

Jerzy SZUTKOWSKI

GŁÓWNY URZĄD MIAR, ZAKŁAD ELEKTRYCZNY,
ul. Elektoralna 2, 00-139 Warszawa

Pomiar energii przy małym poborze prądu AC

Inż. Jerzy SZUTKOWSKI

Pracuje na stanowisku Głównego Metrologa w Zakładzie Elektrycznym Głównego Urzędu Miar. Zajmuje się precyzyjnymi pomiarami energii elektrycznej prądu przemiennego. Główne zainteresowania zawodowe to pomiary mocy i energii prądu przemiennego metodą próbkowania sygnałów napięcia i prądu oraz pomiary harmonicznych przebiegów odkształconych. Organizuje i bierze udział w krajowych i międzynarodowych porównaniach międzylaboratoryjnych w dziedzinie energii elektrycznej.



e-mail: j.szutkowski@gum.gov.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę rozszerzenia zakresu pomiarowego wzorca odniesienia miary mocy i energii, o zakres pomiaru dla małych prądów rzędu 1 mA. Zamieszczono wyniki pomiarów potwierdzające słuszność przyjętej metody oraz dokładność rozszerzonego zakresu pomiarowego wzorca.

Słowa kluczowe: moc i energia prądu AC, licznik energii elektrycznej prądu AC.

Energy AC measurement at small load current**Abstract**

Accurate measurements of power and energy of electrical equipment of small AC load current still create a lot of problems. That is why the issues concerning such measurements are presented in this paper. A reference standard for power and energy alternating current used in the Central Office of Measures in Poland is the standard energy meter RD-22. In the third section of this paper the reference standard RD-22 and its metrology characteristics are presented. The author of this work proposes a solution to extend the current range of the reference standard by adding an additional range for small currents. This solution enables accurate measurements of very small energy. The author describes a method for verification of the extended measuring range of alternating currents of the energy reference standard. The paper contains the results of measurements confirming the validity of this method and confirms the accuracy of the reference standard for this range. The main conclusion of this work is emphasizing the need for further research in the field of measurements of small AC current and small power and energy in cooperation with other scientific centers.

Keywords: AC power and energy, AC electricity meter.

1. Wstęp

Koniec XX i początek XXI wieku to czas nieustannie galopującego rozwoju społeczeństwa informacyjnego, globalnej cyfryzacji i powszechnego stosowania tysięcy różnego rodzaju urządzeń elektrycznych.

Prognozuje się, że zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie rosło. Obecnie energia elektryczna w Polsce w przeważającej mierze jest wytwarzana w wyniku spalania węgla. Energetyka w Polsce, rocznie zużywa ponad 40 milionów ton węgla emitując ok. 160 milionów ton gazów cieplarnianych. Co prawda obserwujemy dość dynamiczny rozwój alternatywnych źródeł energii, często instalowanych w lokalnych środowiskach tworzących infrastrukturę energetyki lokalnej, jednak biorąc pod uwagę postępujący wzrost zapotrzebowania na energię w Polsce wydaje się, że cała energetyka nie będzie w stanie zaspokoić rosnących potrzeb. Staje się zatem nieodzowne efektywniejsze gospodarowanie wytworzoną energią przez jej racjonalne wykorzystanie oraz świadome oszczędzanie. Propagowanie świadomego oszczędzania energii przez jej odbiorców będzie skuteczne i przyniesie efekty w skali globalnej jedynie wtedy, gdy każdy odbiorca dostrzeże

efekt oszczędzania energii w postaci obniżonych rachunków za energię elektryczną.

2. Rzetelny pomiar energii elektrycznej

Jak wiadomo energia elektryczna jest towarem, za nabycie którego każdy jej odbiorca musi zapłacić dostawcy. Ilość zużytej energii jest mierzona licznikiem energii elektrycznej. Zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem, właścicielem licznika (systemu pomiarowego) i jednocześnie odpowiedzialnym za jego poprawne pomiary jest dostawca energii. Liczniki energii służące do rozliczeń za zużytą energię zgodnie z ustawą Prawo o miarach, podlegają prawnej kontroli metrologicznej przez ocenę zgodności z dyrektywą europejską właściwą dla przyrządów pomiarowych oraz legalizację (weryfikację) każdego licznika przed jego zainstalowaniem. Zgodnie z prawem wykonywana jest również okresowa legalizacja zwana legalizacją ponowną, liczników indukcyjnych co 15 lat a liczników elektronicznych co 8 lat. Każdy odbiorca energii ma prawo oczekiwać, że płaci rachunki za zużytą energię zmierzoną przez licznik energii z należytą dokładnością.

Jak wiadomo wszystkie obecnie wytwarzane urządzenia informacyjno-telekomunikacyjne oraz powszechnego użytku w gospodarstwach domowych takie jak DVD, telewizory, monitory, a także pralki i lodówki wyposażone są w elektroniczne moduły czuwania tak zwane „Stand-by”, których zadaniem jest utrzymywanie urządzenia w ciągłej gotowości i szybkie włączenie go do działania. Każdy moduł czuwania do swojej pracy pobiera energię elektryczną, która wydaje się mało istotna w stosunku do całej energii zużytej przez urządzenie, w którym go zainstalowano. Energia pobierana przez moduły czuwania staje się dopiero znacząca, gdy się uwzględni skalę stosowania urządzeń w gospodarstwie domowym, urzędzie publicznym, czy zakładzie pracy.

W dzisiejszej rzeczywistości, w dobie użytkowania na tak wielką skalę nowoczesnych urządzeń energoelektrycznych i elektronicznych, pobierających nieraz małe ilości energii, przed licznikami energii elektrycznej stoją nie lada wyzwania. Licznik będzie musiał mierzyć coraz to mniejsze ilości energii, w dodatku dokładnie. Należy zauważyć, że pomiar energii pobieranej przez moduły czuwania nie jest wbrew pozorom trywialny.

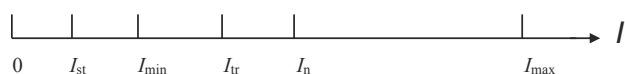
W Polsce przez długi okres czasu, rozliczenia za energię elektryczną oparte były na wynikach pomiaru energii przez liczniki indukcyjne z wirującą tarczą. W dużej mierze są one stosowane jeszcze obecnie. Pierwsze liczniki elektroniczne pojawiły się w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. W Polsce pierwsze liczniki elektroniczne zaczęto stosować dopiero po 2000 r. Wszystko wskazuje na to, że klasyczny licznik elektromechaniczny, jakim jest licznik indukcyjny, przejdzie wkrótce do historii. Pierwsze liczniki elektroniczne z lat 80 minionego wieku były układami mnożącymi sygnały analogowe. Niespełna 10 lat później pojawiły się pierwsze dedykowane układy scalone dla liczników elektronicznych. Obecnie jest wielu producentów układów scalonych przeznaczonych do pomiarów energii elektrycznej. Największą popularnością cieszą się układy scalone firmy Analog Devices czy Texas Instruments, a także firmy Cirrus Logic, która pierwsza zaoferowała dedykowany układ scalony umożliwiający budowę w pełni elektronicznego licznika energii elektrycznej prądu przemiennego. Zasadniczym elementem konstrukcji dedykowanych układów scalonych dla liczników elektronicznych są wysokiej klasy przetworniki A/C, dokonujące cyfrowego przetwarzania mierzonych sygnałów napięcia i prądu.

Elektroniczne liczniki, oprócz pomiaru energii, mogą również dokonywać pomiaru innych wielkości elektrycznych takich, jak:

- moc pozorna i bierna,
- wartości skuteczne napięcia i prądu,

- częstotliwość napięcia,
- parametry jakości energii elektrycznej.

Nowoczesne liczniki, tak zwane „Smart”, mają jeszcze wiele innych technicznych i funkcjonalnych możliwości, chociażby gromadzenie danych pomiarowych i przesyłanie ich do dostawcy energii, możliwość sterowania wyborem taryf, czy odłączenie zasilania w przypadku nie zapłacenia rachunku za energię. Ważną zaletą nowoczesnych liczników elektronicznych jest ich stosunkowo mały błąd względny i niepewność pomiaru. W związku z tym mogą zapewnić większą możliwość rzetelnych pomiarów energii. Ma to kolosalne znaczenie dla dostawców i odbiorców energii przy rozliczaniu kosztów energii. Inną bardzo ważną cechą liczników elektronicznych nowej generacji, jest bardzo mały prąd startowy I_{st} , tzw. prąd rozruchu. Wartości prądu znamionowego, startowego i innych na osi liczbowej można przedstawić jak na rysunku 1.



Rys. 1. Prądy charakterystyczne obciążenia licznika energii elektrycznej (I_{st} – prąd startowy, I_{min} – prąd minimalny, I_{tr} – prąd przejścia, I_n – prąd znamionowy, I_{max} – prąd maksymalny)

Fig. 1. Characteristic load currents of electricity meters (I_{st} – starting current, I_{min} – minimum current, I_{tr} – reference current, I_n – rated current, I_{max} – maximum current)

W prądowym zakresie pomiarowym licznika są charakterystyczne wartości prądów, które muszą być określone przez jego producenta zgodnie z obowiązującymi normami [1]. Normy te określają kompletny zbiór wymagań dla liczników energii, w tym zależności i związki pomiędzy charakterystycznymi wartościami prądów danego licznika. Taką charakterystyczną wartością prądu jest wartość prądu startowego I_{st} oraz prądu minimalnego I_{min} . Prąd minimalny I_{min} – jest to wartość prądu, powyżej której błąd licznika w warunkach odniesienia nie przekracza błędów granicznych dopuszczalnych. Natomiast prąd rozruchu jest to najmniejszy prąd płynący przez licznik, przy którym zaczyna on naliczać energię elektryczną w obwodzie. Jak widać na wykresie (rys. 1) wartość prądu startowego I_{st} jest znacznie poniżej wartości prądu minimalnego, powyżej którego błędy licznika energii elektrycznej nie mogą przekraczać granicznych błędów dopuszczalnych, określonych przez właściwe normy i prawo. Można więc zapytać o dokładność pomiaru energii w przedziale prądowym pomiędzy prądem startowym a minimalnym? Dla tego zakresu normy nie określają wartości błędów dopuszczalnych. Należy nadmienić, że regulacja prawa krajowego dotyczącego wybranej grupy dziesięciu przyrządów pomiarowych, w tym liczników energii elektrycznej czynnej, jest zgodna z prawem unijnym poprzez zaimplementowanie do prawa krajowego, dyrektywy MID – 2004/22/WE z dnia 31 marca 2004 r. w sprawie przyrządów pomiarowych [2].

W obowiązujących wymaganiach, została określona wartość prądu startowego licznika, stosownie do jego klasy dokładności i jego właściwe relacje w stosunku do prądu minimalnego oraz prądu nominalnego licznika. I tak na przykład dla licznika przekładnikowego o klasie dokładności A i prądzie bazowym (prąd bazowy I_b oznacza to samo co I_n – prąd znamionowy oraz I_{ref} – prąd odniesienia) 5 A zgodnie z obowiązującymi przepisami metrologicznym dotyczącymi liczników, prąd rozruchu wynosi 25 mA, ale gdy prąd bazowy wynosił będzie 1 A to wymagany prąd powodujący rozruch licznika powinien wynosić 5 mA. W przypadku klasy licznika C, prądy rozruchu są odpowiednio 20 mA i 4 mA. Zatem mały prąd rozruchu licznika pozwala mu naliczać energię pobieraną przez odbiorniki o bardzo małym poborze energii na przykład energię pobieraną przez moduły czuwania. Producenci liczników starają się, aby prąd startowy licznika był możliwie jak najmniejszy, gdyż często parametrem ten jest nobilitującym czynnikiem marketingowym ułatwiającym uzyskanie konkurencyjności w przetargach. Obecnie produkuje się liczniki elektroniczne o poborze własnym energii rzędu 1 W przez obwo-

dy napięciowe oraz zaledwie 0,1 VA przez obwody prądowe. Wobec powyższego, normalizacja pomiarów małych energii dla małych prądów przemiennych, stanie się w najbliższym czasie ważnym zagadnieniem dla administracji miar.

3. Modernizacja wzorca odniesienia energii

Wszystkie wspomniane wcześniej zagadnienia, w tym konieczność badania do oceny zgodności liczników o bardzo małych prądach rozruchu, stały się przyczyną, dla której podjęto w Zakładzie Elektrycznym Głównego Urzędu Miar próbę modernizacji wzorcowego licznika Radian typu RD-22, polegającą na rozszerzeniu jego zakresu pomiarowego o zakres pomiaru energii dla małych prądów. Nadmienić należy, że licznik RD-22, jest głównym wzorcem odniesienia dla jednostki miary energii elektrycznej w GUM, a tym samym w Polsce. Czynnione są również starania, by wzorzec ten stał się wzorcem państwowym. W tym celu prowadzone są ciągle badania jego charakterystyk metrologicznych oraz porównania międzynarodowe.

3.1. Krótka charakterystyka licznika RD-22

Licznik wzorcowy RD-22 jest jednofazowym przyrządem do pomiaru energii elektrycznej wyprodukowanym przez znaną amerykańską firmę RADIAN, która od kilkunastu lat jest znaczącym wytwórcą wzorcowych przyrządów do pomiaru mocy i energii. Jest on przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Licznik wzorcowy RD-22 przed modernizacją

Fig. 2. RD-22 standard electricity meter before modernization

Licznik RD-22 jest przyrządem, który mierzy symultanicznie kilka wielkości elektrycznych. Podstawowe wielkości mierzone to: wartości skuteczne napięcia, prądu oraz kąt przesunięcia fazowego między nimi. Licznik ma szereg innych funkcji pomiarowych, między innymi ma możliwość pomiaru przebiegów odkształconych, w tym współczynnika THD.

Jednofazowy licznik wzorcowy RD-22 firmy Radian jest jednym z najszlachetniejszych przyrządów wzorcowych jakie powstały w ostatnich latach i jest prawdopodobnie najdokładniejszym z nich. W najbardziej niekorzystnych warunkach określonych w całym zakresie pomiarowym, błąd pomiaru wartości mierzonej wielkości wynosi $\pm 0,01\%$, podczas gdy typowo błąd ten wynosi $\pm 0,005\%$. Najbardziej niekorzystne warunki uwzględniają parametry wpływające na stabilność, współczynnik mocy, niepewność pomiarów i błędy systemu pomiarowego. W liczniku wzorcowym RD-22 wykorzystano nową technologię pomiarową firmy Radian o nazwie Dytronic, w skład której wchodzi zaprojektowany przez firmę Radian prądowy przetwornik pomiarowy elektronicznie kompensowany oraz technika DSP. To rozwiązanie czyni licznik RD-22 przyrządem o możliwościach dokonywania dokładnych pomiarów rzeczywistych sygnałów.

3.2. Opis modernizacji

Prezentowana w artykule modernizacja dotyczy rozszerzenia zakresu pomiarowego energii elektrycznej dla małych prądów w przedziale od 1 mA do 200 mA. Zakres pomiarowy omawianego licznika wzorcowego, określony przez jego producenta zawiera się od 0,2 A do 125 A z dokładnością $\pm 0,01\%$ [3]. Modernizacja ma zapewnić dla rozszerzonego zakresu ten sam poziom do-

kładności, jaki deklarowany jest dla pierwotnego zakresu tego licznika.

Rozszerzenie zakresu zrealizowano przez nawinięcie 200 dodatkowych zwojów na prądowym przetworniku pomiarowym. Widok licznika z dodatkowym uzwojeniem przedstawia rysunek 3.

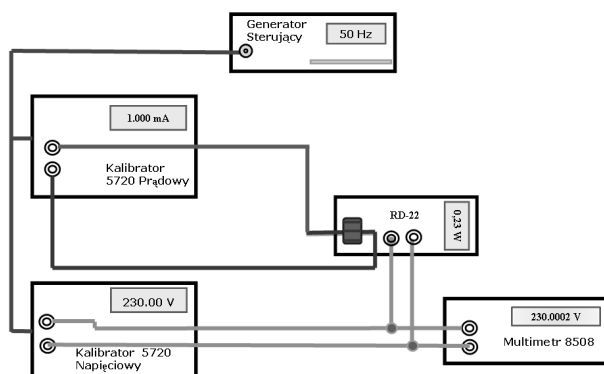


Rys. 3. Licznik wzorcowy RD-22 po modernizacji
Fig. 3. RD-22 standard electricity meter after modernization

Każdy dodatkowy zwój tak nawiniętego uzwojenia proporcjonalnie zwiększa wartość mierzonego prądu. Tak więc dwieście nawiniętych zwojów pozwala prąd 1 mA zwiększyć do wartości 200 mA, czyli do początku zakresu pomiarowego licznika, którego zadeklarowana dokładność wynosi $\pm 0,01\%$.

4. Pomiary i wyniki badań

Po wykonanej modernizacji licznika RD-22 zostało wykonane jego wzorcowanie. Układ pomiarowy stosowany do wzorcowania przedstawiony jest na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat blokowy układu do wzorcowania licznika RD-22
Fig. 4. Block diagram of the system for calibration of the AC energy reference standard

Wzorcowanie wykonano za pomocą kalibratora prądowego typu 5700 firmy Fluke, oraz kalibratora napięciowego typu 5720 tej samej firmy. Wcześniej oba kalibratory zostały wyzorcowane przy zastosowaniu przetworników AC/DC typu 792A firmy Fluke. Następnie zostały wprowadzone stosowne poprawki dla obu kalibratorów. Wykonano wzorcowanie dla prądów o wartościach 1 mA, 10 mA, 100 mA, 1 A, 2 A oraz 10 A. Wykonano dużą ilość pomiarów.

Wszystkich uzyskanych wyników nie sposób zamieścić w artykule. W tabelach 1 i 2 przedstawiono wyniki jedynie dla prądu 1 mA i prądu 100 mA. Wykonano również badanie zmodernizowanego licznika potwierdzające prawidłowe właściwości kompensacyjne prądowego przetwornika pomiarowego. Wyniki tego badania przedstawiono w tabeli 4. Wszystkie wyniki wzorcowania zamieszczone są w stosownych protokołach zgromadzonych w dokumentacji badania wzorca.

Tab. 1. Wyniki dla $I = 1$ mA

Tab. 1. Results for $I = 1$ mA

Lp.	I A	I ref A	δI %
1	20.0003910	20.00048	-0.000445
2	20.0004425	20.00048	-0.000187
3	20.0004311	20.00048	-0.000244
4	20.0004368	20.00048	-0.000216
5	20.0004292	20.00048	-0.000254
6	20.0004616	20.00048	-0.000092
7	20.0004387	20.00048	-0.000206
8	20.0004253	20.00048	-0.000273
9	20.0004234	20.00048	-0.000283
10	20.0004292	20.00048	-0.000254
średnia			-0.000246

Tab. 2. Wyniki dla $I = 100$ mA

Tab. 2. Results for $I = 100$ mA

Lp.	I A	I ref A	δI %
1	0.2000050	0.2000000	0.002500
2	0.2000063	0.2000000	0.003150
3	0.2000028	0.2000000	0.001400
4	0.2000048	0.2000000	0.002400
5	0.2000025	0.2000000	0.001250
6	0.2000056	0.2000000	0.002800
7	0.2000038	0.2000000	0.001900
8	0.2000034	0.2000000	0.001700
9	0.2000035	0.2000000	0.001750
10	0.2000057	0.2000000	0.002850
średnia			0.002170

Tab. 3. Wyniki badania kompensacji przetwornika

Tab. 3. The results of test compensation of transducer

f Hz	RD-22 Włączony		RD-22 Wyłączony	
	R Ω	L/C $\mu\text{H}/\mu\text{F}$	R Ω	L/C $\mu\text{H}/\mu\text{F}$
prąd DC	11,1398		11,1327	
50	11,1855	259,4 μH	90	133 mH
150	9,98	257,98 μH	99,33	12 mH
350	10,6	255 μH	76,7	4,00 μF
1000	10,28	250 μH	65,9	240 μF

5. Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki wzorcowania potwierdzają słuszność przyjętej koncepcji rozszerzenia zakresu pomiarowego przez nawinięcie 200 zwojów na przetworniku pomiarowym oraz dokładność poszerzonego zakresu prądowego, mieszczącą się w przedziale dokładności $\pm 0,01\%$. Metoda rozszerzenia zakresu przedstawiona w artykule, uzyskała pozytywną opinię producenta przyrządu [6].

Pomiarami małych mocy i energii zajmują się niektóre ośrodki akademickie. W Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach opracowano oryginalne układy pomiarowe małych mocy z wykorzystaniem nanowoltomierza wektorowego (LIA). W artykule [5] przedstawiono układy pomiarowe składowych prądów wejściowych liczników dołączanych do sieci bez obciążenia. W oparciu o uzyskane w ten sposób wyniki pomiarów możliwe jest obliczenie mocy czynnej, biernej i pozornej strat własnych liczników. Zakład Elektryczny GUM w najbliższym czasie planuje podjęcie współpracy z Instytutem Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląski a także z innymi ośrodkami naukowymi w zakresie pomiarów małych mocy i energii.

W Zakładzie Elektrycznym GUM prowadzone są dalsze badania i pomiary licznika RD-22. Planuje się wykonać w najbliższym czasie wzorcowanie licznika RD-22 za pomocą innych kalibratorów, takich jak Rotek 8100 oraz Fluke 6101A. Zaplanowane jest również wykonanie wzorcowania licznika RD-22 w PTB w Niemczech oraz NIST w USA. Wszystkie podejmowane przez nas działania, mają na celu potwierdzenie poprawności przyjętego rozwiązania oraz potwierdzenie uzyskanych rezultatów. Rozszerzenie zakresu pomiaru dla małych prądów, pozwoli na wykonywanie licznikiem RD-22 pomiarów małych mocy i energii. Umożliwi wzorcowanie w zakresie prądu od 1 mA liczników kontrolnych stosowanych w przemysłowych laboratoriach akredytowanych i terenowej administracji miar. W dalszej kolejności rozszerzenie zakresu pomiarowego licznika RD-22 polepszy precyzję kontroli i wyznaczania błędów domowych liczników elektronicznych, szczególnie w zakresie pomiaru bardzo małych energii. Poprawi dokładność pomiaru coraz to mniejszych prądów startowych liczników użytkowych, które są rzędu pojedynczych miliamperów. W rezultacie zwiększy się zaufanie do pomiarów energii, za którą uiszcza rachunki każdy jej odbiorca. W konsekwencji może to również pośrednio przyczynić się do oszczędności energii.

Za pomocą zmodernizowanego licznika RD-22 wykonano szereg pomiarów mocy różnych odbiorników energii, wyposażonych w moduły czuwania (Stand-by) oraz małych żarówek LED o niewielkich mocach rzędu pojedynczych watów, a nawet poniżej 1 wata. Uzyskane rezultaty można przyjąć za zadawalające. Pomiar małych mocy i energii jak wykazano w przedstawionym opracowaniu jest koniecznością, a przedstawione i opracowane przez autora rozwiązanie umożliwi administracji miar ich realizację bez konieczności zakupu nowego i drogiego wyposażenia pomiarowego.

6. Literatura

- [1] Normy: PN-EN 50470-1:2008 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego)- Część 1: Wymagania ogólne, badania i warunki badań - Urządzenia do pomiarów (klas A, B i C), PN-EN 50470-2:2008 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego)- Część 2: Wymagania szczegółowe - Liczniki elektromechaniczne energii czynnej (klas A i B), PN-EN 50470-3:2009 Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) Część 3: Wymagania szczegółowe - Liczniki statyczne energii czynnej (klas A, B i C).
- [2] Dyrektywa 2004/22/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 31 marca 2004 r. w sprawie przyrządów pomiarowych.
- [3] RD-22 Primary Transfer Standard - Operations Manual.
- [4] Polska 2012 Raport o stanie gospodarki - Ministerstwo Gospodarki.
- [5] Piaskowy A., Skórkowski A., Skubis T.: Pomiary mocy strat własnych wybranych liczników energii elektrycznej stosowanych w systemach SMART GRID. Pomiary Automatyka Kontrola vol. 59, nr 6, str. 532-536, 2013.
- [6] Ocena modernizacji - Joel Canine Customer Service and Support Supervisor Radian Research, Inc. Phone Direct: (765)449-5514.

otrzymano / received: 29.11.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.01.2014

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Newsletter PAK

Wydawnictwo PAK wysyła drogą e-mailową do osób zainteresowanych Newsletter PAK, w którym są zamieszczane:

- spis treści aktualnego numeru miesięcznika PAK,
- kalendarz imprez branżowych,
- ważniejsze informacje o działalności Wydawnictwa PAK.

Newsletter jest wysyłany co miesiąc do osób, które w jakikolwiek sposób współpracują z Wydawnictwem PAK (autorzy prac opublikowanych w miesięczniku PAK, recenzenci, członkowie Rady Programowej, osoby które zgłosiły chęć otrzymywania Newslettera).

Celem inicjatywy jest umocnienie w środowisku pozycji miesięcznika PAK jako ważnego i aktualnego źródła informacji naukowo-technicznej.

Do newslettera można zapisać się za pośrednictwem:

- strony internetowej: www.pak.info.pl, po dodaniu swojego adresu mailowego do subskrypcji,
- adresu mailowego: wydawnictwo@pak.info.pl, wysyłając swoje zgłoszenie.

Otrzymywanie Newslettera nie powoduje żadnych zobowiązań ze strony adresatów. W każdej chwili można zrezygnować z otrzymywania Newslettera.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK