku) i płaszcz (część zewnętrzną),
- » zewnętrzną granicę płaszczka łuku wyznacza temperatura ok. 2000 K.

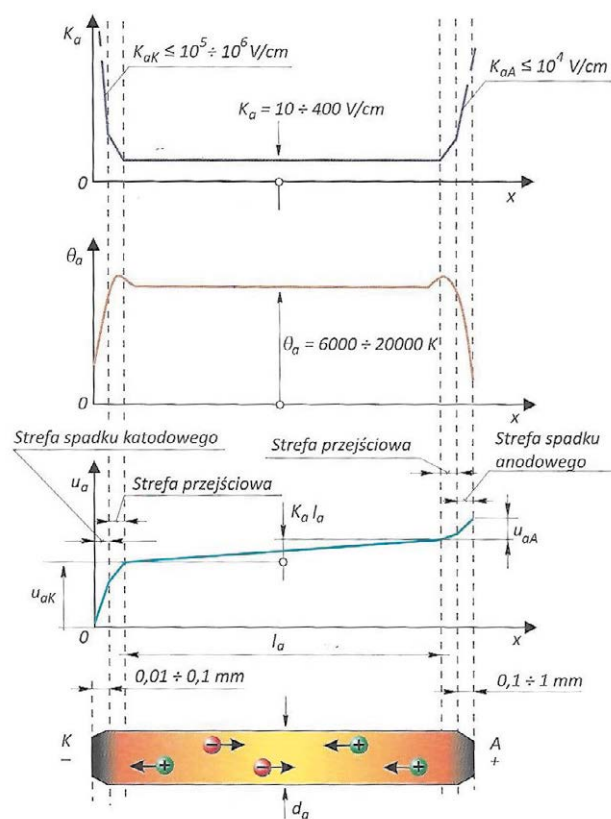
Przyrost ciśnienia powietrza w osłonie podczas zwarcia określa zależność (5) [1, 3]:

$$\Delta p(t) = \frac{\kappa - 1}{V_d} W_a(t) \quad (5)$$

gdzie:



Rys. 6. Stopa łuku palącego się na powierzchni szerokiej szyny lub płyty spychana jest w kierunku jej narożnika w następstwie zaznaczonego rozprzyszczenia prądu [1]



Rys. 7. Uproszczony schemat budowy łuku elektrycznego i jego podstawowe charakterystyki:  $u_a$  – napięcie łuku i gradient napięcia łuku,  $K_a$  – katoda,  $A$  – anoda,  $\theta_a$  – temperatura rdzenia łuku,  $l_a$ ,  $d_a$  – długość i średnica kanału łukowego [1]

$\kappa$  – wykładnik adiabaty,  
 $V_d$  – objętość przedziału, w którym zaistniało zjawisko łukowe,

$W_a(t) = U_{av} \int_0^t (i_a) dt$  – energia łuku,

gdzie:

$U_{av}$  – zastępcze napięcie łuku ( $U_{av} = 35 + 16d_a(\text{mm})$ )

+  $6,6 I_a(KA)$ ,

$d_a$  – długość łuku,

$I_a$  – skuteczna wartość prądu łuku,

$i_a$  – chwilowa wartość prądu łuku,

$$i_a = \sqrt{2} I_a (\sin(\omega t + \alpha - \varphi_a) + \exp\left(-\frac{t}{\tau_a}\right) \sin(\alpha - \varphi_a))$$

$$\tau_a = \frac{\tan \phi}{\omega} \text{ – stała czasowa zjawiska łukowego.}$$

W przyjętym modelu obliczeniowym odkształceń przyjmuje się następujące założenia [4]:

- » ścianki osłony traktuje się jako płytę cienką (prostokąt o wymiarach  $a \times b \times h$ ,  $a > b$ ,  $h \leq \frac{1}{10} b$ ),

- » materiał płyty jest jednorodny,
- » obciążenie płyty (od ciśnienia) jest prostopadłe do płyty,
- » płyta podlega prawu Hooke'a ( $\delta = \frac{F}{S}$ ,  $E$  – moduł Younga),
- » ugięcia płyty są małe w stosunku do jej wymiarów,
- » w płycie występują naprężenia dwuosiowe.

$$\text{Odształcenie liniowe } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \text{ (L – długość).}$$

Naprężenie w materiale  $\delta = \frac{F}{S}$  ( $S$  – przekrój poprzeczny płyty).

Maksymalne ugięcie płyty prostokątnej wynosi:

$$W_{\max} = \alpha \frac{\Delta p a^4}{D} \quad (6)$$

gdzie:

$$D = \frac{E h^2}{12(1 - \nu^2)} \text{ – płytowa sztywność zginania,}$$

$$\alpha = \frac{b}{a}$$

$\Delta p$  – przyrost ciśnienia.

Po przekroczeniu przez naprężenia wewnętrzne granicznych naprężeń sprężystych następuje trwałe odkształcenie plastyczne, co oznacza zniszczenie osłony (rys. 10.) [5].

Z zarejestrowanych przebiegów prądów zwarciovych i przyrostów ciśnienia podczas laboratoryjnych prób zwarciovych wynika, że przyrosty ciśnienia osiągają wartości maksymalne w czasie ok. 40–150 ms [5]. Po tym czasie zwykle działają urządzenia do rozładowania ciśnienia (membrany, klapy wydechowe) [5].

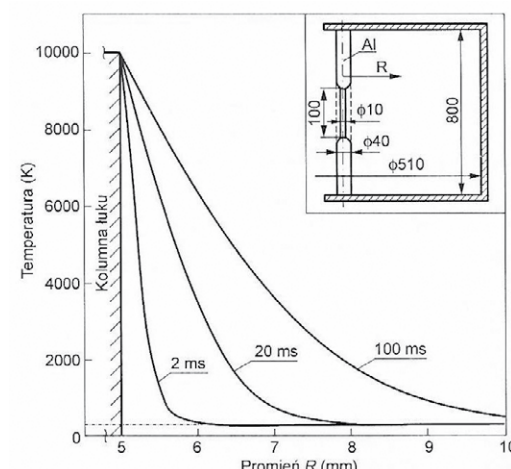
### Oddziaływanie ciepłe łuku zwarciovego na metalowe osłony pół rozdzielczych

Rozkład temperatury w poprzecznym (promieniowym) przekroju kolumny łuku przedstawiono na rysunku 11. [3].

W przypadku izolacji powietrznej gaz składa się w 78% z azotu ( $N_2$ ) i 21% z tlenu ( $O_2$ ). Przewodzenie prądu na styku między elektrodami i łukiem odbywa się za pośrednictwem stopy katodowej i stopy anodowej. W pobliżu elektrod średnica łuku ulega zwężeniu.

Przyjmuje się następujące założenia [1, 3]:

- » Gorąca katoda emituje elektrony stanowiące podstawową część prądu łuku, jej temperatura jest ograniczona temperaturą wrzenia metalu i energią pobraną na emisję elektronów.
- » Anoda zbiera elektrony wyemitowane przez katodę. Bombardowanie anody przez elektrony i ciężkie jony gazu, przyspieszane w polu elektrycznym, prowadzi do wzrostu temperatury



Rys. 8. Symulacja czasowo-przestrzennego rozkładu temperatury w pobliżu łuku w powietrzu [3]

anody. Temperatura anody jest wyższa od temperatury katody. Temperatura elektrod wynosi dla miedzi ok. 2800 K, dla żelaza ok. 3450 K.

- » Dla prądu przemiennego temperatury obu elektrod przyjmuje się równe.
- » Do przepływu prądu konieczne jest utrzymanie elektrycznie obojętnej plazmy złożonej

ze zdysocjowanych i zjonizowanych składników powietrza.

- » Azot dysocjuje w temperaturze 6000–10000 K, a tlen przy 4000 K.
- » Dla łuku w powietrzu zewnętrzna warstwa łuku (płaszcz) ma temperaturę ok. 4000 K, a temperatura rdzenia wynosi ok. 7000 K.

W płaszczu łuku przewodność elektryczna szybko maleje.

- » Wysoka temperatura łuku oraz podwyższona temperatura elektrod (stóp łuku) prowadzi do erozji osłony i elementów toru prądowego. Dla rozpatrywania zjawisk erozji przyjmuje się w literaturze [3] następujące założenia:

**elektro** **Profesjonalne szkolenia dla elektryków online!**

Kompensacja mocy biernej. Podstawy teoretyczne i zastosowania praktyczne.

**Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!**

**www.kursy.elektro.info.pl**



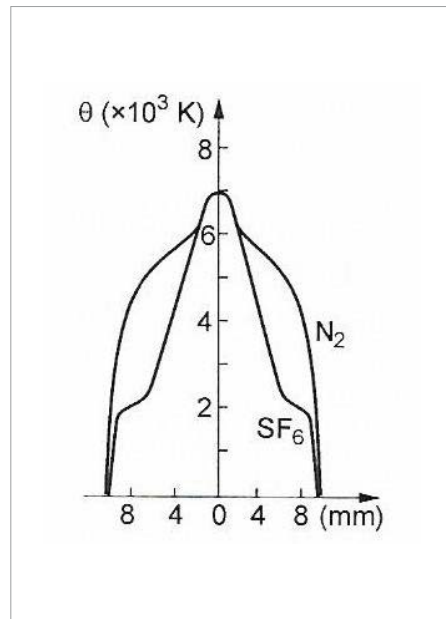
Rys. 10. Zdjęcie ilustrujące odkształcenia osłony pola rozdzielczego po badaniach odporności na wewnętrzny łuk zwarciaowy [5]

» Modelowo jedna elektroda jest prętowa, a druga – płaska (osłona).

» Łuk zwarciaowy, szczególnie przy pionowym ustawieniu osłony, wykazuje tendencję do przemieszczania się pod wpływem sił elektromagnetycznych oraz unoszenia, a dodatkowo stopa łuku wykonuje ruch wahadłowy.

» Pozostanie łuku przez chwilę w jednym położeniu powoduje dostarczenie dostatecznej energii do stopienia cienkiej osłony metalowej i jej odparowania. Przy przemieszczającym się łuku wypalony otwór może mieć kształt zbliżony do elipsy (owalny).

» W układzie elektroda płaska – elektroda prętowa erozja ma kształt stożka (rys. 12.) o średnicy [3]:



Rys. 11. Promieniowy rozkład temperatury w przekroju kanału łukowego w azocie, w warunkach słabego odbioru mocy od kanału łukowego [3]

$$D = 4,8 \sqrt{d_{sr}}$$

W literaturze [3] podaje się empiryczną zależność na określenie czasu trwania łuku do perforacji:

$$t_{per} = \frac{7,5 h d_{sr}}{\delta_v I_{ar}} \quad (8)$$

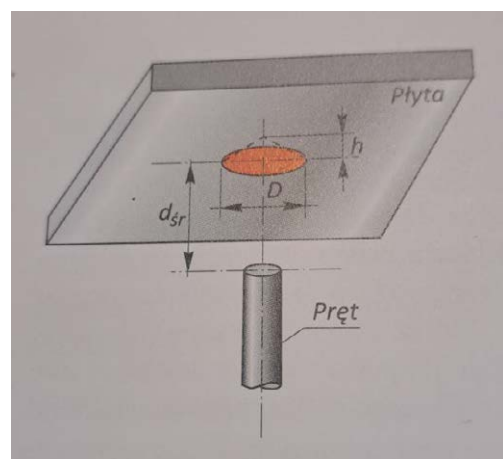
gdzie:

$\delta_v$  – współczynnik erozji objętościowej dla pojedynczej elektrody,

$I_{ar}$  – średnia wartość prądu łuku zwarciaowego

$h$  – wysokość stożka.

» Perforacja osłony powoduje wyrzut do otoczenia plazmy gorących gazów oraz rozżarzonych cząstek i kropli metalu.



Rys. 12. Model układu elektrod prętowych oraz krater erozji na płycie w czasie perforacji [1]

## Podsumowanie

- » Występowanie łuku zwarciaowego ma różnorakie negatywne skutki dla osłony pola rozdzielczego.
- » Bardzo trudno jest wyeliminować działania dynamiczne wywołujące odkształcenia osłony i toru prądowego (krótki czas do wystąpienia prądu udarowego).
- » Istnieje możliwość ograniczenia odkształceń mechanicznych osłony spowodowanych wzrostem ciśnienia na drodze szybkiego wyłączenia prądu zwarciaowego (np. zabezpieczenie łukoochronne), rozładowania ciśnienia (rozrywanie membrany, otwierane kłapy dekompresyjne).
- » Zastosowanie szybkich zabezpieczeń zwarciaowych i szybkich wyłączników oraz zwieraczy zwarciaowych, przekształcających zwarcie łukowe w zwarcie metaliczne, pozwala na uniknięcie zniszczeń aparatury umieszczonej w polu i destrukcji osłony.

## Literatura

1. J. Maksymiuk, J. Nowicki, Aparaty elektryczne i rozdzielnice wysokich i średnich napięć, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
2. H. Markiewicz, Urządzenia elektroenergetyczne, WNT, Warszawa 2008.
3. B. Koch, J. Maksymiuk, Łukoodporność rozdzielnic osłoniętych i symulacje zwarć łukowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
4. Poradnik inżyniera mechanika t. I, WNT, Warszawa 1968.
5. B. Miedziński, J. Wosik, Problemy analizy odkształceń osłon rozdzielnic SN w warunkach łukowych zwarć wewnętrznych. Materiały Sympozjum Naukowo-Technicznego SEMAG 2018, Politechnika Wrocławska.

Artykuł prezentowany w formie referatu podczas XXVII Sympozjum Naukowo-Technicznego „SEMAG 2023”.

## ABSTRACT

### Impact of a single-phase short-circuit arc on metal casing of medium voltage switchgear

This article discusses the effects of internal single-phase electrical arcs inside metal shielding of the medium voltage switchgear. Particular attention was paid to the effects of interactions between the main load current path and the metal wall of the switchgear cover. This applies to as the incoming as well as outgoing compartments of the switchgear. Both the dynamic effects due to the increase in gas pressure inside the housing as well as the effects of the thermal impact of the electric arc on the walls of the housing are discussed.

**Key words:** medium voltage switchgear, internal single-phase short-circuit arc, electrodynamic and thermal influence.

Julian Wiatr, Marcin Orzechowski

# PORADNIK PROJEKTANTA ELEKTRYKA

Nakładem Wydawnictwa Grupa MEDIUM w maju 2021 roku zostało opublikowane szóste wydanie „Poradnika Projektanta Elektryka”, autorstwa mgr. inż. Juliana Wiata oraz mgr. inż. Marcina Orzechowskiego. Monografia jest bardzo obszerna i obejmuje 1795 stron treści zasadniczych, na które składa się czternaście rozdziałów głównych, spis literatury, 14 załączników oraz 18 dodatków zgromadzonych w dwóch tomach. We wstępie „Od Autorów” podkreślono istotność opisywanych zagadnień oraz duże zainteresowanie Czytelników poprzednimi wydaniem „Poradnika”, co zdecydowało o wydaniu kolejnym (szóstym), które zostało uaktualnione i rozszerzone w stosunku do poprzedniego wydania z 2012 roku.

W tym wydaniu oprócz uaktualnienia treści, Autorzy zamieścili szereg wymagań w zakresie ochrony przeciwpożarowej, która stanowi jeden z najważniejszych elementów każdego budynku lub obiektu budowlanego. Zaktualizowali również wymagania dotyczące przyłączenia odbiorców do sieci elektroenergetycznej i jakości dostarczanej energii elektrycznej, wynikające z Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 roku w sprawie szczególnych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Autorzy przy opracowywaniu „Poradnika” wzięli również pod uwagę cenne uwagi oraz sugestie czytelników, które wpłynęły na ostateczny kształt szóstego wydania. Na uwagę zasługuje dodatek 18, „Elementy fotowoltaiki”, z uwagi na aktualność tematyki. Spis literatury zawiera 326 pozycji, co odpowiada (a nawet przekracza) standardy podobnych monografii. W rozdziale 1 Autorzy przedstawili informacje dotyczące projektu budowlanego i zasad jego uzgadniania. W rozdziale 2 skupili się na istotnym zagadnieniu podstaw zasilania budynków nieprzemysłowych. Rozdział 3 koncentruje się na opisie sieciowych urządzeń zasilających. W rozdziale 4 przedstawili linie elektroenergetyczne niskich i średnich napięć. Rozdział 5 z kolei prezentuje zagadnienie zwarć. Rozdział 6 poświęcono doborowi przewodów



ksiegarnia techniczna.com.pl

i ich zabezpieczeń. Cały rozdział 7 to przegląd informacji na temat układów i urządzeń zasilania rezerwowego, awaryjnego i gwarantowanego. Rozdział 8 poświęcono kompensacji mocy biernej. W rozdziale 9 scharakteryzowano zwięźle zasilanie terenu budowy i rozbiórki. Z kolei rozdział 10 to opis zasilania tymczasowego imprezy masowej. Kolejny 11 rozdział to krótki opis wymagań stawianych obiektom budowlanym łączności – zasilanie. Rozdział 12 dotyczy zasilania oświetlenia ulicznego. Obszerny rozdział 13 dotyczy ochrony przeciwporażeniowej (zagadnienia wybrane). Ostatni rozdział 14, również bardzo obszerny, zawiera opis badań instalacji elektrycznych niskiego napięcia (zagadnienia wybrane). Cennym uzupełnieniem tekstu monografii są za-

łączniki oraz dodatki. Cechą pracy jest szerokie spojrzenie na tematykę oraz duża skrupulatność Autorów. Monografia może stanowić cenną pomoc (źródło wiedzy) dla osób zajmujących się w praktyce projektowaniem zasilania obiektów mieszkalnych i użyteczności publicznej – zarówno z sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia, jak i z zespołu prądotwórczego i innych dostępnych na rynku źródeł zasilania. Wymiar monografii jest zdecydowanie praktyczny. Brak jest na rynku krajowym tak obszernego (niemal 2 tysiące stron!) kompendium wiedzy z poruszanych zagadnień w postaci jednej książki.

Tekst dr hab. inż. Paweł Piotrowski, prof. uczelni, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny

ZAMÓWIENIA

✉ eib@ksiegarniatechniczna.com.pl  
www.ksiegarniatechniczna.com.pl

☎ tel. 22 512 60 60, -61, -62, -68  
faks 22 810 27 42



dr inż. Waldemar Chmielak – Elektrometal Energetyka S.A.

# Rozwiązania wspomagające bezpieczeństwo i niezawodność urządzeń elektroenergetycznych SN

Zarządzanie infrastrukturą elektroenergetyczną coraz częściej jest wspomagane przez inteligentne systemy decyzyjne, przy udziale zaawansowanych systemów pomiarowych, zabezpieczeniowych i akwizycji danych. Elektrometal Energetyka S.A. wprowadza szereg nowych funkcjonalności sterowników polowych e<sup>2</sup>TANGO, które nie tylko pomagają użytkownikom w zabezpieczeniu, kontroli i sterowaniu obiektami elektroenergetycznymi, ale też – dzięki wyposażeniu w autorskie algorytmy decyzyjne – pozwalają na predykcję rozwijających się uszkodzeń oraz eliminację zakłóceń.

Nienormalne stany pracy systemów elektroenergetycznych, w tym zwarcia i ich wykrywanie, mają duży wpływ na niezawodność systemu elektroenergetycznego i pewność dostaw energii elektrycznej. Przedłużający się czas trwania zwarcia może powodować straty finansowe spowodowane nie tylko uszkodzeniami urządzeń biorących udział w zwarciu, ale również dłuższymi przestojami procesów po stronie odbiorców.

Szczególnie niebezpieczne i drastyczne w skutkach są zwarcia łukowe, w tym wewnętrzne zwarcia łukowe w rozdzielnicach. Są one bardzo rzadkie, ale możliwe. Zwarcia łukowe wewnątrz rozdzielnic średniego napięcia należą do najbardziej katastrofalnych zdarzeń, jakie mogą mieć miejsce w trakcie eksploatacji. Zdarzają się bardzo rzadko, prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest bardzo małe, niemniej jednak ich skutki mogą być drastyczne, dlatego nie można ich wykluczyć. Wytrzymałość rozdzielnic na zwarcie łukowe nie jest wymaganiem obowiązkowym z punktu widzenia normy przedmiotowej, np. 62271-200, ale powinna być pożądana – w celu ograniczenia możliwych strat materialnych oraz zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi.

## STRESZCZENIE

W artykule omówiono wybrane wdrożone rozwiązania produkcji Elektrometal Energetyka S.A., wspomagające bezpieczeństwo i niezawodność urządzeń elektroenergetycznych SN, takie jak: zabezpieczenia łukoodchronne i od ferorezonansu oraz algorytmy predykcyjne do wykrywania uszkodzeń silników.

**Słowa kluczowe:** łukoodchronność, ferorezonans, predykcja, zabezpieczenie falowe.



Rys. 1. Rozdzielnica e<sup>2</sup>ALPHA 12 kV, 40 kA podczas prób łukowych oraz przykład nieudanej próby łukowej  
rys. W. Chmielak



kiego. Niezależnie od zapewnienia łukoodchronności, zgodnie z wymaganiami odpowiedniej normy, możliwe są dodatkowe metody i środki ograniczające skutki takiego zdarzenia awaryjnego.

Czasy działania aktualnie stosowanych konwencjonalnych zabezpieczeń linii SN, opartych na pomiarach prądów i napięć o częstotliwości 50 Hz, wynoszą przynajmniej 20 ms. Eliminacja zwarcia wydłuża się dodatkowo o czas własny działania wyłącznika oraz czas łukowy, co sprawia, że wynosi przynajmniej od ok. 60 do 100 ms od chwili powstania zakłócenia. Jest to czas na tyle długi, że pozwala na wyzwolenie dużej energii, która może doprowadzić do istotnych uszkodzeń. Elektrometal Energetyka S.A. przeprowadził szereg prac badawczo rozwojowych, w tym między innymi te, których celem było skrócenie całkowitego czasu trwania zwarcia poniżej 10 ms. Cel ten został osiągnięty dzięki opracowaniu koncepcji nowej rodziny zabezpieczeń WN i SN, wyposażonych w funkcjonalność szybkiej detekcji awarii oraz prototypów wyłączników szybkich, pozwalających na wyłącza-

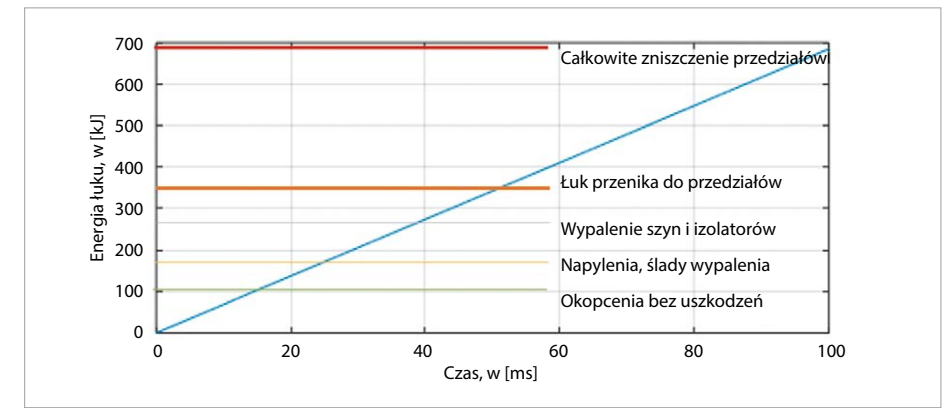
nie prądów zakłóceniovych w pierwszych milisekundach od ich wystąpienia.

## Łukoodporność rozdzielnic SN

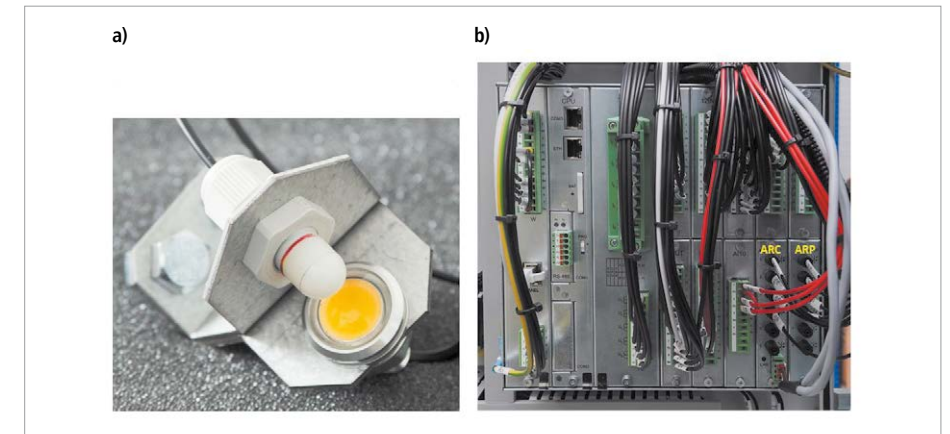
Urządzenia elektroenergetyczne wysokiego napięcia, w tym również rozdzielnice średniego napięcia, powinny charakteryzować się wysoką niezawodnością działania w długim czasie, sięgającym dziesiątków lat. Osiągane jest to poprzez staranne dopracowanie i wykonanie konstrukcji oraz rzetelnie prowadzone badania typu, wyrobu i odbiorcze. Dzięki temu urządzenia elektroenergetyczne pozwalają na długotrwałą pracę w warunkach normalnych oraz krótkotrwałe w warunkach zakłóceniovych, eliminując i ograniczając skutki pojawiających się problemów. Niestety, wskutek wad ukrytych, montażowych i eksploatacyjnych, procesów starzeniowych, błędnych lub wadliwych połączeń czy wyjątkowych warunków pracy – takich jak przepięcia atmosferyczne i łączeniowe, trudne warunki środowiskowe, zabrudzenia, kondensacja, przeciążenia cieplne i elektrodynamiczne, lokalna jonizacja gazu wskutek isk-

zenia oraz zwierzęta, głównie gryzonie – może dojść do zainicjowania zwarcia wewnętrznego nazywanego łukiem awaryjnym. Skutki takiego zwarcia dotyczą nie tylko samego układu zasilania wskutek uszkodzenia pojedynczego pola lub rozdzielnic, ale też mogą pociągać za sobą ogromne straty ekonomiczne i społeczne – w związku z awaryjnym długotrwałym odstawieniem układu zasilania i możliwym rozrwanieniem osłony rozdzielnic, prowadzącym do niekontrolowanej emisji do otoczenia płomieni, bardzo gorących i szkodliwych dla zdrowia gazów, strumieni plazmy kropli roztopionego metalu, odłamków konstrukcji oraz promieniowania samego łuku. Łukoodporność może być jednym z podstawowych parametrów znamionowych rozdzielnic wysokiego napięcia. Gdy jest do niej przypisana, to badania wytrzymałości na łuk wewnątrz rozdzielnic są obowiązkowe i powinny być wykonane dla każdego przedziału wysokonapięciowego, zgodnie z klasyfikacją IAC (*Internal Arc Classified*). Klasyfikacja IAC definiuje poziom bezpieczeństwa osób znajdujących się w pobliżu rozdzielnic w przypadku wystąpienia wewnętrznego zwarcia łukowego podczas normalnej pracy rozdzielnic. Znamionowy prąd zwarcia łukowego określany jest przeważnie dla zwarcia trójfazowego, ale może też być wskazany dla zwarcia jednofazowego w przypadku rozdzielnic/przedziałów z izolowanymi torami prądowymi. Dla określonej wartości skutecznej prądu i czasu trwania zwarcia łukowego literami A, B, C opisuje się rodzaj dostępu, a literami F, L, R – stronę, z której możliwy jest bezpieczny dostęp do osłony rozdzielnic. Zgodnie z tą klasyfikacją, możliwy jest dostęp: ograniczony tylko do personelu upoważnionego (A), nieograniczony, w tym również dla osób postronnych (B), ograniczony przez zainstalowanie poza zasięgiem – wykonanie słupowe (C), od przodu rozdzielnic (F), z boku (L) i od tyłu (R). Przypisanie określonej klasy dostępu determinuje warunki, w jakich próba łukoodporności ma być wykonana.

Badania łukoodporności powinny być przeprowadzone co najmniej w każdym skrajnym przedziale reprezentatywnego pola zawierającym części obwodu głównego. Rozdzielnica do badań powinna być w pełni wyposażona, przy czym dopuszcza się stosowanie atrap poszczególnych komponentów, pod warunkiem zachowania tej samej ich objętości i materia-  
łow zewnętrznych jak w zastępowanym komponencie, oraz braku wpływu na obwody główne i uziemienia. Ze względów środowiskowych dopuszcza się zastąpienie gazu izolacyjnego SF<sub>6</sub>



Rys. 2. Ilustracja przyrostu energii w przedziale łukowym z zaznaczonymi poziomami energii występowania poszczególnych uszkodzeń rozdzielnic  
rys. W. Chmielak

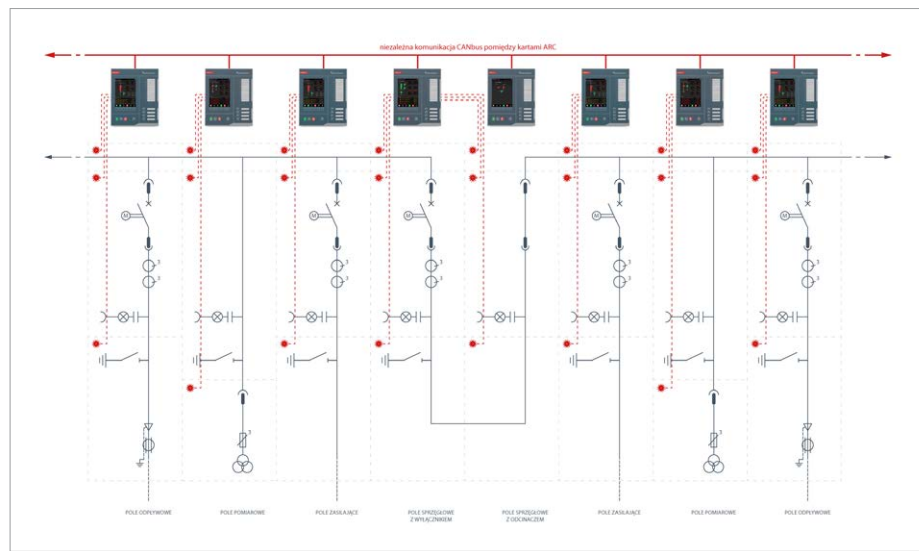


Rys. 3. Czujnik błysku z diodą do jego testowania (a) oraz jednostka centralna sterownika e<sup>2</sup>TANGO z kartami zabezpieczenia łukoodchronnego ARC i ARP (b)  
rys. W. Chmielak

powietrzem, z zachowaniem ciśnienia znamionowego. W przypadku przedziałów chronionych bezpiecznikami ograniczającymi, badania powinny być wykonane przy największej wartości prądu ograniczonego oraz przy maksymalnym napięciu znamionowym urządzenia. W pozostałych przypadkach napięcie próby może być obniżone, ale musi być wyższe od spodziewanego możliwego napięcia łuku, aby nie doszło do przedwczesnego zgaśnięcia łuku w żadnej z faz, oraz by nie doszło do nadmiernego ograniczania wartości prądu. Jeśli stosowane są inne środki mające na celu ograniczenie skutków łuku, to nie powinny one działać w trakcie badań łukoodporności, o ile nie są przewidziane dodatkowe takie badania. Wartość prądu zwarcia łukowego powinna być stała, a prąd powinien być utrzymany przez czas znamionowy trwania zwarcia obwodu głównego. W przypadku ograniczonych możliwości probierczych laboratorium dopuszcza się wydłużenie czasu łukowego tak, aby całka składowej okresowej prądu była równa wartości wymaganego prądu zwarciego, z tolerancją +10%, -0%. Wartość prądu zwarcia łukowego przeważnie jest równa znamionowemu prądowi wytrzymywanemu,

ale może też być mniejsza, jeśli tak określi producent. Czas trwania zwarcia łukowego zazwyczaj wynosi 1 sekundę, ale może też być ustalony na poziomie 0,1 s, 0,5 s lub inny, zgodnie z deklaracją producenta. Zwarcie łukowe wewnątrz rozdzielnic inicjowane jest drutem metalowym o średnicy około 0,5 mm: pomiędzy wszystkimi fazami – dla zwarcia trójfazowego, między fazą a ziemią – w przypadku rozdzielonych przewodów fazowych lub między dwiema fazami w polach, w których tory prądowe są pokryte izolacją stałą. Inicjacja zwarcia powinna mieć miejsce w najdalej oddalonym od zasilania dostępnym punkcie w danym przedziale.

Podczas prób łukowych rozdzielnica do zastosowań wewnętrznych musi być ustawiona w specjalnie przygotowanej przestrzeni, odwzorowującej podłogę, ścianę boczną, tylną i sufit. Jeżeli producent rozdzielnic nie podaje innych odległości, to sufit powinien być na wysokości nie mniejszej niż 2 m od podłogi oraz dla rozdzielnic o wysokości przynajmniej 1,8 m – w odległości 20 cm ± 5 cm od górnej części badanej rozdzielnic. Ściany boczne i tylna, jeśli nie są dostępne, zgodnie z klasyfikacją IAC powinny się znajdować 10 cm ± 3 cm od rozdzielnic. W przypad-



Rys. 4. Schemat ideowy zabezpieczenia łukowego z podstawowymi (czerwone) i dodatkowymi (fioletowe) czujnikami rys. W. Chmielak



Rys. 5. Widok rozdzielnic e²ALPHA po próbach łukowych 31,5 kA, 1 s oraz widok przedziału przyłączonego rozdzielnic e²ALPHA po zwarciu łukowym i zadziałaniu zabezpieczenia łukoochronnego ARC rys. W. Chmielak

ku, gdy ściana tylna rozdzielnic jest dostępna, to odległość od tyłu rozdzielnic do ściany pomieszczenia powinna wynosić 80 cm. Jeżeli próby są przeprowadzane przy większych odstępach, to powinny one być zadeklarowane przez producenta jako minimalne dopuszczalne. Jeśli producent rozdzielnic określa minimalną liczbę pól rozdzielnic dla zapewnienia skutecznej dekompresji ciśnienia lub konstrukcja wymaga stosowania kanałów wydmuchowych do usuwania gazów powstających przy zwarciu łukowym, to zarówno instalacja rozdzielnic, jak i próby wewnętrznego zwarcia łukowego powinny być realizowane z odwzorowaniem tych warunków. W przypadku stosowania kanałów wydmuchowych ich wylot powinien się znajdować przynajmniej 2 m od badanej rozdzielnic. Producent powinien też wskazać minimalny przekrój poprzeczny kanału wydmuchowego, umiejscowie-

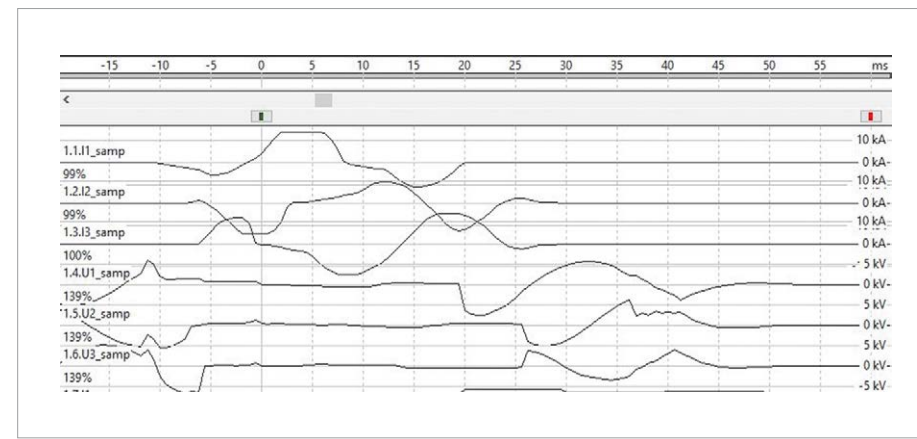
nie oraz właściwości wylotowe, takie jak klapy, siatki i ich charakterystyki. Ocena cieplnych skutków oddziaływania wewnętrznego zwarcia łukowego na ludzi, którzy mogą znajdować się w pobliżu rozdzielnic, realizowana jest przy użyciu wskaźników rozmieszczonych wokół badanej rozdzielnic. Dla rozdzielnic sklasyfikowanej jako dostępna tylko dla uprawnionego personelu, w założeniu wyposażonego w odpowiednie ubranie i środki ochrony osobistej, wskaźniki są wykonane z grubszego i mniej palnego materiału – czarnego kretonu (bawełniana tkanina, ~150 g/m²) oraz ustawione dalej od rozdzielnic. W przypadku dostępu do rozdzielnic osób postronnych, badania łukoochronności wykonywane są w ostrzejszym reżimie, tj. wskaźniki ustawione są bliżej i wykonane są z cieńszego, bardziej palnego materiału – czarnego batystu bawełniano-linianego (~40 g/m²).

Możliwe jest zastosowanie dodatkowych środków ograniczających skutki łuku awaryjnego oraz zapewniających zwiększenie poziomu ochrony osób i urządzeń rozdzielnic w przypadku wystąpienia łuku wewnętrznego. Przyspieszenie reakcji zabezpieczeń na działanie łuku może istotnie ograniczyć jego skutki, co pokazano na **rysunku 2**. Przykładem takich rozwiązań są między innymi: czujniki błysku, ciśnienia, temperatury oraz zabezpieczenie różnicowe szyn zbiorniczych powodujące szybkie wyłączenie, bezpieczniki ograniczające wartość prądu i czas trwania zwarcia, uzemienniki szybko zmieniające zwarcie łukowe na metaliczne, sterowanie członem wysuwym przy zamkniętych drzwiach rozdzielnic, układy dekompresyjne oraz inne. Stosowanie tych środków nie zwalnia jednak z potrzeby zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości na zwarcie łukowe, zgodnie z klasyfikacją IAC. Wynika to z faktu możliwego niezadziałania tych środków oraz podtrzymania wyładowania łukowego przez energię pochodzącą z rozprędzonych maszyn wirujących w obwodzie obciążenia, pomimo odcięcia źródła zasilania.

Stosowanie czujników błysku wraz z szybkim wyłączeniem zasilania wydaje się najbardziej powszechnym rozwiązaniem dla szybkiej reakcji na zwarcie łukowe i dla ograniczenia jego skutków. Niesie jednak ze sobą ryzyko nieuzasadnionego i niekontrolowanego zadziałania wskutek przypadkowego pobudzenia światłem nie pochodzącym od wyładowania łukowego. Dlatego często wprowadza się dodatkowo drugie kryterium potwierdzające wystąpienie zwarcia, takie jak np. kontrola napięcia, stromości prądu lub inne. Rozdzielnice średniego napięcia mogą być wyposażone w czujniki błysku również z układem automatycznego testu czujników. Sterowniki polowe e²TANGO produkcji Elektrometal Energetyka S.A. posiadają takie zabezpieczenie i muszą być wtedy wyposażone w dodatkową kartę zabezpieczenia łukoochronnego ARC. Zabezpieczenie łukoochronne reaguje na błysk światła spowodowany pojawieniem się łuku elektrycznego w przedziałach pola. Sygnał świetlny rejestrowany jest przez umieszczone w przedziałach pola czujniki błysku i za pomocą światłowodów trafia do karty ARC sterownika e²TANGO. Odebrany przez zabezpieczenie sygnał świetlny informuje o zapaleniu się łuku w danym przedziale rozdzielnic. Zależnie od przedziału i rodzaju pola, zabezpieczenie wysyła sygnały otwarcia wyłączników do wybranych pól. W celu wyeliminowania zbędnych wyłączeń działanie czujników uzależnione jest od

obniżenia napięcia na szynach sekcji. Informacja o obniżeniu napięcia i sygnały otwarcia wyłączników przesyłane są po magistrali CANBUS. Zabezpieczenie łukoochronne może być zastosowane w rozdzielnicach jednosystemowych do czterech sekcji (również z sekcjami połączonymi w pierścień) lub dwusystemowych z systemem A ciągłym i systemem B ciągłym lub podzielnym na 2 sekcje. Karta ARC zapewnia współpracę z 6 czujnikami i wyposażona jest w port CANBUS. W przypadku konieczności obsługi większej liczby czujników możliwe jest zastosowanie dodatkowej karty ARP z 6 czujnikami, ale bez portu CANBUS. Czujnik błysku oraz karty zabezpieczenia łukoochronnego wbudowane w jednostkę centralną zabezpieczenia e²TANGO zostały pokazane na **rysunku 3**. Przykładowy schemat aplikacyjny stosowania czujników błysku pokazano na **rysunku 4**. Działanie wejść czujników uzależnione jest od typu pola. Poszczególne wejścia przyporządkowane są do konkretnych przedziałów. Sposób działania nie wykorzystanych standardowo wejść może być powiązany z działaniem standardowych wejść. Może być to wykorzystane do zabezpieczania przedziałów sąsiedniego pola lub zdublowania czujników.

Badania łukoodporności rozdzielnic e²ALPHA, przeprowadzone w ramach badań typu w akredytowanych jednostkach badawczych, potwierdziły skuteczność przyjętych i stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Skutki wewnętrznych zwarć łukowych zawsze ograniczały się do badanego pola, niszcząc to pole, ale też spełniając wszystkie kryteria łukoochronności, zgodnie z normą przedmiotową. Na **rysunku 5** pokazano przykładowe zdjęcie z nieudanej próby łukowej rozdzielnic, która nie spełnia warunku łukoochronności. **Rysunek 5** pokazuje pole rozdzielnic e²ALPHA po pozytywnych próbach wewnętrznego zwarcia łukowego w przedziałach przyłączeniowych i wyłącznikowym oraz zdjęcie przedziału przyłączeniowego rozdzielnic e²ALPHA zaraz po wystąpieniu zwarcia łukowego i zadziałaniu zabezpieczenia łukoochronnego ARC, które miało miejsce w eksploatacji, wskutek eksplozji głowicy kablowej kabla odpływowego. Na podstawie rejestracji prądów i napięć z zaistniałego zwarcia łukowego, pokazanej na **rysunku 6**, można wnioskować, że całkowity czas od chwili zaistnienia zwarcia do jego eliminacji wynosił około 40 ms. Jest to całkowity czas zadziałania zabezpieczenia, wraz z czasem własnym wyłączenia wyłącznika e²BRAVO. W tak krótkim czasie zwarcia łukowego w rozdzielnic nie doszło do dra-



Rys. 6. Rejestracja prądów i napięć zdarzenia łuku awaryjnego rys. W. Chmielak

stycznych skutków tego zwarcia i nieodwracalnego jej zniszczenia. Jedyne widoczne ślady tego zwarcia to uszkodzona głowica kablowa, delikatnie wypalona izolacja zewnętrzna ograniczników przepięć oraz drobne ślady okopceń na torach prądowych między uzemiennikiem i ogranicznikami przepięć.

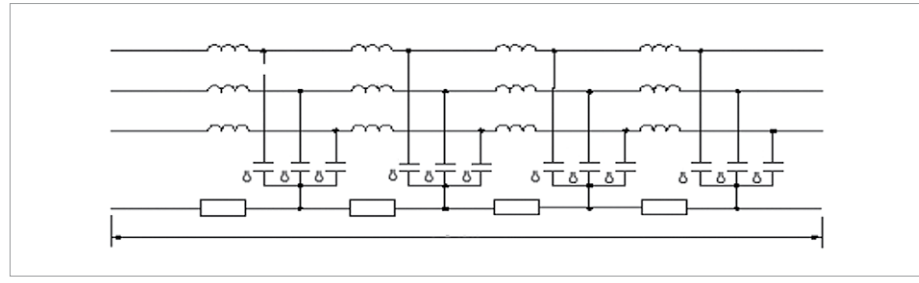
Zgodnie z informacjami uzyskanymi od klienta, u którego zdarzenie miało miejsce, całkowity czas od chwili wystąpienia zwarcia do momentu pełnego przywrócenia rozdzielnic do pracy wynosił około 6 godzin. Oczywiście niezbędne było oczyszczenie przedziału przyłączeniowego rozdzielnic, wymiana uszkodzonych ograniczników przepięć, na które przeniół się łuk elektryczny, oraz głowicy kablowej.

### Wykrywanie, rejestracja i dwustopniowa eliminacja zjawiska ferorezonansu

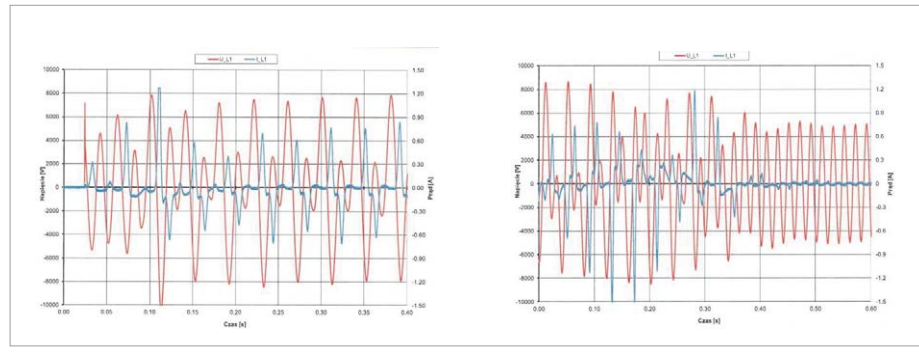
Zjawisko ferorezonansu jest uważane za jedną z podstawowych przyczyn uszkodzeń przekładników napięciowych instalowanych w układach elektroenergetycznych. Skutkiem ferorezonansu jest wzrost prądu w uzwojeniu pierwotnym przekładnika, wynikający ze znacznego nasycenia rdzenia, co prowadzi do termicznego zniszczenia układu izolacyjnego. Mimo, że zjawisko ferorezonansu jest znane już od ponad stu lat, nadal nie zostały jednoznacznie określone kryteria jego powstawania i nie opracowano skutecznych metod jego eliminacji. Ze względu na zagrożenia, jakie stwarza to zjawisko, jest ono nadal przedmiotem zainteresowania ośrodków badawczych oraz służb eksploatacyjnych. Stany zakłóceniowe będące wynikiem ferorezonansu mogą również spowodować błędne zadziałanie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej.

Drgania ferorezonansowe w układach elektroenergetycznych powstają w wyniku szere-

gowego lub równoległego połączenia liniiowej pojemności z nieliniową indukcyjnością. W przypadku szeregowego połączenia tych reaktancji może dojść do ferorezonansu napięć, natomiast przy połączeniu równoległym – do ferorezonansu prądów. Z praktycznego punktu widzenia nieliniową indukcyjność w układach elektroenergetycznych stanowi najczęściej indukcyjność odwzorowująca zjawisko magnesowania rdzenia transformatora oraz przekładników napięciowych. Nieliniowy charakter tych obwodów utrudnia analizę tego zjawiska, ze względu na odkształcenia przebiegów prądów i napięć w momencie jego wystąpienia. Przemagnesowanie rdzenia przekładnika prowadzi do jego przegrzania i uszkodzenia izolacji, w tym – czasem – do eksplozji. Dodatkowo dochodzi do przepięć w postaci drgań ferorezonansowych napięć, co może negatywnie wpływać na inne elementy układów elektroenergetycznych. Występowanie przepięć do rywczych w postaci drgań ferorezonansowych jest uzależnione od konfiguracji układu elektroenergetycznego oraz od parametrów jego poszczególnych elementów. Istotną rolę odgrywa sposób połączenia punktu neutralnego układu z ziemią. W układach wysokich napięć pracujących z bezpośrednio uzziemionym punktem neutralnym drgania ferorezonansowe mogą wystąpić przede wszystkim wtedy, gdy w wyniku pewnych czynności łączeniowych powstanie szeregowy lub szeregowo-równoległy układ drgający. W przypadku układów elektroenergetycznych średnich napięć z izolowanym punktem neutralnym do ferorezonansu może dojść w wyniku nagłej zmiany napięcia sieci będącej wynikiem zwarcia doziemnego. Na skutek tych zmian powstaje równoległy lub szeregowo-równoległy układ drgający. Bezpośrednią przyczyną powstawania ferorezonansu w sieci może być dowolna zmiana jej konfigura-



Rys. 7. Model linii rys. W. Chmielak



Rys. 8. Przykłady rejestracji napięcia i prądu po stronie pierwotnej przekładników napięciowych w fazie L1 po podaniu napięcia na szynę rozdzielni i wyzwolenie oscylacji ferorezonansowych oraz wytłumienie ferorezonansu rys. W. Chmielak

cji lub zakłócenia, takie jak załączenie napięcia czy powstanie i włączenie zwarcia jednej fazy z ziemią. Przy dużym nasyceniu rdzeni przekładników przebieg napięcia punktu gwiazdowego sieci jest znacznie odkształcony i ma cechy drgań relaksacyjnych.

Zjawisko ferorezonansu, chociaż objawia się tylko w przebiegach napięć doziemnych i odpowiednich prądów, jest groźnym zakłóceniem w pracy sieci. Na skutek towarzyszących temu zjawisku przepięć i przetężeń możliwe jest uszkodzenie elementów sieci, tj. przekładników napięciowych czy linii kablowych. Ponadto ferorezonans podnosi potencjał punktu neutralnego układu, co powoduje pojawienie się składowej zerowej napięcia, mogącej fałszować działania układów zabezpieczeń ziemnozwarciowych.

Przeprowadzono szereg badań laboratoryjnych na modelu fizycznym GPZ SN z izolowanym punktem neutralnym oraz na modelach symulacyjnych odwzorowujących rzeczywiste układy elektroenergetyczne. Wykonano wielowariantową analizę wpływu zmiany konfiguracji sieci na możliwość inicjacji drgań relaksacyjnych.

W ramach badań przemysłowych prowadzonych przez firmę Elektrometal Energetyka S.A. opracowano szybki algorytm adaptacyjny do detekcji zjawiska ferorezonansu, z wykorzystaniem dowolnego napięcia fazowego ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ), jak również napięcia składowej zerowej  $U_0$ . Al-

gorytm zaimplementowano w sterowniku polowym e<sup>2</sup>TANGO, a do wykrywania zjawiska ferorezonansu użyto poszczególnych napięć fazowych. Opracowany układ eliminacji ferorezonansu zawiera dwa stopnie: pierwszy służy do zwierania uzwojenia otwartego trójkąta przekładników napięciowych (sygnał  $U_0$ ), drugi – do zwierania pojedynczych uzwojeń wtórnych przekładników napięciowych, i może być przyłączony zarówno do uzwojeń otwartego trójkąta, jak i na innych rdzeniach.

### Ultraszybkie wykrywanie zwarć z wykorzystaniem fal wielokrotnie odbitych

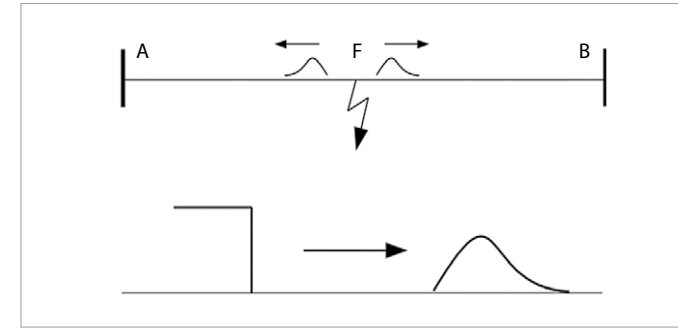
Wykrywanie zakłóceń oparto na pomiarze fal propagujących się linią elektroenergetyczną, które mają swoje źródło w nagłych zmianach napięcia i rozchodzą się w obydwu kierunkach od miejsca wystąpienia zdarzenia, wzdłuż linii elektroenergetycznej. Na **rysunku 9** przedstawiono ilustrację propagacji fal elektromagnetycznych linią elektroenergetyczną na przykładzie zdarzenia, którym jest wystąpienie zwarcia. Zakłócenie w linii elektroenergetycznej łączącej szynę zbiorczą stacji A i B, wskutek którego nastąpiło nagłe obniżenie napięcia w miejscu zwarcia, powoduje wygenerowanie dwóch fal, propagujących się w przeciwnych kierunkach do szyn stacji A i B. Wygenerowane fale mają pionowe czoło w miejscu wystąpienia zwarcia i są tłumione wraz z przebytą drogą, co powo-

duje zmniejszenie ich amplitudy oraz wydłużenie czoła fali – jak pokazano na **rysunku 9**.

Fale są propagowane i tłumione w ośrodkach jednorodnych. W miejscach nieciągłości, rozumianej jako zmiana impedancji falowej ośrodków, część energii fali ulega odbiciu, a część jest przekazywana dalej, za miejsce nieciągłości. Takimi miejscami nieciągłości są szyny stacji, miejsca zwarcia oraz połączenia – szczególnie te, które zmieniają przekrój lub rodzaj linii elektroenergetycznej. Stosunek energii przekazanej i odbitej jest związany z impedancją falową ośrodków za i przed nieciągłością, na której następuje odbicie. Prędkość propagacji fal jest równa około 98% prędkości światła w liniach napowietrznych oraz około 50% prędkości światła w liniach kablowych. Różnica jest związana z pojemnościami poprzecznymi tych linii, których przeładowanie odpowiada za mechanizm propagacji fali. Energia użyteczna propagowanych fal zawiera się w częstotliwościach z zakresu 10–600 kHz. Dokonując pomiaru przebiegów wysokiej częstotliwości, układ automatyki zabezpieczeniowej jest w stanie zidentyfikować fale propagujące się linią SN na skutek zwarcia oraz ich właściwości, takie jak czas, amplituda i polaryzacja. Na ich podstawie, jeszcze przed przepływem prądu zwarciaowego o częstotliwości 50 Hz, układ automatyki jest w stanie w czasie setek mikrosekund wykryć zwarcie, przeanalizować i podać sygnał na otwarcie wyłącznika.

Opracowano i opatentowano jednostronny układ pomiarowy zawierający sensory prądu oraz sensory napięcia, zainstalowane na jednym końcu linii SN – od strony zasilania. Układ pomiarowy musi się składać z co najmniej jednego sensora prądu – umocowanego bezpośrednio na linii, bez ingerencji w jej ciągłość – oraz z co najmniej jednego sensora napięcia. Sygnały pomiarowe w postaci wartości chwilowych prądu lub pochodnej prądu są wprowadzane bezpośrednio w postaci sygnałów elektrycznych: prądu oraz napięcia, na zaciski pojedynczego urządzenia pomiarowego, zainstalowanego na tym samym końcu linii energetycznej. Pochodne prądów mogą być pierwszego, drugiego lub wyższych rzędów.

Weryfikacja modeli propagacji sygnałów falowych w sieciach elektroenergetycznych została przeprowadzona przy wykorzystaniu aplikacji PSCAD oraz na pracującej sieci elektroenergetycznej średniego napięcia. Przeprowadzono badania symulacyjne dla sieci izolowanej, kompensowanej oraz uziemionej przez rezystor. Zakres weryfikacji obejmował analizy zwarć doziemnych oraz dwu- i trójfazowych w różnych,



Rys. 9. Przykład propagacji fal elektromagnetycznych od miejsca wystąpienia zakłócenia oraz jej tłumienia wraz z oddalaniem się od miejsca zakłócenia rys. W. Chmielak

określonych miejscach sieci. Część badań symulacyjnych potwierdzono w warunkach rzeczywistych, dokonując zamknięcia na zwartą linię elektroenergetyczną w różnych odległościach od stacji elektroenergetycznej. Badania w warunkach rzeczywistych wykazały potrzebę opracowania algorytmów korekcji sygnałów przenoszonych przez przekładniki o zadanej transmitancji określonej na podstawie wcześniejszych pomiarów małosygnałowych.

### Podsumowanie

Nowe funkcje zabezpieczeniowe, realizowane przez sterowniki polowe typu e<sup>2</sup>TANGO, umożliwią współczesnym urządzeniom EAZ jeszcze lepszą diagnostykę i analizę chronionych urządzeń i obiektów oraz poprawę niezawodności zasilania odbiorców.

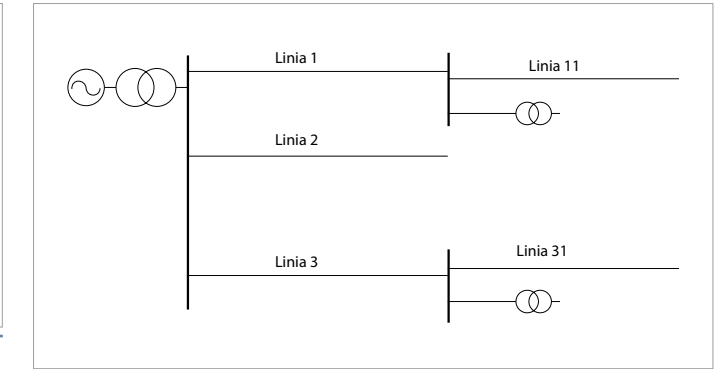
Wewnętrzne zwarcie łukowe w rozdzielnicach średniego napięcia jest zjawiskiem rzadkim, ale nie niemożliwym. Skutki takiego zwarcia mogą być katastrofalne i niezwykle kosztowne. Ponadto mogą powodować zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Zabezpieczenie łukochronne ARC sterownika polowego e<sup>2</sup>TANGO wraz z krótkim czasem własnym wyłączania wyłącznika próżniowego e<sup>2</sup>BRAVO pozwala na bardzo szybkie przerwanie prądu zwarciaowego, w czasie nawet poniżej 40 ms. Tak szybka reakcja i przerwanie stanu awaryjnego istotnie ogranicza skutki zwarcia łukowego w rozdziel-

### ABSTRACT

#### Solutions supporting safety and reliability of MV power equipment

The article discusses selected implemented solutions produced by Elektrometal Energetyka SA supporting the safety and reliability of MV power equipment, such as: arc protection and feroresonance protection as well as predictive algorithms for detecting motor damage.

**Keywords:** arc protection, feroresonance protection, predictive algorithms, wave protection.



Rys. 10. Schemat rozważanej sieci elektroenergetycznej rys. W. Chmielak

nicy, sprawiając, że możliwe jest szybkie ponowne przywrócenie zasilania, a także ograniczając konsekwencje i koszty takiego zdarzenia.

Szybka detekcja i skuteczna eliminacja zjawiska ferorezonansu jest szczególnie istotna dla układów elektroenergetycznych – ze względu na możliwość uszkodzenia zainstalowanych w nich przekładników napięciowych oraz kabli, co może prowadzić do zwarć łukowych i znacznie poważniejszych strat. Wbudowanie zabezpieczenia od ferorezonansu w sterownik polowy umożliwia nie tylko większą kontrolę nad działaniem tego zabezpieczenia, ale też pozwala na logiczne powiązanie z innymi zabezpieczeniami. Możliwość rejestracji wykrywanych zdarzeń wystąpienia ferorezonansu, łącznie z zapisem przebiegów prądów i napięć, pozwala na dokładniejszą analizę tego zjawiska i dopasowywanie się z działaniem zabezpieczenia do specyfiki układu, w którym to zjawisko występuje.

Jednostronny układ pomiarowy wraz z urządzeniem pomiarowym implementującym metodę detekcji zwarć na podstawie fal wielokrotnie odbitych, propagujących się liniami SN, może zostać zastosowany w rozdzielnicach SN w celu wydłużenia ich czasu życia, zmniejszenia strat materiałowych, finansowych i procesowych, będących następstwem zwarć występujących w liniach elektroenergetycznych SN. Wdrożenie jednostronnego układu pomiarowego wraz z metodą detekcji, będącego przedmiotem wynalazku, jest mniej skomplikowane i tańsze w porównaniu do układów dwustronnych. Wynalazek pozwala na poprawę bezpieczeństwa zasilania obiektu, w którym został zainstalowany, ochronę aparatury rozdzielczej jak również poprawę bezpieczeństwa obsługi i osób przebywających w pobliżu urządzeń ruchu elektrycznego.

\* \* \*

W artykule zaprezentowano wyniki badań przemysłowych i prac rozwojowych zrealizowanych przez firmę Elektrometal Energetyka S.A. w ra-

mach projektu „Budowa zintegrowanych systemów wspomagających i optymalizujących prace oraz bezpieczeństwo rozdzielnic SN”. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Osi Priorytetowej I „Wykorzystanie działalności badawczo-rozwojowej w gospodarce” Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014–2020.

### Literatura

1. B. Koch, J. Maksymiuk, Łukoodporność rozdzielnic osłoniętych i symulacja zwarć łukowych, OWPW, Warszawa 2007.
2. IEEE 1584-2018 IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations.
3. PN-EN 62271-200:2012 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza. Część 200: Rozdzielnice prądu przemiennego w osłonach metalowych na napięcie znamionowe powyżej 1 kV do 52 kV włącznie.
4. J. Maksymiuk, Niezawodność maszyn i urządzeń elektrycznych, OWPW, Warszawa 2003.
5. W. Chmielak, Łukoodporność rozdzielnic w osłonie metalowej, „Wiadomości Elektrotechniczne” R. 90, nr 2/2022.
6. M. Pawłowski, Ferorezonans w układach pomiarowych sieci zasilających, „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa” nr 8 (486) 2011.
7. P. Suchorolski, Ferorezonans w sieciach średnich napięć jako zagrożenie dla poprawnej pracy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, Wiadomości Elektrotechniczne” 1(9):37-46.
8. J. Karolak, J. Przybysz, J. Wiśniewski, Zjawiska ferorezonansowe w sieciach elektroenergetycznych wysokiego napięcia, „Przegląd Elektrotechniczny” R 93, nr 11/2017.
9. D. Sajewicz, D. Rybak, T. Klonowski, Zabezpieczenia eliminacyjne w urządzeniach EAZ, metoda falowa detekcji zwarć występujących w liniach SN, „Wiadomości Elektrotechniczne” R. 91, nr 5/2023.

**Elektrobud P.S.A.**

67-400 Wschowa, ul. Nowopolna 10  
tel. 65 547 66 00, faks 65 547 66 09  
wschowa@elektrobud.pl  
www.elektrobud.pl

**Elektrometal Energetyka SA**

02-830 Warszawa, ul. Mazura 18A  
tel. 22 350 75 50, faks 22 350 75 51  
eaz@elektrometal-energetyka.pl  
www.elektrometal-energetyka.pl

**IMEFY GROUP**

53-332 Wrocław  
MidPoint 71, ul. Powstańców Śląskich 9  
tel. +48 746 64 05 52  
transformatory@imefy.com  
www.imefy.com.pl

**Producent Rozdzielnic Elektrycznych Edward Biel**

Piekary 363  
32-060 Liszki k. Krakowa  
tel./faks 12 429 73 43  
biuro@prebiel.pl  
www.prebiel.pl

**Redakcja elektro.info**

04-112 Warszawa, ul. Karczewska 18  
tel. 22 810 65 61, faks 22 810 27 42  
redakcja@elektro.info.pl  
www.elektro.info.pl

