

Powtarzalność jako miara jakości testu dokładności licznika energii elektrycznej

Streszczenie. Opisano problemy związane z ustaleniem czasu pomiaru przy sprawdzaniu dokładności liczników energii elektrycznej. Przedstawiono ewolucję poglądów i zaproponowano przyjęcie estymatora odchylenia standardowego dla potrzeb wyznaczania czasu pomiaru energii. Zaprezentowano stanowisko do badań liczników, w tym zdjęcia charakterystyki maksymalnej wartości estymatora odchylenia standardowego w funkcji czasu pomiaru. Opisano metody ustalania czasu pomiaru energii implementowane w testerach liczników.

Abstract. Describes the problems associated with determining of the appropriate measurement time for verifying the accuracy of electricity meters. Presents the evolution of ideas and proposes to use the estimation of the standard deviation for determining the measurement time of energy. There is presented the test system for testing of energy meters, which allows to obtain the characteristics of the maximum value of the estimation of the standard deviation as a function of energy measurement time. Presents methods for determining the measurement time, which are implemented in energy meters testers. (**The repeatability as a quality accuracy test standard of the electrical energy meter.**)

Słowa kluczowe: sprawdzanie liczników energii, dokładność licznika energii, powtarzalność, odchylenie standardowe.

Keywords: testing of energy meters, accuracy of electricity meters, repeatability, estimation of the standard deviation.

Sprawdzanie dokładności liczników energii

Wskazania użytkowych liczników energii elektrycznej są podstawą do rozliczeń między dostawcą energii elektrycznej i jej odbiorcą. Z tego powodu sprawdzaniu dokładności wskazań liczników jest udzielana duża uwaga, zarówno w normach, jak i rozporządzeniach urzędowych. Normy i rozporządzenia dotyczą sytuacji, kiedy licznik energii jest odłączony od sieci energetycznej i jest zasilany z wymuszalnika, co pozwala na sprawdzenie licznika we wszystkich, określonych normami, punktach pomiarowych i w warunkach zasilania o wymaganej jakości.

Od wielu lat panuje w zasadzie zgodność poglądów na temat tego, w jakich punktach pomiarowych (nazywanych też punktami obciążenia licznika) powinny być sprawdzane liczniki, zarówno indukcyjne, jak i elektroniczne (statyczne). W normach, a za nimi w rozporządzeniach [1, 2, 3], są specyfikowane tablice opisujące błędy graniczne dopuszczalne wskazania liczników, dla poszczególnych punktów pomiarowych, podczas zatwierdzania typu czy legalizacji licznika.

Urządzenia do sprawdzania dokładności liczników energii tradycyjnie są nazywane jako stacje wzorcownicze. Ostatnio, obok tradycyjnych stacjonarnych wielostanowiskowych stacji wzorcowniczych, pojawiły się stacjonarne jednostanowiskowe stacje wzorcownicze [4] oraz przenośne testery liczników energii [13]. Testery liczników energii nazywane również jako Testing Equipment for Electrical Energy Meters czy Meter Testing Equipment o skrócie MTE wg terminologii z publikacji IEC 736 [5], umożliwiają sprawdzenie dokładności liczników odłączonych od sieci nawet bezpośrednio na obiekcie, bez konieczności przewożenia licznika z obiektu energetycznego do licznikowni.

Istotnym warunkiem, jaki należy spełnić przy sprawdzaniu dokładności licznika, zarówno z zastosowaniem stacji wzorcowniczych, jak i przenośnych testerów, jest ustalenie odpowiedniego czasu pomiaru energii niezbędnego dla prawidłowego pomiaru błędu licznika. Pogląd na ten temat, wyrażany w oficjalnych dokumentach, jak normy i rozporządzenia, zmieniał się w czasie.

Ewolucja oficjalnych poglądów na temat czasu pomiaru energii

Intuicyjnie wyczuwa się, że czas pomiaru energii przyjęty przy sprawdzaniu dokładności licznika wiąże ze sobą dwie wielkości:

- jakość sprawdzania licznika w sensie dokładności pomiaru błędów licznika – im dłuższy czas pomiaru tym lepsza jest jakość sprawdzenia błędu licznika,
 - pracochłonność sprawdzania licznika w sensie czasu niezbędnego na pomiar błędów licznika – im dłuższy czas pomiaru tym większa jest pracochłonność,
- które wchodzą ze sobą w oczywistą sprzeczność. Ponieważ liczniki energii są produkowane masowo a sprawdzanie dokładności liczników zajmuje stosunkowo dużo czasu, optymalne rozstrzygnięcie wskazanej sprzeczności ma ogromne znaczenie gospodarcze.

Trzydzieści lat temu [1] wymagano, aby czas pomiaru t_p wynosił około jedną minutę a tarcza wykonała przynajmniej dwa obroty (dwa wyemitowane impulsy), co można wyrazić następująco:

$$(1) \quad t_p \geq 1 \text{ min} \quad \cap \quad N \geq 2$$

gdzie: t_p – czas pomiaru energii, N – liczba impulsów.

Piętnaście lat temu ustalono [2], że dla liczników elektronicznych liczba N zliczanych impulsów powinna być zgodna z zaleceniem wytwórcy licznika, a w przypadku braku takich zaleceń, należy przyjąć warunek

$$(2) \quad N \geq 10$$

Ostatnie rozporządzenie sprzed sześciu lat [6] nie wypowiada się na ten temat wcale.

Stosowanie wymagania (1) lub (2) przy sprawdzaniu liczników, z zastosowaniem metody licznika kontrolnego (wymagania te zostały ustalone właśnie dla metody licznika kontrolnego) czy z zastosowaniem nowoczesnej metody kalibratora kontrolnego [6], wielokrotnie ogranicza wydajność sprawdzania nowoczesnych użytkowych liczników energii z zastosowaniem nowoczesnych testerów czy stacji wzorcowniczych.

Dopiero najnowsza norma na liczniki energii [7], w wielu aspektach uznawana jako norma nowego podejścia (i z tego pewnie powodu wywołała wiele kontrowersji [8]), po raz pierwszy podaje wytyczne do przyjęcia rozsądnej analitycznej zależności dla ustalania czasu pomiaru energii - liczby zliczanych impulsów. Otóż norma ta wymaga, aby powtarzalność wyników pomiaru błędu w każdym punkcie pomiarowym była lepsza niż 1/10 dopuszczalnego błędu E_{max} , przy czym powtarzalność powinna być obliczana z

przynajmniej trzech wyników pomiaru błędu licznika. Aby to uzyskać należy wybrać odpowiednią liczbę N zliczanych impulsów, co skutkuje wystarczającym czasem pomiaru t_p . Jeżeli jako miarę powtarzalności przyjąć estymator odchylenia standardowego s , wtedy warunek na wymagany czas pomiaru można przedstawić w następującej postaci:

$$(3) \quad t = t_p \Leftrightarrow s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2} \leq \frac{1}{10} \cdot E_{\max}$$

gdzie: n – liczba powtarzanych pomiarów w jednym punkcie pomiarowym (zalecana wartość $n=3$), E_i – błąd procentowy licznika z i -tego pomiaru, \bar{E} – średnia wartość błędu procentowego licznika z n pomiarów, E_{\max} – dopuszczalny błąd procentowy licznika.

Opis stanowiska do badań

Jako obiekt do badań wybrano trójfazowy licznik energii czynnej typu EM03 Lumel [9] o następujących parametrach:

- klasa B wg EN 50470 co odpowiada klasie 1 wg wcześniejszych norm,
- napięcie bazowe 3x127/220 V-3x230/400 V,
- prąd bazowy 10 A,
- prąd maksymalny 100 A.

Sprawdzenie dokładności takiego licznika, zgodnie z tabl. 13 w/w normy, powinno być wykonane w punktach pomiarowych zestawionych w tabl. 1 w zakresie prądów od 0,5 A do 100 A.

Jako tester MTE zastosowano zautomatyzowany system pomiarowy do sprawdzania liczników energii złożony z:

- trójfazowego kalibratora mocy typu C300 Calmet [10, 15],
- komputera PC z programem *Calpro 300 TS* [11],
- fotogłowicy CF100 [12] do automatycznego zliczania impulsów emitowanych przez diodę LED licznika.

Tabela 1. Zestawienie punktów pomiarowych licznika EM03

Obciążenie	U	f	cosφ	I=			
				I _{min} 0,5A	I _{tr} 1A	10·I _{tr} 10A	I _{max} 100A
L123	U _n	f _n	1	√	√	√	√
L123			0,5L	√	√	√	√
L123			0,8C	√	√	√	√
L1			1	√	√	√	√
L1			0,5L	√	√	√	√
L2			1	√	√	√	√
L2			0,5L	√	√	√	√
L3			1	√	√	√	√
L3	0,5L	√	√	√	√		

L123 – obciążenie symetryczne,
L1, L2 i L3 – obciążenia jednostronne faz L1, L2 i L3,
U_n, f_n – napięcie i częstotliwość nominalne

Norma IEC 736 [5] już dawno ustaliła wymagania na testery MTE zarówno w zakresie ich dopuszczalnych błędów procentowych, jak i wymaganej powtarzalności w postaci estymatora odchylenia standardowego. W przypadku testu dokładności licznika EM03, tester MTE powinien spełniać następujące wymagania:

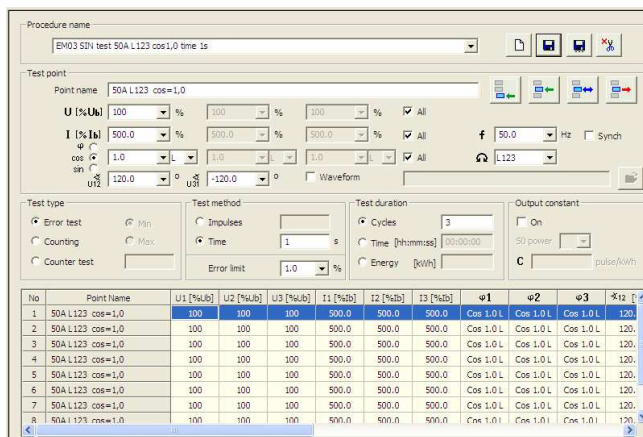
na dopuszczalny błąd procentowy

$$(4) \quad E_{\max} \leq 0,20\% @ \cos\phi=1 \cap E_{\max} \leq 0,30\% @ \cos\phi=0,5L$$

na wymaganą powtarzalność

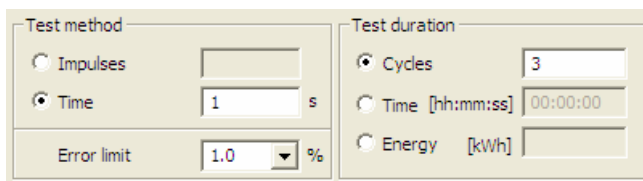
$$(5) \quad s_{\max} \leq 0,02\% @ \cos\phi=1 \cap s_{\max} \leq 0,03\% @ \cos\phi=0,5L$$

Rysunek 1 przedstawia widok okna edycji procedury pomiarowej, które służy do przygotowania procedury zawierającej 28 punktów pomiarowych opisanych w tabl. 1. Ze względu na temat artykułu jest tu szczególnie istotne pole o nazwie *Test method* – metoda pomiaru, które w powiększeniu przedstawiono na rys. 2. W polu tym zadawany jest czas pomiaru energii, albo przez podanie liczby impulsów N (*Impulses*), albo przez podanie czasu pomiaru t_p (*Time*). Pole to ma możliwość indywidualnej edycji wartości liczby impulsów czy czasu pomiaru dla każdego punktu pomiarowego, co pozwala na ustalanie różnych wartości czasu pomiaru energii dla różnych punktów pomiarowych. Sednem tego artykułu jest odpowiedź na pytanie, jaką tu wpisać wartość?



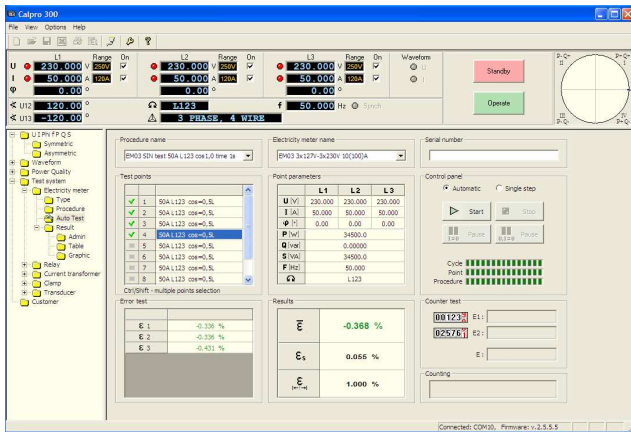
Rys.1. Widok okna edycji procedury pomiarowej

Drugie pole o nazwie *Test duration / Cycles* (Czas pomiaru / Cykle) umożliwia ustalenie liczby pomiarów, liczby powtórzeń (cykli), dla każdego z 28-miu punktów pomiarowych wg tabl. 1. Sugerowana jest tu liczba trzech powtórzeń jako wystarczająca do oceny powtarzalności wyników pomiarów i jako wystarczająco nieduża z uwagi na potrzeby zmniejszania czasu testowania licznika.

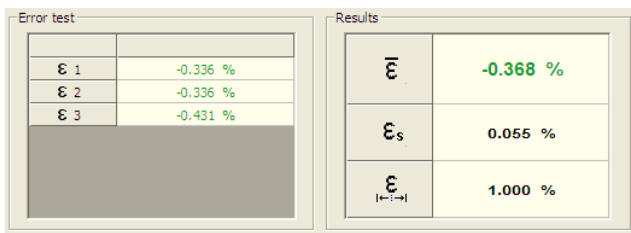


Rys.2. Widok pól *Test method* i *Test duration* okna edycji procedury pomiarowej

Rysunek 3 przedstawia widok kolejnego okna opisującego stanowisko do badań – okna realizacji automatycznego testu licznika. W oknie tym jest kojarzona procedura pomiarowa z typem licznika. Z punktu widzenia omawianego tematu są tu istotne pola przedstawione na rys. 4 o nazwie *Error test* – test dokładności, zawierające cząstkowe wyniki pomiaru błędu z trzech pomiarów danego punktu pomiarowego i pole *Results* – wyniki, zawierające średnią wartość błędu procentowego i estymator odchylenia standardowego z trzech pomiarów danego punktu pomiarowego.



Rys.3. Widok okna automatycznego testu



Rys.4. Widok pól Error test i Results okna automatycznego testu

Nierównomierność wyjścia impulsowego licznika

Przyczyny niepowtarzalności wyników pomiaru błędu licznika leżą zarówno po stronie samego licznika, jak i po stronie testera MTE. Wg normy [5] tester MTE powinien charakteryzować się około dziesięciokrotnie lepszą powtarzalnością (5) niż badany licznik, zatem przy stosowaniu właściwego testera MTE, powtarzalność wyników pomiaru zależy od właściwości samego licznika, a w szczególności od tzw. nierównomierności wyjścia impulsowego licznika.

Nierównomierność wyjścia impulsowego nie jest specyfikowana w dokumentacji technicznej licznika. Nierównomierność objawia się w ten sposób, że nawet przy zapewnieniu stałości obciążenia licznika w czasie, impulsy na wyjściu impulsowym pojawiają się w nierównych odstępach czasu. Typowy przypadek wygląda następująco: kilka kolejnych impulsów pojawia się w równych odstępach czasu, po czym kolejny impuls pojawia się w trochę innym odstępie czasu – mniejszym lub większym, po czym następuje kolejny cykl. Oczywiście mowa tu o licznikach elektronicznych, ponieważ w przypadku liczników indukcyjnych nierównomierność wyjścia impulsowego wynika z nierównomierności obrotów tarczy licznika i opóźnień układu elektromechanicznego emitującego impulsy elektryczne.

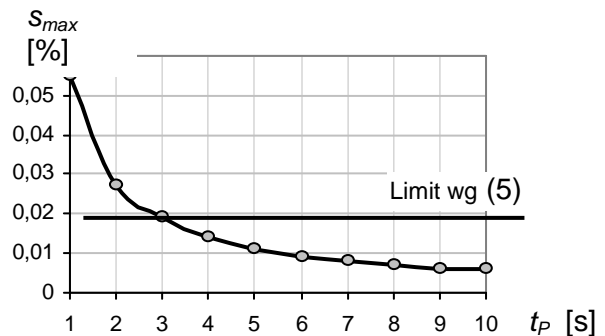
Uwzględnienie nierównomierności wyjścia impulsowego licznika staje się istotne przy skracaniu czasu pomiaru energii w celu zmniejszania czasu testowania licznika. Przy krótkich czasach pomiaru energii możliwy jest przypadek, że pomiary energii są realizowane tylko w czasie pojawiania się impulsów w równych odstępach czasu i wtedy odchylenie standardowe przyjmuje wartości bliskie zeru, co przedstawiono na rys. 5. Dla dużego obciążenia licznika EM03 (obciążenie symetryczne 50 A przy $\cos\phi=1$), w automatycznym teście wykonano dziesięć razy pomiar błędu licznika przy bardzo krótkim czasie pomiaru $t_p=1$ s i każdy z trzema powtórzeniami. Estymator odchylenia standardowego s (oznaczony w oknie jako ϵ_s) przyjmował

kolejno wartości: 0,000%; 0,000%; 0,000%; 0,055%; 0,000%; 0,000%; 0,000%; 0,055% i tak dalej.

I _Z [A]	I _S [A]	F [Hz]	Phi1	Phi2	Phi3	Limit [%]	ε [%]	ε _s [%]	OK	
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.368	0.055	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.368	0.055	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓
50.000	50.000	50.000	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	Cos 1.00 L	L123	1.000	-0.336	0.000	✓

Rys.5. Widok fragmentu okna wyników pomiaru w postaci tablicy

Pojawiające się co jakiś czas większe wartości odchylenia s oznaczono jako s_{max} i na rys. 6 przedstawiono zależność ich wartości w funkcji czasu pomiaru. Z rysunku widać, że dla spełnienia wymagania (5) na dopuszczalną wartość estymatora odchylenia standardowego, czas pomiaru energii t_p powinien być nie krótszy niż 3 sekundy. Wynik ten świadczy o bardzo dobrej jakości badanego licznika w sensie małej nierównomierności jego wyjścia impulsowego, co pozwala stosować wydajne czasowo procedury jego testowania.



Rys.6. Wykres maksymalnych wartości estymatora odchylenia standardowego w funkcji czasu pomiaru

Metody zadanego czasu pomiaru i zadanej liczby impulsów

Badanie nierównomierności wyjścia impulsowego licznika EM03 prowadzi do ustalenia wymagania na czas pomiaru w następującej postaci:

$$(6) \quad t_p \geq 3 \text{ s} \cap N \geq 1$$

Warunek ten dotyczy wszystkich punktów pomiarowych zestawionych w tabl. 1 dla danego egzemplarza licznika (lub typu w przypadku powtarzalności).

Warunek (6) jest realizowany w sposób naturalny przy stosowaniu *Metody zadanego czasu pomiaru* (przez wybór pola *Time* na rys. 2). Istota tej metody polega na tym, że zadawany jest czas pomiaru $t_p=3$ s, który jest mierzony od momentu przyjscia pierwszego impulsu – impulsu *Start*. Po upływie zadanego czasu pomiaru następuje oczekiwanie na kolejny impuls, który jest traktowany jako impuls *Stop*. Informacja o wartości czasu t_m między impulsami *Start* i *Stop* oraz liczba N zliczonych w tym czasie impulsów jest wykorzystywana do obliczenia błędu procentowego licznika wg następującego wzoru:

$$(7) \quad \delta_L = E = \frac{t_n - t_m}{t_m} \cdot 100\%$$

gdzie t_n jest nominalną (obliczoną) wartością czasu trwania N impulsów dla przypadku, gdyby licznik wskazywał bezbłędnie i wyznaczaną z następującego wzoru:

$$(8) \quad t_n = \frac{3600 \cdot 10^3}{C \cdot P} \cdot N$$

gdzie: t_n – nominalny czasu trwania N impulsów wyrażony w sekundach, C – stała impulsowa licznika wyrażona w impulsach na kilowatogodzinę lub kilowarogodzinę, P – moc obciążenia licznika w [W] lub [var].

Warunek (6) można też realizować niejako "od tyłu" przy stosowaniu *Metody zadanej liczby impulsów* (przez wybór pola *Impulses* na rys. 2). Istota tej metody polega na tym, że zadawana jest liczba impulsów N wyliczana z następującego warunku:

$$(9) \quad N = \frac{t_p \cdot C \cdot P}{3600 \cdot 10^3} \cap t_p \geq 3 \text{ s}$$

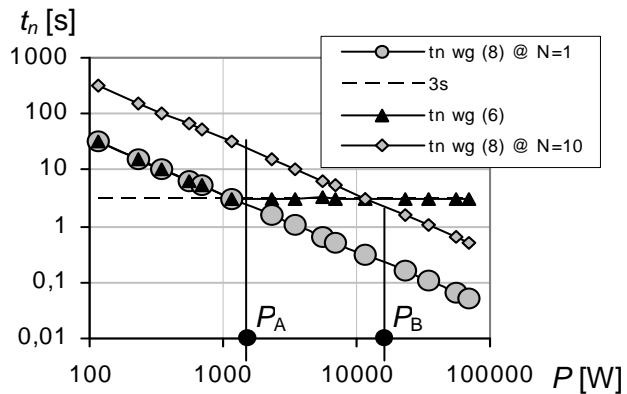
gdzie: t_p – czas pomiaru z warunku (6) wyrażony w sekundach.

Następnie jest mierzony czas od momentu przyjęcia pierwszego impulsu – impulsu *Start* do przyjęcia N -tego impulsu traktowanego jako impuls *Stop*. Informacja o wartości czasu t_m między impulsami *Start* i *Stop* oraz liczba N zliczonych w tym czasie impulsów jest wykorzystywana do obliczenia błędu procentowego licznika wg wzoru (7).

Obie metody są tożsame z punktu widzenia spełnianego warunku (6) i stosowanego wzoru (7), z którego jest wyliczany błąd procentowy licznika. Jednak z punktu widzenia pracochłonności przygotowania procedur pomiarowych *Metoda zadanej liczby impulsów* ma **ogromną przewagę** nad *Metodą zadanej czasu pomiaru* – dla wszystkich punktów obciążenia licznika wystarczy podać warunek $t_p = \text{const}$ (w przykładzie $t_p = 3$) zamiast wyliczania ze wzoru (9) wymaganej liczby impulsów N , różnej dla każdego punktu obciążenia w zależności od wartości mocy P .

Przykład aplikacyjny

Na rysunku 7 przedstawiono wykresy zależności nominalnej wartości czasu t_n w funkcji mocy P obciążenia licznika EM03 dla punktów pomiarowych zestawionych w tabl. 1. Zależność czasu t_n w funkcji mocy P wyznaczona z równania (8) przy stałej liczbie impulsów $N=1$ jest liniowa i oznaczono ją znakami koła. Badanie błędu licznika w warunkach $N = \text{const}$ i przy różnych mocach obciążenia licznika oznaczmy jako koncepcję typu $N = \text{const} @ P = \text{var}$, w tym przypadku jako $N=1 @ P = \text{var}$. Dla mocy obciążenia $P > P_A$ wartości czasu t_n są mniejsze niż 3 s, w związku z czym nie jest spełniony warunek (6) niezbędny dla zapewnienia wymaganej (5) wartości dopuszczalnej estymatora odchylenia standardowego.



Rys.7 Wykres nominalnego czasu pomiaru w funkcji mocy obciążenia licznika

Aby spełnić warunek (6) dla mocy obciążenia $P > P_A$, należy tak zwiększać liczbę N zliczanych impulsów, aby uzyskać czas pomiaru energii $t_n \geq 3$ s, co ilustruje zależność oznaczona znakami trójkąta. Jest to minimalno czasowa (optymalna) zależność czasu pomiaru energii w funkcji mocy obciążenia licznika, która spełnia wymaganie (6).

Jeżeli kierować się wytycznymi urzędowymi [2] i przyjąć stałą liczbę impulsów $N=10$ dla wszystkich wartości mocy obciążenia (koncepcja $N=10 @ P = \text{var}$), to zależność czasu pomiaru energii wyznaczonego ze wzoru (8) w funkcji mocy obciążenia licznika jest przedstawiona w postaci linii oznaczonej rombami. Dla mocy obciążenia $P > P_B$ wartości czasu t_n są mniejsze niż 3 s, w związku z czym nie jest spełniony warunek (6) niezbędny dla zapewnienia wymaganej (5) wartości dopuszczalnej estymatora odchylenia standardowego. Ponieważ o czasie badania błędu licznika decydują czasy badania w punktach o najmniejszej mocy obciążenia licznika, przyjęcie warunku stałej liczby impulsów $N=10$ wielokrotnie (około 8 razy) zwiększa czas badania licznika w stosunku do wcześniej omówionej zależności optymalnej czasowo. Oczywiście można zwiększać liczbę zliczanych impulsów do takiej wartości N , dla której przy największej mocy obciążenia jest spełniony warunek $t_n \geq 3$ s, ale to prowadzi do jeszcze bardziej wydłużonych czasowo procedur badań błędu licznika.

Przykłady nieracjonalnego wyboru czasu pomiaru energii

Autorzy publikacji naukowych z tematyki badania błędów liczników energii mają świadomość potrzeby podawania w publikacjach warunków przeprowadzanych eksperymentów, w tym podawania czasu pomiaru energii czy liczby zliczanych impulsów.

Omówiony w punkcie 5 przykład aplikacyjny wyraźnie pokazuje, że koncepcja $N = \text{const} @ P = \text{var}$ jest nieracjonalna czasowo, a jednak jest nadal lansowana w artykułach publikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych [16], gdzie Autorzy przyjęli stałą liczbę impulsów $N=1000$ dla mocy obciążenia licznika w zakresie dynamicznym jak 1:10 (zakres prądów 1...5A i zakres współczynnika mocy 0,5...1). Warunek $N=1000$ podano bez uzasadnienia. Korzystając ze wzoru (8) wyliczamy więc czas pomiaru energii dla znamionowego obciążenia licznika:

$$(10) \quad t_n = \frac{3600 \cdot 10^3}{4000 \frac{\text{imp}}{\text{kWh}} \cdot \frac{100\text{V}}{\sqrt{3}} \cdot 5\text{A}} \cdot 1000 \text{ imp} = 3118 \text{ s}$$

gdzie: 4000 imp/kWh jest wartością stałej C impulsowej licznika odpowiadającej wartości $2,5 \cdot 10^{-4}$ kWh/imp, $100V/\sqrt{3}$ i 5A są napięciem i prądem znamionowym badanego licznika MT300 Iskra.

Licznik MT300 jest licznikiem trójfazowym, ale był badany tylko w układzie jednofazowym ze względu na istotne ograniczenia możliwości stanowiska pomiarowego jakim dysponowali Autorzy artykułu [16], stąd w powyższym wzorze przyjęto wartość mocy jednofazowej. Wyliczony czas pomiaru równy 3118 s dla znamionowego obciążenia i 31180 s (to jest ponad 8 godzin) dla 10% obciążenia licznika są absurdalnie dużymi wartościami czasu pomiaru energii.

Z kolei Autorzy artykułu [17] dysponowali już nowoczesnym trójfazowym kalibratorem mocy typu 6100A Fluke [6] z możliwością stosowania opisanych wcześniej metod ustalania czasu pomiaru energii: *Metody zadanego czasu pomiaru* i *Metody zadanej liczby impulsów*. Z zamieszczonej w [17] treści związanej z wyborem czasu pomiaru energii i tłumaczonej na język polski czytamy, że "Czasowy interwał T (lub liczba zliczanych impulsów) były wybrane w każdym teście tak, aby niepewność pomiaru błędu procentowego nie przekraczała 1/10-tej dopuszczalnego błędu". Z takiej treści nie jest jasne, która metoda została zastosowana. Nie jest też jasne jaki wybrano interwał czasowy T (odpowiednik t_n w przypadku stosowania *Metody zadanego czasu pomiaru* lub jaką wybrano liczbę zliczanych impulsów N , jeżeli stosowano *Metodę zadanej liczby impulsów*). Nie jest też jasne, dlaczego Autorzy posługują się pojęciem "niepewności pomiaru błędu procentowego" skoro w badaniach dokładności liczników, od wielu już lat [5], są stosowane takie pojęcia jak "dopuszczalny błąd procentowy" plus "powtarzalność" a nie niepewność pomiaru. W/w wymagana wartość niepewności pomiaru jest przesadnie mała. Jeżeli jednak uprzeć się, aby stosować tu pojęcie niepewności pomiaru błędu procentowego, to w bilansie niepewności pomiaru i tak należy uwzględnić wiedzę o wartości estymatora odchylenia standardowego w funkcji czasu pomiaru, przedstawioną na rys. 6.

Podsumowanie

Aby sprawdzić dokładność licznika energii elektrycznej należy ustalić odpowiednią wartość czasu pomiaru energii uwzględniając przy tym zarówno konieczność spełnienia wymagań dokładnościowych, jak i pracochłonności badań. Stan prawny oparty na normach i rozporządzeniach [1, 2, 3] nie sprzyja poprawnemu rozwiązaniu tego zadania a publikacje [16, 17] związane z badaniem błędów liczników sugerują błędne koncepcje ustalania warunków badań.

W artykule zaproponowano przyjęcie estymatora odchylenia standardowego reprezentującego powtarzalność jako podstawę do wyznaczania czasu pomiaru energii (3). Zaprezentowano nowoczesne stanowisko do badań z zastosowaniem krajowego kalibratora typu C300 Calmet z oprogramowaniem *Calpro 300* umożliwiające nie tylko odtworzenie rzeczywistych warunków pracy licznika, ale również zautomatyzowaną statystyczną obróbkę wyników pomiarów, co jest niezbędne dla przyjęcia powtarzalności jako miary jakości testu.

Omówiono zjawisko nierównomierności wyjścia impulsowego licznika, które faktycznie decyduje o wymaganej wartości czasu pomiaru energii. Na przykładzie automatycznego badania (rys. 5 i 6) krajowego licznika EM03 Lumel zaproponowano algorytm postępowania przy ustalaniu wymaganej wartości czasu pomiaru energii definiując optymalne wymaganie w postaci równania (6).

Optymalne wymaganie (6) w sensie minimalno czasowym może być realizowane z zastosowaniem

omówionych metod: *Metody zadanego czasu pomiaru*, która ma ogromną przewagę w zakresie pracochłonności przygotowania procedur pomiarowych, i *Metody zadanej liczby impulsów*. Porównanie możliwości obu metod zaprezentowano (rys. 7) w przykładzie aplikacyjnym badań fizycznych licznika EM03.

W kolejnych przykładach, tym razem nieracjonalnego wyboru czasu pomiaru energii, zaprezentowano przykład zaczerpnięty z najnowszych publikacji [16] doświadczenia do absurdalnie dużych wartości czasu pomiaru energii. Kolejny przykład [17] pokazuje, jak mając do dyspozycji nowoczesne stanowisko pomiarowe można "błądzić" przy ustalaniu warunków pomiaru błędów licznika.

Oba w/w przykłady i wcześniejsze opisy ukazują problemy, z jakimi borykają się osoby wykonujące badania dokładności liczników energii, w zakresie ustalania miar jakości testu. Wydaje się, że problemy te wynikają z następujących powodów:

- ignorancji lub niezrozumienia wymagań normy EN 50470 w zakresie wymaganej powtarzalności wyników pomiarów i warunków jakie należy stworzyć, aby ją zapewnić z uwzględnieniem optymalizacji czasu pomiaru w sensie jego skracania,
- stereotypów wynikających z ograniczonych możliwości wcześniej stosowanych testerów liczników energii oraz norm i rozporządzeń, które uwzględniały ówczesny stan techniki. Nowoczesne testery liczników energii, zarówno te przeznaczone do badania liczników odłączonych od sieci [13], jak i te przeznaczone do badania liczników podłączonych do sieci [14], już od 10-ciu lat, oferują do wyboru obie metody: *Metodę zadanego czasu pomiaru* i *Metodę zadanej liczby impulsów*.

LITERATURA

- [1] O sprawdzaniu narzędzi do pomiaru energii elektrycznej, Instrukcja nr 5 Prezesa PKNMij, *Dziennik Normalizacji i Miar*, 1981, n.15
- [2] Instrukcja sprawdzania użytkowych i kontrolnych liczników energii elektrycznej prądu przemiennego, Zarządzenie nr 5 Prezesa GUM, *Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa*, 1995, n.2
- [3] Wymagania metrologiczne, którym powinny odpowiadać liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego, klasy dokładności 0,2; 0,5; 1 i 2, Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej, Dz. U. z dnia 5 marca 2004
- [4] Olencki A., Urbański K., Szmytkiewicz J.: Stacjonarne jednostanowiskowe stacje wzorcownicze, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2009, n.7, 189-191
- [5] Testing equipment for electrical energy meters, IEC Publication 736, 1982
- [6] Using the 6100A Electrical Power Standard to calibrate energy meters, Application Note, Fluke, 2006, http://support.fluke.com/calibration-sales/Download/Asset/2130388_6200_ENG_B_W.PDF
- [7] Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) – Część 3: Wymagania szczegółowe – Liczniki statyczne energii czynnej (klas A, B i C), norma PN-EN 50470-3: 2009
- [8] Handbook on Electricity Meters, APEC/APLMF Training Courses in Legal Metrology, 2007, China
- [9] EM03 Electronic Watt-hour Meter, Lumel, www.lumel.com.pl/download/Z2Z4L2x1bWVsL2VvL2RlZmF1bHRfbXVsdGlsaXN0YV9wbGlr3cudjAvNDQz/em_03_data_sheet.pdf
- [10] Trójfazowy kalibrator mocy i tester aparatury energetycznej typu C300, Instrukcja obsługi, 2010, Calmet, <http://www.calmet.com.pl/pdf/C300%20Instrukcja%20Obslugi.pdf>
- [11] Program komputerowy do sterowania kalibratorem typu C300 (wersja TS Test System – automatyczne testowanie urządzeń) Calpro 300 TS, Instrukcja obsługi, 2007, Calmet, <http://www.calmet.com.pl/pdf/Calpro300%20TS%20Instrukcja%20Obslugi.pdf>

- [12] Głowica fotoelektryczna CF100, katalog, Calmet, 2006, <http://www.calmet.com.pl/pdf/CF100%20katalog.pdf>
- [13] Olencki A.: Rozwój wzorców parametrów sieci energetycznej, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, 2009, n.12, 993-996
- [14] Olencki A.: Testery liczników energii podłączonych do sieci, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, 2010, n12, 1557-1560
- [15] Olencki A.: Trójfazowy kalibrator mocy & automatyczny tester urządzeń elektrycznych, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, 2006, n.6 wyd. spec., 106-108
- [16] Ferraro A., Fajfer M, Salicone S.: On Testing the Electronic Revenue Energy Meters, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58 (2009), n.9, 3042-3049
- [17] Catoliotti A., Cosentino V., Lipami A., Nuccio S.: On the Calibration of Reactive Energy Meters under Non Sinusoidal Conditions, XIX IMECO Kongres Fundamental and Applied Metrology, Lisbon, 2009, 719-723

Autorzy: dr hab. inż. Andrzej Olencki, prof.UZ, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, E-mail: A.Olencki@iie.uz.zgora.pl