

doi:10.15199/48.2015.07.18

## Tętnienie światła wytwarzanego przez tuby LED – zamienniki świetlówek liniowych

**Streszczenie.** W artykule przedstawiona jest analiza teoretyczna opisu tętnienia światła. Podstawą oceny i analiz są pomiary zmian wartości strumienia świetlnego w czasie, wytwarzanego przez wybrane typy lamp LED stanowiące zamienniki świetlówek liniowych. Pomiary zmian wartości strumienia świetlnego w czasie były wykonane w laboratorium Zakładu Techniki Świetlnej Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Na podstawie wykonanych pomiarów wykonano obliczenia współczynników tętnienia światła oraz interpretację ich wartości.

**Abstract.** This article presents a theoretical analysis of the description of the ripple of light. The basis for the evaluation and analysis of measurements of changes in the value of the luminous flux over time, produced by selected types of LED lamps which are replacements for fluorescent lamps. Measurements of the flux at the time were in the laboratory of the Department of Technology Institute of Power light Warsaw University of Technology. On the basis of measurements, calculations were made of light ripple factors and interpretation of their value. **(Ripple of light emitting by the LED tubes - fluorescent replacements).**

**Słowa kluczowe:** oświetlenie, źródła światła, lampy LED, tętnienie światła.

**Keywords:** lighting, light sources, LED lamps, ripple of luminous flux.

### Wstęp

Elektryczne źródła światła, stosowane w oświetleniu zasilane są głównie napięciem sieciowym, czyli prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Zmiany napięcia zasilającego w czasie mają wpływ na zmiany wartości wytwarzanego strumienia świetlnego przez źródła światła. Wpływ ten jest różny i zależy od typu źródła światła oraz układu zasilającego. Na przykład w przypadku żarówek, zasilanie ich prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz ma stosunkowo mały wpływ na zmiany (tętnienie) wartości wytwarzanego strumienia świetlnego w czasie. Spowodowane jest to względnie wolnymi zmianami temperatury żarnika, powodowanymi przepływem prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz. Wahania temperatury żarnika są na tyle małe, że wytwarzane przez żarówki światło uważa się za prawie pozbawione efektu tętnienia, przy czym tętnienie światła jest najmniejsze w żarówkach wyższej mocy. W przypadku wyładowczych źródeł światła takich jak świetlówki, lampy sodowe wysokoprężne czy lampy metalohalogenkowe zasilanie prądem przemiennym ma większy wpływ na zmiany wytwarzanego strumienia świetlnego w czasie, czyli tętnienie światła. Zasilanie lamp wyładowczych prądem przemiennym, ma duży wpływ na zmiany zachodzące w wyładowaniu, a tym samym na wartość wytwarzanego strumienia świetlnego w czasie i wywoływanie efektu tętnienia światła. W przypadku lamp wyładowczych zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie, spowodowane zasilaniem prądem przemiennym nie mogą być pomijane. Podobnie jest w przypadku diod elektroluminescencyjnych. Jedną z cech charakterystycznych LED jest wytwarzanie pełnego strumienia świetlnego natychmiast po włączeniu zasilania. LED wytwarzają światło tylko, gdy spolaryzowane są w kierunku przewodzenia, czyli naturalnie wydaje się zasilanie ich prądem stałym. W praktyce występuje to bardzo rzadko. Do zasilania diod świecących stosuje się różnego rodzaju zasilacze, które zasilają je prądem impulsowym. Jest to spowodowane między innymi kwestiami termicznymi. W przypadku lamp LED zintegrowanych z elektronicznymi układami zasilającymi, sytuacja jest podobna. W celu zapewnienia małych wymiarów radiatorów, a tym samym lamp LED, elektroniczne układy zasilające zasilają diody świecące prądem przemiennym.

Biorąc pod uwagę fakt, że diody elektroluminescencyjne wytwarzają natychmiast pełny strumień świetlny po

włączeniu zasilania, wpływ zmian napięcia zasilającego ma bardzo duży wpływ na zmiany strumienia świetlnego w czasie. Między innymi w celu uniknięcia tętnienia strumienia świetlnego wytwarzanego przez LED, diody łączy się w moduły (zestawy kilku lub kilkunastu pojedynczych diod), tak aby zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie były kompensowane. Ze względu na fakt, że LED są coraz częściej stosowane w oświetleniu, postanowiono zmierzyć zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie, wytwarzanego przez wybrane typy lamp LED. Do pomiarów zmian wartości strumienia świetlnego wybrano tabularne lampy LED, które stosowane są jako zamienniki świetlówek liniowych. W artykule pominięto analizę zasadności stosowania tego typu rozwiązań w istniejących oprawach świetłokowych i w oprawach przystosowanych do tego typu lamp LED. Pominięto również kwestie oceny sposobu ich zasilania z punktu widzenia funkcjonalnego. Do pomiarów wybrano różnego typu rozwiązania techniczne tabularnych lamp LED, głównie producentów, którzy nie są szeroko znani.

### Pojęcie tętnienia światła

Fakt zmian strumienia świetlnego wytwarzanego przez źródła światła zasilane prądem przemiennym (w rytm zmian prądu przemiennego), od wartości minimalnej do maksymalnej, nazwano tętnieniem światła [1].

Tętniący strumień świetlny może być przyczyną męczenia wzroku, nierzadko bólów głowy oraz dostrzegania ruchów pozornych w przypadku obserwowania przedmiotów znajdujących się w ruchu posuwistym lub obrotowym [2]. Światło tętniące może powodować mylne dostrzeganie ruchu różniącego się od rzeczywistego prędkością, kierunkiem przesuwu czy też wirowaniem (zjawisko stroboskopowe) [3].

Tętnienie światła charakteryzuje przede wszystkim głębokość tętnienia, określana poprzez wskaźniki różne definiowane [3]

$$(1) \quad W_1 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}}$$

$$(2) \quad W_2 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max}}$$

$$(3) \quad W_3 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi}{\Phi}$$

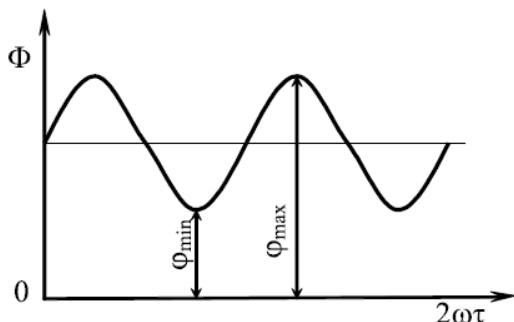
$$(4) \quad W_4 = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi}$$

$$(5) \quad W_5 = \frac{\Phi_{\min}}{\Phi}$$

$$(6) \quad W_6 = \frac{1}{2} \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi}$$

gdzie:  $\Phi_{\max}$ ,  $\Phi_{\min}$ ,  $\Phi$  - maksymalna, minimalna i średnia wartość strumienia świetlnego

Przykładowy przebieg teoretyczny strumienia świetlnego w czasie z naniesionymi wartościami strumienia świetlnego maksymalnego ( $\Phi_{\max}$ ) i minimalnego ( $\Phi_{\min}$ ) przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowy przebieg strumienia świetlnego w czasie wraz z naniesionymi wartościami strumienia minimalnego i maksymalnego [4]

Zależności pomiędzy współczynnikiem tętnienia  $W$  i wskaźnikami tętnienia  $W_1...W_6$  przedstawiono w tabeli 1 [1,3].

Tabela 1. Zależności między wskaźnikami tętnienia

$W_n$	$W$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$
$W$	$W$	$\frac{2W_1}{W_1+1}$	$W_2$	$\frac{W_3}{W_3+1}$	$\frac{2W_4}{2+W_4}$	$\frac{2(1-W_5)}{2-W_5}$	$\frac{2W_6}{W_6+1}$
$W_1$	$\frac{W}{2-W}$	$W_1$	$\frac{W_2}{2-W_2}$	$W_3$	$\frac{1}{2}W_4$	$1-W_5$	$W_6$
$W_2$	$W$	$\frac{2W_1}{W_1+1}$	$W_2$	$\frac{2W_3}{W_3+1}$	$\frac{2W_4}{2+W_4}$	$\frac{2(1-W_5)}{2-W_5}$	$\frac{2W_6}{W_6+1}$
$W_3$	$\frac{W}{2-W}$	$W_1$	$\frac{W_2}{2-W_2}$	$W_3$	$\frac{1}{2}W_4$	$1-W_5$	$W_6$
$W_4$	$\frac{2W}{2-W}$	$2W_1$	$\frac{2W_2}{2-W_2}$	$2W_3$	$W_4$	$2(1-W_5)$	$2W_6$
$W_5$	$\frac{2(1-W)}{2-W}$	$1-W_1$	$\frac{2(1-W_2)}{2-W_2}$	$1-W_3$	$\frac{2-W_4}{2}$	$W_5$	$1-W_6$
$W_6$	$\frac{W}{2-W}$	$W_1$	$\frac{W_2}{2-W_2}$	$W_3$	$\frac{1}{2}W_4$	$1-W_5$	$W_6$

Pomimo że tętnienie światła jest zaliczane jedynie do czynników uciążliwych, niemniej jednak wymaga ograniczenia, ponieważ może niekorzystnie wpływać na samopoczucie człowieka i zmniejszać poziom bezpieczeństwa wykonywanej pracy [1,2]. Jeżeli strumień świetlny wytwarzany przez źródła światła jest zmienny w czasie a oświetlany przedmiot jest ruchomy możemy nie dostrzec jego ruchu lub źle ocenić kierunek jego ruchu. Ma to bardzo ważne znaczenie przy oświetlaniu maszyn wirujących, np.: obrabiarek. Mówi się wtedy o wystąpieniu tak zwanego efektu stroboskopowego w wyniku, którego obracające się przedmioty mogą wydawać się nieruchome lub wirujące w odwrotnym kierunku. W celu eliminacji efektu stroboskopowego stosuje się różne zabiegi, na przykład dodatkowo doświetlanie elementów wirujących maszyn żarówkami, stosowanie tak zwanych układów DUO w oprawach świetłkowych wyposażonych w dwie świetłki, stosowanie stateczników elektronicznych do

świetłówek, które zasilają świetłki napięciem o wysokiej częstotliwości (30 kHz – 40 kHz) lub podłączenie opraw oświetleniowych do różnych faz w jednym obiekcie.

Znane są i przytaczane w literaturze przedmiotu wartości współczynników tętnienia światła wytwarzane przez różne typy źródeł światła [1, 4, 5]. Dla strumienia świetlnego o stałej wartości w czasie (nietętniącego) wartość współczynnika tętnienia jest równa zero. Im większe są zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie (większe tętnienie) tym wyższa jest wartość współczynnika tętnienia światła. Współczynnik tętnienia światła  $W$  przyjmuje wartości od 0 do 1. Wartość współczynnika tętnienia światła zależy od typu źródła światła oraz od sposobu jego zasilania (typu układu zasilającego). Typowe wartości współczynnika tętnienia światła  $W = W_2$  wytwarzanego przez żarówki podano w tabeli 2 [3, 5].

Tabela 2. Typowe wartości wskaźnika tętnienia światła wytwarzanego przez żarówki

Moc [W]	25	40	60	75	100	300	1000
$W [-]$	0,36	0,33	0,28	0,23	0,20	0,10	0,00

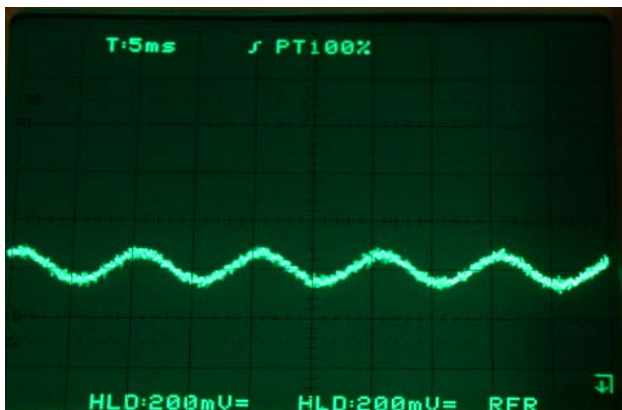
Świetłki w zależności od częstotliwości prądu zasilającego wytwarzają światło o wskaźniku tętnienia w zakresie od 0,63 do 0,001 [6]. Dla częstotliwości prądu zasilającego wynoszącej 50 Hz (tradycyjny układ zasilający, dławik magnetyczny) wskaźnik tętnienia światła przyjmuje wartość na poziomie 0,63. W przypadku zasilania świetłówek prądem o wyższej częstotliwości (statecznik elektroniczny) wartość wskaźnika tętnienia światła jest znacznie niższa i osiąga wartość 0,001 (częstotliwość prądu 35 kHz). Dla światła świetłówek zasilanych tradycyjnym układem zasilającym, tak zwanym DUO, w którym aby uniknąć wysokiego tętnienia światła, świetłki zasilane są przez dwa obwody (pojemnościowy i indukcyjny), przesunięcie fazowe prądów płynących w dwóch obwodach powoduje, że świetłki wytwarzają maksymalną wartość strumienia świetlnego w różnym czasie. Układ DUO potocznie nazywany jest układem antystroboskopowym. Światło wytwarzane przez dwie świetłki połączone w układzie DUO ma wskaźnik tętnienia wynoszący 0,2 [3].

Aby tętnienie światła uznać za nieszkodliwe wartość wskaźnika tętnienia światła musi być równa  $W = 0$  (strumień świetlny stały w czasie). W warunkach praktycznych, przy zasilaniu źródeł światła prądem przemiennym wartość wskaźnika tętnienia światła jest większa. Przyjmuje się [3], że wskaźnik tętnienia światła źródeł, które stosowane są do oświetlenia miejsc, w których wykonywana jest dokładna praca nie powinien być większy od  $W = 0,05$ . W oświetleniu miejscowym zaleca się aby jego wartość zawierała się w granicach  $0,1 < W < 0,15$  natomiast w pozostałych obszarach oświetlenia nie był większy niż 0,2.

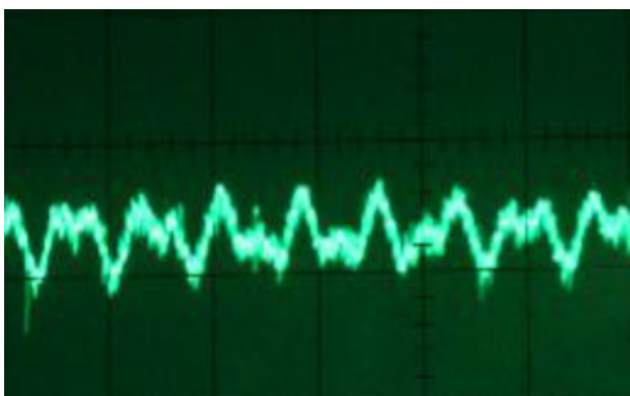
#### Pomiary tętnienia światła

Do pomiarów tętnienia światła wybrano 8 różnych typów lamp LED stanowiących bezpośrednio zamienniki świetłówek liniowych T8 o mocy 18 W, oraz żarówkę klasyczną o mocy 100 W. Zmiany wartości strumienia świetlnego w czasie były mierzone za pomocą ogniwa rejestrującego szybkie zmiany strumienia świetlnego firmy LMT, typ (LMT SF 100) i rejestrowane za pomocą oscyloskopu. Badane źródła światła umieszczone były w kuli Ulbrichta.

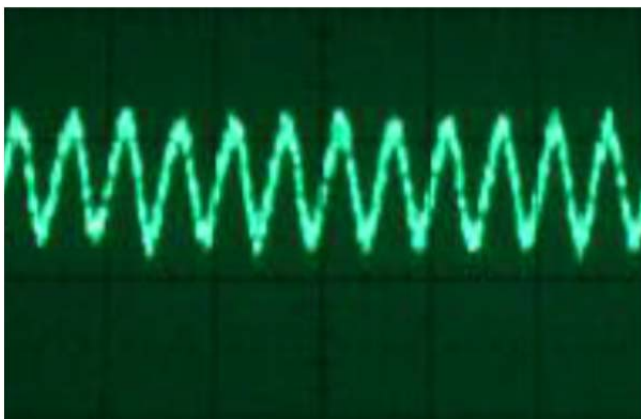
Przykład rejestracji przebiegu strumienia świetlnego w czasie dla żarówki przedstawiono na rysunku 2. Przykładowe rejestracje przebiegu strumienia świetlnego w czasie dla dwóch wybranych badanych lamp LED przedstawiono na rysunku 3 dla mocy 13,8 W oraz na rysunku 4 dla mocy 8,0 W.



Rys. 2. Przykład zarejestrowanych zmian wartości strumienia świetlnego dla żarówki klasycznej o mocy 100 W



Rys. 3. Przykład zarejestrowanych zmian wartości strumienia świetlnego dla lampy LED o mocy 13,8 W



Rys. 4. Przykład zarejestrowanych zmian wartości strumienia świetlnego dla lampy LED o mocy 8,0 W

### Wyniki obliczeń współczynnika tętnienia światła wybranych typów lamp LED

W wyniku rejestracji zmian wartości strumienia świetlnego w czasie określono wartość maksymalną, minimalną i średnią strumienia świetlnego [7]. Na podstawie otrzymanych danych, obliczono współczynniki tętnienia światła dla 8 badanych lamp LED (zamienników świetlówek liniowych T8 o mocy 18 W) i jednej żarówki klasycznej o mocy 100 W. Podstawowe dane techniczne (moc i zakres napięcia zasilającego) badanych lamp LED podane są w tabeli 3.

Wyniki obliczeń wskaźników tętnienia światła wytwarzanego przez badane lampy LED oraz żarówkę klasyczną o mocy 100 W przedstawione są w tabeli 4.

Tabela 3. Podstawowe dane techniczne badanych lamp LED

Źródło	Moc [W]	Napięcie zasilające [V]
Lampa 1	13,8	100 – 260
Lampa 2	13,8	100 - 260
Lampa 3	8,0	200 - 277
Lampa 4	8,0	200 - 277
Lampa 5	8,0	85 - 265
Lampa 6	8,0	85 - 265
Lampa 7	12,0	100 - 240
Lampa 8	12,0	100 - 240

Tabela 4. Wyniki obliczeń wskaźników tętnienia światła, badanych źródeł światła

Źródło	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$f$ [Hz]
Żarówka	0,10	0,19	0,10	0,21	0,90	0,10	100
lampa 1	0,10	0,19	0,10	0,21	0,90	0,10	100
lampa 2	0,14	0,24	0,14	0,27	0,86	0,14	100
lampa 3	0,15	0,26	0,15	0,30	0,85	0,15	100
lampa 4	0,18	0,31	0,18	0,36	0,82	0,18	100
lampa 5	0,14	0,25	0,14	0,29	0,86	0,14	100
lampa 6	0,19	0,31	0,19	0,37	0,81	0,19	100
lampa 7	0,11	0,21	0,11	0,23	0,89	0,11	100
lampa 8	0,10	0,18	0,10	0,19	0,90	0,10	100

### Wnioski

Wykonane pomiary zmian strumienia świetlnego w czasie, wytwarzanego przez żarówkę o mocy 100 W, oraz obliczona na ich podstawie wartość współczynnika tętnienia światła ( $W = W_2$ ), potwierdzają dane zawarte w literaturze przedmiotu [3]. Wartość współczynnika tętnienia światła wytwarzanego przez żarówkę klasyczną o mocy 100 W jest zgodna z wartością podawaną w literaturze [3], lecz należy zwrócić uwagę, że wartość  $W = 0,2$  klasyfikuje stosowanie żarówek o mocy niższej niż 100W w oświetleniu miejsc pracy, w których nie jest wykonywana dokładna praca oraz nie powinno się ich stosować w oświetleniu miejscowym. Badane lampy LED wytwarzają światło o współczynniku tętnienia światła o wartości od  $W = 0,18$  do  $W = 0,31$ . Według danych literaturowych zaleca się, aby źródła stosowane w oświetleniu nie wytwarzały światła o współczynniku tętnienia wyższym niż  $W = 0,2$  [3, 5]. Na podstawie przedstawionych (w tabeli 4) danych, można stwierdzić, że tylko dwa typy lamp LED z ośmiu przetestowanych, spełniają wymagania. Pozostałe badane lampy LED wytwarzają światło o współczynniku tętnienia światła wyższym niż zalecane. Zastosowanie tego typu lamp LED w oprawach świetlówkowych, które przeznaczone są do oświetlenia miejscowego i miejsc pracy, w których wykonywana jest dokładna praca nie jest wskazane. Wszystkie badane lampy LED są wyprodukowane przez mało znanych producentów źródeł światła, którzy zapewne nie zwracają szczególnej uwagi na zagadnienie związane z odpowiednim zasilaniem diod elektroluminescencyjnych pod względem tętnienia wytwarzanego światła [8]. Wszystkie lampy LED wytwarzały światło tętniące o częstotliwości 100 Hz, co świadczy o tym, że układ zasilający LED charakteryzuje się stosunkowo małą stabilizacją zmian prądu zasilającego diody. Analiza zastosowania tego typu lamp LED w oświetleniu ograniczyła się jedynie do problemu tętnienia światła. Pominięto kwestie sposobu zasilania lamp LED, w wielu przypadkach ich zastosowanie wymagało zmian instalacji zasilającej źródła w oprawie. Sposób zasilania tub LED, stosowanie stateczników elektronicznych do świetlówek ma znaczący wpływ na ich pracę [8]. Pominięto również wpływ stosowania tub LED w oprawach świetlówkowych na

zmianę rozsyłu strumienia świetlnego emitowanego przez oprawy. Stosowanie tub LED zamiast świetlówek powoduje obniżenie kosztów eksploatacji oświetlenia [9], głównie dzięki ich wysokiej skuteczności świetlnej i długiej trwałości. Mając na uwadze zachowanie dobrych warunków oświetleniowych stosowanie tego typu lamp LED powinno być poprzedzone szczegółową analizą techniczną oraz analizą wpływu ich parametrów świetlnych i elektrycznych na jakość oświetlenia miejsc pracy.

#### LITERATURA

- [1] Banach M.: Tętnienie światła, WNT Warszawa 1970
- [2] Wolska A, Pawlak A: Oświetlenie stanowisk pracy, CIOP PIB, Warszawa 2007
- [3] Banach M.: Podstawy techniki oświetlania, PWN Warszawa 1982
- [4] Różowicz A.: Wpływ wybranych właściwości luminoforów stosowanych w niskociśnieniowych rtęciowych lampach wyladowczych na tętnienie światła, *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 11, 2008, s. 17-20
- [5] Różowicz A.: Wpływ częstotliwości prądu zasilającego lampy fluorescencyjne na ich wybrane parametry eksploatacyjne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Kielce 2004
- [6] Różowicz A.: Materiały fluorescencyjne stosowane w niskoprężnych lampach wyladowczych i ich wpływ na tętnienie światła, *Przegląd Elektrotechniczny*, R 80 NR 5/2004, s. 451-455
- [7] Marcin Miastkowski: Wpływ tętnienia światła na pomiar strumienia świetlnego. Praca dyplomowa inżynierska wykonana w Zakładzie Techniki Świetlnej, Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem autora. 2014r.
- [8] W.J.B Heffernan, L.P. Frater, N.R. Watson: LED Replacement for Fluorescent Tube Lighting. Conference Power Engineering Conference, 2007. AUPEC2007. Australasian Universities
- [9] Ernst Uken, Graeme Bevan, Robert Smith: LED TUE RETROFITS FOR FLUORESCENT LIGHTING IN OFFICES. Industrial and Commercial Use of Energy Conference (ICUE), 2013

---

**Autor:** dr inż. Andrzej Wiśniewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl](mailto:Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl)