

- Sekcja Producentów Aparatury Elektrycznej,  
Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji

# Bezpieczeństwo instalacji fotowoltaicznych PV

na etapie projektowania i w czasie eksploatacji

Fotowoltaika - pozyskiwanie energii elektrycznej prądu stałego DC z energii słonecznej - jest obecnie jedną z najbardziej rozwijających się dziedzin elektrotechniki. Elektrownie fotowoltaiczne PV wymagają precyzyjnego zabezpieczenia od przeciążeń, zwarców oraz od przepięć. Do tego celu służą specjalne bezpieczniki topikowe 1-szego poziomu oraz 2-go poziomu o charakterystyce gPV przeznaczone do obwodów prądu stałego (DC) oraz ograniczniki przepięć specjalne również na napięcie stałe DC.

Instalacja fotowoltaiczna PV jest instalacją specjalną, ponieważ:

- Jest obwodem prądu stałego DC, a jego napięcie sięga niejednokrotnie poziomu średniego 1500 V. Prąd stały DC jest mniej szkodliwy dla zdrowia w przypadku porażenia, ale bardziej niebezpieczny w przypadku zwarców. W momencie powstania jakiegokolwiek uszkodzenia izolacji instalacji czego skutkiem może być zwarcie, wtedy pali się łuk elektryczny, którego wartość energetyczna (cieplina) jest stała w czasie, co sprawia, że trudniej taki łuk zgasić w przeciwieństwie do łuku elektrycznego powstałego w obwodzie prądu przemiennego AC.
- Istnieje silna zależność napięcia wyjściowego (modułu nieobciążonego - otwartego)  $U_{oc}$ , mocy znamionowej  $P_{mpp}$  oraz prądu

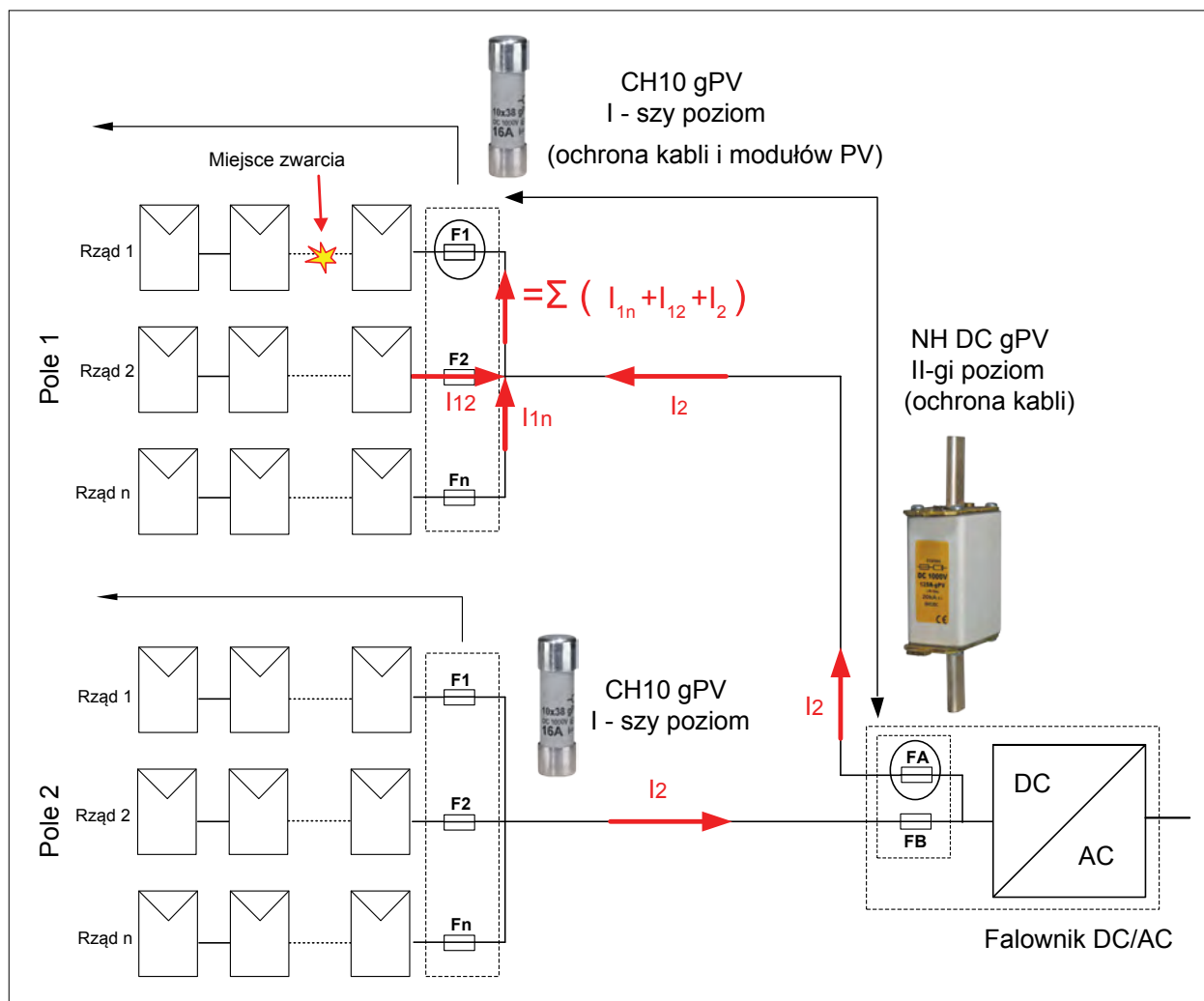
zwarcowego  $I_{sc}$  modułów fotowoltaicznych PV od panujących warunków zewnętrznych jak: temperatura, nasłonecznienie, zacinienie, pory dnia, itd. Zmienność parametrów elektrycznych modułów fotowoltaicznych PV przy zmianie ich temperatury o 1°C jest określona współczynnikami temperaturowymi - napięcia  $U_{oc}$ , mocy  $P_{mpp}$  oraz prądu  $I_{sc}$ , podawanymi przez producenta modułów PV w ich kartach katalogowych.

- Krotność prądu obciążenia modułu fotowoltaicznego od 1,15  $I_n$  - 1,20  $I_n$  jest już prądem zwarcowym, ale nie jest prądem udarowym, który mógłby zniszczyć moduł fotowoltaiczny PV. W momencie pojawienia się prądu zwarcowego  $I_{sc}$ , zwarty moduł fotowoltaiczny nie wytwarza energii i cała instalacja fotowoltaiczna PV

pracuje przy mniejszej wydajności obniżając jej efekt ekonomiczny.

- Jest narażona na wszelkie przepięcia atmosferyczne i łączeniowe. Typowe prosumenckie instalacje fotowoltaiczne, a głównie moduły PV oraz falowniki są aparatami o niskiej wytrzymałości przepięciowej i odporności na prądy udarowe. Najczęściej łącznie z zewnętrzną instalacją odgromową (LPS - ang. *Lightning Protection System*), której zadaniem jest przyjęcie wyładowania atmosferycznego i odprowadzenie prądu wyładowczego do uziemienia. Obecność zewnętrznej instalacji odgromowej (LPS) na budynku wymaga jednak zastosowania bardziej zaawansowanej ochrony przeciwprzepięciowej.

Schemat elektryczny typowej instalacji fotowoltaicznej jest pokazany na rys. 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat elektryczny typowej instalacji fotowoltaicznej PV

Taką instalację stanowi zestaw połączonych szeregowo modułów fotowoltaicznych PV (rzędów), w których można uzyskać napięcie wyjściowe sumaryczne  $U_{oc}$  układu do 1500 V DC.

Natomiast rzędy modułów fotowoltaicznych PV są połączone ze sobą równolegle. Ich liczba decyduje o mocy całkowitej  $P_{mpp}$  instalacji fotowoltaicznej. Wszystkie rzędy modułów fotowoltaicznych są przyłączone do falownika DC/AC, którego zadaniem jest przekształcenie prądu stałego DC na prąd przemienny AC o częstotliwości sieciowej 50 Hz i taki prąd zasila instalację budynku oraz publiczną sieć elektroenergetyczną.

### Ochrona przed przeciążeniem i zwarciami instalacji fotowoltaicznej PV

W instalacji fotowoltaicznej może dojść do zwarcia pomiędzy przewodami łączącymi moduły PV, co powoduje przepływ prądu zwarciovego  $I_{sc}$  wstecznego o dużej wartości, będącego zwykle sumą prądów pochodzących z innych łańcuchów modułów PV połączonych równolegle. Sytuacja ta jest pokazana na rys. 1 (czerwone strzałki). Ponadto uszkodzenie wewnętrzne falownika DC/AC może spowodować przepływ prądu zwarciovego  $I_{sc}$  (którego źródłem

może być również publiczna sieć elektroenergetyczna) przez układ modułów fotowoltaicznych PV. W celu uniknięcia powyższych zagrożeń, w instalacjach PV stosuje się dwa poziomy ochrony za pomocą bezpieczników o charakterystyce czasowo-prądowej gPV, a mianowicie:

- **Poziom I-szy bezpieczników topikowych cylindrycznych CH10 gPV DC** - stosuje się do wyłączenia prądów zwarciovych  $I_{sc}$  w obwodzie modułów fotowoltaicznych PV, za pomocą specjalnie zaprojektowanych i zbadanych bezpieczników topikowych cylindrycznych CH10 gPV (F1, F2

...Fn na rys. 1). Bezpieczniki te posiadają specjalną charakterystykę czasowo-prądową gPV przypominającą charakterystykę gR bezpieczników Ultra-Quick do zabezpieczania elementów półprzewodnikowych. Aby prawidłowo dobrać bezpieczniki topikowe CH10 DC do zabezpieczenia łańcucha modułów PV, należy wyznaczyć napięcie znamionowe  $U_n$  tego bezpiecznika i jego prąd znamionowy  $I_n$ . W tym celu trzeba wykorzystać dane katalogowe - znamionowy prąd zwarcia  $I_{sc}$  modułu PV i jego napięcie obwodu otwartego  $U_{oc}$  oraz liczbę szeregowo połączonych modułów PV w jednym rzędzie, dzięki czemu wyznaczymy sumaryczne napięcie obwodu otwartego  $U_{ocr}$  całego rzędu. Następnie napięcie to mnożymy przez współczynnik **1,2** i otrzymujemy najmniejsze napięcie znamionowe  $U_{nb}$  wymaganej wkładki topikowej -  $U_{nb} = 1,2 \times U_{ocr}$ . Należy dobrać wkładkę topikową cylindryczną CH10 gPV o napięciu znamionowym  $U_n$  wyższym, najbliższym do wyliczonego. W celu wyznaczenia prądu znamionowego  $I_n$  tej wkładki topikowej, należy pomnożyć znamionowy prąd zwarcia  $I_{sc}$  modułu PV przez współczynnik **1,4** zgodnie z zależnością -  $I_{nb} = 1,4 \times I_{sc}$ . Również należy dobrać wkładkę topikową cylindryczną CH10 gPV o prądzie znamionowym  $I_n$  wyższym, najbliższym do wyliczonego. Stosując powyższe współczynniki **1,2** i **1,4** dodajemy pewną rezerwę (20% i 40%) dla prądu i napięcia znamionowego bezpiecznika, dzięki czemu jego parametry nie zostaną nigdy przekroczone poprzez wzrost prądu  $I_{sc}$  lub napięcia  $U_{oc}$  na skutek zmian warunków zewnętrznych (pogodowych) pracy instalacji fotowoltaicznej.

Wg zaleceń normy PN-EN 61730-2, gdy w instalacji PV występują tylko 2 rzędy modułów fotowoltaicznych PV, to nie ma po-

trzeby stosowania bezpieczników cylindrycznych CH gPV do ich zabezpieczenia. W przypadku występowania większej liczby niż dwóch równolegle połączonych rzędów modułów PV, to dobraną wkładkę topikową CH10 gPV należy zastosować zarówno w biegunie „+” (plus), jak i „-” (minus) wszystkich rzędów modułów fotowoltaicznych PV. Jednak z punktu widzenia bezpieczeństwa w obwodach prądu stałego DC, zaleca się stosowanie bezpieczników topikowych cylindrycznych również w jednym, jak i w drugim rzędzie modułów PV.

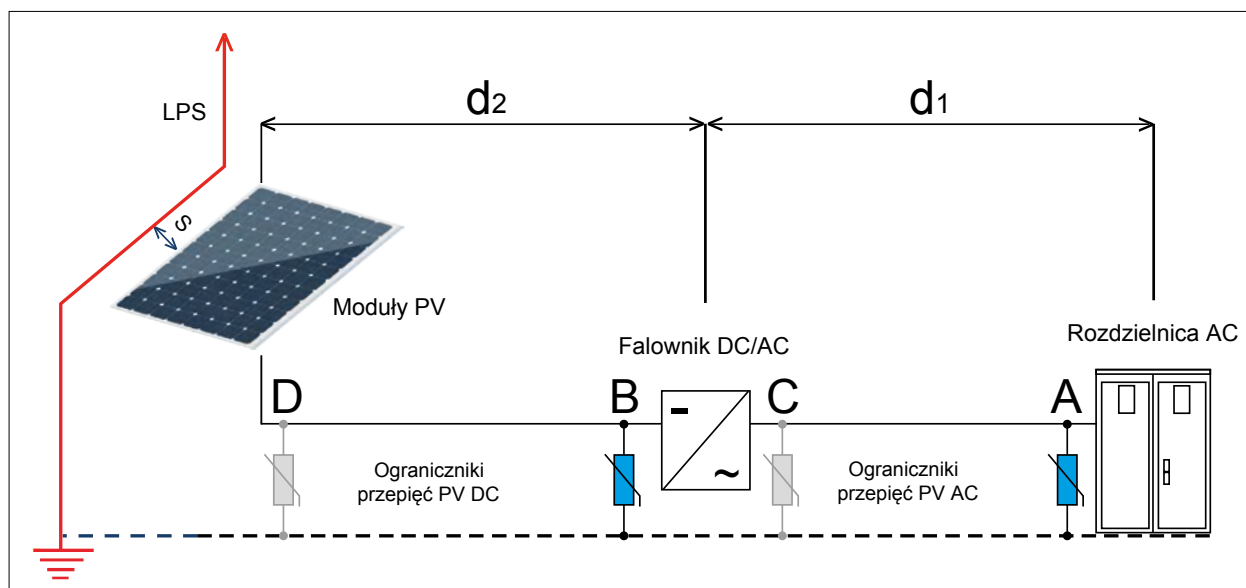
## ■ 2. Poziom II-gi bezpieczników topikowych NH DC

- zabezpieczenie główne NH DC (FA, FB na rys. 1). jest zwykle umiejscowione w pobliżu zacisków wejściowych falownika DC/AC i jest elektrycznie połączone z bezpiecznikami I-szego poziomu. Wkładki topikowe **NH gPV DC** są przystosowane do prądu stałego na napięcie znamionowe DC od 750 V do 1500 V i umieszczone w podstawach bezpiecznikowych lub rozłącznikach, które umożliwiają bezpieczne i szybkie odłączenie przekształtnika od modułów PV i całego obwodu prądu stałego DC (należy podkreślić, że podstawy bezpiecznikowe nie mogą być stosowane do rozłączania obwodów, w tym celu mogą być stosowane jedynie rozłączniki lub wyłączniki nadprądowe). Stosowane są głównie w dużych farmach fotowoltaicznych, gdzie istnieje duża liczba rzędów modułów PV połączonych równolegle i gdzie występują długie odcinki kabli łączących je z falownikiem DC/AC. Aby prawidłowo dobrać bezpieczniki NH gPV DC do zabezpieczenia głównego obwodów prądu stałego DC, należy również wyznaczyć napięcie znamionowe  $U_n$  tego bezpiecznika i jego prąd znamionowy  $I_n$ . W tym celu należy również wykorzystać dane katalogowe - znamionowy prąd zwarcia  $I_{sc}$  modułu

PV i jego napięcie znamionowe obwodu otwartego  $U_{oc}$ , liczbę wszystkich zastosowanych modułów PV oraz liczbę rzędów modułów PV połączonych równolegle, dzięki czemu wyznaczymy sumaryczne napięcie  $U_{ocr}$  obwodu otwartego całego rzędu. Następnie napięcie to mnożymy przez współczynnik **1,2** i otrzymujemy najmniejsze napięcie znamionowe  $U_{nb}$  wymaganej wkładki topikowej -  $U_{nb} = 1,2 \times U_{ocr}$ . Należy dobrać wkładkę topikową nożową NH DC gPV o napięciu znamionowym  $U_n$  wyższym, najbliższym do wyliczonego. W celu wyznaczenia prądu znamionowego  $I_n$  tej wkładki topikowej, należy pomnożyć znamionowy prąd zwarcia  $I_{sc}$  modułu PV przez współczynnik **1,5** zgodnie z zależnością -  $I_{nb} = 1,5 \times I_{sc}$ . Również należy dobrać wkładkę topikową nożową NH DC gPV o prądzie znamionowym  $I_n$  wyższym, najbliższym do wyliczonego. Bezpieczniki NH DC gPV montuje się w rozłącznikach bezpiecznikowych DC lub podstawach bezpiecznikowych NH i instaluje się zarówno w biegunie „+” jak i w biegunie „-” obwodu DC przed przekształtnikiem DC/AC (rys. 1). Jeżeli jeden z biegunów obwodu DC przekształtnika jest uziemiony, wtedy bezpiecznik NH DC gPV instaluje się tylko w jednym niezziemionym biegunie.

## Ochrona przed przebiegiem instalacji fotowoltaicznej PV

Jak już wcześniej wspomniano, instalacje fotowoltaiczne PV zawierają zazwyczaj urządzenia i aparaty o niskiej wytrzymałości przebiegiowej i odporności na prądy udarowe. Moduły PV umieszczone na zewnątrz obiektu - najczęściej na dachu, narażone są na przebiegi spowodowane bliskimi wyładowaniami atmosferycznymi, przebiegi łączeniowe i wnikanie prądu wyładowczego do wnętrza budynku.



Rys. 2. Rozmieszczenie ograniczników napięć w instalacji fotowoltaicznej po stronie DC i AC

W zależności od ich położenia, moduły fotowoltaiczne PV powinny być chronione przed bezpośrednim wyładowaniem atmosferycznym za pomocą zewnętrznej instalacji odgromowej (LPS).

Ochronę instalacji fotowoltaicznej PV przed przepięciami zapewniają ograniczniki napięć (SPD) przeznaczone do obwodów prądu stałego DC, posiadające katalogowy parametr Typ 1+Typ 2 lub Typ 2, który charakteryzuje rodzaj testu odpowiednim prądem wyładowczym jakim te ograniczniki były poddane w laboratorium i jaką funkcję pełnią w chronionej instalacji. Ograniczniki napięć Typ 1+Typ 2 są testowane prądem udarowym  $I_{imp}$  (piorunowym) o określonej wartości, który odpowiada bezpośrednio wyładowaniu atmosferycznemu w obiekt budowlany, a ograniczniki T2 są testowane prądem wyładowczym - znamionowym  $I_n$  odpowiadającym pośredniemu wyładowaniu atmosferycznemu lub wyładowaniu w dalszej odległości od obiektu.

Ograniczniki napięć Typ 1+Typ 2 przeznaczone są do montażu w instalacji obiektu wyposażonego w zewnętrzną instalację odgromową (LPS), natomiast ograniczniki Typ 2 są przeznaczone do instalacji w obiektach bez zewnętrznej instalacji odgromowej (LPS) lub z zewnętrzną

instalacją odgromową przy zachowaniu bezpiecznych odstępów separacyjnych między elementami instalacji PV, a LPS. Aby ograniczniki prawidłowo spełniały swoją rolę ochronną w instalacji fotowoltaicznej muszą zostać prawidłowo dobrane i rozmieszczone w chronionej instalacji PV.

Tak jak w przypadku doboru zabezpieczenia przetężeniowego, również w przypadku doboru ogranicznika napięć do zabezpieczenia łańcucha modułów PV, należy wyznaczyć jego znamionowe napięcie pracy długotrwałej  $U_c$  oraz znamionowy prąd wyładowczy  $I_{imp}$  lub  $I_n$ . W tym celu trzeba wykorzystać dane katalogowe - znamionowy prąd zwarcia  $I_{sc}$  modułu PV i jego napięcie obwodu otwartego  $U_{oc}$  oraz liczbę połączonych modułów PV w jednym rzędzie, dzięki czemu wyznaczymy sumaryczne napięcie obwodu otwartego  $U_{ocr}$  całego rzędu.

Wg normy PN-EN 61643-31 oraz wg zaleceń większości producentów ograniczników napięć (SPD) wymagane znamionowe napięcie pracy długotrwałej  $U_c$  ogranicznika do zabezpieczenia całego rzędu ograniczników wylicza się z zależności:  $U_c \geq 1,2 \times U_{ocr} \times N$ , gdzie  $N$  - oznacza liczbę modułów PV połączonych szeregowo w jednym rzędzie,  $1,2$  - współczynnik identyczny jak przy

doborze wkładek topikowych cylindryczny CH10 gPV. Należy dobrać ogranicznik napięć DC o napięciu znamionowym  $U_c$  wyższym, najbliższym do wyliczonego, bowiem napięcie obwodu otwartego (nieobciążonego)  $U_{ocr}$  całego rzędu nie może przekraczać znamionowego napięcia pracy długotrwałej  $U_c$  dobrego ogranicznika.

W przypadku kiedy nie została przeprowadzona analiza ryzyka oraz rozplywu prądów wyładowczych (zgodnie z normą PN-EN 62305-2) w chronionym obiekcie, należy przyjąć dla dobieranego ogranicznika znamionowy prąd wyładowczy  $I_{imp} = \min. 12,5 \text{ kA}$  (dla ogranicznika Typ 1+ Typ 2) oraz prąd znamionowy  $I_n = \min. 5 \text{ kA}$  (dla ogranicznika Typ 2). Następnie trzeba określić miejsca zainstalowania dobranych ograniczników napięć w instalacji fotowoltaicznej. Tą kwestię również reguluje wcześniej wymieniona norma PN-EN 61643-31 wg schematu przedstawionego na rys. 2.

Aby prawidłowo zainstalować dobrane ograniczniki napięć należy rozpatrzyć co najmniej 2 przypadki:

- **Gdy instalacja fotowoltaiczna jest zamontowana na obiekcie bez zewnętrznej instalacji odgromowej (LPS) lub z zewnętrzną instalacją odgromową przy**

### zachowaniu bezpiecznych odstępów separacyjnych między elementami instalacji PV a LPS.

Wtedy punktach **A i B** (pokazanych na rys. 2), czyli przed falownikiem i przed rozdzielnicą AC należy zamontować ogranicznik przepięć Typ 2 bez względu na odległość  $d_1$  - pomiędzy falownikiem, a modułami PV po stronie AC i  $d_2$  - pomiędzy falownikiem, a rozdzielnicą główną po stronie DC.

Jeżeli odległość  $d_1 > 10m$ , to w punkcie **C** (przy falowniku) należy dodatkowo zamontować ogranicznik Typ 2.

Jeżeli odległość  $d_2 > 10m$ , to w punkcie **D** (przy modułach PV) należy dodatkowo zamontować ogranicznik Typ 2.

- **Gdy instalacja fotowoltaiczna PV jest zamontowana na obiekcie z zewnętrzną instalacją odgromową (LPS) i nie są zachowane odległości izolacyjne **S** (rys. 2).** Jest to sytuacja, gdy moduły PV zamontowane są na dachu z pokryciem przewodzącym, np. blachodachówką.

Wtedy w punktach **A i B** (pokazanych na rys. 2) należy zamontować ogranicznik Typ 1+Typ 2 bez względu na odległość  $d_1$  i  $d_2$ .

Jeżeli odległość  $d_2 > 10m$  w punkcie **D** (przy modułach PV) należy dodatkowo zamontować ogranicznik Typ 1+Typ 2.

Jeżeli odległość  $d_1 > 10m$  w punkcie **C** (przy falowniku) należy dodatkowo zamontować również ogranicznik Typ 1+ Typ 2.

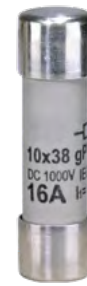
Projektując ochronę przetężeniową i przepięciową instalacji fotowoltaicznej

PV, oprócz wyżej wymienionych zasad, trzeba również dobrać aparaty zabezpieczające renomowanych i znanych producentów, którzy dostarczają aparaty najwyższej jakości, spełniające deklarowane parametry i w pełni gwarantują bezpieczeństwo działania instalacji fotowoltaicznej PV. Kierowanie się tylko niską ceną zakupu jest bardzo zgubne. Konsekwencjami zastosowania tanich urządzeń o niskiej jakości mogą być: awarie instalacji, uszkodzenia urządzeń, pożary rozdzielnic, pożary budynków. Stosowanie urządzeń niskiej jakości stwarza więc poważne ryzyko zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi.

Instytucją, która od wielu lat podejmuje działania mające na celu zapobieganie wprowadzaniu na rynek aparatury elektrotechnicznej (zabezpieczającej), do ochrony przeciwporażeniowej, do ochrony przepięciowej oraz aparatury kontrolnej i sterującej), które nie spełniają wymogów norm i standardów technicznych jest Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji (KIGEIT).

W tym celu została powołana wewnętrzna Sekcja Producentów Aparatury Elektrycznej (SPA) skupiająca 8-miu renomowanych europejskich producentów aparatów i urządzeń elektrycznych niskiego napięcia, której zadaniem jest walczyć z zalewającymi polski rynek produktami z zakresu: aparatury zabezpieczającej, ochrony przeciwporażeniowej, ochrony przepięciowej oraz aparatury kontrolnej i sterującej, które nie spełniają wymogów jakościowych, norm i standardów technicznych.

W ramach wspólnej inicjatywy SPAE i KIGEIT przy współpracy z niezależnym, akredytowanym laboratorium Biura Badawczego ds. Jakości (BBJ - Lublin) zlecono przebadanie 25 próbek ograniczników przepięć Typ 1 lub Typ 1+ Typ 2



CH 10x38 gPV  
16A 1000V  
(10kA)

NH1-1000V-DC



niemal wszystkich producentów obecnych na rynku polskim. Badanie miało na celu sprawdzenie produktów pod kątem ich zgodności z wymaganiami norm oraz deklarowanymi przez producentów parametrami technicznymi.

Niestety, wyniki badania wykazały, że 14 spośród 25 zgłoszonych ograniczników przepięć różnych firm nie spełnia przynajmniej jednego punktu normy PN-EN 61643-11:2013. Wady ograniczników były różne, od podania błędnych danych na ograniczniku, wprowadzenie w błąd użytkownika, do eksplozji w trakcie badania prądem wyładowczym  $I_{imp}$  (piorunowym) niższym niż deklarowany (6 produktów eksplodowało).

Powyższe wyniki badań, wraz z opinią Laboratorium Biura Badawczego BBJ w Lublinie, zostały przekazane do UOKiK (Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumentów), jako organu nadzorującego rynek i bezpieczeństwo produktów. Urząd podjął działania mające na celu usunięcie nieprawidłowości lub wyeliminowanie produktów z naszego rynku. □

Więcej na temat sekcji SPAE można przeczytać na stronie internetowej KIGEIT <http://www.kigeit.org.pl> w zakładce Sekcje/SPA.

#### Literatura:

1. Norma PN-EN 61730-2:2018 - Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV) - Część 2: Wymagania dotyczące badań.
2. Norma PN-HD 60364-7-712:2016 Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 7-712: Wymagania dotyczące specjalnych instalacji lub lokalizacji - Fotowoltaiczne (PV) układy zasilania.
3. PN-EN 61643-31:2019 Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia - Część 31: Wymagania i metody badań dla SPD instalacji fotowoltaicznych
4. Norma PN-EN 60904-3:2019 - Elementy fotowoltaiczne - Część 3: Zasady pomiaru elementów fotowoltaicznych (PV) do zastosowań naziemnych z wykorzystaniem wzorcowej charakterystyki widmowej promieniowania słonecznego.
5. Alarmujący stan ochrony przepięciowej. Jaka jest naprawdę jakość ograniczników przepięć? - Stefan Kamiński, Marek Tabaka. Rynek Elektryczny 07-07-2023.