

# ZASTOSOWANIE LICZNIKÓW AMI DO OCENY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Krzysztof Chmielowiec<sup>1</sup>, Piotr Kuwałek<sup>2</sup>, Grzegorz Wiczyński<sup>2</sup>  
Akademia Górniczo-Hutnicza<sup>1</sup>, Politechnika Poznańska<sup>2</sup>

**Streszczenie.** Zwiększająca się liczba odbiorników nieliniowych, którymi są m.in. urządzenia energooszczędne, może pogarszać jakość energii elektrycznej dostarczanej przez operatora. Utrzymanie dostaw energii elektrycznej na odpowiednim poziomie, uwzględniającym wymagania określone w zmianach do normy IEC 50160:2010/A1:2015, stwarza konieczność ciągłego monitorowania tych wielkości. Dynamiczny rozwój funkcjonalności inteligentnych liczników AMI, stwarza możliwość zastosowania ich do ciągłej oceny jakości energii elektrycznej. Tego typu rozwiązanie umożliwi kontrolę jakości energii elektrycznej przez odbiorcę i dostawcę energii elektrycznej, oraz lokalizację źródeł zaburzających z wykorzystaniem narzędzi analizy statystycznej. Ze względu na bogatą ofertę handlową liczników AMI, powstaje problem wyboru odpowiedniego rozwiązania do rozproszonego systemu oceny jakości energii elektrycznej. W referacie przedstawiono przegląd i porównanie dostępnych na rynku liczników AMI, wyposażonych w funkcjonalność pomiaru wielkości określających jakość dostarczanej energii w odniesieniu do obowiązującego Rozporządzenia Ministra Gospodarki oraz aktualnych norm określających wymagania w zakresie jakości energii elektrycznej: IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15.

## 1. Wprowadzenie

Intensywny rozwój świadczenia usług dostarczania energii elektrycznej spowodował, że na mocy ustawy „Prawo energetyczne” z dnia 10 kwietnia 1997 r [1], odwołującej do rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [2], istnieje wymóg gwarantujący dostarczenie przez dystrybutora energii elektrycznej o określonym standardzie. Do podstawowych wielkości określających jakość dostarczanej energii należą:

- częstotliwość  $f$ ,
- wartość skuteczna napięcia  $U$ ,
- wskaźnik długotrwałego migotania światła  $P_{lt}$ ,
- składowa symetryczna kolejności przeciwnej  $u_2$ ,
- współczynnik mocy  $\text{tg}\varphi$ ,
- harmoniczne napięcia  $u_h$ , gdzie  $h$  jest rzędem harmonicznej,
- współczynnik odkształcenia napięcia  $\text{THD}_U$ .

Obecnie do oceny jakości energii elektrycznej wykorzystywane są analizatory jakości energii elektrycznej, które zgodnie z normą PN-EN 61000-4-30 [3], podzielono na trzy klasy pomiarowe dla każdego mierzonego parametru:

- **klasa A** – wykorzystywana do rozstrzygania sporów;
- **klasa S** – wykorzystywana do statystycznej oceny jakości energii elektrycznej (analizatory tej klasy wykonują pomiary jak analizatory klasy A, ale posiadają mniejsze wymagania dotyczące przetwarzania danych pomiarowych);

- **klasa B** – określona w celu umożliwienia stosowania wielu istniejących przyrządów o starszej konstrukcji.

Warto zauważyć, że analizatory jakości energii elektrycznej klasy A muszą dawać zbieżne wyniki pomiarów, dlatego też odpowiednie normy (tj. 61000-4-30 [3], 61000-4-15 [4], 61000-4-7 [5]) w pełni definiują metody pomiaru, agregację w czasie oraz dokładność pomiaru poszczególnych parametrów wykorzystywanych na potrzeby oceny jakości energii elektrycznej. Zgodność z wyszczególnionymi normami nie jest wymagana w przypadku analizatorów klasy B. Niemniej jednak, producent przyrządu pomiarowego klasy B w dokumentacji technicznej powinien określić sposób pomiaru odpowiednich wskaźników jakości energii elektrycznej.

Uwzględniając potrzebę ciągłego monitorowania jakości energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej, producenci inteligentnych liczników energii elektrycznej (ang. *smart meter*), coraz częściej implementują w swoich urządzeniach możliwość pomiaru coraz to większej liczby parametrów wykorzystywanych w procesie oceny jakości energii elektrycznej. W konsekwencji, instalowane obecnie liczniki energii elektrycznej mogą być postrzegane jako analizatory jakości energii elektrycznej. Warto również zauważyć, że przygotowywana jest zmiana legislacji w zakresie jakości energii elektrycznej, tj. złożony został projekt Ustawy o zmianie ustawy – Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw [6]. Jednym z najistotniejszych zapisów w projekcie Ustawy opisany jest w Art. 11w. 1.: „W przypadku odbiorcy końcowego w gospodarstwie domowym zakres danych pomiarowych pozyskiwanych z licznika zdalnego odczytu obejmuje: ... 3) informacje o wskaźnikach jakości lub parametrów jakościowych w zakresie energii elektrycznej w punkcie poboru energii;”. Zapis ten obliguje do tego, aby w przypadku instalacji liczników zdalnego odczytu u odbiorcy komunalnego miały one funkcjonalności jakościowe. W kolejnych punktach ten sam wymóg stawiany jest operatorom systemu dystrybucyjnego i przesyłowego w kontekście liczników instalowanych np. w stacjach SN/nN. W ogólności, zapisy w Ustawie obligują do tego, aby każdy instalowany licznik zdalnego odczytu wyposażony był w funkcjonalność pomiaru parametrów określających jakość energii elektrycznej. Istnieje również zapis w Art. 11x. 1. projektu tej ustawy, że w drodze Rozporządzeń Minister właściwy określi jakie parametry jakościowe powinny wchodzić w zakres pomiarowy instalowanych liczników zdalnego odczytu. W przypadku uchwalenia przytoczonego projektu Ustawy, poszczególni operatorzy energii elektrycznej będą zobligowani do wymiany zainstalowanych liczników zdalnego odczytu na takie, które będą spełniać warunki określone w przyszłym Rozporządzeniu właściwego Ministra. Obecnie jednym z dokumentów, który w pewnym zakresie reguluje jakie parametry jakościowe powinny być rejestrowane przez inteligentne liczniki energii elektrycznej, jest specyfikacja techniczna wyposażenia inteligentnego opomiarowania wydana przez Departament Energii i Zmian Klimatu [7]. W tym dokumencie w rozdziale 5.5.12 określona jest konieczność rejestracji parametrów jakościowych związanych bezpośrednio jedynie z wartością skuteczną napięcia (np. rejestracja zapadów napięcia, przepięć, przerw w zasilaniu, itp.). Nie przedstawiono w tym dokumencie konieczności rejestracji innych wielkości określających jakość energii elektrycznej, które obecnie przedstawione są m.in. w obowiązującym Rozporządzeniu [2] albo w standardzie IEC 50160:2010/A1:2015 [8].

W pracy dokonano przeglądu dostępnych na rynku liczników energii elektrycznej, które wyposażone są w funkcjonalność pomiaru parametrów wykorzystywanych w procesie oceny jakości energii elektrycznej. Instalacja przedstawionych liczników wyposażonych w moduł komunikacji (AMI – ang. *Advanced Metering Infrastructure*) u odbiorców komunalnych, umożliwi klientom monitorowanie jakości kupowanego towaru oraz stworzy możliwość lokalizacji źródeł zaburzających z wykorzystaniem podstawowych narzędzi statystycznych.

## 2. Wymagania prawne dla poszczególnych wielkości określających jakość energii elektrycznej

Wszystkie wymagania prawne dla poszczególnych wielkości określających jakość energii elektrycznej zostały określone w rozdziale 10 Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [2]. W przytoczonym dokumencie prawnym przede wszystkim określono dopuszczalne odchylenia wybranych parametrów bez wprowadzania ich definicji. W podrozdziałach 2.1-2.7 przytoczono wymagania prawne dla wybranych wielkości określających jakość energii elektrycznej dla grup przyłączeniowych III-V, a więc dla odbiorców przyłączonych do sieci o napięciu znamionowym mniejszym od 110 kV.

### 2.1 Częstotliwość $f$

„1. Wartość średnia częstotliwości mierzonej przez 10 sekund powinna być zawarta w przedziale:

- a. 50 Hz  $\pm$  1% (od 49,5 Hz do 50,5 Hz) przez 99,5% tygodnia,
- b. 50 Hz +4%/-6% (od 47 Hz do 52 Hz) przez 100% tygodnia” [2].

W przypadku częstotliwości, obowiązujący akt prawny nie podaje definicji tej wielkości. Obecnie w większości analizatorów jakości energii elektrycznej, pomiar częstotliwości jest wykonywany zgodnie z zależnością:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1)$$

gdzie:  $T$  jest okresem podstawowym wyznaczanym metodą detekcji przejść przez zero. Niektóre analizatory (np. FLUKE 1760) dodatkowo przed pomiarem częstotliwość odfiltrowują napięcie z użyciem filtra dolnoprzepustowego o częstotliwości odcięcia równej 50 Hz.

### 2.2 Wartość skuteczna napięcia $U$

„2. W każdym tygodniu 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale odchyień  $\pm 10\%$  napięcia znamionowego” [2].

Rozporządzenie nie definiuje wartości skutecznej i nie określa warunków pomiaru wartości skutecznej napięcia. Definicje i określenie warunków pomiaru zawarte są w normie IEC 61000-4-30 [3]. Norma zaleca rejestrację tzw. „wartości skutecznej półokresowej” wyznaczanej w ciągu czasu  $T$ :

$$U(t_0) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0-T}^{t_0} u^2(t) dt}, \quad (2)$$

i uaktualnianej co półokresu. Do oceny zmienności napięcia (np. zapady, wzrosty, wahania napięcia) w dłuższym przedziale czasu, zalecane jest wykorzystanie zagregowanej wartości skutecznej za okres rejestracji równy: 3 sekundy, 10 minut lub 2 godziny.

### 2.3 Wskaźnik długookresowego migotania światła $P_{lt}$

„3. Przez 95% czasu każdego tygodnia wskaźnik długookresowego migotania światła  $P_{lt}$  spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego nie powinien być większy od 1” [2].

W przytoczonym Rozporządzeniu wskaźnik długookresowego migotania światła jest zdefiniowany jako:

$$P_{lt} = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st_i}^3}{12}}, \quad (3)$$

gdzie  $P_{st}$  to wartość wskaźnika krótkookresowego migotania światła mierzonego przez 10 minut w 2 godzinnym okresie czasu.

Szczegółowe określenie pomiaru wskaźnika krótkookresowego migotania światła określono w normie IEC 61000-4-15 [4].

## 2.4 Składowa symetryczna kolejności przeciwnej $u_2$

„4. W ciągu każdego tygodnia 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych:

- a.) składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale od 0% do 2% wartości składowej kolejności zgodnej” [2].

Rozporządzenie nie definiuje składowej symetrycznej kolejności przeciwnej i nie określa warunków jej pomiaru. Definicje i określenie warunków pomiaru zawarte są w normie IEC 61000-4-30 [3], która zaleca wyznaczanie  $u_2$  zgodnie z zależnością:

$$u_2 = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

gdzie:

$$\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2}, \quad (5)$$

zaś  $U_{12}$ ,  $U_{23}$ ,  $U_{31}$  to wartości skuteczne dla poszczególnych napięć międzyprzewodowych.

## 2.5 Współczynnik mocy $\text{tg}\varphi$

„6. Warunkiem utrzymania parametrów napięcia zasilającego w granicach określonych w pkt 1-5 jest pobieranie przez odbiorcę mocy nie większej od mocy umownej, przy współczynniku  $\text{tg}\varphi$  nie większym niż 0,4” [2].

Z przytoczonego zapisu rozporządzenia wynika, że operator energii elektrycznej jest zwolniony z konieczności dostarczania energii elektrycznej o odpowiedniej jakości, w przypadku gdy odbiorca pobiera moc większą niż umowna, lub w przypadku wystąpienia współczynnika mocy o wartości większej niż 0,4.

Jednakże, Rozporządzenie nie definiuje sposobu wyznaczania współczynnika mocy, co w przypadku wystąpienia odkształcenia napięcia jest niejednoznaczne z uwagi na problem definicji mocy biernej, ponieważ współczynnik mocy  $\text{tg}\varphi$  określany jest często zależnością:

$$\text{tg}\varphi = \frac{E_P}{E_Q}, \quad (6)$$

gdzie  $E_P$  to energia czynna a  $E_Q$  to energia bierna (będąca funkcją niejednoznacznie zdefiniowanej mocy biernej), lub:

$$\text{tg}\varphi = \frac{P}{Q}, \quad (7)$$

gdzie  $P$  to moc czynna a  $Q$  to moc bierna (niejednoznacznie zdefiniowana).

Z tego względu w wielu analizatorach współczynnik mocy  $PF$  (ang. *power factor*) jest wyznaczany z zależności:

$$PF = \frac{P}{S}, \quad (8)$$

gdzie  $P$  i  $S$ , to odpowiednio jednoznacznie zdefiniowane moc czynna i mocy pozorna.

## 2.6 Harmoniczne napięcia $u_h$

„4. W ciągu każdego tygodnia 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych:

- a.) ...,
- b.) Dla każdej harmonicznej napięcia zasilającego powinno być mniejsze lub równe wartościom określonym w poniższej tabeli:” [2].

**Tab. 1. Wartości graniczne harmonicznych napięcia dla grup przyłączeniowych III-V [2]**

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
niebędące krotnością 3		Będące krotnością 3		rzęd harmonicznej ( $h$ )	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ( $u_h$ )
rzęd harmonicznej ( $h$ )	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ( $u_h$ )	rzęd harmonicznej ( $h$ )	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ( $u_h$ )		
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	>4	0,5%
13	3%	>15	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Rozporządzenie nie definiuje i nie określa warunków pomiaru harmonicznych. Definicje i określenie warunków pomiaru harmonicznych zawarte jest w normie IEC 61000-4-30 [3] oraz IEC 61000-4-7 [5]. W normie IEC 61000-4-7 [5] przez pojęcie „harmoniczna” rozumie się wartość skuteczną jednej ze składowych o częstotliwości harmonicznej (częstotliwości będącej całkowitą krotnością częstotliwości sieci zasilającej) w analizie przebiegu niesinusoidalnego (DFT – ang. *Discrete Fourier Transform*). Norma zaleca wyznaczanie harmonicznych w prostokątnym oknie pomiarowym o czasie trwania równym  $10T$ . Ponadto, w celu uniknięcia zjawiska „przecieknięcia widma”, norma wprowadza pojęcie podgrupy harmonicznej, która jest sumą geometryczną wartości skutecznej harmonicznej oraz sąsiednich z nią składowych widmowych. Ze względu na ograniczone miejsce i przejrzystość pracy pominięto przytoczenie wzorów z normy, umożliwiających wyznaczenie poszczególnych składowych widmowych.

## 2.7 Współczynnik odkształcenia napięcia $THD_U$

„5. Współczynnik odkształcenia wyższymi harmonicznymi napięcia zasilającego THD uwzględniający wyższe harmoniczne do rzędu 40, powinien być mniejszy lub równy 8%” [2].

W przytoczonym Rozporządzeniu współczynnik odkształcenia napięcia  $THD_U$  jest zdefiniowany jako:

$$THD_U = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}, \quad (3)$$

gdzie  $u_h$  to wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej,  $h$  to rząd harmonicznej. Jednakże, Rozporządzenie nie określa czy wartość  $u_h$  uwzględnia samą harmoniczną, czy też podgrupę harmoniczną (zgodnie z zaleceniami normy IEC 61000-4-7 [5]).

Szczegółowe określenie warunków pomiaru harmonicznym zawarte jest w normie IEC 61000-4-30 [3] oraz IEC 61000-4-7 [5].

## 2.8 Konieczność zastosowania AML do oceny jakości energii elektrycznej

Poza Rozporządzeniem, w praktyce uwzględnia się również zalecenia normy jakościowej IEC 50160 [8], która określa parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych. Wytyczne starszego wydania tej normy są w pewnym zakresie zbieżne z treścią Rozporządzenia. Różnice są widoczne w aktualnej korekcie normy. Jednakże, norma jest aktem podrzędnym w stosunku do Rozporządzenia. Niemniej jednak, zmiany w tym dokumencie mogą stymulować zmiany w obowiązującym Rozporządzeniu. We wprowadzonej korekcie w roku 2015, nałożono bardziej restrykcyjne warunki dotyczące jakości energii elektrycznej, a mianowicie:

- zmniejszono dopuszczalne odchylenia częstotliwości sieciowej  $f$  do zakresu  $50 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$  w ciągu całego tygodnia (100%);
- wskaźnik długookresowego migotania światła  $P_{it}$  powinien być mniejszy od 1,0 dla sieci o napięciu znamionowym mniejszym bądź równym 35 kV, oraz mniejszy od 0,8 dla sieci o napięciu znamionowym większym niż 35 kV w ciągu całego tygodnia (100%);
- współczynnik  $THD_U$  powinien być mniejszy od 8% i 5% jako wartość średnia odpowiednio w czasie 10 min i w ciągu całego tygodnia (100%);
- wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej dla harmonicznym nieparzystych, niebędących krotnością 3, dla rzędu harmonicznej większej od 21, powinna być mniejsza od 1% w ciągu całego tygodnia (100%);
- nieprzekroczenie dopuszczalnych wartości dla poszczególnych harmonicznym powinno być zapewnione w ciągu całego tygodnia (100%);
- wartość skuteczna  $U$ , wyznaczana (agregowana) co 1 min, powinna zawierać się w przedziale  $\pm 10\%$  względem wartości znamionowej w ciągu całego tygodnia (100%).

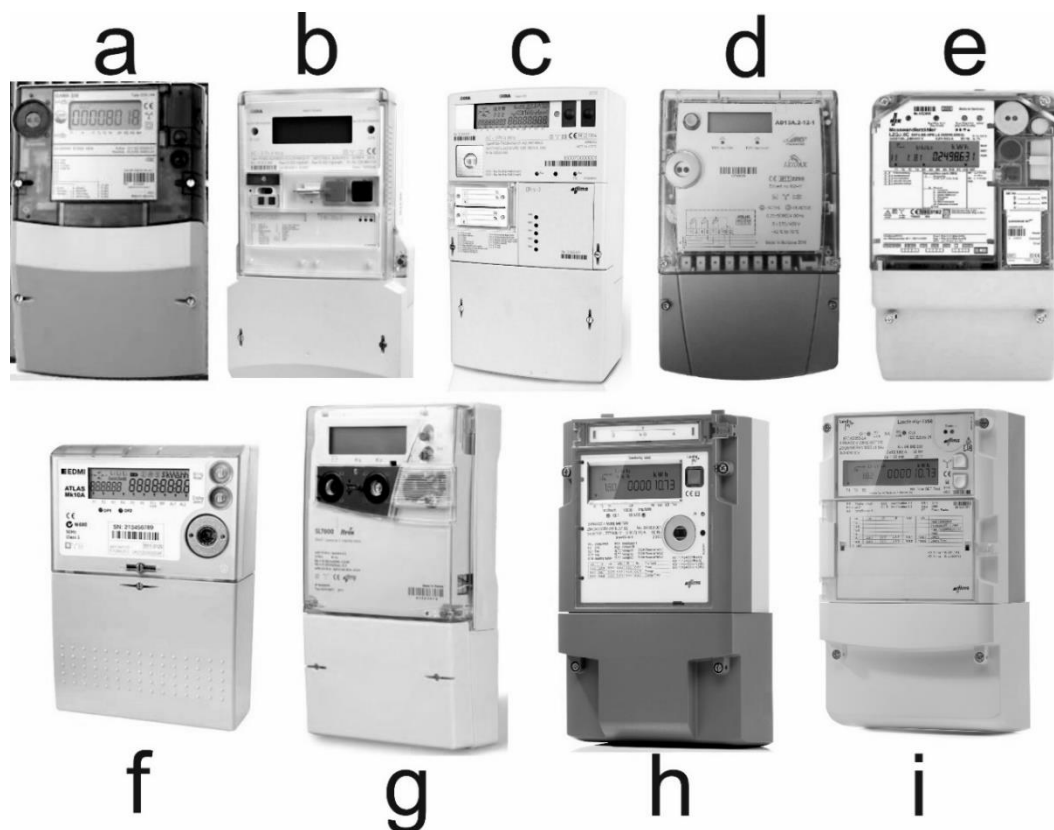
Uwzględniając obowiązujące akty prawne w Polsce oraz przygotowane projekty zmiany obowiązujących aktów prawnych [6], niezbędnym staje się monitorowanie jakości energii elektrycznej u poszczególnych odbiorców. Uwzględniając zwiększającą się liczbę przyłączanych do sieci urządzeń energoelektronicznych (odbiorników nieliniowych), może wystąpić częsta sytuacja dostarczenia energii elektrycznej do odbiorcy o niewystarczającej jakości, w przypadku obowiązywania przytoczonych restrykcyjnych zmian w normie IEC 50160 [8]. Rozproszony pomiar parametrów umożliwiających ocenę jakości energii elektrycznej umożliwi operatorowi (oraz odbiorcy w przypadku udostępniania wyników pomiarów) sprawowanie kontroli nad jakością dostarczanej energii. Rozproszony system może składać się z analizatorów jakości energii elektrycznej i modułów transmisyjnych. Niemniej jednak taki system wymaga nakładów finansowych związanych z zakupem niezbędnego osprzętu oraz modyfikacji punktów wspólnego przyłączenia (na granicy własności między dostawcą i odbiorcą energii elektrycznej) w którym umieszczony zostałby analizator jakości energii elektrycznej. Lepszym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie liczników AML, które to obecnie posiadają funkcjonalność oceny jakości energii elektrycznej

oraz umożliwiają zdalną komunikację z wykorzystaniem PLC (ang. *Power Line Communication*). Tego typu rozwiązanie wiąże się jedynie z kosztami zakupu licznika. Niemniej zakup nowych liczników jest obecnie wykonywany na bieżąco w związku z końcem czasu legalizacji zainstalowanych liczników indukcyjnych u odbiorców komunalnych.

### 3. Przegląd liczników energii elektrycznej AMI z funkcjonalnością pomiaru wielkości określających jakość energii elektrycznej

W poniższym rozdziale przedstawiono wybrane liczniki energii elektrycznej z funkcjonalnością pomiaru parametrów wykorzystywanych do oceny jakości energii elektrycznej, które mogą współpracować z modułami komunikacyjnymi, bądź posiadają wbudowany moduł komunikacji. Tego typu wybrane rozwiązanie są zgodne z definicją liczników AMI, dzięki czemu mogą stworzyć rozproszony system oceny jakości energii elektrycznej. W przeglądzie uwzględniono rozwiązania instalowane przez operatorów w Europie. W Polsce, wybrane liczniki obecnie instalowane są głównie jako liczniki bilansujące w stacjach elektroenergetycznych SN/nN. Funkcjonalności takich liczników wynikają z potrzeb użytkowników oraz możliwości dostępnych układów pomiarowo-rejestrujących. Przykładowe wymagania względem liczników zawarto we „Wzorcowej specyfikacji dla postępowań przetargowych na dostawę infrastruktury licznikowej dla systemów AMI” opracowanej przez URE a opublikowanej w 2015 roku. Ze względu na bogatą ofertę handlową producentów liczników AMI, w porównaniu uwzględniono tylko te liczniki, które:

- posiadają możliwość pomiaru i rejestracji (w ramach profilu obciążenia) większości wielkości określających jakość energii elektrycznej, które przedstawiono w rozdziale 2;
- są instalowane u wielu europejskich operatorów energii elektrycznej.



**Rys. 1.** Widok czuła wybranych liczników energii elektrycznej, gdzie:  
a – GAMA 300 G3G.54x [9], b - MT860 [10], c – MT880 [11], d - AD13A.2-12-1 [12],  
e – LZQJ-XC [13], f – Atlas Mk10A [14], g – ACE SL7000 [15], h - E550 [16], i - E650 [17]

Uwzględniając przedstawione kryteria, można wyróżnić następujące liczniki:

- GAMA 300 G3G.54x firmy Elgama, Sp. z o.o. (rys. 1 – a) [9];
- MT860 oraz MT880 firmy Iskraemeco, S.A. (rys. 1 – b, c) [10,11];
- AD13A.2-12-1 firmy ADD Grup, Sp. z o.o. (rys. 1 – d) [12];
- LZQJ-XC firmy EMH metering, Sp. z o.o. (rys. 1 – e) [13];
- Atlas Mk10A firmy EDMI, Sp. z o.o. (rys. 1 – f) [14];
- ACE SL7000 firmy Itron Polska, Sp. z o.o. (rys. 1 – g) [15];
- E550 oraz E650 firmy Landis+Gyr, Sp. z o.o. (rys. 1 – h,i) [16, 17] – oba liczniki wymagają zainstalowania dodatkowych modułów komunikacji, aby zakwalifikować je jako liczniki AMI.

W tab. 2 przedstawiono porównanie funkcjonalności pomiaru wielkości określających jakość energii elektrycznej dla wybranych liczników, których widok przedstawiono na rys. 1.

**Tab. 2. Porównanie funkcjonalności pomiarów wielkości określających jakość energii elektrycznej dla wybranych liczników AMI**

Producent	Model (Klasa*** dokładności energii czynnej /energii biernej)	Możliwe czasy agregacji [min]	Wielkości określające jakość energii elektrycznej występujące w obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Gospodarki						
			$F$	$U$	$P_{st}, P_{lt}$	$u_2$	$tg\varphi$	$u_h$	$THD_U$
Elgama	GAMA 300 G3G.54x (0.5s/2.0)	1, 5, 10, 15, 20, 30, 60	✓*	✓	✓	✓	✓* PF		✓**
Iskraemeco	MT860 (0.2s/2.0)	1, 2, 3, ..., 58, 59, 60	✓	✓			✓ $\varphi, \cos\varphi$	✓ do $h=30$	✓
	MT880 (0.5s/1.0)	5, 10, 15, 30, 60, 1440	✓	✓	✓	✓	✓ $\varphi, \cos\varphi$	✓ do $h=31$	✓
ADD Grup	AD13A.2-12-1 (1.0/2.0)	5, 10, 15, 20, 30, 60	✓	✓	✓	✓	✓ $\varphi, \cos\varphi, PF$		✓
EMH metering	LZQJ-XC (1.0/2.0)	1, 5, 10, 15, 30, 60	✓	✓	✓	✓	✓† $\varphi$	✓	✓
EDMI	Atlas Mk10A (1.0/2.0)	1, 2, 3, ..., 58, 59, 60	✓	✓			✓† $\varphi$		✓
Itron Polska	ACE SL7000 (0.2s/0.5s)	1, 2, 3, ..., 58, 59, 60, 1440	✓	✓		✓	✓† $\varphi$		✓
Landis+Gyr	E550 (0.5s/1.0)	b.d.	✓	✓			✓ $\varphi, PF$		✓**
	E650 (0.2s/0.5s)	1, 2, 3, ..., 58, 59, 60	✓	✓			✓ $\varphi, PF$		✓

\* - Opcjonalna możliwość rejestracji w ramach profilu obciążenia (na zamówienie).

\*\* - Pomiar THD niezgodny z Rozporządzeniem, bo wyznaczane jest całkowite odkształcenie napięcia zasilającego z uwzględnieniem subharmonicznych i interharmonicznych (TTHD).

\*\*\* - Najlepsza klasa dokładności pomiaru energii podawana przez producenta.

† – Producent nie definiuje z jakiej zależności wyznaczany jest współczynnik mocy.



Warto zauważyć, że w żadnym z wybranych liczników nie jest rejestrowany współczynnik mocy zgodnie z wytycznymi Rozporządzenia. Nie mniej jednak, każdy licznik AMI (poza GAMA 300 G3G.54x), umożliwi rejestrację kąta fazowego (kąta obciążenia  $U-I$ ), dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie współczynnika mocy  $\text{tg}\phi$ . Sposób pomiaru pozostałych parametrów (poza częstotliwością) został zdefiniowany jedynie przez Elgama, EMH Metering i Landis+Gyr. Zdefiniowany przez Elgama i Landis+Gyr sposób pomiaru wskaźników w wybranych licznikach oraz dokładność pomiaru (w przypadku Elgama), kwalifikuje te przyrządy pomiarowe jako analizatory jakości energii elektrycznej klasy B (GAMA 300 G3G.54x, E550, E650). Z kolei EMH metering deklaruje, że licznik LZQJ-XC rejestruje wybrane wskaźniki zgodnie z aktualnymi normami IEC 61000-4-30 [3], IEC 61000-4-7 [4], IEC 61000-4-15 [5], kwalifikując ten licznik jako analizator jakości energii elektrycznej klasy A [18]. Pozostali producenci nie definiują sposobu oraz dokładności pomiaru wybranych parametrów jakościowych, przez co nie można zdefiniować dla nich klasy pomiarowej analizatora jakości energii elektrycznej.

Poza rejestracją wielkości zestawionych w tab. 2, wybrane liczniki AMI umożliwiają przetwarzanie zmierzonych wartości chwilowych napięć i prądu, w celu określenia rodzaju zjawiska zaburzającego obniżającego jakość energii elektrycznej w sieci. Porównanie funkcjonalności diagnostycznych liczników AMI zebrano w tab. 3.

**Tab. 3.** Porównanie funkcjonalności diagnostycznych jakości napięcia dla wybranych liczników AMI

Producent	Model	W1-W4	A	B	C	D	E	F	G	H
Elgama	GAMA 300 G3G.54x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Iskraemeco	MT860		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	MT880	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
ADD Grup	AD13A.2 -12-1	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
EMH metering	LZQJ-XC		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
EDMI	Atlas Mk10A		✓	✓	✓	✓			✓	
Itron Polska	ACE SL7000		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Landis+Gyr	E550		✓	✓	✓	✓			✓	
	E650		✓	✓	✓	✓		✓	✓	

Użyte w tab. 3 oznaczenia to odpowiednio:

W1-W4 – zagregowane grupowe wskaźniki jakości energii elektrycznej [19];

- A – przepięcia sieciowe;
- B – przerwy w zasilaniu;
- C – wzrosty napięcia (ponad ustalone progi);
- D – zapady napięcia w fazie (poniżej ustalonych progów);
- E – asymetria napięć;
- F – obliczenie prądu w przewodzie neutralnym (pomiar składowej zerowej);
- G – kontrola kolejności faz;
- H – wahania napięcia / szybkie zmiany napięcia.

Z danych przedstawionych w tab. 2 i 3 wynika, że mimo dynamicznego rozwoju infrastruktury AMI, wciąż jest mało modeli liczników, które posiadają funkcjonalność pomiarową i diagnostyczną analizatorów jakości energii elektrycznej z uwzględnieniem obowiązujących aktów prawnych. Niemniej jednak są rozwiązania, które mogą już być wykorzystane w rozproszonym systemie oceny jakości energii elektrycznej, tj. LZQJ-XC (deklaracja producenta zgodności z analizatorami klasy A) oraz MT880 (brak informacji o zgodności z aktualnymi normami jakościowymi oraz dokładności pomiaru wskaźników jakościowych). Oba modele umożliwiają rejestrację wszystkich wielkości określonych w obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Gospodarki. Na uwagę zasługują również GAMA 300 G3G.54x (deklaracja producenta zgodności z analizatorami klasy B) oraz AD13A.2-12-1 (brak informacji o zgodności z aktualnymi normami jakościowymi oraz dokładności pomiaru wskaźników jakościowych), które umożliwiają rejestrację większości wielkości określonych w obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Gospodarki (z pominięciem wartości harmonicznego napięcia). Warto zauważyć, że większość modeli liczników AMI umożliwia podstawową diagnostykę napięcia zasilającego (wykrycie przepięć sieciowych, wzrostów i zapadów napięć oraz przerw w zasilaniu) oraz rejestrację wielkości określających jakość energii elektrycznej w ramach co najmniej dwóch niezależnych profili obciążeń o różnych czasach agregacji. Jednocześnie zauważalny jest deficyt w możliwości pomiarowe związane z odkształceniem napięcia oraz z szybkimi zmianami napięcia, tj. większość dostępnych na rynku liczników AMI nie posiada możliwości pomiaru harmonicznego (z uwzględnieniem wymagań normatywnych) oraz pomiaru wskaźników krótkookresowego i długookresowego migotania światła.

#### **4. Podsumowanie**

Obszarowe monitorowanie jakości energii elektrycznej z uwzględnieniem obowiązującego Rozporządzenia Ministra Gospodarki oraz aktualnych norm IEC 50160:2010/A1:2015 [8], IEC 61000-4-30 [3], IEC 61000-4-7 [4], IEC 61000-4-15 [5], jest zadaniem wymagającym budowy rozproszonego systemu oceny jakości energii elektrycznej. W realizacji tego celu coraz większym wsparciem okazują się być w ostatnich latach liczniki energii AMI wyposażone w funkcje pomiaru parametrów jakości dostawy energii elektrycznej. W artykule przedstawiono istniejące już rozwiązania w tym zakresie, wskazując na ich możliwości oraz ograniczenia. Większość dostępnych modeli liczników AMI posiada funkcjonalność: podstawowej diagnostyki napięcia zasilającego (np. wykrycie przepięć, wzrostów i zapadów napięć oraz przerw w zasilaniu) oraz rejestracji wybranych wielkości określających jakość energii elektrycznej w ramach co najmniej dwóch niezależnych profili obciążeń. W ramach tych profili możliwe umożliwiających jest ustawienie różnych czasów agregacji. Jednakże, zdecydowana większość liczników AMI nie posiada m.in. funkcjonalności pomiaru harmonicznego (z uwzględnieniem wymagań normatywnych) oraz pomiaru wskaźników krótkookresowego i długookresowego migotania światła.

## Bibliografia

- [1] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne.
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. 2007 nr 93 poz. 623).
- [3] PN-EN 61000-4-30:2011, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-30: Metody badań i pomiarów - Metody pomiaru jakości energii.
- [4] PN-EN 61000-4-7:2007/A1:2011, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-7: Metody badań i pomiarów - Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz przyrządów pomiarowych, dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń.
- [5] PN-EN 61000-4-15:2011, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-15: Metody badań i pomiarów – Miernik migotania światła – Specyfikacja funkcjonalna i projektowa.
- [6] Projekt Ustawy o zmianie ustawy – Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw z dnia 30 stycznia 2020 r., <https://legislacja.rcl.gov.pl/> [Dostęp: 01.10.2020, 20:41].
- [7] Smart Metering Equipment Technical Specifications Version 1.58, Department of Energy & Climate Change, 2014, <https://www.gov.uk/decc> [Dostęp: 01.10.2020, 20:44].
- [8] PN-EN 50160:2010/A1:2015 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych.
- [9] Statyczny licznik do pomiaru energii GAMA 300 G3G.54x – Instrukcja użytkownika - Wersja 1.1, Systemy Pomiarowe ELGAMA, 2017.
- [10] MT860 High Precision Multi-Function Meter 0.2S – Technical Description – Version 6.1, Iskraemeco, 2014.
- [11] MT880 - User Manual – Version 3.00, Iskraemeco, 2016.
- [12] ADDAX AD13A.3-5 Series Three Phase Meters – Technical Description – Version 1.0, ADD Grup, 2017.
- [13] Katalog licznik energii EMH LZQJ-XC-PL – Wersja 1.1, EMH metering.
- [14] Mk10A Three Phase CT/WC Smart Meter – Factsheet – Version MKT-FS-007 Rev 04, EDMI, 2019.
- [15] ACE SL7000 – Czterokwadrantowy licznik energii do zastosowań w przemyśle i sieci przemysłowej – Specifications, Itron Polska, 2014.
- [16] E550 Seria 2 (ZMG400AR/CR) – Podręcznik Użytkownika – Wersja n, Landis+Gyr, 2018.
- [17] E650 Seria 3 – Podręcznik Użytkownika – Wersja m\_PL, Landis+Gyr, 2014.
- [18] LZQJ-XC, Güç Kalitesi Ölçümü, Nano Enerji Elektrik Ölçü Sistemleri, <https://slideplayer.biz.tr/slide/5619556/> [Dostęp: 26.03.2020, 14:28].
- [19] Wymagania dotyczące wskaźników jakości dostaw energii elektrycznej dla bezpośrednich 1-fazowych i 3-fazowych oraz pośrednich granicznych liczników AMI, <http://www.ure.gov.pl/> [Dostęp: 26.03.2020, 14:37].