

Anihilacja strat mocy i energii biernej

Streszczenie. Tekst dotyczy zastosowania wprowadzanego matematycznego modelu strat energii elektrycznej powstających w warunkach rzeczywistej pracy dowolnego fragmentu systemu elektroenergetycznego. Istotnym motywem jest tu wykorzystanie informacji statystycznych (pomiarowych) dotyczących wyłącznie bilansu energii czynnej. Parametry modelu umożliwiają uwzględnienie całości strat energii, również tej tych które są zależne od wielkości przepływów mocy i energii biernej. Wyniki analizy, potwierdziły poprawność struktury modelu i jego przydatność. Struktura modelu oparta jest na uniwersalnej metodzie LS do której włączono analitycznie podstawowe prawa obwodu elektrycznego.

Abstract. The paper concerns mathematical model of energy losses rising during functioning of electric power system. Utilization of statistical (measuring) information related exclusively to balance of active energy is essential. Parameters of model make possible regard to total energy losses. Results of analysis have confirmed entirely correctness of structure of the model. The structure of the model is based on universal LS method, to which the analytical principles of circuit theory were included. ... (**Annihilation on Reactive Power and Energy Losses**)

Słowa kluczowe: model fizycznie realny, straty energii.

Keywords: Power energy losses model.

Uwagi wstępne

Praktyczne znaczenie sprawności energetycznej, a więc względnej wielkości strat mocy i energii elektrycznej w aspekcie jej transmisji jest uwarunkowane czynnikami ekonomicznymi. Prace związane z tym obszarem zagadnień są nie tylko historycznie podstawowe, ale w niemniejszym stopniu aktualne współcześnie [1, 2]. Można też przypomnieć, iż u podstaw rozwoju tego działu elektryki były prace M. Deprez'a [3] uzasadniające techniczną możliwość oraz zasadność ekonomiczną przesyłania energii elektrycznej nawet na znaczne odległości (do celów oświetlenia i potrzeby silników). Są tu interesujące i w zasadzie poprawne zależności które otworzyły drogę rozwoju i podstaw współczesnej elektroenergetyki. Temat dotyczący strat mocy i energii elektrycznej pozostaje aktualny współcześnie jako jeden z ubocznych lub drugoplanowych spraw wielkiej wagi, na przykład rozbudowy i eksploatacji nowych obiektów wielkiej energetyki. Nie mniej temat strat energii elektrycznej pozostaje od lat stale aktualny. Potwierdza to ilość ogłaszanych nowych opracowań naukowych (nie tylko w zakresie informacji statystycznych), np. [3,4,5,6] W tym obszarze umieszczane są opracowania dotyczące konstrukcji modeli¹ strat energii elektrycznej, czyli zależności logicznie uzasadnionych i dostosowanych do praktyki eksploatacyjnej przedsiębiorstw działających w szeroko pojętej gospodarce energią elektryczną [7, 8, 9,10, 11, 12].

Treść przedstawionego opracowania jest kontynuacją i uzupełnieniem prac nad nową formą uniwersalnego modelu strat energii elektrycznej. Model odtwarza dowolnie rozległą rzeczywistą sieć elektryczną realizującą połączenie między źródłami i punktem jej odbioru. Sieć z natury rzeczy zawiera elementy bierne wynikające z indukcyjności i pojemności elektrycznej realnych jej składników. Na uwagę zasługuje fakt iż w modelu nie ma elementów biernych. W modelu są tylko wielkości proporcjonalne do rezystancji i konduktancji, oznaczone jako R_{mod} , G_{mod} , ale w pełni jest uwzględniony jest wpływ wielkości reaktancji i susceptancji pojemnościowej realnej sieci na wielkość powstających strat mocy czynnej i energii. W tym modelu oznaczonym w

skrótce jako ER nie wchodzi bezpośrednio wielkości R , G obiektów w których powstają straty mocy czynnej.

Znaczna część ma spełniać rolę sprawdzianu założeń teoretycznych przyjętych za podstawę do realizacji modelu. Natomiast, parametry modelu ER, z uwagi celów użytkowych (eksploatacyjnych) tworzone są na bazie uzyskanych wielkości statystycznych zarejestrowanych przepływów energii i jej bilansu. Wielkości statystyczne, pomiarowe są w tym przypadku odpowiednio interpretowane zależnościami teoretycznymi- pozostają wyłącznie i dostatecznie podstawą do oceny energetycznej sprawności określonego fragmentu sieci, lub konkretnego okresu czasu (miesiąca, roku). Z informacji zawartych w parametrach modeli można uzyskać wyraźne i jednoznaczne wskazówki odnośnie możliwości osiągnięcia maksymalnej sprawności energetycznej istniejącego połączenia i sposobu odbioru energii [13,14,15,16, 18].

Warunki anihilacji strat mocy i energii biernej

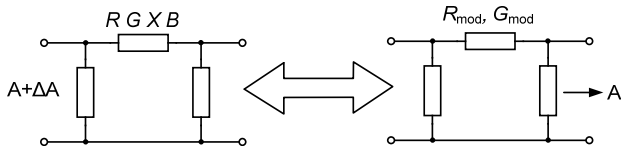
W sieci AC, przy transporcie energii od źródeł do odbiorów powstają straty mocy czynnej na R, G elementów sieci, a na X, B straty mocy biernej, (co z kolei ma wpływa na poziomy napięcie – a więc na wielkość strat mocy i energii czynnej) Taka jest współczesna interpretacja rzeczywistości wynikająca z zachowania bilansu mocy i energii. Użycie w tytule² terminu „anihilacja” nie podważa tu kanonu nauki, ale jest propozycją usunięcia tych pojęć z rozdziału elektryki gdzie jest to realne, a nawet może okazać się pożyteczne. Takim działem staje się obecnie gospodarka energią elektryczną. Podstawą rozliczeń między producentami energii elektrycznej, a jej odbiorcami- niezależnie od stanu techniki i systemu ekonomicznego- pozostaje bilans energii (mocy) czynnej. Informacje o przepływach energii biernej są w zasadzie ograniczone do niezbędnych eksploatacyjnie (Moc bierna jest tu potraktowana jako opakowanie towaru którym jest energia czynna) Dla dysponenta znaczenie tej części gospodarki energią elektryczną ogranicza się do faktu; odbiorcy wymagają (ich silniki), więc dostawca powinien u siebie ją produkować i na drodze przesyłu

¹ Precyzyjne określenie modelu podał prof. A.Krawczyk w „Teoria pól elektromagn. ...”. Model matematyczny jest zbiorem matematycznych relacji które opisują zjawiska fizyczne podlegające prawom fizyki i opis ten dokonany jest jednoznacznie, spójnie i stabilnie”.

² Autor nie ma zamiaru wprowadzenia zmian w współczesnych pojęciach mocy (energii) biernej w elektryce i związanych z tym określeń i definicji, lub też powrotu do elektryki z czasów przed Ch.P. Steinmetza i M. Doliwo- Dobrowolskiego. Jednak w dziale elektryki „Gospodarka Energią Elektryczną”, w której elektrycy mają coraz mniejsze znaczenie, może to być przyjęte z aprobatą przez decyzyjną część kierownictwa którą tworzą politycy, ekonomiści, bankierzy reprezentujący grupy kapitałowe.

uzupełniać jej straty. Problemy mocy biernej z punktu widzenia gospodarki energetycznej pozostają istotne w zakresie eksploatacji jako ważne, ale drugorzędne w sensie ekonomicznym. Odrębną miarą jest ich znaczenie w sensie fizycznej interpretacji Reasumując, potrzebna nadal jest precyzyjna oparta na naukowo trwałych przesłankach forma oceny bilansu energii elektrycznej metoda uniwersalna jednakowo dostępna w skali małego wycinka systemu sieciowego, jak i w skali wielkiego przedsiębiorstwa dystrybucji energii).

Przedstawiony w artykule tok rozwiązań ma również cel pragmatyczny. Całość założeń logicznie uzasadnionych zapisana jest w formie analitycznej Przyjęto oznaczenia: dla czwornika zastępczego elementami oznaczonymi R_{mod} G_{mod} , natomiast dla czwornika odtwarzającego stan rzeczywisty połączenia elektrycznego, a więc zawierający R, G, X, B .



Rys.1. Ilustracja założeń konstrukcji modelu, umiejscowienie całkowitych strat energii

Wprowadzając oznaczenie wielkości niezbędnych w realizacji modelu

$$(1) \quad \begin{aligned} k_2 &= n \sum x^2 - \sum x \sum x & v_2 &= n \sum yx - \sum y \sum x \\ k_3 &= n \sum x^3 - \sum x^2 \sum x & v_3 &= \sum yx \sum x - \sum y \sum x^2 \\ k_4 &= \sum x^3 \sum x - \sum x^2 \sum x^2 & v_4 &= \sum y \sum x^3 - \sum yx \sum x^2 \end{aligned}$$

gdzie - n ilość par informacji o stratach energii (oznaczenie y) oraz wielkości energii (oznaczenie x)

Wprowadzając skrócony zapis, jak poniżej

$$(2) \quad W = \sqrt{(k_3 + 2v_3)^2 + 4v_4(v_2 + 2k_2)}$$

otrzymujemy zależności określające parametry modelu

$$(3) \quad K_i = \frac{k_3 v_2 + k_2(k_3 + 2v_3) - k_2 W}{k_3^2 - 4k_2 k_4}$$

Oraz analogicznie

$$(4) \quad K_o = \frac{k_3 v_4 + k_4(k_3 + 2v_3) - k_4 W}{k_3^2 - 4k_2 k_4}$$

Z uwagi na specyfikę obliczeń (wymagających też znacznej staranności w ich przygotowaniu), celowe jest wykorzystanie wzajemnej zależności w formie

$$(5) \quad K_o = \frac{K_i k_4 + v_3}{k_2}$$

Wykorzystanie stosunku tych wielkości służy ocenie wielkości energii przy transporcie której (w danych warunkach) uzyskuje się maksymalną sprawność procesu.

$$(6) \quad A_o = U^2 \sqrt{\frac{K_o}{K_i}}$$

Nie trudno zauważyć, iż dla pełnego rozwiązania niezbędny jest trzeci parametr, w danym przypadku określający zależność strat energii w liniowej zależności od energii czynnej Tu wykorzystamy wzajemną zależność

$$(7) \quad K_p = \sqrt{1 + 4K_o K_i} - 1$$

W konstrukcji modelu tok rozwiązań ma również wskazanie drogi praktycznej możliwości wprowadzenia równoważnego (zastępczego) czwornika bez elementów biernych. Istotne tu będą założeni identyczności warunków wystąpienia maksymalnej sprawności

Tu wykorzystano uzasadnione celem zależności jak

$$(8) \quad \begin{cases} K_i = K_{o,mod} \\ K_o \neq K_{o,mod} \\ R \neq R_{mod} \\ G \neq G_{mod} \end{cases}$$

Wypada też zaznaczyć, iż dla wyznaczenia współczynników determinujących parametry modelu dla określonego przedziału zmiennej wielkości energii, niezbędne są co najmniej trzy pary wielkości statystycznych lub pomiarowych dotyczące bilansu. Tylko w teoretycznym przypadku odchylenia wielkości strat określonych parametrami modelu mogą być równe wielkościom statystycznym, lub pomiarowym, ale nie dotyczy to bilansu. Suma kwadratów odchyleń odniesiona do sumy składników y bilansu jest miarą zgodności modelu z realnym bilansem. Jak wynika z określonych doświadczeń odchylenie te zwykle nie przekracza dziesiątych części %, co bezwzględnie pozytywnie świadczy o zaletach metody [19, 20, 21, 22]. W przedstawionym poniżej przykładzie (co jest kolejną próbą wprowadzenia modelu do praktyki zawodowej i nauki w zakresie elektroenergetyki) przyjęto model o maksymalnej sprawności 64%, oraz mocy elektrycznej przy której występuje powyższa sprawność na 900 umownych jednostek, przy napięciu po stronie odbioru 100 umownych jednostek napięcia, co przy założonych parametrach czwornika $R=1,683724$, $X=5R$ oraz $G=2,384476 \cdot 10^{-2}$.

Sprowadza się w konkretnym przypadku do parametrów modelu $R_{mod}=2,50$ oraz $G_{mod}=0,0200$ Można zaznaczyć, iż identyczne warunki w wielkości strat mocy i energii czynnej otrzymamy przy rezystancji o prawie 68 % większe (a więc mniejszym przekroju) w takim połączeniu w którym jest niewielka wartość reaktancji. Niezależnie od powyższego, tak dobre warunki przy X/R mają miejsce przy jednoczesnym odbiorze mocy biernej, w danym przykładzie, przy $Q_0=392$ przyjętych jednostek mocy (charakterze pojemnościowym).

Jest to poglądowo przedstawione w tab.1 również dla innych wartości stosunku X/R . Należy zaznaczyć iż wielkości mocy biernej kompensacyjnej jest również funkcją stosunku reaktancji do rezystancji, przy zachowaniu warunku maksymalnej sprawności.

Tabela 1. Sprawność energetyczna czwornika którego $\square \square$ maks = 0,64 oraz $P_0=900$ oraz $U=100$ jednostek

X/R	0	1	3	5	7
R	2,500	2,4118	2,0879	1,68372	1,36364,
$R \%$	100,00	97,67	83,52	67,35	54,54
$G \cdot 0,01$	2,000	2,0232	2,17722	2,38447	2,56819
$G \%$	100,0	101,167	108,861	119,223	133,410
$(1+j)P_0$	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0
P_0	64,00	63,89	63,18	62,26	61,42

Oczywiście, wypada zauważyć, iż zgodnie z założeniem przy odbieraniu mocy $P_0 - jQ_0$ (niezależnie od X/R) ma miejsce maksymalna sprawność, natomiast w każdym innym obciążeniu sprawność jest mniejsza. Szczególnie wyraźnie widoczne jest dla obciążenia mocą bierną o charakterze indukcyjnym, i oczywiście dla znacznych parametrów X Nie mniej, w każdym przypadku, to jest dla

dowolnego X/R można osiągnąć identyczną maksymalną sprawność, ale przy różnych wielkościach rezystancji.

Tabela 2. Wielkość strat energii czynnej w czwórniku o maksymalnej sprawności 64% w funkcji odbieranej energii

Ab Ac	600	300	0,00	-300	-392
1000	817,3761	687,6611	684,3766	567,2171	565,0632
900	758,7581	628,8486	545,5641	508,4046	506,2506
800	704,5706	575,1611	491,8766	454,7171	452,5630
700	656,0081	526,5986	443,3141	466,1546	4040006,
600	612,5706	483,1611	399,8766	362,7171	360,4576
500	574,2581	444,8486	361,4641	324,4046	322,2504
4500	4133,7361	33462791	2848,279	2623,615	2610,691
η %	54,77	57,2568	61,236	63,170	63,285

Tabela 3. Wielkość strat energii czynnej w czwórniku o maksymalnej sprawności 64% w funkcji odbieranej energii czynnej i zmiennym $\text{tg } A_b/A_c$

	0,80	0,60	0,30	0,00	-0,40
1000	928,9686	817,0706	725,6726	604,3766	565,0825
900	822,9369	738,6832	657,0405	545,5641	506,5077
800	725,3102	647,2718	582,3534	491,8766	453,8798
700	636,0885	572,8274	519,6113	443,3141	407,1969
600	555,2785	505,3530	462,8142	399,8766	366,4590
500	482,8601	444,8486	411,9621	361,5641	332,0625
4500	4151,436	3716,057	3359,454	2848,572	2630,730
η %	52,01	54,77	57,2568	61,236	63,107

Tabela 4 Parametry modelu ER i wyznaczone straty energii czynnej (nowy bilans)

A_b	600	300	0,00	-300	-392
K_i	2,10885	2,31767	2,47869	2,55578	2,56244
$K_o \cdot 10^7$	4,35376	3,17199	2,42435	2,09466	2,07597
K_p	0,16929	0,13751	0,11373	0,101956	0,10126
ΔA_i	748,641	823,470	880,124	908,016	909659
%	18,16	28,33	30,91	34,61	34,65
ΔA_u	2612,25	1909,19	1454,611	908,0156	909,659
%	63,36	56,89	54,16	47,90	47,71
ΔA_{wsp}	751,639	619,557	511,837	459,265	455,683
%	18,48	14,78	14,93	17,49	17,64
suma	4122,76	3344,26	2846,86	2623,614	2610,82
η %	52,19	57,37	61,25	63,17	63,283

Tabela 5. Parametry modelu ER i wyznaczone straty energii czynnej (nowy bilans)

	0;60	0,30	0,0	-0,40	-0,392
K_i	4,03630	2,937956	2,47869	2,43700	2,56250
K_o	261,0055	254,5507	242,469	218,3166	207,565
K_p	0,180417	0,139803	0,11373	0,10129	0,10125
ΔA_i	1454,180	1042,974	879,935	865,135	909,687
%	39,13	32,67,	30,91	32,88	34,85
ΔA_u	1441,999	1527,347	1454,81	1309,90	1245,35
%	39,02	47,74	51,10	49,74	47,70
ΔA_{wsl}	811,877	629,104	512,11	455,755	455,625
%	21,85	19,88	17,99	17,324	17,452
ΔA	3716,058	3199,381	2846,87	2630,79	2610,687
η %	54,77	58,450	61,251	63,107	63,285

Inne aspekty anihilacji strat mocy biernej

Potwierdzając ograniczony praktycznie zakres zmian pojęciowych (ale nie wielkością fizyczną mocy biernej pobieranej lub wytwarzanej przez odbiory) wypada wyraźnie zaznaczyć obszar dotyczący skutków i przyczyn powstawania strat mocy i energii czynnej. W tradycyjnym, ukształtowanym po ujęciu jest podział na straty obciążeniowe (na rezystancji jako efekt przepływu prądu) czyli od przepływów mocy i biernej, oraz straty mocy biegu jałowego powstające również, gdy żaden z odbiorców nie odbiera mocy a którym przyczyną strat są mocy i energii jest są znacznej mierze konduktancja poprzeczna G .

Oczywiście częścią strat mocy i energii czynnej jest również funkcją reaktancji poprzez zmianę poziomu napięcia na poszczególnych elementach analizowanej sieci. W konkretnym modelu nie ma tej części strat mocy i energii czynnej, ale bilans pozostaje niezmienny, co jest sprawdzianem poprawności realizacji modelu.

W nowym, modelowym ujęciu wyróżniamy straty
 - od przepływów wyłącznie składowej czynnej mocy, proporcjonalne do K_i z wymiarem w omach
 - od poziomu napięcia w punktach odbioru i innych proporcjonalne do K_o czyli też do konduktancji, w wymiarze $1/\text{om}$ (jako straty biegu jałowego).

straty „wspólne” lub dodatkowe proporcjonalne wyłącznie bezwymiarowego współczynnika K_p do pobranej ilości energii, czyli również do iloczynu RG .

Na podstawie udziału poszczególnych składników strat otrzymujemy wyraźne wskazówki odnośnie możliwości oceny poprawienia sprawności energetycznej.

Minimalna wielkość strat wspólnych jest funkcją maksymalnej sprawności określonej zależnością:

$$(10) \quad \Delta A_{wsp} = \Delta A \frac{1-\eta}{2}$$

Wynika stąd, iż praktycznie dla obiektów energetyki zawodowej dla których maksymalna sprawność jest powyżej 90%, straty wspólne są nieznaczne w bilansie energii (w naszym przykładzie zamierzone było ich wyraźne wykazanie).

Oczywiście, ma miejsce relacja:

$$(11) \quad \Delta A = n \cdot K_o + A \cdot K_p + A^2 \cdot K_i$$

$$(12) \quad \Delta A = \Delta A_u + \Delta A_{wsp} + \Delta A_i$$

Możliwości wykorzystania modelu i wnioski

Na przykładzie wielkości obliczonych z zestawienia bilansowego (tablice 2 i 3) dla przyjętych wielkości energii biernej, również w funkcji $\text{tg}(A_b/A_c)$ obliczone zostały współczynniki strat energii czynnej dla modelu oznaczonego umownie jako ER Określona na ich podstawie wielkość strat energii z odrębnym ujęciu składowych, w pełni potwierdziła poprawność założeń modelu i zrealizowanych obliczeń. W obu przypadkach wyraźnie widoczny jest efekt przepływów energii biernej j (znaczna wielkość całkowitych strat oraz procentowy udział strat napięciowych), który wyraźnie się zmniejsza przy założonej zmianie poziomu energii biernej. Oczywiście minimum strat energii czynnej ma miejsce przy energii biernej kompensacyjnej dla danego modelu, w wysokości 392 jednostek. Osiągalna tu sprawność jest bliska maksymalnej, gdyż odnosi do przykładu w którym odbierany przepływ energii czynnej nie był stale optymalny, ale zmienny w zakresie od 500 do 1000 jednostek, czyli średnio był niższy od przepływu oznaczonego jako optymalny.

Autor pragnie podziękować prof. J. Kulczykiemu za wyrazy pozytywnego poparcia wyrażonego w ocenie modelu [23].

LITERATURA

- [1]. Wolf M., Arbeitverlustfaktor, Verluststunden und Verwandete Begriffe Geschichte und Theorie. *Electrizitat swirtschaft.* (1958) h.11.325-329, h.21. 708-712. h.22. 741-748
- [2]. Zebisch M., Netzverluste, (Die verluste in elektrischen Versorgungsnetzen, ihre Ursachen und Ermittlung) VEB Verlag Technik Berlin (1956)
- [3]. Deprez M., Equations nouvelles relatives au transport de la forcel, *La Lumiere Electrique* viii (1883) nr.12, 357-358J
- [4]. Gawlak A., Calculation of losses in a set of elements consisting of overhead low-voltage rural lines. *Archives Electrical Engineering* (1997)nr.3

- [5] Kulczucki J., Ocena strat energii w rozległej sieci elektroenergetycznej. *Archiwum Energetyki* (1994) nr.3-4.129-137
- [6] Wojtów O.N., Siemianowa L.W., Czałpanow A.W., Algorytmy oceny potier elektroenergii i ich programy realizacji. *Elektryczestwo.*, (2005) nr.1
- [7] Horak J., Układ zastępczy sieci rozdzielczej *Przegląd Elektrotechniczny* (1974) nr.1,23-27
- [8] Nowakowski R., Kryterialne warunki odwzorowania systemowych strat energii elektrycznej energetycznie realnym modelem. *Zeszyty Naukowe W.S.I. w Opolu. Elektryka*. materiały Konferencyjne APE (1995) nr.42. 107-113
- [9] Rudzko R., Analiza nt. wielkości strat w przesyłach energii elektrycznej w Polsce. *Biuletyn Biura Bezpieczeństwa Narodowego* (2012) 1-6 www.bbn.gov.pl
- [10] Hołdyński G., Analiza technicznych strat mocy czynnej w wiejskich sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. *Przegląd Elektrotechniczny* (2003) nr. 6. 120-122
- [11] Maciejewski Z., Oszacowanie strat energii w krajowym systemie elektroenergetycznym w latach 1999-2003. *Elektroenergetyka* (2004) nr.3 Polskie Sieci Elektroenergetyczne. 19-28
- [12] Chrobociński J., Statystyczna analiza strat energii elektrycznej w sieciach niskiego napięcia. *Energetyka* (1993) nr.3. 293-301
- [13] Jasicki Z., Obliczanie strat energii w sieciach rozdzielczych za pomocą charakterystyk energetycznych. *Energetyka*. (1964) nr.5 149-154]. (1964) nr.5 149-153
- [14] Siemianowski J., Standardowe straty sieciowe dla celów rozliczeń PSE S.A. z zakładami energetycznymi. *Biuletyn miesięczny PSE S.A.*(1992) nr. 4. 18-23
- [15] Niewiedział E., Niewiedział R. Straty energii elektrycznej krajowym systemie elektroenergetycznym. *Sieci* 03) nr. 6. 120-122
- [16] Moszczyński S., Analiza porównawcza strat sieciowych za pomocą modelu i wskaźników struktury systemów elektroenergetycznych. *Energetyka*(1988) nr. 1
- [17] Osika L.K., Algorytmy wyćislenij pri koswiennych izmierenijach elektroenergii dla celuj kommierčeskogo učeta. *Električestwo*. (2003), nr.12
- [18] Kloczkowski T. Model bilansowania strat sieciowych w [sieciach rozdzielczych. *Energetyka*. (1988) nr.1
- [19] Nowakowski R., Synteza relacji źródło- odbiornik na bazie współczynnika maksymalnej sprawności elektrycznej, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2007), nr 7/8, 30-32
- [20] Nowakowski R., Fizycznie realny model strat energii elektrycznej terenowej sieci elektroenergetycznej. *Przegląd elektrotechniczny* nr 2. 87-91
- [21] Nowakowski R., Micek L., Obiektywna ocena sprawności energetycznej systemu ro gospodarki energią elektryczną. *Konferencja REE'96* (1996) 331-338
- [22] Nowakowski R., Four –terminal Network as the Base Energy Loss in regional Power. *International conference (1995) Sevastopol- ukraine 225-232*
- [23] Kulczycki J., Równania regresji do szacowania wielkości strat w sieciach rozdzielczych APE 03 (2003)115-1 (1996) 331-338

Autor; dr.inż Romuald Nowakowski, 70-45 Szczecin Al. Papieża Jana Pawła II 24 A/ 9 91 422 55 14