

dr inż. Marek Gała, adiunkt, Politechnika Częstochowska,  
Wydział Elektryczny Instytutu Telekomunikacji i Kompatybilności Elektromagnetycznej

# Ciągłość zasilania jako podstawowe kryterium jakości dostaw energii elektrycznej

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z ciągłością dostaw energii elektrycznej do jej odbiorców. Przedstawiono rodzaje zaburzeń wartości skutecznej napięcia ze szczególnym uwzględnieniem zapadów napięcia i przerw w zasilaniu oraz wskazano przyczyny ich powstawania, jak również ich wpływ na pracę wybranych odbiorników energii elektrycznej. Zdefiniowano również podstawowe wskaźniki charakteryzujące czas trwania oraz częstotliwość występowania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej oraz przedstawiono wyniki analizy ciągłości zasilania odbiorców w poszczególnych krajach europejskich, jak również wyniki analizy ciągłości dostaw energii elektrycznej w sieciach dystrybucyjnych największych operatorów OSD w Polsce.

Jakość dostaw energii elektrycznej wyrażana jest poprzez: zbiór parametrów charakteryzujących jakość samej energii elektrycznej, wskaźniki określające ciągłość dostarczania energii elektrycznej do jej odbiorców oraz sposób obsługi odbiorców przez

przedsiębiorstwa energetyczne. Jakość energii elektrycznej kategoryzowana jest na podstawie pomiarów wartości chwilowych napięcia oraz katalogu parametrów określonych na ich podstawie. Do zbioru parametrów, których wartości determinują szeroko

rozumiane pojęcie jakości energii elektrycznej należą: wartość średnia częstotliwości napięcia, wartość skuteczna napięcia zasilającego, asymetria napięcia, harmoniczne, subharmoniczne, interharmoniczne oraz wahania napięcia [4, 6]. Odrębną kategorię sta-

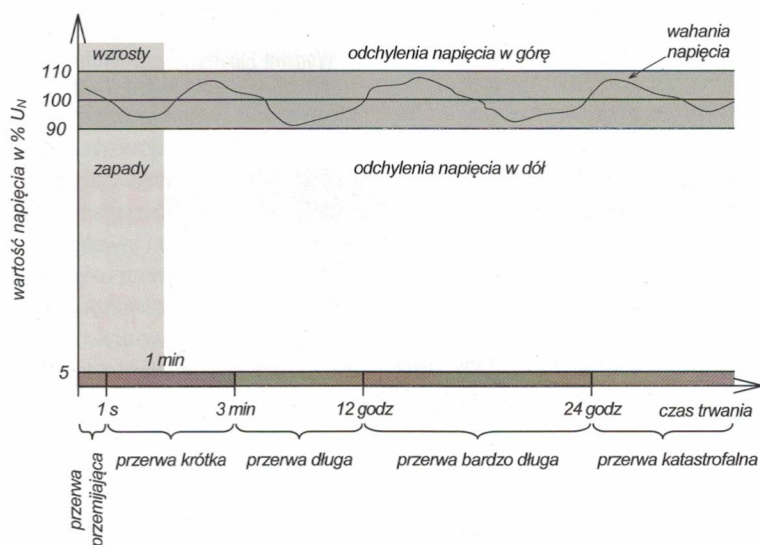


Fot. PIXABAY.COM

nowią parametry charakteryzujące ciągłość zasilania oraz zaburzenia związane ze zmianą wartości skutecznej napięcia. Ustawa - Prawo energetyczne [17] zobowiązuje przedsiębiorstwa sieciowe do zapewnienia wymaganej niezawodności dostarczania energii elektrycznej spełniającej określone parametry jakościowe. Zbiór parametrów określających jakość energii elektrycznej oraz ich dopuszczalne wartości dla odbiorców zakwalifikowanych do poszczególnych grup przyłączeniowych został określony w rozporządzeniu systemowym [12]. Istotną rolę w katalogu tych parametrów odgrywiają przerwy w zasilaniu, które zostały sklasyfikowane w zależności od czasu ich trwania. Jednakże obowiązujące przepisy nie uwzględniają okoliczności występowania zapadów oraz wzrostów napięcia, jak również nie definiują wskaźników charakteryzujących częstość ich występowania oraz częstość występowania przerw przemijających. Zaburzenia te mają jednak bezpośredni i wyjątkowo istotny wpływ na prawidłową pracę odbiorników energii elektrycznej, szczególnie wszelkiego rodzaju urządzeń energoelektronicznych, mikroprocesorowych i układów sterowania i regulacji, a także na bezpieczeństwo związane z użytkowaniem tych urządzeń (np. w ochronie zdrowia, transporcie, etc.) i zapewnienie ciągłości procesów technologicznych. Ich występowanie jest w niewielkim stopniu przewidywalne i najczęściej związane ze zjawiskami występującymi poza instalacją samego odbiorcy [4, 6, 15, 18].

### ■ Zmiany wartości skutecznej napięcia

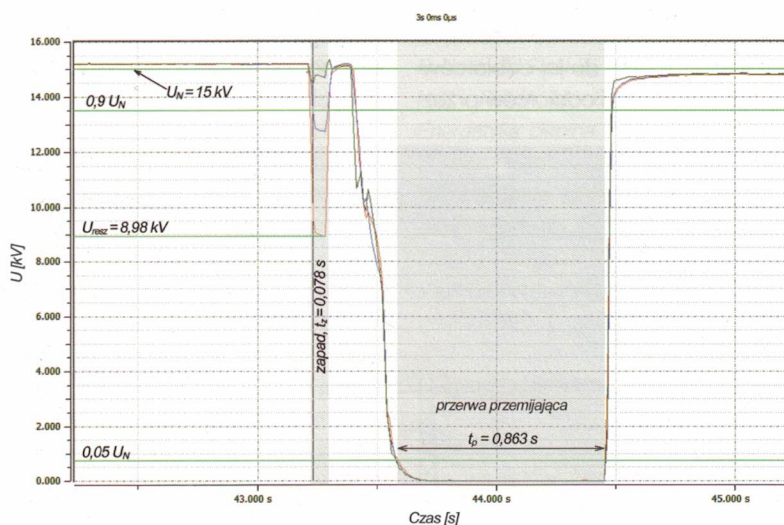
Wśród możliwych zmian wartości skutecznej napięcia zasilającego wymienić należy: odchylenia napięcia, wzrosty napięcia, zapady, wahania napięcia, pojedyncze zmiany napięcia oraz przerwy w zasilaniu kategoryzowane szczegółowo w zależności od czasu ich trwania - rys. 1.



Rys. 1. Rodzaje zaburzeń wartości skutecznej napięcia

Zapady napięcia stanowią nagłe zmniejszenie napięcia w sieci elektroenergetycznej poniżej określonej wartości progowej, zakończone powrotem napięcia do wartości bliskiej lub równej wartości początkowej, przy czym czas trwania zapadu wynosi od ponad 10 ms do 1 min. W przypadku zmniejszenia napięcia trwającego dłużej niż 1 min., zdarzenie klasyfikowane jest jako odchylenie napięcia w dół. Zgodnie z normą PN-EN 50160 [9] przyjmuje się wartość progową wynoszącą 90% wartości skutecz-

nej napięcia deklarowanego, natomiast zmniejszenie napięcia poniżej 5% wartości skutecznej napięcia deklarowanego traktowane jest jako przerwa w zasilaniu. Zapady napięcia charakteryzowane są czasem ich trwania oraz napięciem resztkowym lub amplitudą zapadu. Czas trwania zapadu liczony jest od chwili, w której napięcie zasilające zmaleje poniżej wartości progowej (początek zapadu) aż do chwili, kiedy wzrastając przekroczy ono wartość progową (koniec zapadu). Napięcie resztkowe zapadu stanowi mi-



Rys. 2. Zmiana wartości skutecznej napięć międzyfazowych podczas zapadu oraz przerwy przemijającej w sieci SN o napięciu znamionowym 15 kV

nimalną wartość skuteczną napięcia określoną podczas zapadu, natomiast amplituda zapadu definiowana jest jako różnica pomiędzy napięciem odniesienia (najczęściej znamionowym lub deklarowanym) a napięciem resztkowym.

Na rys. 2 przedstawiona została przykładowa charakterystyka zmian wartości skutecznej napięć międzyfazowych podczas zapadu o czasie trwania  $t_z = 0,078$  s i napięciu resztkowym  $U_{resz} = 8,98$  kV (59,87%  $U_N$ ) oraz przerwy przemijającej o czasie trwania  $t_p = 0,863$  s, zarejestrowana w sieci średniego napięcia o napięciu znamionowym 15 kV.

W rozporządzeniu systemowym [12] określone zostały m.in. rodzaje przerw w dostarczaniu energii elektrycznej wraz ze wskazaniem dopuszczalnych czasów ich trwania dla poszczególnych grup odbiorców. Wprowadzony został także podział wszystkich przerw na dwa rodzaje:

- przerwy planowane - wynikające z programu prac eksploatacyjnych sieci elektroenergetycznej; czas trwania tej przerwy jest liczony od momentu otwarcia wyłącznika do czasu wznowienia dostarczania energii elektrycznej;
- przerwy nieplanowane - spowodowane wystąpieniem awarii w sieci elektroenergetycznej, przy czym czas trwania tej przerwy jest liczony od momentu uzyskania przez przedsiębiorstwo energetyczne zajmujące się przesyłaniem lub dystrybucją energii elektrycznej informacji o jej wystąpieniu do czasu wznowienia dostarczania energii elektrycznej.

Każda przerwa planowana, o której odbiorca nie został powiadomiony we właściwej formie jest traktowana jako przerwa nieplanowana. Ponadto rozporządzenie systemowe nakłada na operatorów systemu dystrybucyjnego obowiązek wyznaczania i przekazywania do publicznej wiadomości wskaźników określających czas trwania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej do jej odbiorców.

Ze względu na czas trwania wyróżnia się następujące rodzaje przerw:

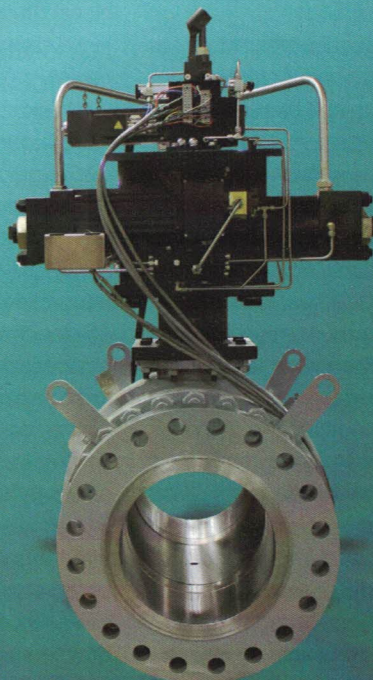
- przemijające (mikroprzerwy), trwające nie dłużej niż 1 sekundę;
- krótkie, trwające dłużej niż 1 sekundę i nie dłużej niż 3 minuty;
- długie, trwające dłużej niż 3 minuty i nie dłużej niż 12 godzin;
- bardzo długie, trwające dłużej niż 12 godzin i nie dłużej niż 24 godziny;
- katastrofalne, trwające dłużej niż 24 godziny.

Poszczególne rodzaje przerw zostały oznaczone na rys. 1.

Dla podmiotów zaliczanych do grup przyłączeniowych I-III i VI dopuszczalny czas trwania jednorazowej przerwy planowanej i nieplanowanej w dostarczaniu energii elektrycznej oraz dopuszczalny łączny czas trwania w ciągu roku kalendarzowego wyłączeń planowanych i nieplanowanych określa umowa o świadczenie usług przesyłania lub dystrybucji albo umowa kompleksowa.

Ponadto dla podmiotów zaliczanych do grup przyłączeniowych IV i V dopuszczalny czas trwania:

- jednorazowej przerwy w dostarczaniu energii elektrycznej nie może przekroczyć w przypadku:
  - przerwy planowanej - 16 godzin,



**extremalnie silne**

**kompaktowe**

**zamontuj i działaj**

**żadnych instalacji hydraulicznych**

**żadnych kompresorów**

**SZYBKOŚĆ**  
nawet 1sek/przesterowanie

**PRECYZJA**  
0,025mm

**SIŁA**  
osiągniemy każdą wielkość siły  
lub momentu obrotowego

**POWTARZALNOŚĆ**  
minimalna martwa strefa  
wysoka sztywność parametrów  
tryb pracy regulacyjnej 100% (non-stop)  
reakcja na zmiany sygnału  
na poziomie 0,1 % (opcja 0,05%)

Kontakt  
Centrum Automatyk Armatury  
ARNAP Sp. z o.o.  
www.arnap.pl  
tel. +48 33 8184004  
fax: +48 33 8194613

–przerwy nieplanowanej - 24 godzin;

- przerw w ciągu roku stanowiący sumę czasów trwania przerw jednorazowych długich i bardzo długich nie może przekroczyć, w przypadku:
  - przerw planowanych - 35 godzin,
  - przerw nieplanowanych - 48 godzin - § 41 ust. 5 rozporządzenia systemowego [12].

Zgodnie z § 41. 3. ww. rozporządzenia operator systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego, w terminie do dnia 31 marca każdego roku, podaje do publicznej wiadomości przez zamieszczenie na swojej stronie internetowej następujące wskaźniki dotyczące czasu trwania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej wyznaczone dla poprzedniego roku kalendarzowego:

- wskaźnik przeciętnego systemowego czasu trwania przerwy długiej i bardzo długiej (SAIDI, ang. *System Average Interruption Duration Index*), wyrażony w minutach na odbiorcę na rok, stanowiący sumę iloczynów czasu jej trwania i liczby odbiorców narażonych na skutki tej przerwy w ciągu roku podzieloną przez łączną liczbę obsługiwanych odbiorców;
- wskaźnik przeciętnej systemowej częstości przerw długich i bardzo długich (SAIFI, ang. *System Average Interruption Frequency Index*), stanowiący liczbę odbiorców narażonych na skutki wszystkich tych przerw w ciągu roku podzieloną przez łączną liczbę obsługiwanych odbiorców;
- wskaźnik przeciętnej częstości przerw krótkich (MAIFI, ang. *Momentary Average Interruption Frequency Index*), stanowiący liczbę odbiorców narażonych na skutki wszystkich przerw krótkich w ciągu roku podzieloną przez łączną liczbę obsługiwanych odbiorców.

Operator systemu dystrybucyjnego zobowiązany jest do podania liczby obsługiwanych odbiorców (na koniec roku kalendarzowego) przyjętej do wyznaczenia wartości ww. wskaźników. Nie

ma znaczenia, czy brak zasilania określonej grupy odbiorców spowodowany jest działaniem podmiotów trzecich, czy też jest zależny lub niezależny od OSD.

Wskaźniki SAIDI i SAIFI wyznacza się oddzielnie dla przerw planowanych i nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych oraz bez uwzględnienia tych przerw.

W przypadku wystąpienia odchyleń napięcia przekraczających wartości dopuszczalne, odbiorcy przysługuje odpowiednia bonifikata, której wysokość zależna jest od wartości odchylenia napięcia od dopuszczalnych wartości granicznych. Również w przypadku niedostarczenia energii elektrycznej do jej odbiorcy, przedsiębiorstwo sieciowe zobowiązane jest do wypłacenia odbiorcy (na jego wniosek) bonifikaty zależnej od wartości napięcia znamionowego sieci, do której jest on przyłączony [13].

Wskaźniki charakteryzujące czas trwania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej do jej odbiorców nie uwzględniają występowania zapadów napięcia oraz przerw przemijających. Występowanie tych zdarzeń nie jest w żaden sposób ograniczone obowiązującymi regulacjami, a mają one jednak szczególnie niekorzystny i bezpośredni wpływ na prawidłową pracę odbiorników energii elektrycznej, w szczególności wszelkiego rodzaju urządzeń energoelektronicznych, komputerowych oraz układów

sterowania i regulacji. Ma to istotny wpływ na poziom bezpieczeństwa związany z użytkowaniem tych urządzeń (np. w ochronie zdrowia, transporcie, etc.) i zapewnieniem ciągłości realizacji procesów technologicznych, bowiem nawet pojedynczy, trwający ułamek sekundy zapad napięcia może spowodować nieprawidłowy stan pracy układu sterowania lub systemu komputerowego, prowadzący do jego restartowania [4].

Badanie jakości energii elektrycznej dostarczanej do odbiorców użytkujących wrażliwe odbiorniki energii elektrycznej wymaga skrupulatnej analizy występowania opisywanych zaburzeń napięcia. Służą temu m.in. sporządzane tabelaryczne zestawienia statystyki ilościowej zapadów napięcia, sporządzane w zależności od głębokości zapadu (wartości napięcia resztkowego) oraz czasu ich trwania, zgodnie ze standardami opracowywanymi przez jednostki lub stowarzyszenia badawcze. Charakterystyki zaburzeń wartości skutecznej napięcia opracowywane są również w postaci graficznej, prezentującej zaznaczony zbiór poszczególnych zdarzeń w zależności od cechujących je napięcia resztkowego oraz czasu trwania zaburzenia, co jednoznacznie daje pogląd o charakterze zidentyfikowanych zdarzeń oraz ewentualnych ich skutkach w postaci nieprawidłowej pracy urządzeń bądź nawet możliwości ich uszkodzenia. Przykładem są m.in.

**Tab. 1. Zestawienie statystyki ilościowej zaburzeń wartości skutecznej napięcia:**  
**a) obniżenie napięcia poniżej wartości znamionowej**

Spadek napięcia U [%]	Czas trwania t [ms]					
	10 ≤ t < 200	200 ≤ t < 500	500 ≤ t < 1000	1000 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000	t ≥ 60000
90 > U ≥ 80	6	0	1	0	0	0
80 > U ≥ 70	0	0	0	0	0	0
70 > U ≥ 40	5	0	2	0	0	0
40 > U ≥ 5	0	0	0	0	0	0
U < 5	0	0	0	0	2	1

**b) wzrost napięcia powyżej wartości znamionowej**

Wzrost napięcia U [%]	Czas trwania t [ms]			
	10 ≤ t < 500	500 ≤ t < 5000	5000 ≤ t < 60000	t ≥ 60000
U ≥ 120	2	0	0	0
120 > U ≥ 110	0	0	0	0

charakterystyka CBEMA (ang. *Computer Business Manufacturers Association*) lub charakterystyka ITIC (ang. *Information Technology Industry Council*). Charakterystyka ITIC została pierwotnie opracowana do badania jednofazowego sprzętu informatycznego o napięciu znamionowym 120 V, 60 Hz, lecz obecnie znajduje szerokie zastosowanie również do oceny zaburzeń napięcia w innych systemach zasilania [6]. Na rys. 3 przedstawiona została przykładowa charakterystyka ITIC wyznaczona na podstawie zmian wartości skutecznej napięcia zasilającego w tygodniowym okresie badania, natomiast w tab. 1 a) i 2 b) przedstawiono odpowiadające tej charakterystyce tabelaryczne zestawienia statystyki ilościowej zaburzeń wartości skutecznej napięcia.

### ■ Skutki występowania zapadów napięcia i przerw w zasilaniu oraz metody ich ograniczania

Na skutek zapadów napięcia i przerw w zasilaniu, odbiorniki energii elektrycznej, które ich doświadczyły przestają prawidłowo funkcjonować lub też w przypadku przerw w zasilaniu nie pracują w ogóle. Generuje to wymierny koszt ekonomiczny bezpośrednio związany z niewłaściwą pracą urządzeń, stratami w materiałach i kosztami przerw w produkcji. Ponadto, potrzeba ograniczenia negatywnych skutków zapadów napięcia i przerw w zasilaniu powoduje konieczność poniesienia kosztów związanych z podjęciem niezbędnych działań i zastosowania właściwych środków

technicznych, które ograniczą ich skutki do akceptowalnego z punktu widzenia ekonomicznego poziomu.

Wśród przyczyn występowania zapadów napięcia wymienić należy procesy związane z załączaniem urządzeń o dużej mocy przyłączonych do sieci. Płynące wówczas prądy rozruchowe są kilkukrotnie większe od prądów roboczych, co wywołuje dodatkowy spadek napięcia, którego wartość uzależniona jest od impedancji zastępczej w punkcie wspólnego przyłączenia. Do głównych przyczyn występowania zapadów napięcia i przerw w zasilaniu należą również zwarcia w sieci elektroenergetycznej.

Przerwy w zasilaniu trwale uniemożliwiają pracę jakichkolwiek odbiorników energii elektrycznej, lecz ich konsekwencje, a zatem i koszty ich występowania

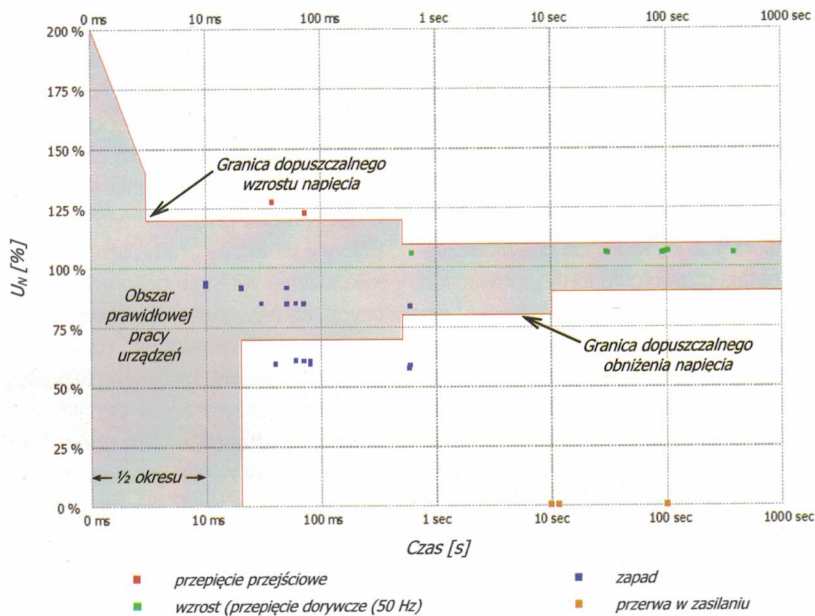


**Przetrwac**  
**w świecie**  
**wielu zagrożeń**

**Aby dowiedzieć się więcej o rozwiązaniach Forcepoint, prosimy o kontakt z Remigiuszem Jankowskim : [remigiusz.jankowski@forcepoint.com](mailto:remigiusz.jankowski@forcepoint.com)**

Więcej informacji na: [www.forcepoint.com](http://www.forcepoint.com)

 **FORCEPOINT**  
POWERED BY Raytheon



Rys. 3. Przykładowa charakterystyka ITIC wyznaczona na podstawie zmian napięcia zasilającego w tygodniowym okresie pomiaru

nia są różne w zależności od kategorii urządzeń doświadczonych przerwami, ich przeznaczenia oraz rodzaju sektora gospodarki, w którym znajdują zastosowanie.

Zapady napięcia, oprócz ich oczywistego negatywnego wpływu na prawidłowe funkcjonowanie wszelkich urządzeń mikroprocesorowych, układów sterowania i regulacji, mogą stanowić przyczynę niewłaściwego działania również innych urządzeń elektrycznych, m.in.: styczników i przekładników - wywołują niekontrolowane ich stany powodujące otwarcie obwodów elektrycznych, wysokoprężnych lamp sodowych - wyłączenie lamp w przypadku wystąpienia przerwy trwającej dwa okresy lub zapadu o napięciu resztkowym 45%  $U_N$ ; silników asynchronicznych oraz napędów regulowanych - redukcja prędkości obrotowej, niewłaściwe funkcjonowanie ich układów sterowania; urządzeń i systemów teleinformatycznych - resetowanie urządzeń, błędy lub brak transmisji wymaganych sygnałów. W tab. 2 przedstawiono przedziały odporności na zapady napięcia wybranych rodzajów urządzeń.

Ograniczając wpływ zapadów napięcia na prawidłowe funkcjonowanie odbiorników energii elektrycznej, najskuteczniejszym rozwiązaniem jest przeprowadzenie właściwych pomiarów jakości energii elektrycznej w sposób zgodny z obowiązującą normą PN-EN 61000-4-30 [10] w miejscu, w którym planowane jest zainstalowanie nowych odbiorników energii elektrycznej oraz dokonanie wyboru takich urządzeń, które charakteryzują się odpowiednim poziomem odporności, adekwatnym do środowiska, w którym mają pracować.

W zakresie redukcji liczby i intensywności zwarć podejmuje się działania mające na celu zapewnienie indywidualne-

go, w miejscu systemu o odpowiednio dużej mocy zwarcia, zasilania odbiorników o dużych mocach jednostkowych, które nie pracują w sposób ciągły, co ogranicza wpływ ich rozruchów na zmiany napięcia w sieci zasilającej. Istotnym sposobem redukcji liczby zwarć oraz przerw w zasilaniu jest podejmowanie wysiłków modernizacyjnych oraz prowadzenie właściwej eksploatacji sieci elektroenergetycznej i stacji transformatorowych, stosowanie skutecznych układów automatyki zabezpieczeniowej i restytucyjnej przez OSD skutkujące ograniczeniem wpływu zdarzeń atmosferycznych, ingerencji zwierząt oraz awarii [4, 5, 6, 7].

Skutki zapadów napięcia oraz częściowo lub w pełni także i skutki przerw w zasilaniu skutecznie ograniczają liczne środki techniczne najczęściej instalowane po stronie odbiorców energii elektrycznej. Najprostszym sposobem ograniczenia skutków zapadów napięcia objawiających się w nieprawidłowej pracy urządzeń elektronicznych i energoelektronicznych jest stosowanie filtrów pojemnościowych oraz stabilizatorów napięcia. Natomiast szeroki katalog środków technicznych służących ww. celom stanowią wszelkiego rodzaju urządzenia i układy zasilania rezerwowego. Należą do nich m.in. dodatkowe linie zasilające zwiększające pewność zasilania odbiorców, energoelektroniczne układy szybkiego przełączania źródeł zasilania, tzw. wirujące układy zasilające (np. silnik Diesla lub turbina gazowa pracująca na wspólnym wale z silnikiem elektrycznym i generatorem AC), agregaty prądotwórcze oraz bezprzerwowe układy zasilania.

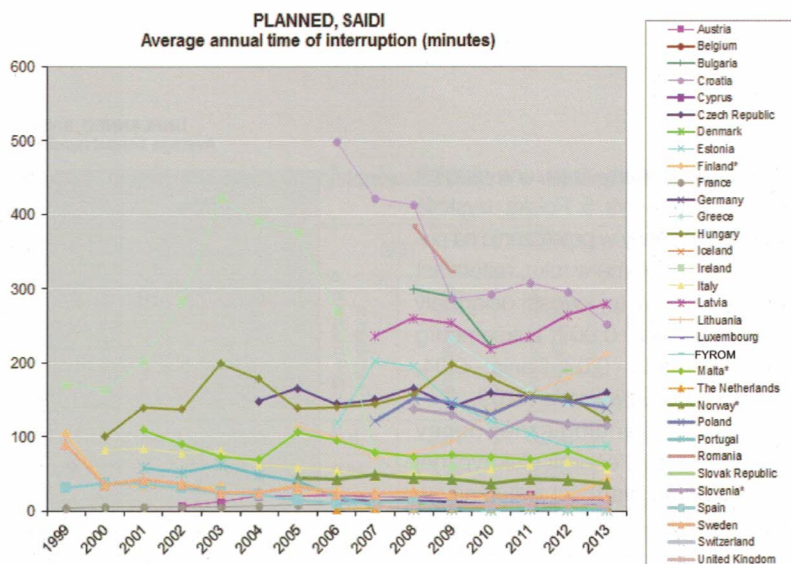
Tab. 2. Przedziały odporności wybranych rodzajów urządzeń [18]

Urządzenie	Przedział odporności		
	Minimalny	Średni	Maksymalny
Sterownik PLC	20 ms, 75%	260 ms, 60%	620 ms, 45%
Karta wejściowa PLC	20 ms, 80%	40 ms, 55%	40 ms, 30%
Napęd AC 3,5 kW	30 ms, 80%	50 ms, 75%	80 ms, 60%
Stycznik AC	10 ms, 75%	20 ms, 65%	30 ms, 60%
Układ rozruchowy silnika	20 ms, 60%	50 ms, 50%	80 ms, 40%
Komputer PC	30 ms, 80%	50 ms, 60%	70 ms, 50%

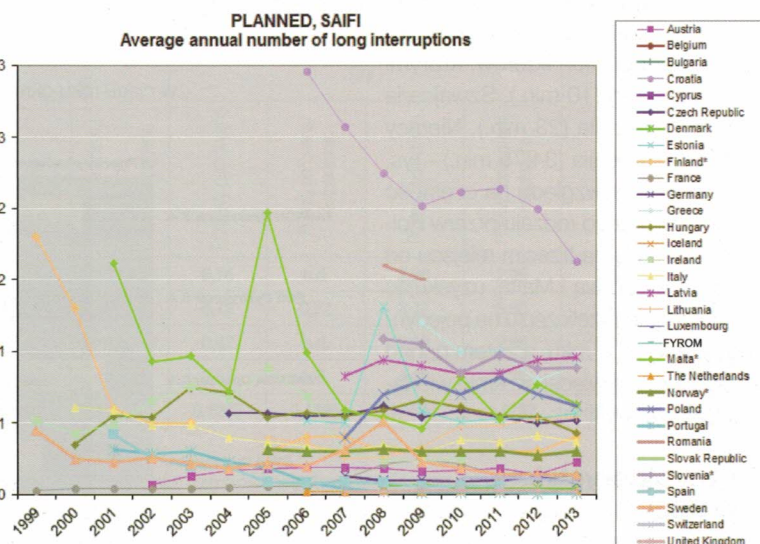
jące UPS (ang. *Uninterruptible Power Supply*), wśród których najsukcesyjniejszą ochronę przed zmianą napięcia zasilającego zapewniają układy typu online, zwane również układami o podwójnej konwersji VFI (ang. *Voltage and Frequency Independent*), pozwalające na regulację wartości i częstotliwości napięcia wyjściowego.

### ■ Ciągłość dostaw energii elektrycznej w Europie

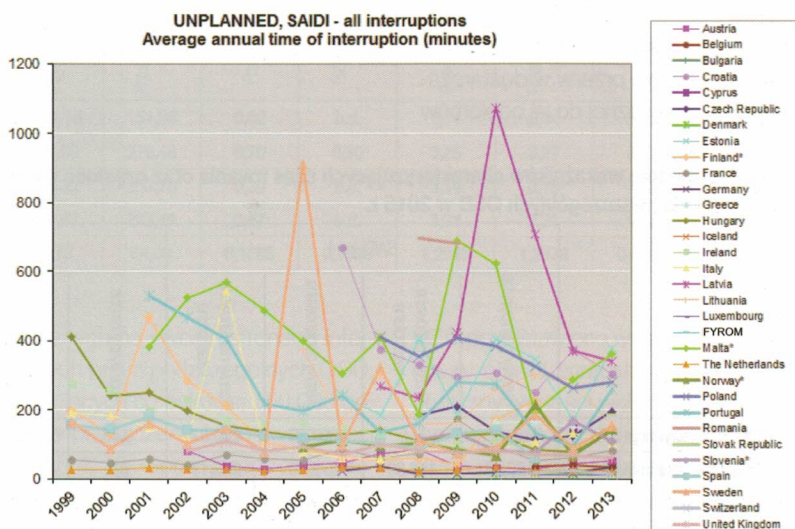
Od ponad piętnastu lat Rada Europejskich Regulatorów Energii (CEER, *The Council of European Energy Regulators*) gromadzi dane oraz analizuje stan ciągłości dostaw energii elektrycznej w krajach europejskich. CEER jest dobrowolnym stowarzyszeniem zrzeszającym regulatorów energetyki głównie z krajów UE (liczy obecnie 29 członków oraz 4 obserwatorów), a celem jej działania jest wspieranie rozwoju konkurencyjnego jednolitego rynku energii i gazu w Europie. W ostatnim raporcie opracowanym przez CEER i opublikowanym w lutym 2015 r. [1] zamieszczone zostały wyniki analizy ciągłości dostaw energii elektrycznej określone na podstawie danych pochodzących z 32 krajów europejskich. Na rys. 4 i 5 przedstawione zostały wartości wskaźników SAIDI i SAIFI wyznaczone na podstawie charakterystyki przerw planowanych. Niestety, Polska na tle pozostałych krajów nie wypada najlepiej, uzyskując w ostatnim z analizowanych lat wartość 139,1 min. w przeliczeniu na pojedynczego odbiorcę w roku. Gorszy wynik uzyskały tylko: Grecja (151 min.), Czechy (159,7 min.), Litwa (212,8 min.) Chorwacja (253,5 min.) i Łotwa (280 min.). Natomiast wśród liderów europejskich wymienić należy chociażby: Luksemburg (0,6 min.), Portugalię (1,46 min.), Danię (4,7 min.), Wielką Brytanię (5,68 min.), Holandię (6,02 min.) i Niemcy (7,23 min.) - rys. 4. Widać zatem, iż Polska uzyskała ponad dziesięciokrotnie większą wartość wskaźnika SAIDI dla przerw planowanych niż liderzy europejscy. Podobnie również w przypadku częstości wystę-



Rys. 4. Czas trwania przerw planowanych w ciągu roku [1]



Rys. 5. Liczba przerw planowanych w ciągu roku [1]



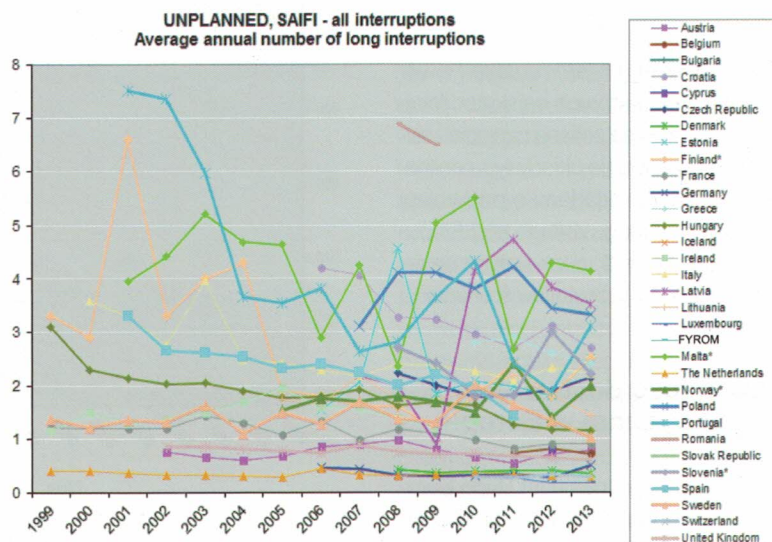
Rys. 6. Czas trwania przerw nieplanowanych w ciągu roku określony z uwzględnieniem zdarzeń nadzwyczajnych [1]

powania planowanych przerw długich i bardzo długich - rys. 5. Polska uzyskała wynik 0,62 przerwy w przeliczeniu na pojedynczego odbiorcę w roku, natomiast kraje wiodące w tej kwestii osiągnęły m.in.: Portugalia - 0,007, Luksemburg - 0,02, Norwegia - 0,03, Dania - 0,04, Niemcy - 0,08, Szwajcaria - 0,09.

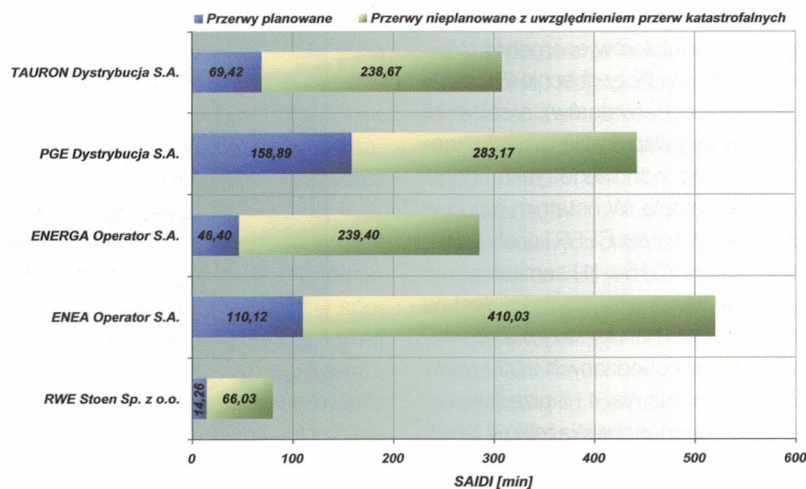
Dokonując analogicznej oceny ciągłości dostaw energii elektrycznej ze względu na wartości wskaźników SAIDI i SAIFI określone na podstawie przerw nieplanowanych w ciągu roku z uwzględnieniem zdarzeń nadzwyczajnych należy stwierdzić, iż również w tym przypadku Polsce (281,8 min.) daleko jest do europejskich liderów, którymi są: Luksemburg (10 min.), Szwajcaria (15 min.), Holandia (23 min.), Niemcy (32,75 min.) i Belgia (34,75 min.) - rys. 6. Natomiast ze względu na częstość występowania tego rodzaju przerw Polska znajduje się na trzecim miejscu od końca, przed Łotwą i Maltą, uzyskując 3,32 przerwy w przeliczeniu na pojedynczego odbiorcę w roku, a zatem ponad dziesięciokrotnie więcej niż kraje wiodące w Europie - rys. 7.

### Charakterystyka ciągłości dostaw energii elektrycznej w sieciach dystrybucyjnych, w Polsce

Analizę czasu trwania oraz częstości występowania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej do jej odbiorców



Rys. 7. Liczba przerw nieplanowanych w ciągu roku określona z uwzględnieniem zdarzeń nadzwyczajnych [1]



Rys. 8. Wartości wskaźnika SAIDI określone dla przerw planowanych oraz przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych dla największych OSD w 2015 r.

Tab. 6. Zestawienie wskaźników charakteryzujących czas trwania oraz częstość występowania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej dla poszczególnych OSD w 2015 r.

OSD	SAIDI [min]				SAIFI				MAIFI	Liczba odbiorców
	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne		
TAURON Dystrybucja S.A.	69,42	b.d.	207,35	238,67	0,46	b.d.	3,08	3,10	3,12	5 332 731
PGE Dystrybucja S.A.	158,89	158,89	272,16	283,17	0,7	0,7	4,01	4,02	5,25	5 263 722
Energa Operator S.A.	46,40	b.d.	213,80	239,40	0,34	b.d.	3,08	3,09	9,48	2 950 595
ENEA Operator S.A.	110,12	b.d.	372,70	410,03	0,51	b.d.	5,35	5,36	5,37	2 460 758
RWE Stoen Sp. z o.o.	14,26	14,26	62,81	66,03	0,17	0,17	1,31	1,31	0,4100	978 628



**Tab. 3. Zestawienie wskaźników charakteryzujących czas trwania oraz częstość występowania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej dla poszczególnych OSD w 2012 r.**

OSD	SAIDI [min]				SAIFI				MAIFI	Liczba odbiorców
	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne		
TAURON Dystrybucja S.A.	164,63	b.d.	197,51	199,78	0,88	b.d.	3,07	3,08	3,60	5 301 511
PGE Dystrybucja S.A.	196,02	196,02	318,09	334,50	0,84	0,84	3,70	3,72	3,97	5 164 746
Energia Operator S.A.	83,70	b.d.	221,10	225,10	0,43	b.d.	3,39	3,39	4,78	2 916 767
ENEA Operator S.A.	133,09	b.d.	356,25	374,68	0,57	b.d.	4,49	4,50	2,11	2 421 074
RWE Stoen Sp. z o.o.	16,04	16,50	58,92	59,73	0,1494	0,1499	1,268	1,2691	0,3657	938 508

**Tab. 4. Zestawienie wskaźników charakteryzujących czas trwania oraz częstość występowania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej dla poszczególnych OSD w 2013 r.**

OSD	SAIDI [min]				SAIFI				MAIFI	Liczba odbiorców
	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne		
TAURON Dystrybucja S.A.	159,69	b.d.	192,90	196,16	0,76	b.d.	2,98	2,99	2,62	5 334 408
PGE Dystrybucja S.A.	184,14	184,14	315,93	343,37	0,72	0,72	3,77	3,80	3,82	5 193 721
Energia Operator S.A.	71,10	b.d.	235,70	283,90	0,42	b.d.	2,92	2,95	5,01	2 946 008
ENEA Operator S.A.	127,39	b.d.	353,50	415,33	0,51	b.d.	4,18	4,21	2,31	2 438 037
RWE Stoen Sp. z o.o.	18,30	19,17	74,60	76,89	0,1285	0,1285	1,4681	1,4737	0,5482	948 317

**Tab. 5. Zestawienie wskaźników charakteryzujących czas trwania oraz częstość występowania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej dla poszczególnych OSD w 2014 r.**

OSD	SAIDI [min]				SAIFI				MAIFI	Liczba odbiorców
	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne	Przerwy planowane	Przerwy planowane + katastrofalne	Przerwy nieplanowane	Przerwy nieplanowane + katastrofalne		
TAURON Dystrybucja S.A.	104,73	b.d.	150,18	151,06	0,62	b.d.	2,74	2,74	3,18	5 334 408
PGE Dystrybucja S.A.	194,62	194,62	241,58	279,46	0,70	0,70	3,25	3,27	3,51	5 225 653
Energia Operator S.A.	58,40	b.d.	198,30	203,70	0,39	b.d.	3,14	3,15	7,53	3 036 404
ENEA Operator S.A.	106,09	b.d.	219,43	223,49	0,47	b.d.	3,21	3,21	1,93	2 460 758
RWE Stoen Sp. z o.o.	19,05	19,05	60,78	64,03	0,1588	0,1588	1,2945	1,2978	0,4362	964 802

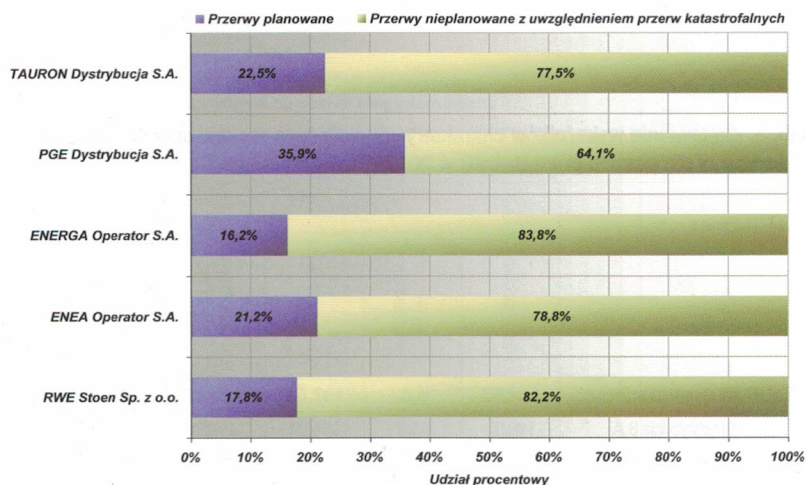
przez OSD w Polsce przeprowadzono na podstawie zgromadzonych zestawień wartości wskaźników charakteryzujących czas trwania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej oraz częstotliwość ich występowania dla największych OSD w latach 2012-2014. Analizowane dane zostały przyjęte na podstawie zestawień liczbowych opu-

blikowanych na swoich stronach internetowych przez poszczególnych OSD, obsługujących co najmniej 100 000 odbiorców przyłączonych do swojej sieci [2, 3, 8, 14, 16]. Sporządzone zestawienia wartości wskaźników charakteryzujących czas trwania oraz częstotliwość występowania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej dla poszczególnych

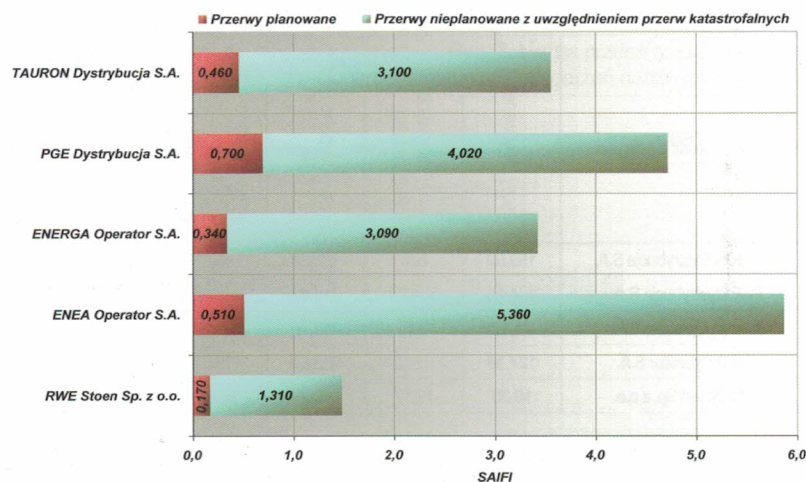
OSD przedstawiono w tab. 3 - tab. 6. Na rys. 8 - rys. 11 przedstawiono w sposób graficzny wartości wskaźników charakteryzujących ciągłość zasilania określone dla przerw planowanych oraz przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych dla największych OSD w 2015 r. Natomiast na rys. 12 - rys. 14 zobrazowano war-

tości wskaźników odpowiednio: SAIDI, SAIFI i MAIFI określone dla największych OSD w latach 2012-2015.

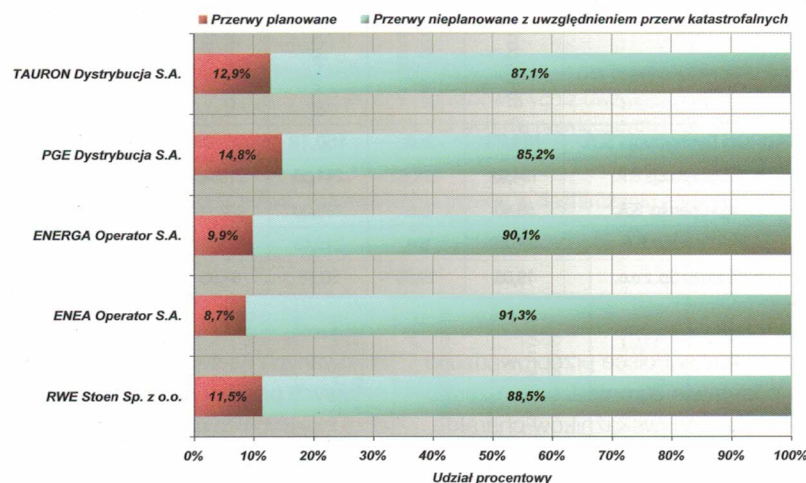
Z przedstawionych na rys. 8 danych wynika, iż najmniejszymi wartościami wskaźnika SAIDI może pochwalić się RWE Stoen Sp. z o.o. Operator ten jednak w sposób zasadniczy odbiega od charakterystyki pozostałych OSD, bowiem głównym obszarem jego funkcjonowania jest wyłącznie aglomeracja warszawska i ponad 95% jego sieci dystrybucyjnej SN stanowią sieci kablowe. Łączny czas trwania przerwy w przeliczeniu na odbiorcę w 2015 r. wyniósł dla RWE Stoen Sp. z o.o. 80,29 min., przy średniej ważonej dla wszystkich OSD wynoszącej 363,33 min., z czego 95,86 min. stanowiły przerwy spowodowane planowanymi wyłączeniami, natomiast 267,47 min. wyniósł średni łączny czas trwania przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych w przeliczeniu na pojedynczego odbiorcę w roku. Natomiast najdłuższy łączny czas trwania przerw zobrazowanych na rys. 8 uzyskała ENEA Operator S.A.: 520,15 min., natomiast pozostałych OSD cechują następujące wartości wskaźnika SAIDI: PGE Dystrybucja S.A.: 442,06 min., TAURON Dystrybucja S.A. 308,09 min. oraz ENERGA Operator S.A. 285,80 min. Nie jest możliwe wskazanie jednoznacznej tendencji zmian wartości wskaźnika SAIDI określonej na podstawie przerw planowanych i nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych w okresie 2012-2015, bowiem jedynie w przypadku PGE Dystrybucja S.A. obserwuje się stopniowe zmniejszanie się jego wartości (530,52 min., 527,51 min., 474,08 min. i 442,06 min. w odpowiednio: 2012, 2013, 2014 i 2015 r.), jednak operator ten cechuje się jednym z największych wartości wskaźnika SAIDI - tab. 3 - tab. 6 oraz rys. 12. ENEA Operator S.A. uzyskała radykalne zmniejszenie wartości wskaźnika SAIDI w 2014 r., w odniesieniu do roku poprzedniego (z 542,72 min. do 329,58 min.), jednak w 2015 r. wartość SAIDI ponownie zwiększyła się do poziomu porównywalnego z 2013 r. (520,15 min.). Analogiczne tendencje zmian oraz wartości wskaźnika



Rys. 9. Procentowy udział poszczególnych rodzajów przerw w całkowitej wartości wskaźnika SAIDI określonej dla przerw planowanych oraz przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych dla największych OSD w 2015 r.



Rys. 10. Wartości wskaźnika SAIFI określone dla przerw planowanych oraz przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych dla największych OSD w 2015 r.



Rys. 11. Procentowy udział poszczególnych rodzajów przerw w całkowitej częstości występowania przerw długich i bardzo długich z uwzględnieniem przerw katastrofalnych (SAIFI) w dostarczaniu energii elektrycznej do odbiorców dla największych OSD w 2015 r.

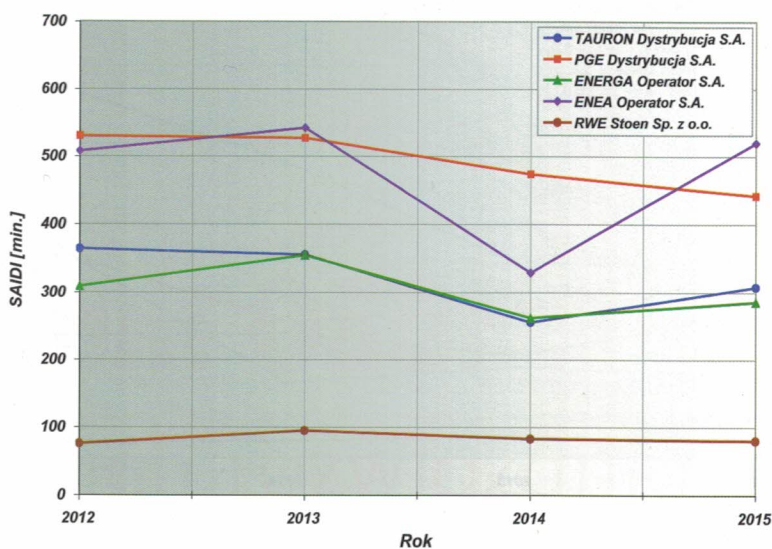
SAIDI cechują przedsiębiorstwa TAURON Dystrybucja S.A. i ENERGA Operator S.A. - tab. 3 - tab. 6, rys. 12.

Oceniając względne relacje poszczególnych rodzajów przerw długich i bardzo długich z uwzględnieniem przerw katastrofalnych w całkowitych wartościach wskaźnika SAIDI, należy stwierdzić, iż najmniejszy względny udział przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych w całkowitej wartości wskaźnika SAIDI odnotowała PGE Dystrybucja S.A. (64,1%) - rys. 9.

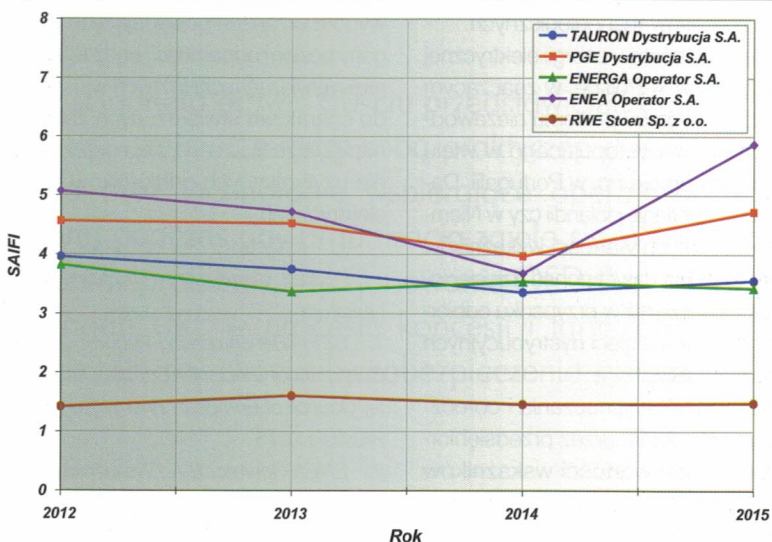
Z punktu widzenia częstości występowania przerw długich i bardzo długich z uwzględnieniem przerw katastrofalnych, wyrażanej miarą wskaźnika SAIFI, również bezkonkurencyjnym okazał się RWE Stoen Sp. z o.o. uzyskując wartość 1,48. TAURON Dystrybucja S.A. i ENERGA Operator S.A. odnotowali wartości wskaźnika SAIFI na zbliżonym poziomie (odpowiednio: 3,56 i 3,43). Najgorzej wypadła ENEA Operator S.A. z wartością wskaźnika SAIFI równą 5,87. Natomiast w przypadku PGE Dystrybucja S.A. wartość tego wskaźnika w 2015 r. wyniosła 4,72 - tab. 3 - tab. 6, rys. 10. Jedynie w przypadku ENERGA Operator S.A. widoczna jest nieznaczna tendencja spadkowa w okresie 2014-2015, pozostali OSD odnotowali wzrost wartości wskaźnika SAIFI w 2015 r., w porównaniu do 2014 r., przy czym w tym przypadku najgorszy rezultat odnotowała ENEA Operator S.A. - wzrost z 3,68 do 5,87 - tab. 3 - tab. 6, rys. 13.

Analizując procentowy udział poszczególnych rodzajów przerw w całkowitej wartości wskaźników SAIFI dla największych OSD w 2015 r. należy stwierdzić, iż w zdecydowanej mierze (ponad 85%) na ostateczną wartość tak wyznaczonej wartości wskaźnika SAIFI mają wpływ przerwy nieplanowane: długie, bardzo długie i katastrofalne - rys. 11.

Z punktu widzenia częstotliwości występowania przerw krótkich wyrażanej wartością wskaźnika MAIFI należy odnotować, iż również w tym przypadku nie



Rys. 12. Wartości wskaźnika SAIDI określone dla przerw planowanych oraz przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych dla największych OSD w latach 2012 - 2015



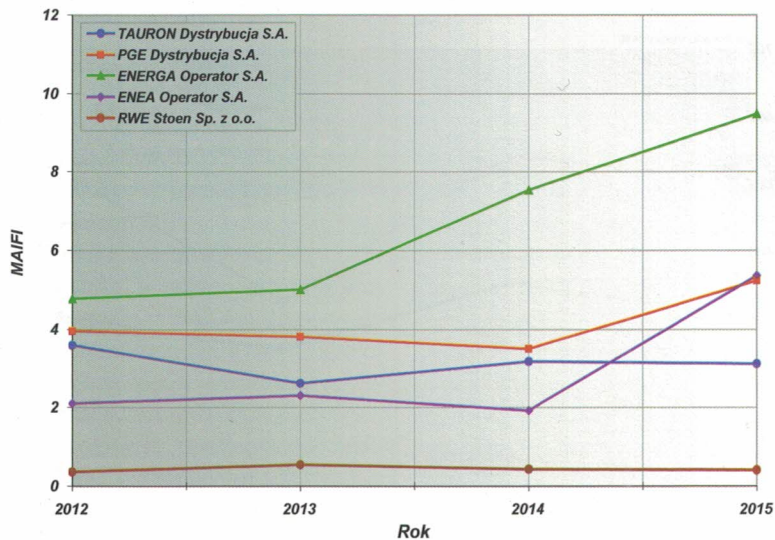
Rys. 13. Wartości wskaźnika SAIFI określone dla przerw planowanych oraz przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych dla największych OSD w latach 2012-2015

jest widoczna istotna poprawa w okresie 2012-2015. Szczególnie widoczny jest wzrost wartości MAIFI w przypadku ENERGA Operator S.A., w latach 2014 i 2015 - tab. 3 - tab. 6, rys. 14.

### ■ Podsumowanie

Do podstawowych obowiązków operatorów sieci dystrybucyjnej oraz przesyłowej należy zapewnienie ciągłości zasilania oraz dostarczania energii elektrycznej o odpowiednich parametrach jakościowych, wśród których zasadnicze znaczenie mają przerwy w zasilaniu klasyfikowane,

w zależności od czasu ich trwania. Obowiązujące przepisy rozporządzenia systemowego nie uwzględniają okoliczności występowania zapadów oraz wzrostów napięcia i nie definiują wskaźników charakteryzujących częstość ich występowania oraz częstość występowania przerw przemijających. Zaburzenia te mają jednak bezpośredni i wyjątkowo istotny wpływ na prawidłową pracę odbiorników energii elektrycznej, szczególnie wszelkiego rodzaju urządzeń energoelektronicznych, komputerowych oraz układów sterowania i regulacji oraz na bezpieczeństwo związane z użytkowaniem tych urządzeń (np. w ochronie zdro-



Rys. 14. Wartości wskaźnika MAIFI określone dla największych OSD w latach 2012-2015

wia, transporcie, etc.) i zapewnienie ciągłości procesów technologicznych.

Ciągłość dostaw energii elektrycznej do odbiorców w Polsce, w znaczącym stopniu odbiega od poziomu niezawodności dostaw występującego w wielu krajach, w Europie np. w Portugalii, Danii, Wielkiej Brytanii, Holandii czy w Niemczech, w których wartości wskaźników SAIDI i SAIFI są nawet ponad dziesięciokrotnie mniejsze niż w przypadku odbiorców zasilanych z sieci dystrybucyjnych krajowych OSD.

Obowiązek wyznaczania i corocznego publikowania przez przedsiębiorstwa sieciowe wartości wskaźników SAIFI, SAIDI i MAIFI stanowi bodziec motywujący te przedsiębiorstwa do podejmowania działań mających na celu poprawę ciągłości dostarczania energii elektrycznej do jej odbiorców. Dalszemu ograniczeniu przerw zasilania odbiorców i poprawie jakości ich obsługi ma służyć opracowywany mechanizm regulacji jakościowej, której celem jest osiągnięcie poziomu ciągłości dostaw energii elektrycznej, będącego akceptowalnym zarówno z ekonomicznego, jak i społecznego punktu widzenia [11].

Wybór właściwych środków technicznych oraz podejmowanych sposobów służących ograniczeniu skutków zmiany wartości skutecznej napięcia zasilającego powinien każdorazowo zostać poprzedzony przeprowadzeniem pomiarów jakości energii elektrycznej w miejscu planowanego użytkowania

urządzeń elektrycznych i dokonaniem wyboru urządzeń posiadających wymagany poziom odporności, bądź też wyborem rozwiązań technicznych właściwych do charakteru stwierdzonych zaburzeń napięcia zasilającego oraz przeznaczenia użytkowanych odbiorników energii elektrycznej.

□

#### Literatura

1. CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply. Data update, Council of European Energy Regulators, Brussels 2015
2. ENEA Operator S.A., Wskaźniki przerw, <http://www.operator.enea.pl/infoosieci/raporty/wskaznikiprzerw>
3. ENERGA Operator S.A., Wskaźniki czasu trwania przerw w dostarczaniu energii elektrycznej, [http://www.energa-operator.pl/wskazniki\\_czasu\\_trwania\\_przerw.xml?media=print](http://www.energa-operator.pl/wskazniki_czasu_trwania_przerw.xml?media=print)
4. Gała M., Jagieła K.: zapady napięcia i przerwy w zasilaniu oraz ich wpływ na pracę wybranych odbiorników energii elektrycznej. Materiały konferencyjne II. Konferencji Jakość Energii Elektrycznej, Grodków, 12-14.10.2016, s. 161-186
5. Gała M., Jagieła K., Rak J., Kępiński M.: Kierunki modernizacji słupowych stacji transformatorowych. Rynek Energii. Zeszyt Tematyczny. Lublin 2014, Nr 1 (IX) s. 131-136
6. Hanzelka Z.: Jakość dostawy energii elektrycznej. Zaburzenia wartości skutecznej napięcia, Kraków 2013

7. Jagieła K., Gała M., Rak J., Kępiński M.: Wybrane zagadnienia eksploatacji słupowych stacji transformatorowych średniego napięcia. Konferencja Naukowo-Techniczna „Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów” Zakład Pomiarowo-Badawczy Energetyki „ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA”, Wisła - Jawornik 7-9.05.2014

8. PGE Dystrybucja S.A., Wskaźniki przerw w dostawie energii, <http://www.pge-dystrybucja.pl/dystrybucja/dla-klienta/wskazniki-przerw-w-dostawie-energii>

9. PN-EN 50160:2010: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych

10. PN-EN 61000-4-30:2015-05: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-30: Metody badań i pomiarów - Metody pomiaru jakości energii

11. Regulacja jakościowa w latach 2016-2020 dla Operatorów Systemów dystrybucyjnych (którzy dokonali, z dniem 1 lipca 2007 r., rozdzielenia działalności), URE, Warszawa, Wrzesień 2015 r.

12. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. z 2007 r., nr 93, poz. 623 z późn. zm.)

13. Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 18 sierpnia 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną (Dz. U. z 2011, nr 189, poz. 1126 z późn. zm.)

14. RWE Stoen Sp. z o.o., Wskaźniki przerw, <http://www.rwestoenoperator.pl/web/cms/pl/1787492/o-rwe-stoen-operator/informacje-o-sieci/wskazniki-przerw/>

15. Stephens M.: PQ in Continuous Manufacturing. Copper Development Association, Belgium 2007, s. 1-15

16. TAURON Dystrybucja S.A., Wskaźniki jakościowe, <http://www.tauron-dystrybucja.pl/o-spolce/wskazniki-jakosciowe/Strony/wskazniki-jakosciowe.aspx>

17. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz. U. z 1997 r., nr 54, poz. 348 z późn. zm.)

18. Voltage Dip Evaluation and Prediction Tools. CIGRE TF C4.1.02, 2008