

Zbigniew Wołczyński, Karol Pakosz, Paweł Stachyra

Komputerowo wspomagane stanowisko do badania mocy nowoczesnych źródeł światła

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.486
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówiony został sposób pomiaru mocy nowoczesnych źródeł światła takich jak świetlówki kompaktowe i lampy oparte na diodach LED. Odbiorniki zasilane prądem przemiennym (sinusoidalnie zmiennym) pobierają z sieci moc pozorną. Składa się na nią moc czynna i bierna. Nowoczesne źródła światła pobierają z sieci energetycznej prąd o przebiegu znacznie odbiegającym od przebiegu napięcia sieci. Niemożliwy jest zatem dokładny pomiar mocy w sposób tradycyjny. Zaprezentowany w artykule sposób pomiaru wykorzystuje technikę komputerową co pozwala na dokładny pomiar mocy odbiornika przy dowolnych przebiegach napięcia i prądu odbiornika.

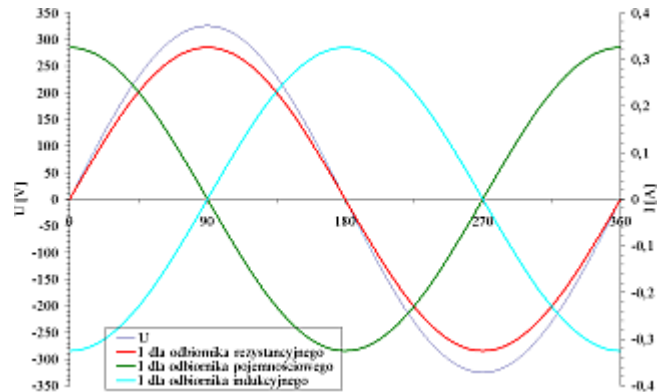
Słowa kluczowe: moc, źródło światła, komputerowa technika pomiarowa.

Wstęp

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat tradycyjne źródła światła (żarówki) zostały zastąpione nowoczesnymi. Najpierw były to świetlówki kompaktowe a obecnie lampy oparte na diodach elektroluminescencyjnych (LED). Źródła te nazywane są bardzo często energooszczędnymi ze względu na kilkakrotnie mniejszy pobór energii w porównaniu z żarówkami. Zarówno świetlówki kompaktowe jak i lampy oparte na diodach LED wymagają elektronicznych układów zasilania. Każda świetlówka kompaktowa i każda lampa LED ma wbudowany odpowiedni elektroniczny układ zasilający. Sprawia to często, że moc pobierana przez takie źródła światła jest mocą pozorną, różną od mocy czynnej mierzonej przez liczniki energii elektrycznej stosowane w domach. Łatwo można to stwierdzić odczytując dane ze źródła światła, np. prąd pobierany $I=85\text{mA}=0,085\text{A}$, napięcie $U=230\text{V}$ i moc $P=9\text{W}$. W tym przypadku moc pozorną jako iloczyn prądu i napięcia wynosi $S=19,55\text{VA}$ i jest większa od mocy czynnej $P=9\text{W}$.

Sieć energetyczna w domach jest siecią prądu sinusoidalnie zmiennego. Prąd taki zasilając odbiorniki powoduje wydzielanie się na nich mocy zależnej od ich charakteru. Żarówki były odbiornikami mocy czynnej ze względu na ich czysto rezystancyjny charakter. Odbiorniki o charakterze czysto indukcyjnym bądź czysto pojemnościowym pobierają moc bierną. Jednak w rzeczywistości mamy do czynienia z odbiornikami o charakterze rezystancyjno-pojemnościowym bądź o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym. Takie odbiorniki pobierają moc pozorną w skład której wchodzi moc czynna i bierna.

Odbiornik pobiera moc czynną jeśli płynący przez niego prąd jest w fazie z napięciem. Na elementach czysto indukcyjnych prąd opóźniony jest w fazie względem napięcia o 90° , natomiast na elementach czysto pojemnościowych wyprzedza napięcie o 90° . Przedstawia to rysunek 1.



Rys. 1. Przykładowe przebiegi prądów w odbiornikach: - rezystancyjnym, - pojemnościowym, - indukcyjnym wymuszonych napięciem sinusoidalnie zmiennym

W praktyce obciążenia mają charakter mieszany. Zatem moce oblicza się jako iloczyn prądu i napięcia oraz funkcji kąta φ pomiędzy prądem i napięciem:

– moc czynna,

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

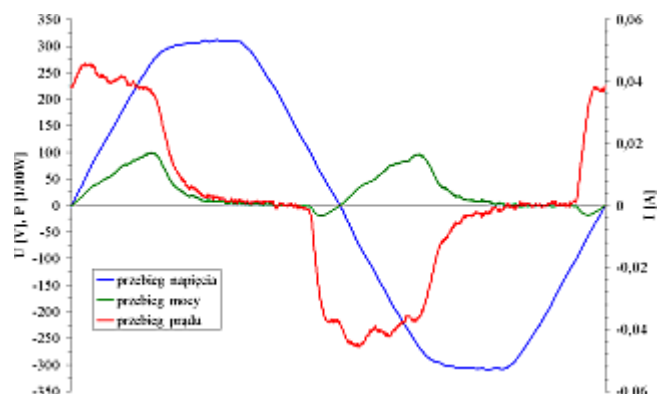
– moc bierna,

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

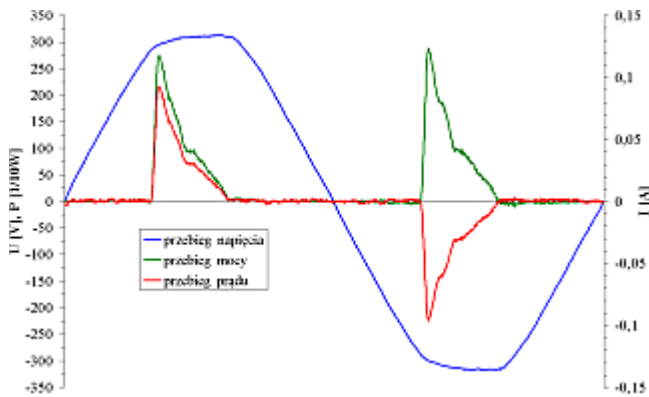
– moc pozorną

$$S = U \cdot I \quad (3)$$

Korzystając z powyższych wzorów można obliczyć moce w odbiorniku pod warunkiem, że zarówno przebiegi prądu jak i napięcia mają charakter sinusoidalny i można zmierzyć ich wartości skuteczne. Nowoczesne źródła światła pobierają prąd którego przebieg nie jest sinusoidalny rys. 2 i 3. W takich przypadkach pomiar mocy jest utrudniony. Można go wykonać w oparciu o przebiegi prądu i napięcia w czasie z odpowiednio dużą częstotliwością pomiaru. [1][2][5]



Rys. 2. Przykładowe przebiegi: napięcia, prądu i mocy w lampie złożonej z 80 diod LED i odpowiedniego układu zasilającego



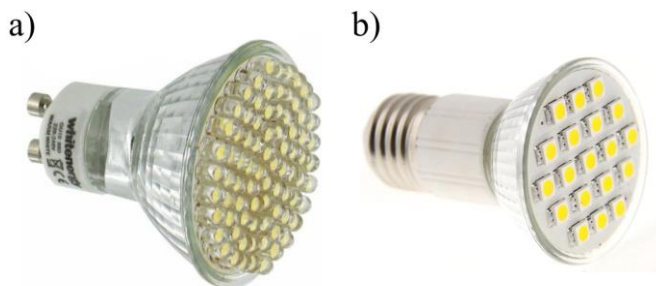
Rys. 3. Przykładowe przebiegi: napięcia, prądu i mocy w świetlówce kompaktowej lub lampie LED z impulsową przetwornicą napięcia

1.Charakterystyka nowoczesnych źródeł światła

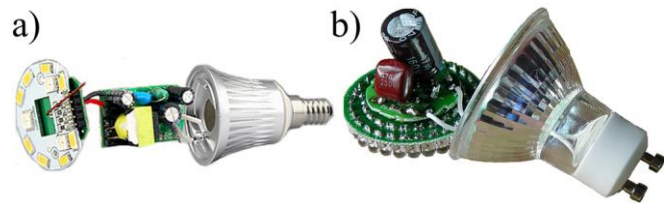
Szybki postęp w technologii wytwarzania diod LED spowodował, znaczący spadek ich cen oraz masowe zastosowanie w oświetleniu.

W oparciu o białe diody LED budowane są lampy LED (często nieprawidłowo nazywane „żarówkami LED”). Lampy LED umieszczone są w obudowach pozwalających stosować je w oprawach oświetleniowych przeznaczonych dla żarówek. Źródłem białego światła w lampach LED jest niebieska dioda elektroluminescencyjna i luminofor. Dioda elektroluminescencyjna emituje światło o długości fali ok. 450 nm. Światło niebieskie pobudza do świecenia luminofor umieszczony w obudowie diody. Pobudzony luminofor emituje światło żółtozielone, które zmieszane z niebieskim światłem diody daje światło białe. W zależności od rodzaju luminoforu, można uzyskać biały kolor o różnej temperaturze. W 2014 roku skonstruowano diodę LED o białej barwie i wydajności 303 lumenów na wat mocy elektrycznej zasilającej lampę. Jest to największa wydajność spośród wszystkich znanych źródeł światła. Od tego momentu źródła światła oparte na diodach LED wypierają pozostałe źródła.

Lampy diodowe służące do oświetlania mają bardzo często cokol typowy dla żarówek, np. E14 lub E27 (rys. 4b), który pozwala umieścić je w oprawie dla żarówek a także znormalizowane przyłącza bagnetowe albo igiełkowe (rys. 4a). Niskie napięcie konieczne do zasilania diod świecących białych jest wytwarzane za pomocą przetwornicy impulsowej (rys. 5a), której sprawność nie przekracza 95%. Rzadziej stosowane jest rozwiązanie polegające na połączeniu szeregowym takiej liczby diod (np. 80), aby zasilac je bezpośrednio z napięcia sieci poprzez kondensator (impedancję) ograniczający prąd i prostownik z filtrem pojemnościowym eliminującym migotanie(rys. 5b). W zależności od sposobu zasilania diod zasilacze mają odpowiednie konstrukcję i pobierają prąd z sieci o różnym przebiegu co wymaga właściwego podejścia przy pomiarze mocy pobieranej przez lampę LED.



Rys. 4. Przykładowe obudowy lamp LED z cokolami typowymi dla żarówek



Rys. 5. Przykładowe indywidualne układy zasilające lamp LED

W lampach LED stosuje się zarówno diody klasyczne (okrągłe, coraz rzadziej) jak i nowoczesne diody montowane powierzchniowo (SMD) o szerszym kącie świecenia oraz większej trwałości.[3]

Nieco starsze i mniej energooszczędne świetlówki kompaktowe to rodzaj lamp fluorescencyjnych o kształcie zapewniającym małe wymiary gabarytowe (rys. 6). Świetlówki takie mają najczęściej kształt litery „U” lub spirali. Prawie zawsze mają one zintegrowany układ zapłonowy (rys. 7).



Rys. 6. Przykładowe rozwiązania świetlówek kompaktowych



Rys. 7. Przykładowy indywidualny układ zapłonowy świetlówek kompaktowej

- Posiadają pewne wady i zalety. Podstawowe zalety to:
- wyższa sprawność zamiany energii elektrycznej na światło niż źródła konwencjonalne,
 - dłuższy czas pracy (przy rzadkim włączaniu/wyłączaniu),
 - mniejsza zależność strumienia świetlnego od napięcia zasilającego,

- wytwarzają światło o różnych barwach, a w przypadku barwy białej o temperaturze od 2500K (cieplej) do 6500K (zimnej). Podstawowe wady świetlówek kompaktowych to:
 - dają światło o mniej naturalnej barwie,
 - światło jest migające (niezauważalnie dla oka ludzkiego), co w niektórych przypadkach jest niekorzystne gdyż elementy wirujące mogą wydawać się jako stojące,
 - zawierają niewielkie ilości substancji toksycznych, co stanowi pewien problem przy ich utylizacji.

Wszystkie nowoczesne źródła światła posiadają elektroniczne układy zasilające. Układy te najczęściej posiadają zasilacz prądu stałego i przetwornicę impulsową (rys. 5a i 7). Rzadziej jest to tylko prostownik z ogranicznikiem prądu w postaci szeregowo włączonego kondensatora stanowiącego reaktancję dla prądu przemiennego o stałej częstotliwości 50Hz. Zatem ma ona wartość stałą zależną tylko od pojemności kondensatora. Wymienione układy zasilające pobierają prąd o charakterze pokazanym na rysunkach 2 i 3. Nie jest on w fazie z napięciem zasilającym i nie zmienia się w sposób zbliżony do zmian napięcia.[4]

2. Metodyka pomiaru mocy

Przedstawione we wstępie rodzaje mocy w obwodzie prądu zmiennego i wzory służące do ich wyznaczenia nie mają zastosowania w przypadku nowoczesnych źródeł światła. Przeszkodą w zastosowaniu jest niesinusoidalny przebieg prądu pobieranego przez ich układy zasilające.

W przypadku odbiorników takich jak nowoczesne źródła światła pomiar mocy czynnej możliwy jest przez scałkowanie chwilowych wartości mocy w całym okresie wg wzoru:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (4)$$

gdzie: T – okres,

$u(t)$ – chwilowa wartość napięcia,

$i(t)$ – chwilowa wartość prądu.

W tym celu należy zmierzyć (zarejestrować) chwilowe wartości prądu i napięcia i na ich podstawie wyznaczyć chwilowe wartości mocy. Im większa będzie częstota pomiaru tym dokładniejszy będzie pomiar mocy. Po scałkowaniu uzyskamy moc w badanym okresie.

3. Komputerowo wspomaganie stanowisko pomiarowe

Od czasu, kiedy komputerowa technika pomiarowa umożliwiła pomiar i rejestrację analogowych sygnałów napięciowych z odpowiednio dużą częstotliwością i dokładnością możliwy stał się pomiar mocy odbiorników o różnych przebiegach czasowych prądu. Komputerowa technika pomiarowa bazuje na kartach przetworników analogowo-cyfrowych i układach służących do archiwizacji wyników pomiarów. Laboratorium Podstaw elektrotechniki i elektroniki w Zakładzie Mechatroniki Samochodowej Wydz. Mechanicznego UTH w Radomiu dysponuje dwoma stanowiskami wspomaganymi komputerowo.

Stanowisko do pomiaru mocy nowoczesnych źródeł światła (rys. 8) składa się z tablicy umożliwiającej pomiar prądu i napięcia zasilającego źródło światła, oprawy do zainstalowania jednego z kilku badanych źródeł światła oraz komputera pomiarowego.

Tablica zawiera: dzielnik napięciowy umożliwiający pomiar napięcia przyłożonego do badanego źródła światła, rezystor pomiarowy prądu, gniazd do przyłączenia oprawy ze źródłem światła i komputera pomiarowego oraz lampki kontrolnej bezpiecznego podłączenia tablicy.

Komputer pomiarowy jest komputerem klasy PC wyposażonym w kartę pomiarową z 12-to bitowym przetwornikiem A/C i układami archiwizacji danych. Przetwornik A/C ma maksymalną częstotliwość przetwarzania 500kHz. Obsługuje on od 1 do 16 kanałów pomiarowych. Jeśli używany jest tylko jeden kanał to pomiar sygnału może być wykonywany z szybkością 500000 razy na sekundę. W przypadku użycia większej liczby kanałów szybkość dzieli się przez liczbę kanałów. Mierzone sygnały wejściowe muszą zawierać się w jednym z możliwych zakresów. Zakres ustawiany jest programo-



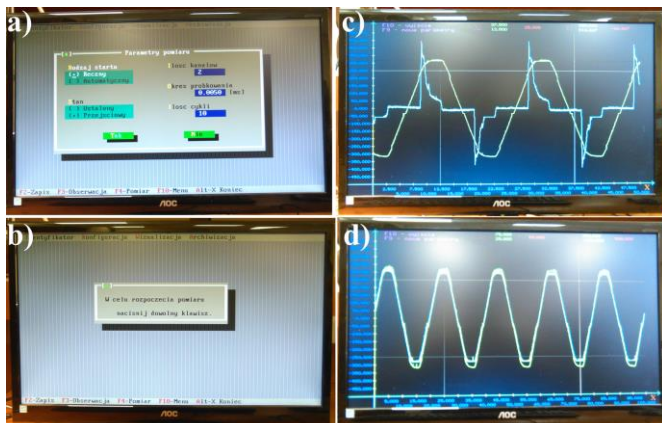
Rys. 8. Stanowisko do pomiaru mocy nowoczesnych źródeł światła, 1 – badane źródło światła, 2 – tablica pomiarowa stanowiska, 3 - komputer pomiarowy

wo podczas uruchamiania komputera. Do pomiaru mocy źródeł światła używa się zakresu napięć wejściowych: $\pm 5V$. 12 bitowy przetwornik przekształca sygnał wejściowy na 1 z 2^{12} stanów czyli 4096. Przy czym napięciu $-5V$ na wejściu odpowiada stan 0 na wyjściu a napięciu $5V$ stan 4095.

4.Przebieg pomiaru mocy

Badanie przeprowadza się na stanowisku pokazanym na rys. 8. Badane źródło światła umieszcza się w odpowiedniej oprawie podłączonej do opisanego gniazda tablicy pomiarowej. Również komputer pomiarowy podłącza się do opisanych gniazd tablicy pomiarowej, uruchamia się i konfiguruje zgodnie z instrukcją. Polega to na wyborze trybu pomiaru, liczby kanałów, okresu próbkowania oraz liczby próbek (ekran konfiguracyjny przedstawia rys. 9a). W badaniu używanych jest dwa kanały zatem najkrótszym, okresem próbkowania jest czas $0,004ms$.

Następnie załącza się źródło światła, uruchamia tryb pomiaru klawiszem F4. Chwilę startu pomiaru wybiera się ręcznie naciskając dowolny klawisz (rys. 9b). Po zakończeniu pomiaru wyniki zapisuje się do pliku dyskowego. Można je wstępnie ocenić wizualizując graficznie (rys. 9c i 9d). Cały proces pomiaru przy użyciu techniki komputerowej trwa zaledwie kilka minut. Sam pomiar to pojedyncze sekundy, pozostała część czasu konfiguracja pomiaru, montaż źródła światła w odpowiedniej oprawie i archiwizacja wyników pomiaru. Zatem jest to bardzo szybki pomiar.[5][6]



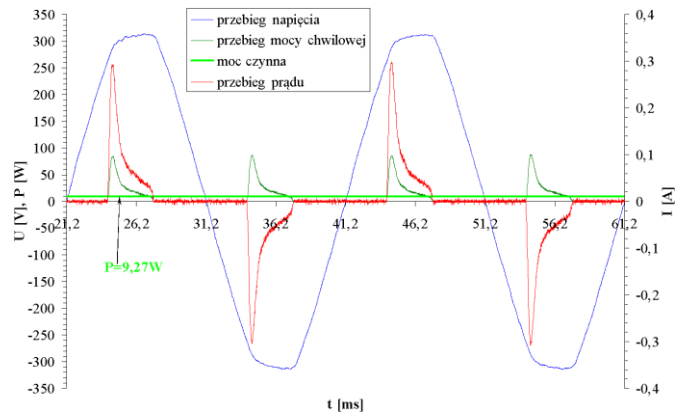
Rys. 4. Ekran menu konfiguracyjnego programu pomiarowego i przykładowe wizualizacje zarejestrowanych wyników

Zarejestrowane dane poddaje się przeliczeniu na jednostki napięcia i prądu. Przeliczenie odbywa się równaniami liniowymi typu:

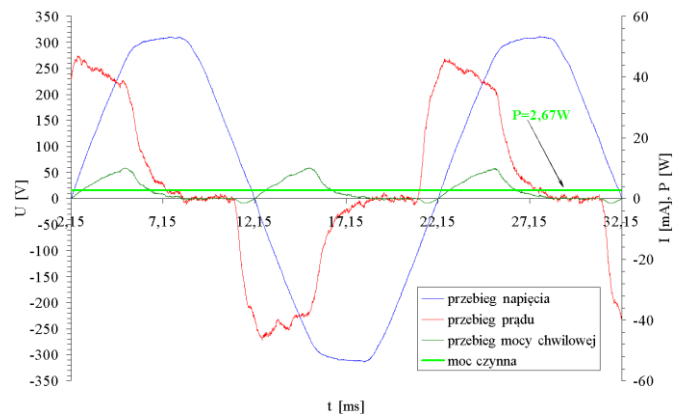
$$y = ax + b \quad (5)$$

gdzie: a i b współczynniki uwzględniają: sprzętowy dzielnik napięcia, spadek napięcia wywołany prądem na rezystorze wzorcowym i przeliczenie zakresu napięcia wejściowego na jednostki sygnału cyfrowego (każda tablica pomiarowa ma wyznaczone indywidualne współczynniki).

Tak przygotowane dane poddaje się przeliczeniu zgodnie z zależnością (4). Przeliczeniem można objąć jeden lub więcej okresów napięcia zasilającego. Średnia moc w całym zakresie pomiaru jest mocą czynną badanego źródła światła. Rysunek 10 przedstawia wyniki pomiarów źródła podanego za przykład we wstępie. Porównując wartości prądu i napięcia z wykresu z opisanymi na lampie można zauważyć, że opis dotyczy wartości skutecznych. Rys. 11 przedstawia wyniki pomiaru źródła z zasilaniem bez przetwornicy. Jego parametry podane na obudowie to: $U=220-240V$, $f=50Hz$ i $P=4W$. Zdecydowanie widać występowanie w tym przypadku mocy biernej.



Rys. 10. Wyniki pomiarów mocy czynnej źródła światła o parametrach przytaczanych jako przykład we wstępie



Rys. 11. Wyniki pomiarów mocy czynnej lampy LED wyposażonej w układ zasilania bez przetwornicy

Podsumowanie

Nowoczesne źródła światła to bardzo oszczędne źródła. Świetlówki kompaktowe wymagają układów umożliwiających zapłon, natomiast lampy LED wymagają prądu stałego do zasilania diod o niskim napięciu (ok. $3V$). Do ich działania niezbędne są odpowiednie elektroniczne układy zasilające. Zdecydowana większość używanych dziś źródeł światła ma takie układy wbudowane. Tak skonstruowane źródła światła pobierają z sieci prądu sinusoidalnie zmiennego prąd o charakterze znacznie odbiegającym od przebiegu napięcia. Pomiar mocy czynnej (mierzonej przez licznik energii elektrycznej) jest zatem utrudniony. Zaprezentowane stanowisko laboratoryjne z wykorzystaniem techniki komputerowej umożliwia w łatwy, szybki i dokładny sposób pomiary chwilowych wartości prądu oraz napięcia źródła światła, a następnie wyznaczenie mocy czynnej. Stanowisko laboratoryjne jest wykorzystywane w procesie dydaktycznym dla studentów wydziałów nieelektrycznych mając za zadanie pokazać nie tylko sposób pomiaru mocy ale także wykazać jak komputerowa technika pomiarowa może być przydatna w rozwiązaniach pomiarowych wszędzie tam gdzie mamy do czynienia z nieokresowymi sygnałami. Pokazuje też jak wykorzystanie komputera może przyspieszyć proces pomiaru i obliczeń.

Bibliografia:

1. Kurdziel R. Podstawy elektrotechniki, WNT Warszawa 1965.
2. Łucyk C. Elektrotechnika podstawowa, WPW 2006.
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Lampa_LED
4. https://pl.wikipedia.org/wiki/Świetlówka_kompaktowa
5. https://pl.wikipedia.org/wiki/Moc_elektryczna
6. Wolczyński Z. Instrukcja do ćwiczenia p.t. „Pomiar mocy nowoczesnych źródeł światła”
7. Instrukcja obsługi AMBEX LC-030 1612

A computer-aided stand for testing the power of modern light sources

The article discusses the method of measuring the power of modern light sources such as compact fluorescent lamps and lamps based on LED diodes. Receivers supplied with alternating current (sinusoidally variable) draw apparent power from the network. It consists of active and passive power. Modern light sources draw electricity from the grid with a course significantly different from the network voltage. Therefore, it is impossible to accurately measure power in a traditional way. The method of measurement presented in the article uses computer technology which allows for accurate measurement of the receiver's power at any voltage and current course of the receiver.

Keywords: power, light source, computer measuring technology.

Autorzy:

dr inż. **Zbigniew Wołczyński** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Zakład Mechatroniki Samochodowej, z.wolczynski@uthrad.pl

mgr **Karol Pakosz** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Zakład Mechatroniki Samochodowej, k.pakosz@uthrad.pl

mgr inż. **Paweł Stachyra** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Zakład Mechatroniki Samochodowej, p.stachyra@uthrad.pl