



# BIULETYN

# TECHNICZNO - INFORMACYJNY



Zarządu Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich

Nr 1/2007 (36)

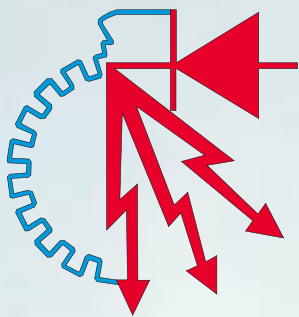
ISSN 1428-8966

Marzec 2007



DLA POLSKIEGO PRZEMYSŁU  
TRANSFORMATOROWEGO  
I ELEKTROENERGETYKI

Medal ustanowiony  
w Oddziale Łódzkim SEP



IV Międzynarodowa  
Konferencja

# Europejski Rynek Energii Elektrycznej

## EEM-07

### Wyzwania zjednoczenia

23-25 maja 2007, Kraków, Hotel Sheraton

**Organizatorzy Konferencji:**

**Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej**

ul. Stefanowskiego 18/22

90-924 Łódź, Polska

Tel: (42) 636 11 93; Fax: (42) 631 26 06

**Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Oddział Łódzki**

Plac Komuny Paryskiej 5a

90-007 Łódź, Polska

Tel./Fax (42) 632-90-39, 630-94-74

Strona WWW: <http://www.eem07.p.lodz.pl>

e-mail: [eem07@p.lodz.pl](mailto:eem07@p.lodz.pl); [sep.mk@epf.pl](mailto:sep.mk@epf.pl)

Główny Partner Medialny:

MIESIĘCZNIK GOSPODARCZY  
**NOWY PRZEMYSŁ**

**Spis treści:**

Ocena dokładności pomiaru energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym – <i>Z. Kuśmierek, B. Kalus-Jęcek</i> .....	2
Dole i niedole producenta energii odnawialnej – <i>A. Wędzik</i> .....	6
Obliczenia wielkości zwarciovych za pomocą normy PN-EN 60909-0:2002. Zasady obliczeń – <i>A. Kanicki</i> .....	13
Bezsprezynowy zacisk typu „TULIPAN” firmy „Wael-bis” .....	20
Twórca łódzkiej szkoły automatyki prof. Władysław Pełczewski 1917–2006 doktor honoris causa Politechniki Łódzkiej członek honorowy SEP – <i>K. Kuźmiński</i> .....	21
Medal im. profesora Eugeniusza Jezierskiego .....	23
Regulamin nadawania Medalu imienia profesora Eugeniusza Jezierskiego .....	24
Konkurs prac magisterskich na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki PŁ .....	25
Implementacja w FPGA algorytmu identyfikacji osób na podstawie tęczy oka – <i>A. Michałowska</i> .....	25
Analiza pracy układu zabezpieczeń bloku energetycznego – <i>K. Dzieciatkowski</i> .....	26
Algorytmy segmentacji w systemach analizy ilościowej obrazów – <i>A. Fabijańska</i> .....	27
Konferencja Kół Naukowych Wydziału EEIA PŁ – <i>M. Pawłowski</i> .....	28

**Komitet Redakcyjny:**

mgr inż. Mieczysław Balcerek – Sekretarz  
dr hab. inż. Andrzej Dębowski, prof. PŁ.  
– Przewodniczący

mgr Anna Grabiszewska  
mgr inż. Lech Grzelak  
dr inż. Adam Ketner  
dr inż. Tomasz Kotlicki  
mgr inż. Jacek Kuczkowski  
prof. dr hab. inż. Franciszek Mosiński  
prof. dr inż. Władysław Pełczewski  
mgr inż. Krystyna Sitek  
dr inż. Józef Wiśniewski  
prof. dr hab. inż. Jerzy Zieliński

Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść ogłoszeń. Zastrzegamy sobie prawo dokonywania zmian redakcyjnych w zgłoszonych do druku artykułach.

**Redakcja:**

Łódź, pl. Komuny Paryskiej 5a, pok. 404  
tel. 042-632-90-39, 042-630-94-74  
Skład: Alter  
tel. 042-676-45-10, 0605 725 073  
Druk: BiK  
Łódź, ul. Obywatelska 106/112  
tel. 042-676-07-78

Wydawca:

## Zarząd Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich

90-007 Łódź, pl. Komuny Paryskiej 5a

tel./fax (0-42) 630-94-74, 632-90-39

e-mail: seplodz@onet.pl sep.lodz@neostrada.pl

http://sep.p.lodz.pl www.sep.lodz.wizytowka.pl

Konto: I Oddział KB SA w Łodzi 21 1500 1038 1210 3005 3357 0000

## Szanowni Państwo

Pierwszy numer naszego Biuletynu w tym roku, w części naukowo-technicznej zawiera trzy artykuły napisane przez specjalistów z Politechniki Łódzkiej, które zainteresują czytelników pragnących poszerzać swą wiedzę w zakresie elektroenergetyki. Rozwijający się rynek energii elektrycznej wymaga rzetelności we wzajemnych rozliczeniach pomiędzy dostawcami i odbiorcami energii elektrycznej. Zastosowanie do pomiaru energii liczników o wyższej klasie dokładności, ale bez korekcji błędów wprowadzanych przez przekładniki prądowe i napięciowe i ich obwody wtórne nie gwarantuje zwiększenia dokładności takiego pomiaru. O ocenie jego dokładności piszą Zygmunt Kuśmierek i Bożena Kalus-Jęcek, specjaliści w zakresie metrologii elektrycznej z Instytutu Elektrotechniki Teoretycznej, Metrologii i Materiałoznawstwa. Temat produkcji energii ze źródeł odnawialnych znajduje się obecnie w centrum zainteresowania osób odpowiedzialnych za rozwój gospodarczy kraju. Ponieważ postępujące urynkowanie sektora energetyki sprawia, że ważnym kryterium oceny różnych rozwiązań staje się ich opłacalność, to szansę rozwoju będą miały wyłącznie te źródła, które produkują energię najtaniej i zgodnie z wymogami ochrony środowiska. Andrzej Wędzik z Instytutu Elektroenergetyki w swoim artykule próbuje w zwięzłej formie przedstawić problemy jakie mogą napotkać i korzyści jakie mogą uzyskać producenci energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. W trzecim artykule naukowo-technicznym Andrzej Kanicki, także pracownik naukowy Instytutu Elektroenergetyki, prezentuje główne zasady stosowania normy europejskiej PN-EN 60909-0:2002, przyjętej w Polsce, do obliczania prądów zwarciovych w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Autor omawia zalety i wady normy, ze szczególnym zwróceniem uwagi na przyjmowane założenia upraszczające oraz właściwości wzorów aproksymacyjnych stosowanych w normie. Praktyczny przykład zastosowania tej normy zostanie przedstawiony w drugiej części tego artykułu, która zostanie opublikowana w następnym numerze naszego Biuletynu.

W końcu ubiegłego roku, na nadzwyczajnym walnym zgromadzeniu delegatów OŁ SEP, ustanowiono medal im. prof. Eugeniusza Jezierskiego, wybitnego specjalisty w dziedzinie transformatorów, wieloletniego dziekana Wydziału Elektrycznego PŁ, doktora h.c. Politechniki Łódzkiej, członka honorowego SEP. Celem ustanowienia tego medalu było upamiętnienie zasług profesora Jezierskiego oraz możliwość wyróżnienia osób lub instytucji szczególnie zasłużonych dla przemysłu transformatorowego, elektroenergetyki i Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Pierwszymi uhonorowanymi tym medalem zostali: inżynier Zbigniew Kopczyński, wybitny główny konstruktor w fabryce transformatorów ELTA w Łodzi oraz dwaj znani profesorowie Politechniki Łódzkiej, Michał Jabłoński i Władysław Pełczewski.

Profesor Władysław Pełczewski, wybitny uczony, twórca łódzkiej szkoły automatyki, który całe swoje życie zawodowe związał z Politechniką Łódzką od samego jej początku, zmarł w kilka dni po tej uroczystości, na której reprezentował go jego wnuk. Profesor Pełczewski był znaczącą osobowością, która wywierała wpływ na rozwój Wydziału Elektrycznego i Uczelni. Budził szacunek swoją erudycją i pracowitością nie tylko wśród swoich uczniów i współpracowników, ale także u swoich oponentów. Jego sylwetkę przypominamy w artykule pożegnającym.

Na zakończenie numeru od przeszłości Wydziału Elektrycznego PŁ przechodzimy do współczesności, publikując krótkie sprawozdanie (wraz ze streszczeniami nagrodzonych prac) z kolejnej edycji corocznego konkursu dyplomowych prac magisterskich na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki – tak brzmi jego obecna nazwa.

Komitet Redakcyjny

Zygmunt Kuśmierk, Bożenna Kalus-Jęcek

## Ocena dokładności pomiaru energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym

### Streszczenie

W pracy wyznaczono błąd pomiaru energii czynnej za pomocą liczników, przy symetrycznym obciążeniu i symetrii napięć zasilających. W analizie błędów zostały uwzględnione błędy spowodowane przez wejściowe obwody pomiarowe: prądowe i napięciowe. Istotny wpływ na błąd pomiaru energii mają błędy przekładników prądowego i napięciowego. Błąd pomiaru energii można zmniejszyć stosując korekcję błędów wnoszonych przez obwody wejściowe.

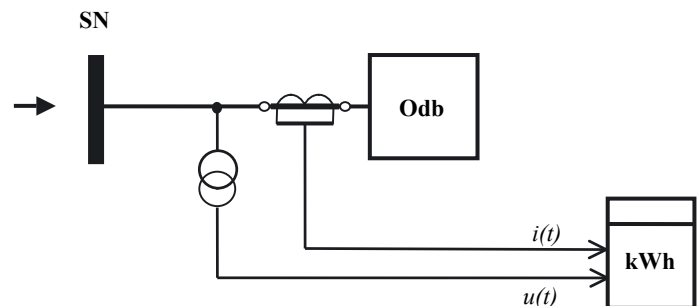
### 1. Wstęp

Pomiar energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym jest jednym z ważniejszych pomiarów w systemie. Wskazania liczników energii są podstawą rozliczeń finansowych między dostawcą i odbiorcą energii. Z tego też względu, pomiary te powinny charakteryzować się dużą dokładnością i wiarygodnością. Obecnie, coraz częściej, miernikami energii są liczniki elektroniczne. Liczniki te budowane są w różnych klasach dokładności, np. 0,05 – 0,1 – 0,5 – 1 – 2 – 3. W skład układu pomiarowego energii elektrycznej wchodzi przekładniki prądowe i napięciowe oraz liczniki połączone z przekładnikami przewodami elektrycznymi. Dokonując oceny dokładności pomiaru energii, bardzo często swoje rozważania kierujemy na licznik, pomijając inne elementy układu, które mają niepomijalny wpływ na dokładność pomiaru. W wielu przypadkach błąd, którego źródłem są przekładniki, a także układ połączeń licznik – przekładniki, może mieć wartość znacznie większą od błędów wprowadzanych przez licznik.

Z tego wynika potrzeba wyznaczenia błędów wnoszonych przez poszczególne ogniwa toru pomiarowego, ich analizy oraz ustalenia najkorzystniejszych warunków, z punktu widzenia dokładności pomiaru.

### 2. Tor pomiarowy energii w systemie elektroenergetycznym i ocena jego dokładności

Przedmiotem rozważań będzie system elektroenergetyczny z symetrycznym układem napięć zasilających i symetrycznym obciążeniem poszczególnych faz oraz stałą wartością częstotliwości sieciowej. Mając ten fakt na uwadze, analizowana będzie tylko jedna faza.



Rys. 1. Schemat jednofazowego układu pomiarowego energii

Błąd graniczny pomiaru energii czynnej prądu trójfazowym licznikiem trójsystemowym przy symetrii napięć zasilających i symetrii obciążenia wyraża się wzorem

$$\delta_E = \frac{\Delta K_U}{K_U} + \frac{\Delta K_I}{K_I} + (\delta_i - \delta_u) \tan \varphi + \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \quad (1)$$

gdzie:

$\frac{\Delta K_U}{K_U}$  – błąd napięciowy przekładnika napięciowego,

$\frac{\Delta K_I}{K_I}$  – błąd prądowy przekładnika prądowego,

$\delta_i$  – błąd kątowy przekładnika prądowego,

$\delta_u$  – błąd kątowy przekładnika napięciowego,

$\frac{\Delta L}{L}$  – błąd licznika,

$\frac{\Delta U}{U}$  – błąd obwodu napięciowego,

$\frac{\Delta I}{I}$  – błąd obwodu prądowego,

$\varphi$  – kąt przesunięcia fazowego między prądem i napięciem odbiornika.

Błąd obwodu napięciowego spowodowany jest spadkiem napięcia w przewodach łączących przekładnik napięciowy z licznikiem. Jest to błąd wnoszony przez obwody pomiarowe.

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{I_n \cdot R_p}{U_n} \quad (2)$$

gdzie:

$\frac{\Delta U}{U}$  – błąd obwodu napięciowego,

$I_n$  – prąd płynący w obwodzie wtórnym przekładnika napięciowego,

$R_p$  – rezystancja przewodów łączących przekładnik z licznikiem,

$U_n$  – napięcie znamionowe strony wtórnej przekładnika napięciowego.

Z pewnym przybliżeniem, można przyjąć, że błąd obwodu napięciowego jest stały (stałe napięcie i stałe obciążenie), dlatego może być on wyeliminowany w trakcie kalibracji układu pomiarowego.

Błąd prądowy  $\frac{\Delta I}{I}$  wynika z dodatkowego obciążenia przekładnika prądowego spowodowanego mocą traconą na rezystancji przewodów łączących przekładnik z licznikiem. Błąd przekładni jest zależny od impedancji obciążenia obwodu wtórnego przekładnika i wartości płynącego prądu. Z pewnym uproszczeniem można przyjąć, że obciążenie przekładnika jest określone przez moc obwodu prądowego licznika i moc traconą na rezystancji przewodów łączących przekładnik z licznikiem.

$$S_p = S_L + I_s^2 \cdot R_p \quad (3)$$

gdzie:

$S_p$  – obciążenie przekładnika,

$S_L$  – moc pobierana przez obwód prądowy licznika,

$I_s$  – prąd w obwodzie wtórnym przekładnika,

$R_p$  – rezystancja przewodów łączących przekładnik z licznikiem.

Z charakterystyki przekładnika prądowego, dla tak obliczonej mocy obciążenia i zadanej wartości prądu, można wyznaczyć błąd prądowy i błąd kątowy. Trzeba jednak mieć na uwadze fakt, że prąd obwodu wtórnego przekładnika zmienia się na skutek zmiany obciążenia systemu elektroenergetycznego.

**Tabela 1. Wartości graniczne błędów przekładnika prądowego**

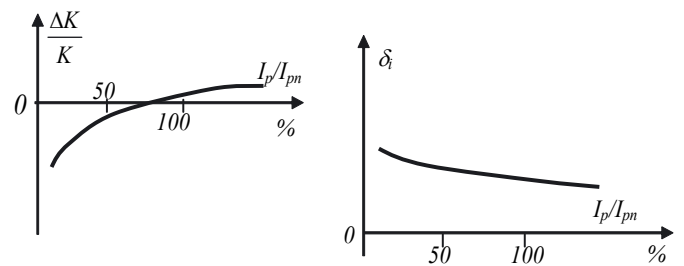
Klasa dokładności	Procentowy błąd prądowy (przekładni) przy poniżej podanych w % wartościach prądu znamionowego				Błąd kątowy przy poniżej podanych w % wartościach prądu znamionowego			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,05	0,15	0,075	0,05	0,05	10	5	3	3
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

Błąd spowodowany błędami kątowymi przekładników (wzór (1)) można by zmniejszyć, tak dobierając charakterystyki przekładników napięciowych i prądowych, aby w dużym zakresie zmian obciążenia systemu elektroenergetycznego, błędy i były sobie równe, co do wartości

**Tabela 2. Wartości graniczne błędów przekładnika napięciowego**

Klasa dokładności	Procentowy błąd napięciowy (przekładni) ±	Błąd kątowy ± minuty
0,05	0,05	3
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1,0	1,0	40
3,0	3,0	nie określa się

i znaku. Wtedy wpływ współczynnika mocy odbiornika na błąd pomiaru energii prądu elektrycznego byłby niewielki. W praktyce, warunek równości błędów kątowych jest bardzo trudny do spełnienia. O ile błąd kątowy przekładnika napięciowego można uważać za stały, ponieważ wartości napięcia i obciążenia strony wtórnej są stałe, to błąd kątowy przekładnika prądowego zmienia się wraz z prądem obciążenia.



Rys. 2. Charakter zmienności błędów prądowego i kątowego przekładnika prądowego

### Przykład

Jeżeli przyjąć, że licznik jest połączony z przekładnikiem napięciowym przewodami miedzianymi o długości 100 m i przekroju 2,5 mm<sup>2</sup>, to rezystancja połączenia będzie równa:

$$R_l = \frac{l}{\gamma \cdot s} = 0,70 \Omega \quad (4)$$

gdzie:

$R_l$  – rezystancja przewodów łączących,

$l$  – długość przewodów,

$s$  – przekrój przewodów,

$\gamma$  – przewodność miedzi.

W układzie pomiarowym zastosowano przekładniki napięciowe o następujących danych znamionowych:

$K_{U_n} = \frac{15kV}{\sqrt{3}} / \frac{0,1kV}{\sqrt{3}}$ ,  $S_n = 60 VA$ , klasy 0,5 i obciążeniu strony wtórnej przekładnika równym  $S = 10 VA$ . Względny spadek napięcia na rezystancji przewodów obwodu napięciowego będzie równy:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{S_s}{U_s} R_l = 0,21\% \quad (5)$$

gdzie:

$S_s$  – obciążenie strony wtórnej przekładnika napięciowego,  
 $U_s$  – napięcie wtórne przekładnika napięciowego,  
 $R_l$  – rezystancja przewodów.

Wartość tego względnego spadku jest porównywalna, co do wartości z błędem napięciowym przekładnika klasy 0,5.

Spadek napięcia na rezystancji przewodów obwodu napięciowego powoduje również powstanie dodatkowego błędu kąтового. Napięcie na zaciskach licznika nie jest w fazie z napięciem na zaciskach strony wtórnej przekładnika napięciowego. Ten dodatkowy błąd kątowy można wyznaczyć ze wzoru przybliżonego (6).

$$\delta_{U_p} = \arcsin \frac{\Delta U}{U} \quad (6)$$

Dla omawianego przykładu dodatkowy błąd kątowy wyniesie  $\delta_{U_p} \approx 7$  min.

Powyższe wywody i przytoczony przykład wskazują, że przy analizie dokładności pomiaru energii w systemie elektroenergetycznym wymagana jest znajomość błędów przekładni i błędów kątowych przekładników prądowego i napięciowego oraz błędów wprowadzanych przez przewody obwodów pomiarowych.

## 2. Błąd pomiaru energii elektrycznej

Pomiar energii elektrycznej może być dokonywany za pomocą liczników elektromechanicznych, reprezentowanych przez liczniki indukcyjne, lub licznikami elektronicznymi. Liczniki elektroniczne charakteryzują się dużo większą dokładnością niż liczniki indukcyjne. Do pomiaru energii przepływającej między systemami a także energii pobieranej przez „dużych” odbiorców (zakłady przemysłowe) powinny być stosowane liczniki o najwyższej dokładności, np. klasy 0,1 lub 0,05. W systemach pomiarowych energii stosowane są przekładniki prądowe i napięciowe określonych klas dokładności np. 0,2.

**Tabela 3. Wartości graniczne błędów procentowych liczników (jednofazowych lub wielofazowych z symetrycznym obciążeniem)**

Wartość prądu	Współczynnik mocy danego elementu pomiarowego	Granice błędu procentowego dla liczników klasy	
		0,2 S	0,5 S
$0,01 I_n \leq I < 0,05 I_n$	1	$\pm 0,4$	$\pm 1,0$
$0,05 I_n \leq I \leq I_{max}$	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$
$0,02 I_n \leq I < 0,1 I_n$	0,5 ind	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
	0,8 poj	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
$0,1 I_n \leq I \leq I_{max}$	0,5 ind	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$
	0,8 poj	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$
Na specjalne życzenie użytkownika $0,1 I_n \leq I \leq I_{max}$	0,25 ind	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
	0,5 poj	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$

**Tabela 4. Wartości błędów dodatkowych liczników w zależności od wielkości wpływających**

Wielkość wpływająca	Wartość prądu	Współczynnik mocy	Granice błędów dodatkowych, wyrażone w procentach dla liczników klasy	
			0,2 S	0,5 S
Zmiana napięcia obwodu mierzonego $\pm 10\%$	$0,05 I_n \leq I \leq I_{max}$ $0,1 I_n \leq I \leq I_{max}$	1 0,5 ind	0,1 0,2	0,2 0,4
Zmiany częstotliwości $\pm 5\%$	$0,05 I_n \leq I \leq I_{max}$ $0,1 I_n \leq I \leq I_{max}$	1 0,5 ind	0,1 0,1	0,2 0,2
Kształt przebiegu: zawartość trzeciej harmonicznej w prądzie równa 10%	$0,05 I_n \leq I \leq I_{max}$	1	0,1	0,1
Odwrotna kolejność faz	$0,1 I_n$	1	0,05	0,1
Niezerównoważenie napięć	$I_n$	1	0,5	1,0
Zmiana napięcia pomocniczego $\pm 15\%$	$0,01 I_n$	1	0,05	0,1
Zmiana fazy napięcia pomocniczego $\pm 120^\circ$	$0,01 I_n$	1	0,1	0,2
Indukcja zewnętrznego stałego pola magnetycznego	$I_n$	1	2,0	3,0
Indukcja zewnętrznego pola magnetycznego 0,5 mT	$I_n$	1	0,5	1,0
Pole elektromagnetyczne w.cz.	$I_n$	1	1,0	2,0
Pole magnetyczne urządzenia dodatkowego	$0,01 I_n$	1	0,05	0,1

Przyjmując przekładniki klasy 0,5 oraz zakładając, że błędy kątowe przekładników: prądowego i napięciowego są sobie równe, co do wartości i znaku a także zakładając (dla przeprowadzanych obliczeń), że błędy napięciowy i prądowy, dla danego obciążenia, są równe odpowiednio:  $\frac{\Delta U}{U}$  i  $\frac{\Delta I}{I}$ , a błąd graniczny licznika klasy 0,2 S dla omawianego przykładu jest równy 0,2%, otrzymuje się błąd graniczny pomiaru energii ze wzoru (7).

$$\frac{\Delta E_p}{E_p} = \frac{\Delta K_U}{K_U} + \frac{\Delta K_I}{K_I} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta L}{L} + (\delta_u - \delta_i) \operatorname{tg} \varphi =$$

$$= 0,5 + 0,5 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 1,6\% \quad (7)$$

Oznacza to, że o dokładności pomiaru energii w dużym stopniu decydują błędy przekładników. W celu zmniejszenia wpływu tych błędów na dokładność pomiaru energii wydaje się celowe stosowanie systemu do ich korekcji.

Przy stałym obciążeniu strony wtórnej i niewielkich zmianach wartości napięcia sieciowego, błędy przekładników napięciowych, napięciowy i kątowy, można uważać za stałe. Praca przekładników prądowych różni się od pracy przekładników napięciowych. Błędy przekładników prądowych zależą w dużym stopniu od prądu pierwotnego płynącego w sieci elektroenergetycznej, czyli od mocy dołączonych odbiorników. Wyznaczenie średniej wartości prądu dla pewnego okresu rozliczeniowego i na tej podstawie przyjęcie określonych wartości błędów prądowego i kąowego przekładnika, może prowadzić do dużych błędów pomiaru energii elektrycznej. W tym przypadku, wydaje się celowe wprowadzenie cyfrowej korekcji błędów przekładnika prądowego.

Można zaproponować następującą metodę korekcji, która będzie polegać na:

- pomiarze prądu wtórnego przekładnika prądowego i napięcia wtórnego przekładnika napięciowego,
- wyznaczeniu z danych wpisanych do pamięci mikroprocesora, błędu prądowego i kąowego toru pomiarowego dla pomierzonej wartości prądu wtórnego, a także błędu napięciowego i kąowego przekładnika napięciowego,
- wyznaczeniu zgodnie z algorytmem współczynnika korekcyjnego do pomiaru energii, na podstawie znajomości błędów przekładników prądowego i napięciowego,
- wyznaczeniu poprawnego wskazania licznika, przez uwzględnienie wyznaczonego współczynnika korekcji.

Proces korekcji błędów przekładnika prądowego realizowany jest w sposób ciągły. Dla przedstawionej metody korekcji przyjęto, że błędy przekładnika prądowego wpisane do pamięci systemu są stałe w czasie i nie zależą w istotny sposób od czynników zewnętrznych, takich jak np. temperatura czy wilgotność.

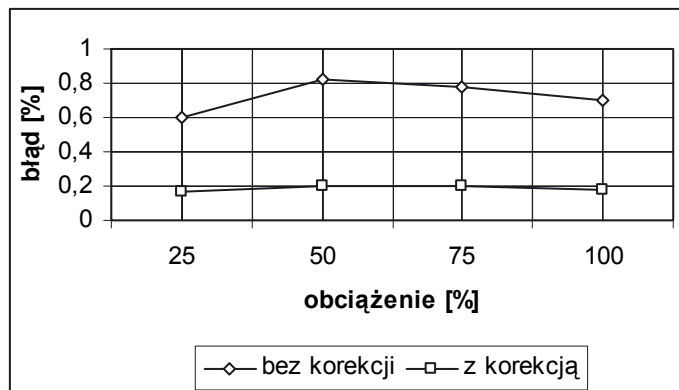
Przeprowadzone badania symulacyjne pomiaru energii czynnej bez korekcji i z korekcją błędów przekładnika prądowego, wykazały znaczne zmniejszenie błędów pomiaru energii.

Badania przeprowadzono dla przekładnika klasy 0,5 o mocy  $S_n = 10$  VA, toru prądowego o długości równej  $l = 100$  m i przekroju  $s = 2,5$  mm<sup>2</sup> Cu oraz licznika elektronicznego klasy 0,1.

Skuteczność zaproponowanej metody korekcji zależy głównie od dokładności wyznaczenia błędów obwodów pomiarowych napięciowego i prądowego.

Przy zastosowaniu przedstawionej metody korekcji błędów przekładników prądowego i napięciowego, błąd pomiaru energii będzie głównie zależał od klasy dokładności licznika.

Liczniki elektroniczne, poza dużą dokładnością, charakteryzują się małym poborem mocy przez obwody pomiarowe: prądowy i napięciowy. Jest to szczególnie ważne w odniesieniu do obwodu napięciowego. Im mniejsza moc, tym mniejszy prąd i mniejsze spadki napięcia w torze pomiarowym.



Rys. 3. Charakterystyki błędów pomiaru energii w funkcji obciążenia bez korekcji i z korekcją błędów przekładników

#### 4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Błąd pomiaru energii elektrycznej w dużym stopniu zależy od dokładności przekładników, prądowego i napięciowego, oraz od błędu wprowadzanego przez obwody wtórne przekładników. Zastosowanie do pomiaru energii liczników o wyższej klasie dokładności, ale bez korekcji nie gwarantuje zwiększenia dokładności pomiaru energii. Wydaje się, że zastosowanie korekcji błędów przekładników, można być jednym ze sposobów zwiększenia dokładności pomiaru energii.

#### Literatura

- [1] Pyplacz J. K.: *Ocena wpływu elementów układu pomiarowego na dokładność pomiaru energii elektrycznej w punktach rozliczeniowych systemu elektroenergetycznego*; Energetyka nr 9, 1993, str. 311–314.
- [2] Wiszniewski A.: *Przekładniki w elektroenergetyce*; WNT, Warszawa, 1982.
- [3] Furmankiewicz L.: *Programowa korekcja błędów wnoszonych przez obwody wejściowe w przetwornikach mocy*; IV-Szkoła – Konferencja, Elektrotechnika, Prądy Niesinusoidalne, Zielona Góra, 1998.
- [4] Wojtowicz S., Biernat K.: *Model rozproszonego systemu do pomiaru mocy i energii elektrycznej*; XIII Sympozjum Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych, Kraków 2003.
- [5] Kuśmierk Z.: *Pomiary mocy i energii w układach elektroenergetycznych*; WNT, Warszawa, 1994.
- [6] Jałmużny W.: *Measuring Accuracy of Electric Energy in HV Power Networks*, Electrical Power Quality Utilization, Journal Vol. XI, No. 1, 2005.

**Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierk**  
**dr inż. Bożenna Kalus-Jęcek**  
 Instytut Elektrotechniki Teoretycznej, Metrologii  
 i Materiałoznawstwa  
 Politechnika Łódzka

Andrzej Wędzik

## Dole i niedole producenta energii odnawialnej

### Wprowadzenie

Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej i związana z tym konieczność dostosowania się do istniejących norm i standardów europejskich, spowodowała szereg bardzo istotnych zmian w mechanizmach funkcjonowania polskiej energetyki. Przeprowadzana jest prywatyzacja sektora. Wprowadzone zostały mechanizmy rynkowe.

W ostatnim okresie daje się zaobserwować wzmożone zainteresowanie problematyką energetyki odnawialnej. Zagadnienia te nabierają dodatkowego znaczenia w powiązaniu z koniecznością i trudnościami w wypełnieniu zobowiązań wynikających z Dyrektywy 2001/77/EC Parlamentu Europejskiego.

W polskim prawodawstwie, po wielu latach burzliwych dyskusji, zrealizowana została koncepcja wdrożenia rozwiązań opartych na mechanizmach zbywalnych „Świadczeń pochodzenia”. Zaletą wdrożonych rozwiązań jest przede wszystkim kreowanie presji konkurencyjnej na wytwórców i wymuszanie poprawy efektywności ekonomicznej. W perspektywie, może to być również wygodny, zunifikowany system handlu międzynarodowego. Może to być również bardzo efektywny mechanizm wspierania energetyki odnawialnej w Polsce, sprzyjający rozwojowi konkurencji pomiędzy wytwórcami oraz ułatwiający handel tą energią. Powinien on również przyczynić się do obniżenia kosztów produkcji oraz wdrażaniu postępu technologicznego w całym sektorze energetyki odnawialnej.

Niestety, okazuje się, że możliwy, do praktycznego wykorzystania, potencjał energetyki odnawialnej jest obecnie zbyt mały, aby pokryć potrzeby ludzkości, a koszty produkowanej energii, są częstokroć nieporównywalnie większe niż koszty energii konwencjonalnej.

W ostatnich latach najważniejszym kryterium rozwoju energetyki staje się jej opłacalność. Postępujące urynkowanie sektora energetyki, sprawia, że szansę rozwoju będą miały wyłącznie te źródła, które produkują najtaniej i zgodnie z wymogami ochrony środowiska.

Ograniczenie degradacji środowiska, będącej skutkiem działalności społeczeństwa (przemysłowej i bytowej), jest dziś jednym z najważniejszych kryteriów wyznaczających kierunki rozwoju ludzkości w najbliższych latach. Zmiany w energetyce, która upatrywana jest jako jeden z największych sprawców tej degradacji, są zaś przejawem proekologicznej polityki całej społeczności światowej.

Dlatego też wielu uczestników rynku zastanawia się obecnie nad tym, czy warto inwestować w sektor energetyki odnawialnej? Czy zaproponowane mechanizmy wspierania tego sektora zapewnią odpowiedni poziom przychodów dla wytwórców energii odnawialnej?

Jednocześnie nowi inwestorzy bardzo często stają przed dylematem: inwestować czy też nie? Dlatego zwracają się wielokrotnie do specjalistów z branży, aby uzyskać odpowiedź na nurtujące ich pytania.

Artykuł ten jest próbą zaprezentowania w skondensowanej formie problemów jakie mogą napotkać i korzyści jakie mogą uzyskać producenci energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej.

### I. Problem wyboru technologii

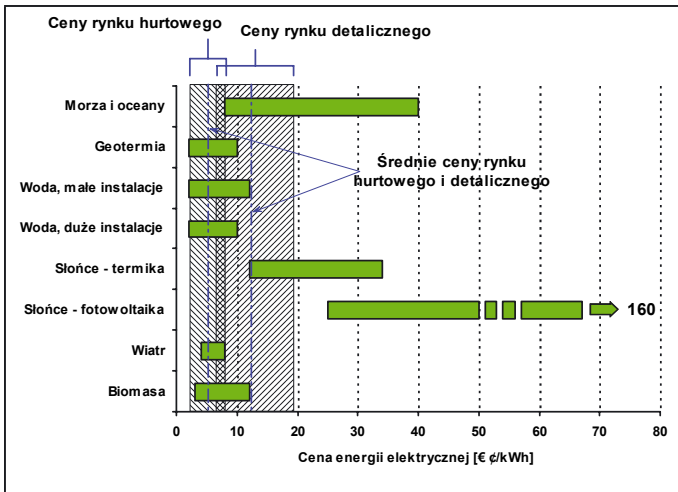
Każdy potencjalny producent energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej może stanąć przed dylematem wyboru technologii produkcji tej energii. Choć do wyboru jest obecnie co najmniej kilka rozwiązań technicznych, to jednak we wczesnej fazie koncepcyjnej należy zdecydować się na tę, która będzie optymalna zarówno ze względów technicznych jak i (a może przede wszystkim) ze względów ekonomicznych, zapewniając inwestorowi możliwie najszybszy zwrot zainwestowanego kapitału. Spośród wielu czynników, które należy brać pod uwagę, do najistotniejszych można zaliczyć:

#### 1. System wsparcia dla energetyki odnawialnej

Energia elektryczna, uzyskiwana ze źródeł energii odnawialnej jest w większości przypadków energią zdecydowanie droższą od energii uzyskiwanej w jednostkach kondensacyjnych czy też elektrowniach atomowych. Dlatego też nie ma większych szans na sprzedaż tej energii na rynku energii elektrycznej (po cenach rynkowych). Jednak ze względów na korzystny wpływ energetyki odnawialnej na ochronę środowiska naturalnego w większości państw europejskich stosuje się systemy wspierania rozwoju energetyki odnawialnej. Stosowane są odpowiednie mechanizmy, które stwarzają korzystne warunki do inwestowania i rozwoju tego sektora.

Potencjalny inwestor powinien przeanalizować zasady takiego systemu, aby w sposób właściwy ocenić wydatki, możliwe dotacje oraz przyszłe wpływy, a na ich podstawie w sposób prawidłowy zbudować business-plan rozważanej inwestycji.





Wykres 1. Struktura kosztów produkcji energii elektrycznej w źródłach energii odnawialnej w stosunku do cen rynkowych energii elektrycznej

## 2. Ocena potencjału energii pierwotnej, wykorzystywanej w źródle energii odnawialnej

Bardzo istotnym czynnikiem wyboru technologii jest prawidłowa ocena potencjału energii pierwotnej, z której korzysta wybrana technologia. Na przykład w przypadku technologii wiatrowej duże znaczenie ma siła wiatru, w przypadku źródeł fotowoltaicznych – czas i poziom nasłonecznienia, dla energetyki wodnej najistotniejszy jest przepływ i wielkość spadku wody itd.

Prawidłowa ocena tego potencjału ma duży wpływ na ilość uzyskiwanej energii elektrycznej, a tym samym na przyszłe wpływy inwestora. Dużą uwagę w tej ocenie należy zwrócić na aktualność, poprawność i rzetelność danych, które są podstawą do oceny potencjału energii pierwotnej, wykorzystywanej w danym źródle energii odnawialnej.

## 3. Ocena uwarunkowań i infrastruktury lokalnej

Znajomość tych uwarunkowań oraz stanu odpowiedniej infrastruktury prawnej i technicznej wpływa w sposób znaczący na początkowy proces całej inwestycji. Ewentualne problemy z planem zagospodarowania przestrzennego (głównie z jego brakiem), czy uregulowania dotyczące prawa własności, mogą być czynnikiem spowalniającym lub wręcz blokującym proces całej inwestycji.

## 4. Dodatkowe warunki związane z inwestycją

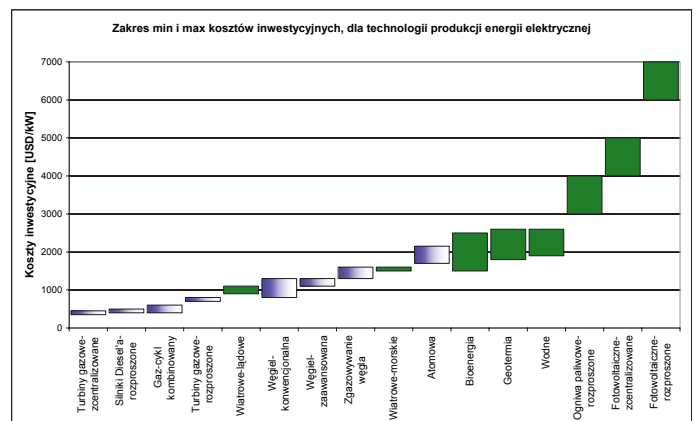
Decydując się na daną technologię oraz rozmiary inwestycji, inwestor powinien rozważyć wpływ dodatkowych warunków (np. technicznych), które mogą rzutować na koszty i czas realizacji całej inwestycji. Warunki takie mogą dotyczyć np. planów zagospodarowania przestrzennego czy też mogą być wydawane przez lokalne Spółki Dystrybucyjne. W wielu przypadkach niezbędne procedury, które zostaną narzucone inwestorowi, mogą w sposób znaczący wydłużyć czas całego przedsięwzięcia lub znacznie podnieść jego koszty, stawiając pod znakiem zapytania opłacalność całej inwestycji.

## 5. Możliwości sprzedaży wyprodukowanej energii

Podstawowym zadaniem i celem każdego producenta energii elektrycznej jest produkcja i sprzedaż wyprodukowanej przez siebie energii elektrycznej. W przypadku energii elektrycznej, uzyskiwanej ze źródeł energii odnawialnej, realizacja tego celu jest najczęściej powiązana ze stosowanym systemem wsparcia dla energetyki odnawialnej. Należy jednak pamiętać o tym, że w systemie rynkowym, pomimo istnienia np. obowiązkowego zakupu takiej energii, to na producencie ciąży największa odpowiedzialność za prawidłowo i korzystnie zawarte kontrakty, które zapewnią największe wpływy ze sprzedaży produkowanej energii elektrycznej.

## 6. Koszty inwestycyjne

Po przeanalizowaniu powyższych uwarunkowań, potencjalnemu inwestorowi pozostaje ostatnia z ważniejszych decyzji – wybór samej technologii. Nie jest to zadanie łatwe, gdyż inwestycje w energetykę odnawialną nie należą do najtańszych. Poniższy wykres przedstawia koszty inwestycyjne najczęściej spotykanych instalacji, służących do produkcji energii elektrycznej. Jak widać, inwestycje w energetyce odnawialnej należą do najdroższych.



Wykres 2. Koszty inwestycyjne, związane z technologiami wytwarzania energii elektrycznej

## II. Rozpoczynamy inwestycje!

Rozstrzygnięcie wszelkich niepewności, opisanych w punkcie poprzednim, pozwoli na wybór odpowiedniej technologii produkcji energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej oraz rozpoczęcie procesu inwestycyjnego. Jednak w tym momencie zaczynają się kolejne dylematy oraz pierwsze kłopoty inwestora. Do najpoważniejszych należą:

### 1. Organizacja prawna przedsięwzięcia i zabezpieczenie finansowe

Rozpoczynając proces inwestycyjny należy w wielu przypadkach zdecydować się na formę prawną całego przedsięwzięcia. Sprawa tylko na pozór jest biała. Otóż w praktyce wiele środków wsparcia przeznaczonych jest dla określonych podmiotów gospodarczych i niedostępna dla innych. Dlatego chociażby z tego powodu należy mieć na względzie czy działalność będzie prowadzona pod szyldem

osoby fizycznej czy też prawnej. Dodatkowo należy pamiętać o zabezpieczeniu odpowiednich środków finansowych. Jak wynika z poprzedniego punktu do realizacji inwestycji w energetyce odnawialnej potrzebne są naprawdę duże pieniądze!

## 2. Lokalizacja elektrowni

Wybór odpowiedniej lokalizacji jest zadaniem trudnym, ryzykownym i rzutującym w sposób bezpośredni na powodzenie całej inwestycji. Jednym z podstawowych problemów są plany zagospodarowania przestrzennego (a dokładniej ich brak). W planach takich bardzo rzadko przewiduje się tereny pod inwestycje, związane z energetyką odnawialną. Chlubnym wyjątkiem od tej reguły są niektóre gminy województwa Pomorskiego, które postanowiły zainwestować w energetykę wiatrową i tereny korzystne dla rozwoju tej technologii zostały przebadane pod kątem intensywności wiatru i umieszczone w odpowiednich planach zagospodarowania przestrzennego.

Dodatkowo, należy pamiętać, że większość z interesujących terenów ma charakter gruntów rolnych. Pociąga to za sobą konieczność przeprowadzenia pełnej procedury ustalania zapisów miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego. Koszty, związane z całą procedurą, ponosi inwestor. Ze względów formalnych, okres ustalania zapisów miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego trwa minimum 6 miesięcy, w praktyce nawet do 1,5 roku.

## 3. Pozwolenie na budowę

Elektrownia traktowana jest jak każda inna budowla. Dlatego do jej wybudowania potrzebne jest pozwolenie na budowę. Pozwolenie wydawane jest przez odpowiedni, dla danego terenu, Urząd Gminy. Pozwolenie ważne jest przez okres 2 lat.

## 4. Projekt budowlany

Projekt musi być wykonany zgodnie z wymaganiami, określonymi w decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu. Zakres i treść projektu musi uwzględniać specyfikę i charakter obiektu. Projekt jest podstawą do uzyskania decyzji o pozwoleniu na budowę.

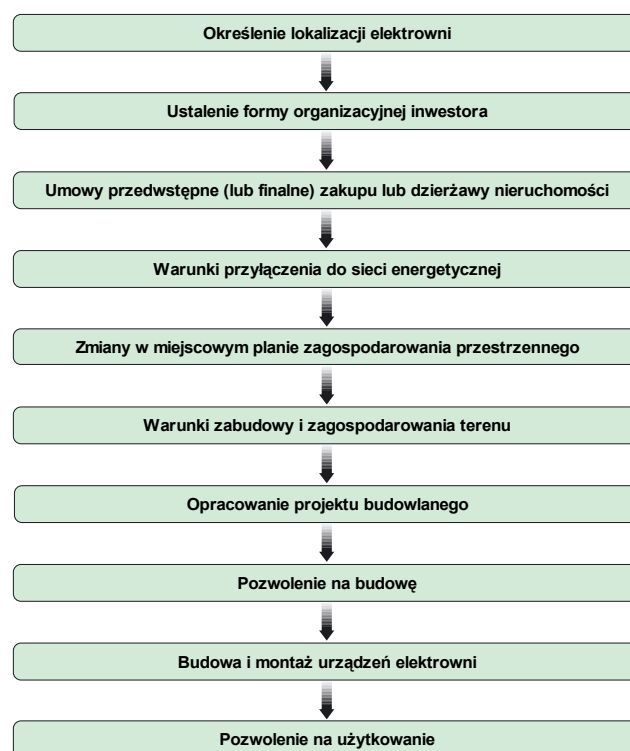
## 5. Dodatkowe niespodzianki

W przypadku niektórych technologii inwestor będzie zmuszony do opracowania dodatkowych ekspertyz i analiz, przewidzianych odpowiednimi przepisami. Do najważniejszych może należeć:

Sporządzenie raportu oddziaływania na środowisko. Np. instalacje o całkowitej wysokości nie niższej od 30 m, wykorzystujące siłę wiatru do produkcji energii elektrycznej, kwalifikuje się jako przedsięwzięcie mogące znacząco oddziaływać na środowisko, dla których raport wykonywany jest fakultatywnie.

Raport i analiza emisji  $SO_2$ ,  $NO_x$  i  $CO_2$ . Jest to dość istotny element oddziaływania na środowisko w przypadku instalacji spalających biomasę.

Jest to pierwszy etap działań inwestora, związany głównie z załatwianiem spraw formalnych w lokalnych



Rys. 1. Procedury formalno-prawne, związane z inwestycją w energetyce odnawialnej

urzędach. Podsumowanie tego procesu przedstawia powyższy rysunek.

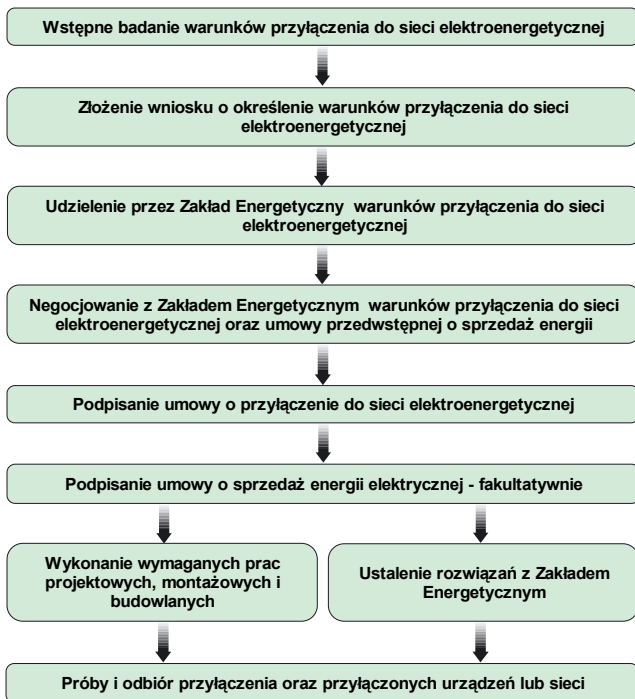
## III. Spotkanie z energetyką zawodową

Prędzej czy później, każdy producent energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej spotka się z przedstawicielami energetyki zawodowej. Najczęściej następuje to na poziomie lokalnej Spółki Dystrybucyjnej. Jednak przy większych przedsięwzięciach (np. duża farma wiatrowa) partnerem do rozmów może być bezpośrednio Operator Systemu Przesyłowego. W czasie kontaktów z energetyką zawodową określone są wszystkie warunki techniczne przyłączenia i pracy takiej elektrowni w systemie elektroenergetycznym. Do najważniejszych procedur należy złożenie wniosku o wydanie warunków technicznych przyłączenia do sieci.

Wniosek wydaje Zakład Energetyczny, właściwy dla danej lokalizacji elektrowni. Podstawą uzyskania warunków jest posiadanie prawa do użytkowania lub dysponowania obiektem lub ziemią, na której ma powstać inwestycja. Już na tym etapie kontaktów inwestor może zostać zobligowany do sporządzenia i dostarczenia ekspertyzy wpływu elektrowni na system elektroenergetyczny. Np. instalacje o mocy ponad 5 MW, zaliczone do I lub II przyłączeniowej, obligatoryjnie wymagają takiej ekspertyzy.

Szczegółowe warunki, jakie musi spełniać wniosek, określone są w Rozporządzeniu „przyłączeniowym”. Warunki (np. dla II grupy przyłączeniowej) wydawane są w ciągu 3 miesięcy. Warunki ważne są przez okres 2 lat. Zazwyczaj, razem z warunkami, przekazywany jest projekt umowy o przyłączenie.

Pozostałe procedury (mniej istotne z punktu widzenia inwestora) przedstawione zostały na poniższym rysunku:



Rys. 2. Procedury formalno-prawne, związane z energetyką zawodową

#### IV. Ile czasu zajmują wszystkie procedury formalno-prawne?

W poprzednich punktach opisane zostały podstawowe czynności jakie musi wykonać każdy inwestor, aby rozpocząć produkcję energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej. Łatwo stwierdzić, że procedury te zabierają dużo czasu i w wielu przypadkach mogą skutecznie zniechęcić potencjalnych inwestorów. Poniższa tabela jest podsumowaniem dotychczasowych rozważań i podaje orientacyjne czasy załatwiania poszczególnych czynności:

Lp.	Zadanie procesu	Czas trwania
1.	Sprawy lokalizacji	0,5 ÷ 1,5 roku
2.	Opracowanie ekspertyzy	1 ÷ 5 miesięcy
3.	Złożenie wniosku o warunki przyłączenia	---
4.	Wydanie warunków przyłączenia	do 3 miesięcy
5.	Zawarcie umowy o przyłączenie	0 ÷ 1 roku
6.	Prace inwestycyjne	1 ÷ 3 lat
7.	Przekazanie obiektu do eksploatacji	1 miesiąc

#### V. Jest elektrownia! Co dalej?

Sam fakt ukończenia inwestycji budowlanej oraz przyłączenie obiektu do sieci elektroenergetycznej, nie jest wystarczający do rozpoczęcia produkcji energii elektrycznej i traktowania jej jako pochodzącej ze źródła energii odnawialnej. Inwestor musi pamiętać, że koncesjonowaniu podlega każda działalność gospodarcza w zakresie wytwarzania energii elektrycznej. Dotyczy to również źródeł energii odnawialnej. Jeżeli podmiot dopiero zamierza

prowadzić działalność gospodarczą, polegającą m. in. na wytwarzaniu energii elektrycznej, może się ubiegać o wydanie promesy koncesji. Koncesji udziela Prezes URE, na podstawie złożonego wniosku, podmiotowi, który:

1. ma siedzibę lub miejsce zamieszkania na terytorium państwa członkowskiego Unii Europejskiej;
2. dysponuje środkami finansowymi w wielkości gwarantującej prawidłowe wykonywanie działalności bądź jest w stanie udokumentować możliwość ich pozyskania;
3. ma możliwości techniczne gwarantujące prawidłowe wykonywanie działalności;
4. zapewni zatrudnienie osób o właściwych kwalifikacjach zawodowych;
5. uzyskał decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu.

Koncesja nie może być udzielona wnioskodawcy:

1. który znajduje się w postępowaniu upadłościowym lub likwidacji;
2. któremu w ciągu ostatnich 10 lat cofnięto koncesję na działalność określoną ustawą;
3. skazanemu prawomocnym wyrokiem sądu za przestępstwo mające związek z przedmiotem działalności gospodarczej określonej ustawą.

Uzyskanie koncesji związane jest z poniesieniem pewnych dodatkowych kosztów. Wielkość tych kosztów określona jest w ustawie „Prawo energetyczne” i wynosi:

1. złożenie wniosku o wydanie koncesji wymaga uiszczenia opłaty skarbowej w formie znaków opłaty skarbowej w wysokości: 5,00 zł za wniosek oraz 0,50 zł za każdy z załączników.
2. po uzyskaniu koncesji należy uiścić jednorazowo opłatę skarbową w wysokości 600 zł od każdej z uzyskanych koncesji.

Przedsiębiorcy, prowadzący działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii o mocy poniżej 5 MW zwolnieni są z wnoszenia corocznej opłaty, przewidzianej w związku z prowadzeniem działalności koncesjonowanej.

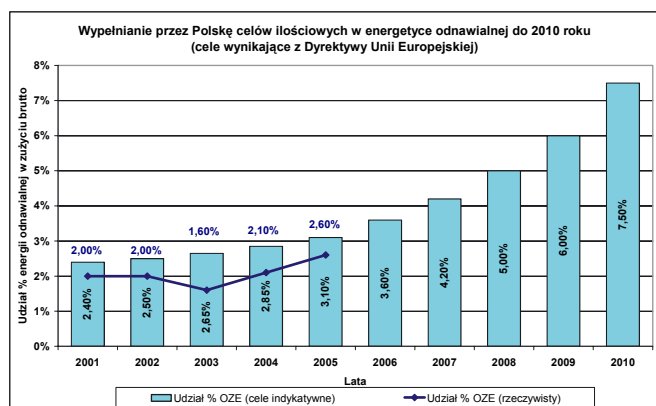
Posiadając odpowiednią koncesję można rozpocząć produkcję i sprzedaż energii elektrycznej, posiadającej statut energii odnawialnej.

Potwierdzeniem wytworzenia energii elektrycznej w odnawialnym źródle energii jest świadectwo pochodzenia tej energii. Świadectwo pochodzenia wydaje Prezes Urzędu Regulacji Energetyki na wniosek przedsiębiorstwa zajmującego się wytwarzaniem energii elektrycznej w OZE, złożony za pośrednictwem operatora systemu elektroenergetycznego.

#### VI. Czy w Polsce można zarobić na energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej?

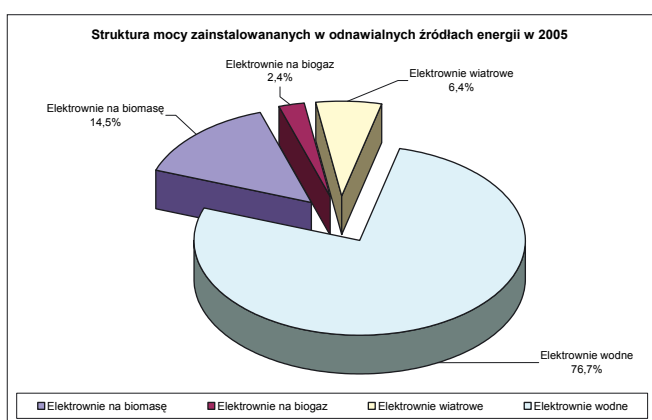
Sytuacja polskiego sektora energetyki odnawialnej nie napawa zbyt dużym optymizmem, chociaż należy podkreślić, że w ostatnich latach uległa nieznacznej poprawie. Począwszy od 2003 roku obserwuje się sukcesywny wzrost produkcji

„Zielonej energii”. Opisane tendencja najlepiej prezentuje poniższy wykres:

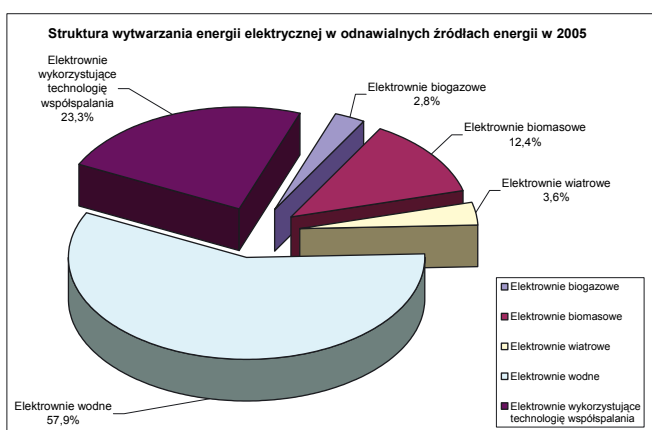


Wykres 3. Realizacja celów ilościowych w energetyce odnawialnej przez Polskę

W ostatnich latach zdecydowanej zmianie uległa również struktura produkcji energii odnawialnej. Nadal dominującą technologią są elektrownie wodne, ale bardzo znaczącą grupę stanowi obecnie produkcja energii odnawialnej przy wykorzystaniu technologii spalania i współspalania biomasy. Jest to obecnie ponad 35% udziału w produkcji całej energetyki odnawialnej. Struktura tego sektora w roku 2005, przedstawiona została na poniższych diagramach:



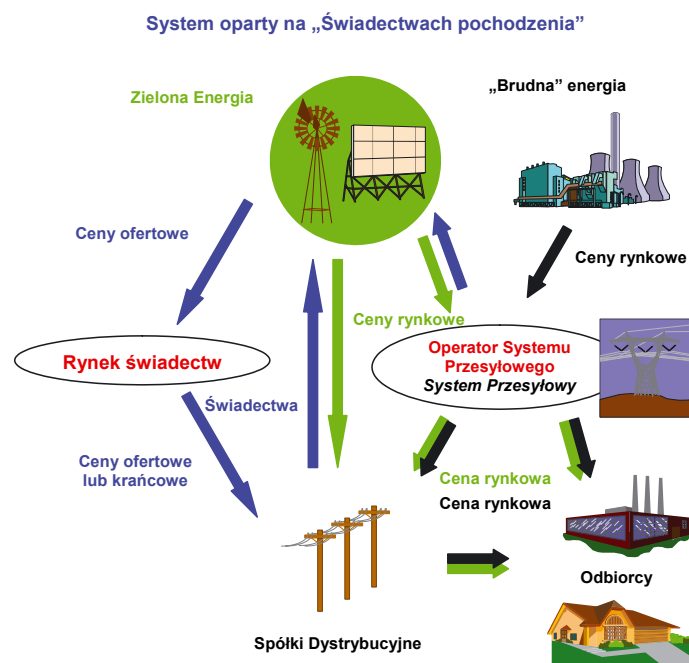
Wykres 4. Charakterystyka mocy zainstalowanej w Odnawialnych Źródłach Energii w roku 2005



Wykres 5. Charakterystyka produkcji energii elektrycznej w Odnawialnych Źródłach Energii w roku 2005

Jednak paradoksalnie taka sytuacja jest bardzo korzystna dla samych producentów energii odnawialnej, jak i potencjalnych inwestorów. Mała ilość energii odnawialnej przy stale rosnącym popycie na ten rodzaj energii (konieczność wypełnienia limitów ilościowych przez Polskę), powodują pojawienie się sygnałów rynkowych do inwestowania w ten sektor energetyki.

Obowiązujący w Polsce system wspierania energetyki odnawialnej oparty jest o obowiązek zakupu wyprodukowanej energii oraz zbywalne „Świadczenia pochodzenia” (ten mechanizm obowiązuje praktycznie od początku 2006 roku). „Świadczenie pochodzenia” z jednej strony jest dokumentem potwierdzającym wytworzenie energii elektrycznej w odnawialnym źródle energii. Z drugiej zaś strony jest to rodzaj „papieru wartościowego”, tworzącego tzw. wartość dodaną dla producenta energii odnawialnej. Schemat działania tego systemu zaprezentowany został na poniższym rysunku:



Rys. 3. Schemat systemu funkcjonowania Rynku „Zielonej Energii”, opartego na zbywalnych „Świadczeniach pochodzenia”

Każdy uczestnik rynku, opartego o system zbywalnych „Świadczeń pochodzenia”, ma do wyboru następujące schematy zachowań na tym rynku:

### Fizyczny obrót (handel) energią pochodzącą ze źródeł odnawialnych

Każdy producent energii odnawialnej musi sam zatroszczyć się o sprzedaż wyprodukowanej przez siebie energii. Może tego dokonać np. w oparciu o konkurencyjny segment Rynku Energii Elektrycznej. Struktura tego rynku daje mu do wyboru:

- kontrakty bilateralne;
- segment giełdowy: Giełda Energii, platforma internetowa, kantor wymiany;
- Rynek Bilansujący.

Dochody uzyskiwane przez producentów energii odnawialnej, są w tej części zależny głównie od warunków

finansowych zawartego kontraktu lub ceny przedstawionej w zgłoszonej ofercie, co na tle ofert innych producentów i aktualnego zapotrzebowania odbiorców może ograniczać oczekiwania finansowe producentów tej energii. W przypadku większości producentów energii odnawialnej, **dochody w tym segmencie nie będą pokrywały rzeczywistych kosztów wytwarzania** i tylko w niektórych okresach czasu (np. zapotrzebowania szczytowego), uzyskiwane na Rynku Energii Elektrycznej, ceny będą satysfakcjonująca dla tej kategorii producentów. Obecnie producent energii odnawialnej może spodziewać się cen zbliżonych do średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym, która np. w 2005 roku osiągnęła poziom **117,49 zł/MWh**. Wartość tej ceny podaje corocznie Prezes URE.

### Obrót (handel) „Świadectwami pochodzenia”, przyznanymi producentowi z tytułu wyprodukowania i sprzedaży energii pochodzącej ze źródeł energii odnawialnej

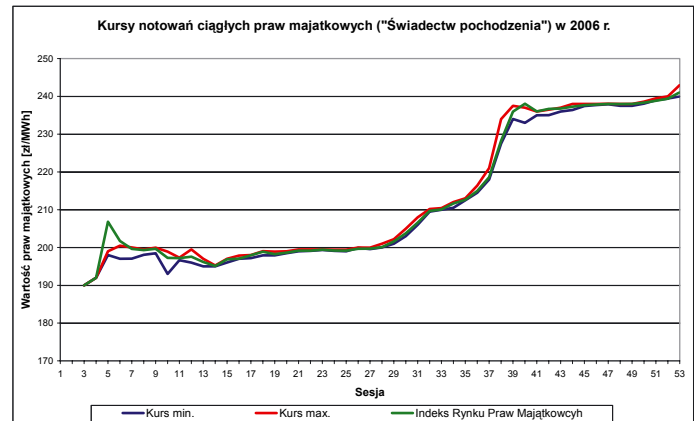
Obrót „Świadectwami pochodzenia” prowadzony jest na odrębnym rynku, na który producent energii odnawialnej będzie miał szansę:

- zawierania kontraktów bilateralnych (obróć pierwotny świadectwami, polegający na bezpośredniej sprzedaży tych świadectw, za cenę uzgodnioną pomiędzy stronami zawartego kontraktu – kontrakty OTC);
- sprzedaży „Świadectw pochodzenia” na segmencie giełdowym (obróć wtórny polegający na składaniu klasycznych ofert giełdowych sprzedaży i kupna „Świadectw pochodzenia”);
- sprzedaży „Świadectw pochodzenia” na innych segmentach rynku o charakterze giełdowym, np. platforma internetowa, kantor wymiany (obróć wtórny polegający na składaniu ofert sprzedaży i kupna „Świadectw pochodzenia” wg standardów obowiązujących na danym segmencie rynku);
- podejmowania działań na rynkach finansowych i terminowych, związanych z „Świadectwem pochodzenia” (obróć wtórny polegający na wykorzystaniu wszystkich mechanizmów związanych z rynkami finansowymi i terminowymi np. instrumenty pochodne, kontrakty terminowe itp.)

Przedmiotem obrotu na tym segmencie rynku są „Świadectwa pochodzenia” przyznawane producentowi energii z tytułu wyprodukowania i sprzedaży energii pochodzącej ze źródeł energii odnawialnej. Dochody, uzyskiwane przez producentów w tym segmencie, mogą (w zależności od relacji podaży i popytu na „Świadectwa pochodzenia”) osiągnąć znaczne wartości i dzięki temu kompensować straty z rynku fizycznego obrotu energią, niewystarczające na pokrycie rzeczywistych kosztów produkcji.

W chwili obecnej „monopol” na obrót „Świadectwami pochodzenia” ma Towarowa Giełda Energii, przez którą „przechodzi” obecnie 100% transakcji w tym segmencie rynku energii. Obecne tendencje cenowe pokazane zostały na wykresie nr 6:

Jak widać z wykresu nr 6, producent energii odnawialnej może liczyć obecnie na wpływy na poziomie ok. 235–240 zł/MWh, uzyskane ze sprzedaży „Świadectw

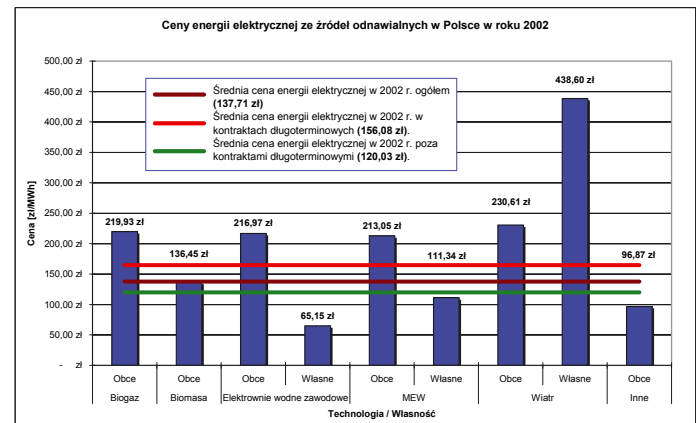


Wykres 6. Notowania wyników sesji praw majątkowych na Towarowej Giełdzie Energii – notowania ciągłe

pochodzenia”. Czy jest to już cena maksymalna? Wydaje się, że nie. Jednak na pewno cena ta nie będzie większa niż corocznie rewaloryzowana opłata zastępcza (wielkość bazowa, ustalona dla roku 2006 to 240 zł/MWh).

Podsumowując powyższe rozważania można więc stwierdzić, że producent energii odnawialnej może obecnie liczyć na przychody rzędu 350–360 zł/MWh, które są sumą przychodów z fizycznej sprzedaży wyprodukowanej energii oraz przychodów ze sprzedaży praw majątkowych („Świadectw pochodzenia”).

Czy jest to dużo? Na to pytanie może już odpowiedzieć tylko sam producent. Natomiast pewną wskazówką są dane URE z okresu, kiedy obowiązywał jeszcze system płacenia za energię odnawialną wg udokumentowanych kosztów wytworzenia. Dane te zaprezentowane zostały na poniższym wykresie:



Wykres 7. Porównanie cen energii elektrycznej z Odnawialnych Źródeł Energii w roku 2002

## VII. Podsumowanie

Zaprezentowane w poprzednich rozdziałach rozważania pozwalają na wyciągnięcie bardziej ogólnych wniosków, dotyczących sektora energetyki odnawialnej i potencjalnych inwestorów, chcących zainwestować własny kapitał w tym sektorze. Do najistotniejszych można zaliczyć:

1. W okresie ostatnich 2–3 lat klimat wokół energetyki odnawialnej nieco się poprawił. Wprowadzono prorynkowe rozwiązania legislacyjne („Świadectwa pochodzenia”),

a cały sektor energetyki odnawialnej włączony został w struktury rynku energii elektrycznej. Brak jest jednak ciągle jednolitej, spójnej i długofalowej polityki państwa wobec sektora energetyki odnawialnej. W obecnej chwili praktycznie wszystkie prace legislacyjne i prawne ukie- runkowane są na doraźne, krótkofalowe cele. Dodatkowym problemem jest również brak jednoznacznego podziału kompetencji w zakresie energetyki odnawialnej. Doprowadza to w praktyce do wielu sporów i nieporozumień pomiędzy poszczególnymi ministerstwami czy resortami. Takie właśnie sytuacje sprawiają, że Polska jest upatrywana jako kraj niepewny i nieprzewidywalny. To zaś zawsze skutkuje obawami inwestorów o powodzenie przyszłych inwestycji.

2. Zdecydowanie gorzej wygląda sytuacja praktycznych realizacji przedsięwzięć i inwestycji w sektorze energetyki odnawialnej. Brak rozeznania w lokalnych zasobach źródeł energii pierwotnej powoduje, że potencjalny inwestor musi zdać się w praktyce na niepewne dane i szacunki tych zasobów, bądź samemu decydować się na kosztowne i długotrwałe badania i pomiary.

3. Nie lepiej przedstawia się sytuacja w przypadkach lokalnych planów zagospodarowania przestrzennego. W praktyce, albo takie plany jeszcze w ogóle nie zostały opracowane albo nikt nie przewiduje w nich miejsca dla energetyki odnawialnej. Chlubnym wyjątkiem od tej reguły są niektóre gminy województwa Pomorskiego, które postanowiły zainwestować w energetykę wiatrową i tereny korzystne dla rozwoju tej technologii zostały przebadane pod kątem intensywności wiatru i umieszczone w odpowiednich planach zagospodarowania przestrzennego.

4. Na skutek opisanych powyżej sytuacji, kosztami wszelkiego rodzaju zmian w planach zagospodarowania przestrzennego, obciążani są inwestorzy. Prawie regułą staje się wymuszanie jeszcze dodatkowych zmian (np. budowy dodatkowej infrastruktury technicznej itp.), które podwyższają koszty całej inwestycji. Wyjątkiem są sytuacje, w których gmina jest stroną aktywną, zachęcającą do inwestowania w energetykę odnawialną, potencjalnych inwestorów.

5. Osobnym rozdziałem jest energetyka zawodowa, która nie „przepada” zbyt za energetyką odnawialną. Najbardziej „nie lubianą” technologią jest energetyka wiatrowa. Stąd też potencjalny inwestor musi liczyć się ostrymi wymaganiami technicznymi, jakie zostaną mu narzucone przy budowie takich instalacji. W wielu przypadkach kością niezgody staje się ekspertyza wpływu elektro-wni na system elektroenergetyczny. Dotyczy to np. instalacji o mocy ponad 5 MW, zaliczonych do I lub II przyłączeniowej, które obligatoryjnie wymagają takiej ekspertyzy. Problem polega na tym, że przepisy nie precyzują, jaka instytucja ma wykonać taką ekspertyzę. Dlatego też w przypadku opinii zakwestionowanych przez energetykę zawodową, może dojść do długotrwałych i trudnych negocjacji.

6. W ostatnim czasie poprawiła się sytuacja finansowa producentów energii odnawialnej. Wprowadzenie, opisanego wcześniej, systemu zbywalnych „Świadectw pochodzenia” pozwoliło osiągnąć większe wpływy ze sprzedaży tej energii. Niestety, na większe ceny za „fizycznie”

sprzedaną energię (Giełda Energii i Rynek Bilansujący) mogą liczyć jedynie producenci więksi, o dużym potencjale produkcyjnym (duże moce zainstalowane). Uczestnictwo na Giełdzie Energii czy Rynku Bilansującym związane jest jednak ze zdecydowanie większym ryzykiem zawieranych transakcji oraz dodatkowymi kosztami, wynikającymi z konieczności obsługi tego uczestnictwa. Dlatego też aktywny udział w tych segmentach rynku, dostępny jest i będzie w praktyce jedynie dla producentów większych lub tzw. grup producenckich, zrzeszających wielu, mniejszych producentów energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej. Dużą szansą dla producentów energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej może stać się bezpośrednia sprzedaż tej energii lokalnym odbiorcom końcowym. Powodzenie tego rodzaju rozwiązania związane jest jednak z dobrą współpracą takiego producenta ze społecznościami lokalnymi oraz dużym poziomem świadomości ekologicznej takiej społeczności.

Jak widać z powyższych wniosków, przed przyszłym inwestorem staje wiele problemów, z którymi musi się uporać. Nie oznacza to jednak, że jest to „mur nie do przebicia”. Wzrastające zainteresowanie tym sektorem energetyki, jakie obserwuje się w ostatnim czasie, jest najlepszym tego dowodem.

## Literatura

- [1] Siewierski T., Wędzik A., *Koncepcja funkcjonowania i wdrożenia obrotu energią ze źródeł odnawialnych i niekonwencjonalnych z wykorzystaniem systemu certyfikatów*, Opracowanie dla PSE ELECTRA S.A., Łódź marzec 2001.
- [2] Gochnio W., Siewierski T., Wędzik A., *Liberalizacja obrotu energią ze źródeł odnawialnych i niekonwencjonalnych. Koncepcja „Rynku Zielonej Energii”*, Konferencja APE 2003, Jurata czerwiec 2003.
- [3] Wędzik A., *Certyfikowanie energii – ułatwienie czy utrudnienie w procesie inwestowania i w obrocie „zieloną energią”*, Konferencja „Energia ze źródeł odnawialnych na rynku energii elektrycznej. Wartość dla konsumenta, produkt i certyfikat”; Warszawa, 15–16 stycznia 2004.
- [4] Wędzik A., *Energia ze źródeł odnawialnych*, w książce „Rozwój systemów elektroenergetycznych. Wybrane aspekty”, strony 215–290; Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej; Łódź, 2004; ISBN 83-914296-8-7.
- [5] Siewierski T., Wędzik A., *Certyfikowanie energii odnawialnej*, IV Międzynarodowe Seminarium Polsko-Ukraińskie „Problemy elektroenergetyki”; Łódź, 18–19 października 2004.
- [6] Dane statystyczne – URE, Eurostat, IEA/OECD, EIA.

**Dr inż. Andrzej Wędzik**  
**Instytut Elektroenergetyki**  
**Politechnika Łódzka**

# Obliczenia wielkości zwarciovych za pomocą normy PN-EN 60909-0:2002. Zasady obliczeń

## 1. Wstęp

Zasady obliczeń wielkości zwarciovych w sieciach trójfazowych prądu przemiennego nie ulegają zmianom od lat trzydziestych ubiegłego wieku i są dobrze opisane w literaturze książkowej. W języku polskim można tu wymienić przykładowe pozycje [1, 2, 3, 4, 5, 6] czy w języku angielskim – [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Szczegółowe zasady takich obliczeń są podawane w postaci norm począwszy od pierwszej normy VDE 102 z 1929 roku. W Polsce, w obliczeniach wielkości zwarciovych, do 2002 roku posługiwaliśmy się następującymi normami:

- PN-74/E-05002. *Dobór aparatów wysokonapięciowych w zależności od warunków znamionowych* [13],
- PN-90/E-05025. *Obliczanie skutków prądów zwarciovych* [14].

Od 2002 roku PKN wprowadził do użytkowania nowe normy:

- PN-EN 60865-1:2002 (U) *Obliczanie skutków prądów zwarciovych. Część 1: Definicje i metody obliczania* [15],
- PN-EN 60909-0:2002 (U) *Prądy zwarciove w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 0: Obliczanie prądów* [16],
- PN-EN 60909-3:2004 (U) *Prądy zwarciove w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 3: Prądy podwójnych, jednoczesnych i niezależnych, zwarc doziemnych i częściowe prądy zwarciove płynące w ziemi* [17].

Wymienione nowe normy to normy europejskie przyjęte przez PKN, które nie zostały przetłumaczone na język polski.

W artykule zostaną omówione zasady posługiwania się normą [16], czyli sposoby wyznaczania prądów zwarciovych w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Wyznaczanie prądu zwarciovego cieplnego oraz przykład zastosowania ww. normy zostaną zaprezentowane w następnym artykule.

## 2. Założenia do obliczeń

W normie PN-EN 60909-0:2002 *Prądy zwarciove w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 0. Obliczanie prądów* [16] obliczenia prądów i wielkości zwarciovych mają różny przebieg w zależności od miejsca zwarcia. Rozróżnia się:

- zwarcia odległe, podczas którego składowa okresowa prądu zwarciovego pozostaje stała,
- zwarcia pobliskie, podczas którego w co najmniej jednej maszynie synchronicznej prąd zwarciovy początkowy jest dwukrotnie większy od prądu znamionowego tej maszyny lub udział silników asynchronicznych w prądzie zwarciovy początkowym licznym bez tych silników jest większy niż 5% tego prądu.

Podział ten jak i przebiegi prądu zwarciovego podczas zwarcia pobliskiego i odległego są dobrze omówione w literaturze. Wspólną wielkością dla obu typów zwarc jest pojęcie źródła napięciowego zastępczego włączonego w miejscu zwarcia jako idealne źródło, niezależne od prądów zwarciovych i niezależne od stanu sieci przed zwarcie. Źródło napięciowe zastępcze w miejscu zwarcia jest jedynym źródłem aktywnym w sieci podczas zwarcia. Wartość napięcia tego źródła zależy od wartości napięcia nominalnego sieci w miejscu zwarcia oraz od współczynnika napięciowego  $c$ :

$$\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Wartości współczynnika napięciowego  $c$  w funkcji napięcia nominalnego sieci podano w tabl. 1. Zastosowanie współczynnika napięciowego  $c$  powoduje, że obliczanie stanu sieci przed zwarcie nie jest wymagane.

Tabela 1. Współczynnik napięciowy  $c$

Napięcie nominalne sieci $U_n$	Współczynnik napięciowy $c$ do obliczania:	
	maksymalnego prądu zwarciovego $c_{\max}^{1)}$	minimalnego prądu zwarciovego $c_{\min}$
Niskie napięcie od 100 V do 1000 V	1,05 <sup>3)</sup> 1,10 <sup>4)</sup>	0,95
Średnie napięcia powyżej 1 kV do 35 kV	1,10	1,00
Wysokie napięcia powyżej 35 kV do 230 kV <sup>2)</sup>		

<sup>1)</sup>  $c_{\max} \cdot U_n$  nie może przekraczać najwyższego napięcia urządzeń  $U_m$ .  
<sup>2)</sup> Jeżeli nie jest zdefiniowane napięcie nominalne sieci to powinno się zastosować  $c_{\max} \cdot U_n = U_m$  lub  $c_{\min} \cdot U_n = 0,9 \cdot U_m$ .  
<sup>3)</sup> Dla niskiego napięcia z zakresem napięcia +6% np. dla 380 lub 400 V.  
<sup>4)</sup> Dla niskiego napięcia z zakresem napięcia +10%.

Norma PN-EN 60909-0:2002 w różnych miejscach podaje następujące założenia upraszczające:

- rozpatruje się zwarcie pojedyncze, jednoczesne,
- podczas zwarcia nie występują zmiany w rozważanej sieci,

- pomija się wszystkie pojemności i upływności linii oraz admitancje równoległe reprezentujące nie wirujące obciążenia z wyjątkiem pojemności linii dla składowej zerowej w sieci z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym,

- nie jest potrzebna znajomość położenia przełączników zaczełów transformatorów,
- pomija się stany przejściowe w generatorach i silnikach,
- pomija się rezystancję łuku.

Norma proponuje, aby stosować metodę składowych symetrycznych podczas obliczania zwarć symetrycznych jak i niesymetrycznych.

Obliczając prądy zwarciove w sieci wielonapięciowej należy przeliczać impedancje z jednego poziomu napięcia na inny, zwykle na poziom napięcia w miejscu zwarcia. Przeliczanie to powinno wykorzystywać kwadraty rzeczywistych przekładni transformatorów, przekładnie te powinny być równe stosunkowi napięć znamionowych transformatora, czyli  $t_r = \frac{U_{rTHV}}{U_{rTLV}}$ .

Metodę jednostek względnych warto zastosować jedynie, gdy różnonapięciowe sieci są koherentne, czyli  $\frac{U_{rTHV}}{U_{rTLV}} = \frac{U_{nHV}}{U_{nLV}}$  dla każdego transformatora. W sytuacji przeciwnej zastosowanie metody jednostek względnych, choć możliwe to nie przynosi żadnych korzyści.

### 3. Maksymalny prąd zwarciovy

W przypadku konieczności wyznaczenia maksymalnego prądu zwarciovego należy:

- przyjąć współczynnik  $c$  z tabl. 1 dla maksymalnego prądu zwarciovego,
- wybrać konfigurację systemu, która prowadzi do maksymalnych prądów zwarciowych,
- wyznaczając impedancję zastępczej sieci elektroenergetycznej wybrać taką konfigurację, która prowadzi do maksymalnego prądu zwarciovego,
- uwzględnić silniki asynchroniczne,
- rezystancje linii wyznaczyć w temperaturze 20°C.

W normie nie sprecyzowano wymagań dotyczących:

- konfiguracji systemu elektroenergetycznego, która prowadzi do największych prądów zwarciowych, lecz trwających krótko, np. występujących podczas przełączeń eksploatacyjnych. Wydaje się, że nie należy jednak uwzględniać stanów prowadzących do zwiększenia prądów, lecz trwających krótko.

- wyboru miejsca zwarcia w przypadku zainstalowania dławików zwarciowych w polach liniowych rozdzielni. Przy wyborze urządzeń umieszczonych między dławikiem, a szynami zbiorczymi należy brać pod uwagę zwarcie za dławikiem;

- wyboru rodzaju zwarcia. W sieci z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym należy przyjmować do obliczeń:

- działanie cieplne prądu zwarciovego – zwarcie trójfazowe lub dwufazowe,
- działanie elektrodynamiczne – zwarcie trójfazowe,

- zdolność łączeniowa – zwarcie trójfazowe.

W sieci ze skutecznie uziemionym punktem neutralnym należy przyjmować:

- działanie cieplne – zwarcie trójfazowe, dwufazowe, doziemne lub jednofazowe przy czym wybór zależy od wielkości skutków danego typu zwarcia,
- działanie elektrodynamiczne – zwarcie trójfazowe lub jednofazowe,
- zdolność łączeniowa – zwarcie trójfazowe lub jednofazowe.

### 4. Impedancja sieci elektroenergetycznej zastępczej

Impedancja sieci elektroenergetycznej zastępczej  $Z_Q$  jest wyznaczana w oparciu o prąd zwarciovy początkowy zwarcia trójfazowego, jaki płynie z tej sieci przy zwarciu na jej zaciskach  $I''_{kQ}$ :

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \quad (2)$$

Rezystancję i reaktancję sieci elektroenergetycznej zastępczej wyznacza się następująco:

- dla sieci o napięciu nominalnym powyżej 35 kV zakładamy, że rezystancja sieci jest równa zeru a reaktancja jej impedancji,
- dla pozostałych sieci mamy:

$$X_Q = 0,995 \cdot Z_Q \quad \text{oraz} \quad R_Q = 0,1 \cdot X_Q \quad (3)$$

### 5. Impedancja transformatora

Impedancję transformatora wyznaczamy w oparciu o jego napięcie zwarcia, następnie rezystancję w oparciu o straty obciążeniowe a reaktancję z impedancji i rezytancji. W przypadku transformatorów wprowadzono współczynnik korekcyjny, przez który należy pomnożyć impedancję zespoloną transformatora. Współczynnik korekcyjny należy użyć także przy wyznaczaniu impedancji transformatora dla składowej przeciwnej i zerowej, przy czym nie dotyczy to impedancji uziemiającej transformatora. Współczynnik ten dla transformatora sieciowego dwuuzwojeniowego, za wyjątkiem transformatorów blokowych, jest postaci:

$$K_T = \frac{0,95 \cdot c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad (4)$$

gdzie:

$x_T$  – reaktancja transformatora wyznaczona w jednostkach względnych, w których moc podstawowa jest równa mocy znamionowej transformatora.

Na rys. 1 pokazano wartości współczynnika korekcyjnego  $K_T$  w funkcji reaktancji transformatora wyznaczonej w jednostkach względnych (w przybliżeniu równej napięciu zwarcia transformatora w jednostkach względnych) dla dwóch wartości współczynnika  $c$ . Współczynnik ten koryguje wartość siły elektromotorycznej wyznaczonej za

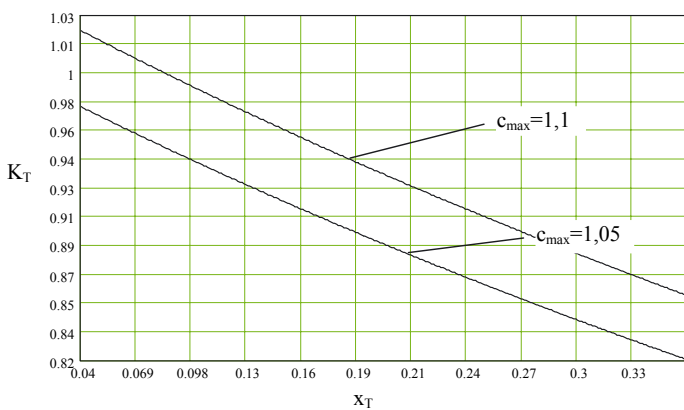


pomocą wzoru (1) ze względu na występowanie spadków napięć na transformatorze przed zwarcie. Dla transformatora sieciowego dwuuzwojowego, dla którego możliwe jest określenie warunków pracy w stanie przedzwarciowym za wyjątkiem transformatorów blokowych, współczynnik korekcyjny wyraża się zależnością:

$$K_T = \frac{U_n}{U^b} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_T \cdot \left( \frac{I_T^b}{I_{rT}} \right) \cdot \sin \varphi_T^b} \quad (5)$$

gdzie:

$U^b$  – najwyższe napięcie pracy sieci przed zwarcie,  
 $I_T^b$  – najwyższy prąd transformatora przed zwarcie,  
 $I_{rT}$  – prąd znamionowy transformatora,  
 $\varphi_T^b$  – kąt obciążenia prądu transformatora przed zwarcie.



Rys. 1. Współczynnik  $K_T$  w zależności od wartości impedancji transformatora  $x_T$

## 6. Impedancje generatora synchronicznego

Impedancję generatora synchronicznego wyznacza się w oparciu o fabrycznie podaną wartość reaktancji nadprzejściowej generatora  $X_d''$ . Dla generatorów synchronicznych podano także wartości rezystancji obliczeniowej  $R_{Gf}$  wyznaczonej w oparciu o reaktancje nadprzejściową generatora  $X_d''$ :

- $R_{Gf} = 0,15 \cdot X_d''$  dla generatorów o napięciu znamionowym  $U_{rG} \leq 1000$  V,
- $R_{Gf} = 0,07 \cdot X_d''$  dla generatorów o napięciu znamionowym  $U_{rG} > 1$  kV i mocy znamionowej  $S_{rG} < 100$  MVA,
- $R_{Gf} = 0,05 \cdot X_d''$  dla generatorów o napięciu znamionowym  $U_{rG} > 1$  kV i mocy znamionowej  $S_{rG} \geq 100$  MVA.

Powyższe wartości rezystancji należy stosować podczas wyznaczaniu prądu zwarciego udarowego. W przypadku obliczania zanikania składowej aperiodycznej prądu zwarciego należy brać pod uwagę fabrycznie podane wartości rezystancji generatora albowiem powyższe wartości są znacznie zawyżone.

Impedancję generatora synchronicznego należy pomnożyć przez poniżej zdefiniowane współczynniki korekcyjne przy obliczaniu jej dla składowej symetrycznej zgodnej, przeciwnej i zerowej:

• Generator synchroniczny przyłączony bezpośrednio do sieci:

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_{rG}} \quad (6)$$

gdzie:

$U_{rG}$  – napięcie znamionowe generatora,  
 $X_d''$  – reaktancja nadprzejściowa generatora w jednostkach względnych,

$\varphi_{rG}$  – kąt obciążenia prądu generatora przed zwarcie.

W przypadku, gdy napięcie na zaciskach generatora różni się od jego napięcia znamionowego to można do powyższego równania zamiast napięcia znamionowego wprowadzić napięcie rzeczywiste generatora przed zwarcie wyznaczone następująco:

$$U_G = U_{rG} \cdot (1 + p_G) \quad (7)$$

gdzie:

$p_G$  – zakres regulacji napięcia generatora.

• Generator połączony z siecią za pomocą transformatora blokowego posiadającego podobciążeniową regulację przekładni

Szeregowo połączone impedancje generatora i transformatora blokowego wyznaczone na poziomie napięcia górnego oznaczone są jako impedancja bloku i wyznaczone z użyciem współczynnika korekcyjnego  $K_S$  z wzoru:

$$Z_S = K_S \cdot \left( t_r^2 \cdot Z_G + Z_{THV} \right) \quad (8)$$

gdzie:

$t_r$  – stosunek napięć znamionowych górnego  $U_{rTHV}$  do dolnego  $U_{rTLV}$  transformatora blokowego.

Współczynnik korekcyjny  $K_S$  wyznaczamy z wzoru:

$$K_S = \frac{U_{nQ}^2}{U_{rG}^2} \cdot \frac{U_{rTLV}^2}{U_{rTHV}^2} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + |x_d'' - x_T| \cdot \sin \varphi_{rG}} \quad (9)$$

gdzie:

$U_{nQ}$  – nominalne napięcie sieci, do której jest przyłączony transformator blokowy.

Gdy minimalne napięcie pracy strony górnej  $U_{Qmin}^b$  jest trwale większe od nominalne napięcie sieci, do której jest przyłączony transformator blokowy  $U_{Qmin}^b \geq U_{nQ}$ , wtedy w równaniu (9) zamiast członu  $U_{nQ}^2$  można wprowadzić iloczyn  $U_{Qmin}^b \cdot U_{nQ}^2$ . Jednakże, gdy chcemy obliczyć maksymalny prąd zwarciego płynący od bloku generator-transformator to należy wykorzystać równanie (9) w pierwotnej postaci. W przypadku, gdy napięcie na zaciskach generatora różni się od jego napięcia znamionowego to można do powyższego równania zamiast napięcia znamionowego wprowadzić napięcie rzeczywiste generatora przed zwarcie wyznaczone z równania (7) z  $p_G=0,05$ . W układzie z niedowzbudzonym generatorem obliczanie prądów zwarć niesymetrycznych z uwzględnieniem współczynnika korekcyjnego  $K_S$  z równania (9) może prowadzić do zawyżenia tych prądów.

• Generator połączony z siecią za pomocą transformatora blokowego nieposiadającego podobciążeniowej regulacji przekładni

Szeregowo połączone impedancje generatora  $Z_G$  i transformatora blokowego wyznaczona na poziomie napięcia górnego  $Z_{THV}$  oznaczone są jako impedancja bloku  $Z_{SO}$  i wyznaczone z użyciem współczynnika korekcyjnego  $K_{SO}$  z wzorów:

$$Z_{SO} = K_{SO} \cdot (t_r^2 \cdot Z_G + Z_{THV}) \quad (10)$$

$$K_{SO} = \frac{U_{nQ}}{U_{rG} \cdot (1 + p_G)} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} \cdot (1 \pm p_T) \cdot \frac{c_{max}}{1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_{rG}} \quad (11)$$

gdzie:

$p_T$  – zakres regulacji w stanie bezprądowym transformatora blokowego.

Dodatkowo należy stwierdzić, że w przypadku, gdy:

- transformator blokowy nie posiada żadnego przełącznika zaczeów, to należy przyjąć, że  $(1 \pm p_T) = 1$ ,
- wyznaczamy największy prąd zwarcioowy płynący po stronie górnego napięcia transformatora blokowego wyposażonego w przełącznik zaczeów zmieniany w stanie beznapięciowym, to należy przyjąć  $(1 - p_T)$ .

## 7. Impedancja silnika asynchronicznego

Silniki asynchroniczne średniego i niskiego napięcia są źródłem prądu zwarcioowego i należy dla nich wyznaczać:

- prąd zwarcioowy początkowy  $I_k''$ ,
- prąd zwarcioowy udarowy  $i_p$ ,
- prąd zwarcioowy wyłączeniowy symetryczny  $I_b$ ,
- prąd zwarcioowy cieplny  $I_{th}$ .

Silniki asynchroniczne niskiego napięcia należy brać pod uwagę w układach potrzeb własnych elektrowni oraz w przemysłowych instalacjach np. zakładach przemysłu chemicznego, stalowego czy w stacjach pomp. Wpływ silników asynchronicznych można pominąć, jeżeli udział silników asynchronicznych w prądzie zwarcioowym początkowym liczonym bez tych silników jest mniejszy niż 5% tego prądu, tzn. gdy spełniona jest zależność:

$$\sum I_{rM} \leq 0,01 \cdot I_{kM}'' \quad (12)$$

gdzie:

- $\sum I_{rM}$  – suma prądów znamionowych silników przyłączonych bezpośrednio do sieci, w której wystąpiło zwarcie, czyli bez pośrednictwa transformatora,
- $I_{kM}''$  – prąd zwarcioowy początkowy liczonym bez tych silników.

Impedancja silników jest obliczana z zależności:

$$Z_M = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{\eta_{rM} \cdot \cos \varphi_{rM} \cdot P_{rM}} \quad (13)$$

gdzie:

$\frac{I_{LR}}{I_{rM}}$  – współczynnik samorozruchu silnika,

$\eta_{rM}$  – sprawność silnika.

Rezystancję i reaktancję silnika asynchronicznego wyznaczamy w zależności od wielkości silnika. Dla:

- silników wysokonapięciowych o mocy  $P_{rM}$  podzielonej przez liczbę par biegunów większej lub równej 1 MW

$$X_M = 0,995 \cdot Z_M \text{ oraz } R_M = 0,1 \cdot X_M, \quad (14)$$

- silników wysokonapięciowych o mocy  $P_{rM}$  podzielonej przez liczbę par biegunów mniejszej od 1 MW

$$X_M = 0,989 \cdot Z_M \text{ oraz } R_M = 0,15 \cdot X_M, \quad (15)$$

- silników niskonapięciowych

$$X_M = 0,922 \cdot Z_M \text{ oraz } R_M = 0,42 \cdot X_M. \quad (16)$$

Impedancje silników są włączane w schemat zastępczy sieci dla składowej zgodnej i ewentualnie przeciwnej.

Silniki asynchroniczne średniego i niskiego napięcia połączone z miejscem zwarcia za pośrednictwem transformatora lub za pośrednictwem pracujących równolegle transformatorów mogą być pominięte, gdy:

$$\sum P_{rM} \leq \frac{0,8 \cdot \sum S_{rT}}{\sqrt{3} \cdot U_{nQ} \cdot I_{kM}'' - 0,3} \quad (17)$$

gdzie:

- $\sum P_{rM}$  – suma mocy znamionowych czynnych silników,
- $\sum S_{rT}$  – suma mocy znamionowych transformatorów, przez które silniki są połączone z miejscem zwarcia,
- $I_{kM}''$  – prąd zwarcioowy początkowy płynący z układu zasilania liczonym bez tych silników.

Z powyższej zależności wynika, że im większa moc zwarcioowa sieci zasilającej tym moc transformatora musi być większa, aby uwzględnić w obliczeniach zwarcioowych silniki i tak dla transformatora o mocy  $S_{rT} = 1000$  kVA moc zwarcioowa musi być  $S_{kQ} < 100$  MVA.

Silniki asynchroniczne niskiego napięcia połączone z miejscem zwarcia za pośrednictwem transformatora i przyłączone do strony dolnego napięcia tego transformatora za pośrednictwem różnych kabli można zastąpić jednym zastępczym silnikiem, którego parametry są następujące:

$\frac{I_{LR}}{I_{rM}} = 5$ ,  $\frac{R_M}{X_M} = 0,42$  oraz  $\frac{P_{rM}}{p} = 0,05$  MW kiedy nie znamy mocy silników, przy czym  $p$  to liczba par biegunów silnika.

## 8. Impedancja dławika przeciwzwarcioowego

Impedancję dławika przeciwzwarcioowego wyznacza się z zależności:

$$Z_R = \frac{u_{kR}}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{rR}} \quad (18)$$

gdzie:

$u_{kR}$ ,  $I_{rR}$  – wielkości z tabliczki znamionowej dławika.

## 9. Impedancja przekształtnika statycznego

Odwracalne statyczne przekształtniki zasilające różne napędy są rozważane jako źródła prądu zwarciego jedynie podczas zwarcia trójfazowego, jeżeli:

- masy wirujące silników są dostatecznie duże,
- układ przekształtnika umożliwia przepływ energii od silnika do miejsca zwarcia podczas wybiegu silnika spowodowanego zwarciem.

W tej sytuacji wyznacza się jedynie:

- prąd zwarciego początkowy  $I_k''$ ,
- prąd zwarciego udarowy  $i_p$ .

Odwracalny statyczny przekształtnik modeluje się impedancją wyznaczoną z parametrów silnika, przy czym przyjmuje się:

$$\frac{I_{LR}}{I_{rM}} = 3, \quad \frac{R_M}{X_M} = 0,1, \quad X_M = 0,995 \cdot Z_M$$

## 10. Impedancja kondensatora i obciążenia niewirującego

Podczas obliczania prądów zwarciegich należy:

- pominąć kondensatory równoległe i obciążenia niewirujące również podczas wyznaczania prądu zwarciego udarowego,
- pominąć kondensatory szeregowo do kompensacji reaktancji linii jeśli wyposażone są one w urządzenia do ograniczania przepięć, które włączane są równoległe z kondensatorem.

## 11. Prąd zwarciego początkowy $I_k''$

Prąd zwarciego początkowy dla zwarcia trójfazowego wyraża się wzorem:

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_k|} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (19)$$

Prądy zwarciego początkowe dla innych zwarć niesymetrycznych wyznaczamy zgodnie z teorią składowych symetrycznych.

## 12. Prąd zwarciego udarowy $i_p$

### Zwarcie w sieci promieniowej

Prąd zwarciego udarowy może być wyznaczony z zależności:

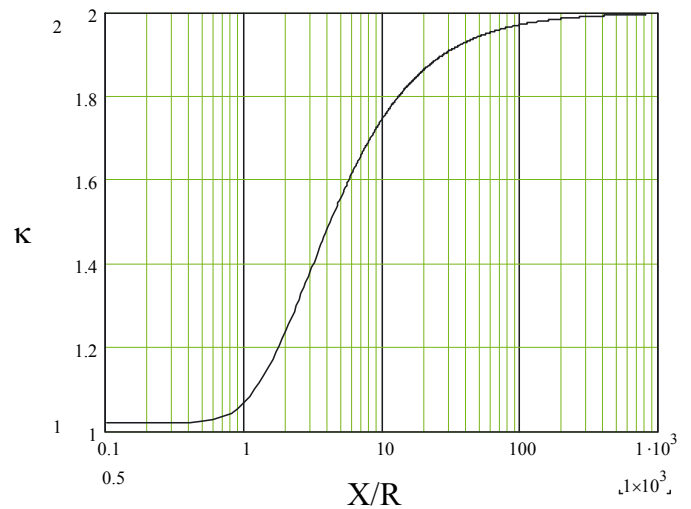
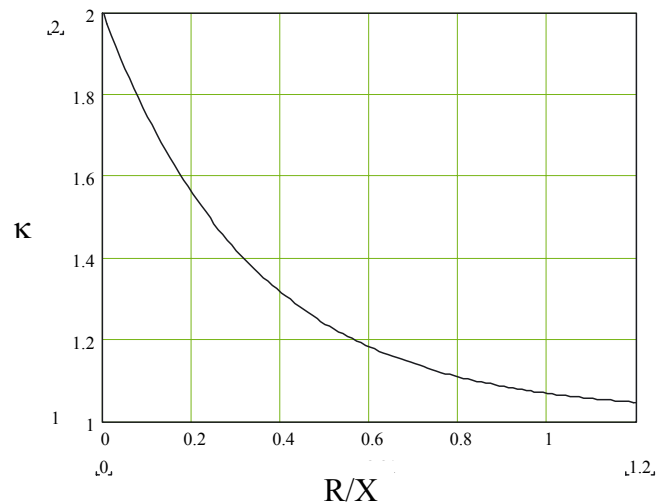
$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (20)$$

Współczynnik udaru można wyznaczyć z rys. 2 lub z wzoru:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3, R/X} \quad (21)$$

gdzie:

R i X są częścią rzeczywistą i urojoną impedancji zwarciego.



Rys. 2. Współczynnik udaru w zależności od wartości R/X oraz X/R

### Zwarcie w sieci zamkniętej

Obliczając prąd zwarciego udarowy w sieci zamkniętej wykorzystujemy dotychczasowe wzory, przy czym podczas obliczenia współczynnika  $\kappa$  stosunek R/X należy wyznaczyć stosując jedną z trzech poniższych metod:

#### a) metoda jednakowych wartości stosunków R/X lub X/R w sieci

Współczynnik  $\kappa$  wyznaczamy przyjmując najmniejszą wartość stosunku R/X (lub największą wartość X/R) spośród gałęzi sieci. Do wyznaczenia stosunku R/X przyjmujemy gałąź bezpośrednio przyłączoną do miejsca zwarcia, może to być kilka szeregowo połączonych gałęzi pracujących na napięciu występującym w miejscu zwarcia traktowane wtedy jako jedna gałąź.

#### b) metoda wyznaczenia stosunku R/X lub X/R z impedancji zwarciego

Wyznaczamy impedancję zwarciego obwodu  $Z_k = R_k + j \cdot X_k$  i w oparciu o wartość  $R_k/X_k$  obliczamy współczynnik  $\kappa$ . Prąd zwarciego udarowy wynosi:

$$i_p = 1,15 \cdot \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (22)$$

Tak długo jak stosunek  $R/X$  w każdej gałęzi jest mniejszy od 0,3, nie jest konieczne stosowanie współczynnika 1,15. Mnożenie przez ten współczynnik nie występuje, jeśli  $1,15 \cdot \kappa$  jest większe od 1,8 w sieci niskiego napięcia lub 2,0 w sieci średniego lub wysokiego napięcia.

### c) metoda częstotliwości zastępczej

Wyznaczamy zastępczą impedancję zwarciovą obwodu  $Z_c = R_c + j \cdot X_c$  dla zastępczej częstotliwości  $f_c = 20$  Hz dla sieci o częstotliwości znamionowej 50 Hz i  $f_c = 24$  Hz dla sieci o częstotliwości znamionowej 60 Hz. Znając ww. zastępczą impedancję zwarciovą obwodu stosunek  $R/X$  obliczamy z wzoru:

$$\frac{R}{X} = \frac{R_c}{X_c} \cdot \frac{f_c}{f} \quad (23)$$

### Zwarcie z udziałem silników asynchronicznych

W sytuacji obliczania prądu zwarciovego udarowego silników asynchronicznych należy przyjąć następujące wartości współczynnika udaru:

- $\kappa_M = 1,65$  dla silników średniego napięcia o mocy na parę biegunów mniejszej od 1 MW,
- $\kappa_M = 1,75$  dla silników średniego napięcia o mocy na parę biegunów większej lub równej od 1 MW,
- $\kappa_M = 1,3$  dla silników niskiego napięcia razem kablami łączącymi je z rozdzielnią.

## 13. Prąd wyłączeniowy symetryczny $I_b$

### Zwarcie odległe

Podczas zwarcia odległego prąd wyłączeniowy symetryczny jest równy prądowi zwarciovemu początkowemu, czyli:

$$I_b = I_k'' \quad (24)$$

### Zwarcie pobliskie w sieci promieniowej

Prąd wyłączeniowy symetryczny płynący w sieci promieniowej jest równy iloczynowi prądu zwarciovego początkowego i współczynnika uwzględniającego zanikanie składowej okresowej prądu zwarciovego:

$$I_b = \mu \cdot I_{kM}'' \quad (25)$$

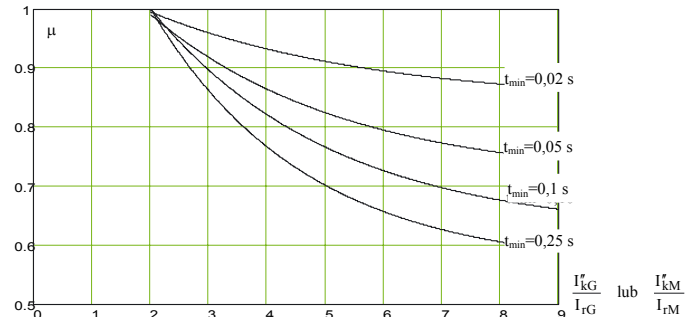
Współczynnik wyznaczany jest dla minimalnego czasu od chwili powstania zwarcia do momentu otwarcia pierwszego bieguna łącznika. Współczynnik ten wyznaczamy z poniższych wzorów lub wykorzystując rys. 3.

$$\mu = 0,84 + 0,26 \cdot e^{-0,26 \cdot \frac{I_{kG}''}{I_{rG}}} \quad \text{dla } t_{\min} = 0,02 \text{ s} \quad (26)$$

$$\mu = 0,71 + 0,51 \cdot e^{-0,30 \cdot \frac{I_{kG}''}{I_{rG}}} \quad \text{dla } t_{\min} = 0,05 \text{ s} \quad (27)$$

$$\mu = 0,62 + 0,72 \cdot e^{-0,32 \cdot \frac{I_{kG}''}{I_{rG}}} \quad \text{dla } t_{\min} = 0,10 \text{ s} \quad (28)$$

$$\mu = 0,56 + 0,94 \cdot e^{-0,38 \cdot \frac{I_{kG}''}{I_{rG}}} \quad \text{dla } t_{\min} \geq 0,25 \text{ s} \quad (29)$$



Rys. 3. Współczynnik  $\mu$

W przypadku występowania w sieci promieniowej kilku źródeł prąd wyłączeniowy symetryczny jest równy sumie arytmetycznej prądów wyłączeniowych symetrycznych płynących od każdego źródła. Zwarcia niesymetryczne należy traktować jako zwarcia odległe.

### Zwarcie w sieci promieniowej z udziałem silników asynchronicznych

Prąd wyłączeniowy symetryczny płynący od silników asynchronicznych w sieci promieniowej jest równy iloczynowi prądu zwarciovego początkowego, współczynnika  $\mu$  i współczynnika  $q$  zależnego od mocy znamionowej czynnej silnika na parę biegunów, czyli:

$$I_{bM} = \mu \cdot q \cdot I_{kM}'' \quad (30)$$

Wartości współczynnika  $q$  wyznaczamy z poniższych zależności lub w oparciu o rys. 4:

$$q = 1,03 + 0,12 \cdot \ln\left(\frac{P_{rM}}{p}\right) \quad \text{dla } t_{\min} = 0,02 \text{ s} \quad (31)$$

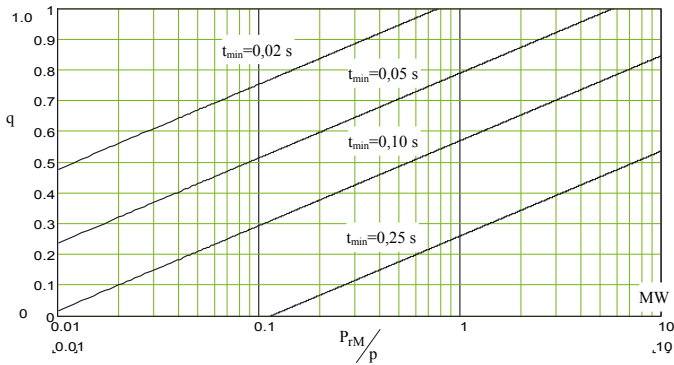
$$q = 0,79 + 0,12 \cdot \ln\left(\frac{P_{rM}}{p}\right) \quad \text{dla } t_{\min} = 0,05 \text{ s} \quad (32)$$

$$q = 0,57 + 0,12 \cdot \ln\left(\frac{P_{rM}}{p}\right) \quad \text{dla } t_{\min} = 0,10 \text{ s} \quad (33)$$

$$q = 0,26 + 0,12 \cdot \ln\left(\frac{P_{rM}}{p}\right) \quad \text{dla } t_{\min} = 0,25 \text{ s} \quad (34)$$

### Zwarcie pobliskie w sieci zamkniętej

Obliczając prąd wyłączeniowy symetryczny płynący od generatorów lub silników asynchronicznych i innych



Rys. 4. Współczynnik q

źródeł w przypadku występowania zwarcia pobliskiego w sieci zamkniętej, należy w kolejności określić:

- prąd zwarciaowy początkowy,
- rozptyw tego prądu w każdym analizowanym źródle,
- całkowity prąd wyłączeniowy symetryczny w miejscu zwarcia stosując poniższe wyrażenie:

$$I_b = I''_k - \sum_i \frac{\Delta U''_{Gi}}{c \cdot U_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_i) \cdot I''_{kGi} - \sum_j \frac{\Delta U''_{Mj}}{c \cdot U_n / \sqrt{3}} \cdot (1 - \mu_j \cdot q_j) \cdot I''_{kMj} \quad (35)$$

gdzie:

$\Delta U''_{Gi}$  i  $\Delta U''_{Mi}$  – spadki napięć na reaktancjach generatora lub silnika podczas zwarcia.

Wielkości te obliczamy następująco:

$$\Delta U''_{Gi} = j \cdot X''_{diK} \cdot I''_{kGi} \quad (36)$$

$$\Delta U''_{Mi} = j \cdot X''_{Mi} \cdot I''_{kMi} \quad (37)$$

## 14. Podsumowanie

W referacie zaprezentowano główne zasady stosowania normy PN-EN 60909-0:2002. W tej skrótowej prezentacji pokazano zalety i wady normy oraz zwrócono szczególną uwagę na:

- założenia upraszczające przyjęte w normie,
- właściwości wzorów aproksymacyjnych stosowanych w normie.

Algorytm obliczania wielkości zwarciaowych za pomocą normy PN-EN 60909-0:2002 oraz praktyczny przykład zastosowania ww. normy zostanie zaprezentowany w przygotowanym następnym artykule. Przykłady zastosowania analizowanej normy można też znaleźć także w książce [6] oraz normie IEC [18]

## 15. Literatura

- [1] Kończykowski S., Bursztyński J.: *Zwarcia w układach elektroenergetycznych*. WNT, Warszawa 1965.
- [2] Kobosko S.: *Obliczanie zwarć w systemach elektroenergetycznych*. Skrypt P. W., Warszawa 1984.
- [3] Kowalski Z.: *Teoria zwarć w układach elektroenergetycznych*. Skrypt P. Ł., Łódź 1988.
- [4] Jackowiak M., Lubośny Z., Wojciechowicz W.: *Zbiór zadań z obliczeń prądów zwarciaowych w sieciach elektroenergetycznych*. Skrypt P. G., Gdańsk 1995.
- [5] Kremens Z., Sobierajski M.: *Analiza systemów elektroenergetycznych*. WNT, Warszawa 1996.
- [6] Kacejko P., Machowski J.: *Zwarcia w systemach elektroenergetycznych*. WNT, Warszawa 2002.
- [7] Roeper R.: *Short-circuit Currents in Three-phase Systems*. Siemens Aktiengesellschaft, J. Wiley 1985.
- [8] Blackburn J. L.: *Symmetrical Components for Power Systems Engineering*. M. Dekker, New York, 1993.
- [9] Anderson P. M.: *Analysis of Faulted Power Systems*. The IEEE Press, Power Systems Engineering Series, New York, 1995.
- [10] Das J. C.: *Power System Analysis. Short-Circuit, Load Flow and Harmonic*. Marcel Dekker, Inc., 2002, str. 850.
- [11] Kasikci I.: *Short Circuits in Power Systems. A Practical Guide to IEC 60909*. J. Wiley & Sons, 2002, str. 260.
- [12] Schlabbach J.: *Short-circuit Current*. IEE, 2004, str. 306.
- [13] PN-74/E-05002. *Dobór aparatów wysokonapięciowych w zależności od warunków znamionowych*.
- [14] PN-90/E-05025. *Obliczanie skutków prądów zwarciaowych*.
- [15] PN-EN 60865-1:2002 (U) *Obliczanie skutków prądów zwarciaowych. Część 1: Definicje i metody obliczania*.
- [16] PN-EN 60909-0:2002 (U) *Prądy zwarciaowe w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 0: Obliczanie prądów*.
- [17] PN-EN 60909-3:2004 (U) *Prądy zwarciaowe w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 3: Prądy podwójnych, jednoczesnych i niezależnych, zwarć doziemnych i częściowe prądy zwarciaowe płynące w ziemi*.
- [18] IEC 60909-4:2000. *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems. Part 3: Examples for the calculation of short-circuit currents*.

**Dr inż. Andrzej Kanicki**  
Instytut Elektroenergetyki  
Politechnika Łódzka

## Bezsprężynowy zacisk typu „TULIPAN” firmy Wael-bis

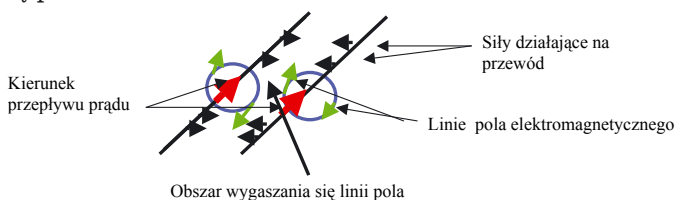
Wytwórnia Sprzętu Ochronnego „WAEL-bis” od lat produkuje uziemiacze znane i stosowane w Energetyce, a które w każdej chwili można obejrzeć na stronie internetowej:

[www.uziemiacze.pl](http://www.uziemiacze.pl)

Długoletnie doświadczenie i doskonały kontakt z odbiorcami a szczególnie ich cenne uwagi, pozwalają nam na stałe ulepszanie technologii jak i konstrukcji naszych wyrobów. Tak też było w przypadku naszych uziemiaczy z zaciskiem sprężynowym. Choć są one chętnie stosowane bo są lekkie i odznaczają się łatwością w operowaniu, to jednak czasami występują niewielkie trudności przy ich zdejmowaniu gdyż, jeśli są założone w pewnej odległości od podpory (izolatora), niekiedy przy zdejmowaniu należy „pokonać” zwis linii co sprawia pewną trudność. Aby usunąć tę niedogodność, opracowaliśmy nowy zacisk typu „TULIPAN”.

Aby ułatwić zakładanie i zdejmowanie uziemiacza należało możliwie zmniejszyć wstępną siłę docisku. Nowa konstrukcja zacisku nie posiada sprężyny dociskowej choć jednocześnie zapewnia zwiększenie siły docisku, do uziemianego przewodu, w chwili przepływu prądu zwarcia.

Znane jest zjawisko, że prąd płynący w tym samym kierunku w dwóch równoległych przewodach, powoduje „wygaszanie” pole elektromagnetyczne w przestrzeni pomiędzy przewodami i w rezultacie powoduje przyciąganie się przewodów.



Rys 1. Siły działające na przewody przy przepływie prądu w jednym kierunku

Siła powodująca „sklejanie” się przewodów (np w wiązkach linii 400kV.) przy zwarcu, jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu a odwrotnie proporcjonalna do odległości między przewodami:

$$F = \frac{k I^2}{d}$$

gdzie:

F – siła działająca na przewód,

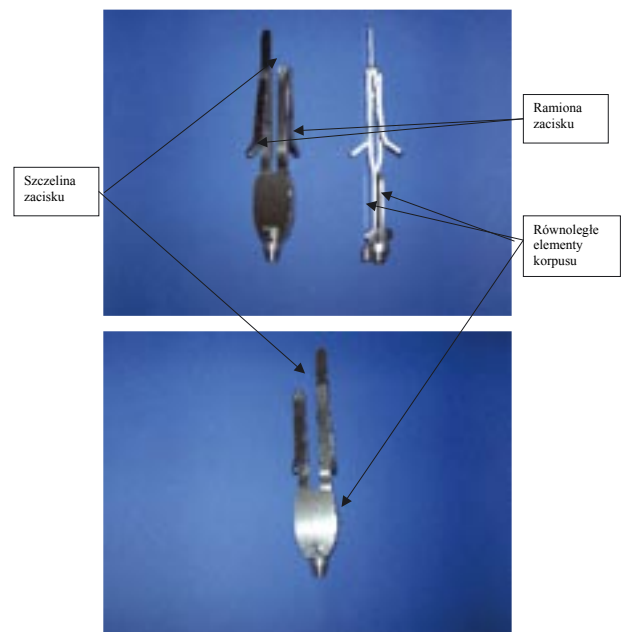
k – współczynnik proporcjonalności,

I – wartość prądu

d – odległość między przewodami.

Łatwo zauważyć, że np. dwukrotny wzrost prądu powoduje czterokrotny wzrost siły przyciągania.

Opracowano i zbadano zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 61230:1999 „Prace pod napięciem. Przenośny sprzęt do uziemiania lub uziemiania i zwierania”, nową konstrukcję zacisku fazowego, pokazanego na rys. 2.



Rys. 2. Zacisk fazowy typu TULIPAN

Uziemiany przewód wprowadzamy w szczelinę zacisku po czym obracamy zacisk o 90° i pociągamy w dół. Dla ułatwienia wprowadzenia przewodu służy wydłużone ramie zacisku, umożliwiające oparcie uziemiacza o przewód przed założeniem. Wstępny, niewielki docisk zapewniają



Rys. 3. Zacisk typu TULIPAN na uziemianym przewodzie

sprężyste ramiona zacisku. Ramiona te są przesunięte względem siebie co dodatkowo powoduje „zakleszczenie” przewodu wewnątrz zacisku (patrz rys. 3). Podczas zwarcia, prąd przepływa od uziemianego przewodu, poprzez ramiona zacisku i dwa równoległe, oddalonych niewiele od siebie elementy korpusu, do przewodu uziemiającego. Przepływ prądu w jednym kierunku przez równoległe elementy korpusu powoduje w tym momencie pożądany efekt zwiększenia siły docisku.

Zdjęcie zacisku z przewodu wykonuje się postępując odwrotnie niż przy zakładaniu, przy czym nie ma potrzeby pokonywania oporu sprężyny, jak to ma miejsce w przypadku zacisku zatrzaskowego.

Zacisk typu TULIPAN zastosowany został w różnych rozwiązaniach uziemiaczy (w naszym katalogu pozycje L, M i N), a przystosowany jest do zakładania na uziemiane

przewody o średnicach od 25 do 95 mm<sup>2</sup> i dla skutecznej wartości prądu zwarciovego jednosekundowego

$$I_{r1} = 9 \text{ kA}$$

Przewidujemy, że jeśli nasze rozwiązanie zainteresuje naszych odbiorców, możliwe będzie przystosowanie „TULIPANA” do większych prądów zwarcia.

**Wytwórnia Sprzętu Ochronnego  
WAEL-bis**

**30-611 Kraków**

**ul. Stojalowskiego 15a**

**tel. +48 12 654 21 80**

**fax +48 12 654 57 79**

**e-mail: wael@wael.pl**

**www.wael.pl www.uziemiacze.pl**



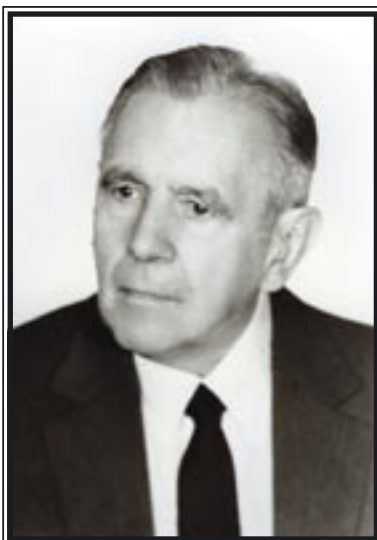
## Twórca łódzkiej szkoły automatyki prof. Władysław Pełczewski 1917–2006 doktor honoris causa Politechniki Łódzkiej członek honorowy SEP

**Władysław Pełczewski** urodził się 12 grudnia 1917 r. w Charkowie. Maturę uzyskał w 1936 r. w Gimnazjum im. A. Mickiewicza w Warszawie. Studia ukończył w 1946 r. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej. Z uczelnią tą był nieprzerwanie związany do końca życia. Będąc jeszcze studentem, 1 sierpnia 1945 r. rozpoczął pracę jako młodszy asystent w Katedrze Maszyn Elektrycznych.

Zainteresowania naukowe Władysława Pełczewskiego w początkowym okresie pracy (do roku 1952) dotyczyły problematyki maszyn elektrycznych, a w szczególności optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych oraz zjawisk związanych z nagrzewaniem się i chłodzeniem tych maszyn.

W 1951 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych, nadany wraz z odznaczeniem przez Radę Wydziału Elektrycznego PŁ, po obronie rozprawy *Metoda wyznaczania optymalnych parametrów silników asynchronicznych, trójfazowych, budowy zamkniętej*. Promotorem tej rozprawy był prof. Eugeniusz Jezierski.

W 1952 r. dr W. Pełczewski został powołany na stanowisko zastępcy profesora i otrzymał zadanie zorganizowania i prowadzenia Zakładu Napędów Elektrycznych, przekształconego później w Katedrę Napędów Elektrycznych. W związku z tym w latach 1952–70 Władysław Peł-



czewski skoncentrował się na problemach obejmujących teorię, elementy i automatyzację układów napędu elektrycznego. W tym okresie ukazały się jego prace dotyczące podstaw teoretycznych i zastosowań wzmacniaczy elektromaszynowych i sprzęgieł elektromagnetycznych oraz dynamiki układów napędowych. W 1954 r. W. Pełczewski uzyskał tytuł profesora nadzwyczajnego. Należał wtedy do najmłodszych profesorów uczelni technicznych w kraju. W roku 1964 uzyskał tytuł profesora zwyczajnego.

Tendencje występujące w technice światowej skłaniały prof. Pełczewskiego do stopniowego rozszerzania działalności naukowej i dydaktycznej na problematykę z dziedziny automatyki, w związku z tym

Katedra Napędów Elektrycznych została przekształcona w Katedrę Automatyki, a po reorganizacji struktur Politechniki Łódzkiej w początku lat siedemdziesiątych – w Instytut Automatyki. Prof. W. Pełczewski został jego dyrektorem.

Po roku 1970 badania prof. W. Pełczewskiego skupiały się na zagadnieniach teorii i zastosowań automatyki, ze szczególnym uwzględnieniem sterowania optymalnego i adaptacyjnego obiektów poddanych zakłóceniom zewnętrznym, zmianom parametrów i ograniczeniom. Kierował wieloma pracami badawczymi, biorąc w nich

także czynny udział jako wykonawca. Były to prace własne (Katedry i Instytutu), jak też prowadzone w ramach programu centralnego z dziedziny napędów dla robotów inteligentnych oraz w koordynowanym przez Instytut Automatyki PŁ programie resortowym *Optymalizacja napędów elektrycznych*. Pod kierunkiem prof. W. Pełczewskiego i przy jego wydatnym udziale wykonano wiele prac naukowo-badawczych dla potrzeb przemysłu.

Wiele czasu i trudu poświęcał prof. W. Pełczewski stworzeniu warunków rozwoju młodej kadry naukowej. Wypromował 23 doktorów, z których czterech uzyskało tytuł profesora. Można stwierdzić, że prof. Władysław Pełczewski stworzył szkołę naukową z dziedziny automatyki napędów elektrycznych. Charakteryzuje się ona wykorzystaniem nowoczesnej teorii sterowania dla potrzeb analizy i syntezy zautomatyzowanych układów napędowych przy zwróceniu szczególnej uwagi na wpływ realnych warunków pracy układów napędowych na ich dynamikę. Zespół współpracowników profesora osiągnął poważne wyniki w ich pracach naukowych.

Prof. W. Pełczewski jest autorem lub współautorem 8 monografii i 2 podręczników akademickich oraz 40 publikacji (artykuły w periodykach, referaty na konferencjach, prace studialne). Dwie z powyższych monografii (*Optimal Control of Linear Systems Affected by External Disturbances*, Roma 1978, oraz *Commande optimale des systemes continus deterministes*, Paris, 1985) ukazały się za granicą. Monografia Wzmacniacze elektromaszynowe miała dwa wydania w kraju (1954, 1959) i została przetłumaczona oraz opublikowana w Niemczech (1961) i we Francji (1966). Inną monografię, zatytułowaną *Sprzęgła elektromagnetyczne* (1965) wydano także w Niemczech (1971). Wyniki swych prac przedstawiał jako Visiting Professor w uniwersytetach w: Tuluzie, Rzymie, Bolonii i Siegen, a także w czasie krótszych wizyt m.in. w Paryżu, Grenoble, Padwie, Darmstadt, Monachium, Zurychu, Mediolanie, Sztokholmie, Glasgow, Delft. Szczególnie intensywną współpracę prowadził z *Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systemes du CNRS* w Tuluzie.

Prof. W. Pełczewski został wybrany w 1965 r. na członka-korespondenta, a w 1980 r. na członka rzeczywistego Polskiej Akademii Nauk. Otrzymał w 1985 r. doktorat honoris causa uniwersytetu Paul Sabatier w Tuluzie, a w 1995 r. - swojej macierzystej uczelni, Politechniki Łódzkiej.

Działalność dydaktyczna prof. W. Pełczewskiego skupiała się głównie na organizacji od podstaw, a następnie na prowadzeniu nauczania w zakresie nowych dyscyplin (napęd elektryczny, automatyka). Na Wydziale Elektrycznym PŁ uruchomił studia na specjalnościach Elektrotechnika Przemysłowa oraz Automatyka i Metrologia. Wprowadzenie tych specjalności było wynikiem wielkiego wkładu pracy ze strony prof. Pełczewskiego i całego zespołu jego współpracowników. Osobiście prowadził wykłady z napędu elektrycznego, regulatorów i serwomechanizmów, teorii sterowania oraz z jej działów wybranych. Wykładał także na studium doktoranckim Wydziału Elektrycznego.

W latach 1956–1959 prof. Pełczewski był prodziekanem ds. nauki, a latach 1959–1960 dziekanem Wydziału Elektrycznego.

Poza pracą w uczelni prof. W. Pełczewski brał czynny udział w działalności związanej z badaniami naukowymi, rozwojem kadr naukowych i z różnorodnymi problemami szkolnictwa wyższego. Był członkiem Komitetu Elektrotechniki PAN i Komitetu Automatyki i Robotyki PAN, przewodniczącym Rady Redakcyjnej *Archiwum Elektrotechniki PAN* oraz członkiem Rady Redakcyjnej Biuletynu PAN (seria nauk technicznych). W czasie kilku kadencji był członkiem Sekretariatu Naukowego Wydziału IV (Nauk Technicznych) PAN. Był przewodniczącym Rady Naukowej Instytutu Badań Systemowych PAN (w latach 1982–1985) oraz przewodniczącym Rady Naukowej Instytutu Elektrotechniki w Warszawie Międzyzlesiu (1973–1988). W Zakładzie Badań Podstawowych Elektrotechniki PAN i Ministerstwa Przemysłu Maszynowego był członkiem Rady Programowej.

Prof. W. Pełczewski należał do Łódzkiego Towarzystwa Naukowego, do Stowarzyszenia Elektryków Polskich (członek honorowy od r. 1990) i do Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, którego był założycielem (w 1961 r.) i członkiem honorowym od 1986 r.

W roku 1966 został wybrany do Rady Głównej Szkolnictwa Wyższego, której członkiem (w sekcji uczelni technicznych) był w czasie dwóch kolejnych kadencji. W ciągu kilkunastu lat brał udział w pracach Zespołu Programowego Elektrotechniki Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Był także w tym Ministerstwie członkiem Komisji Badań Naukowych oraz przewodniczącym Komisji Nagród Ministra. W latach 1973–1992 był członkiem Sekcji Nauk Technicznych w Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej ds. Kadr Naukowych, a w latach 1988–1992 wiceprzewodniczącym tej Komisji.

Prof. W. Pełczewski otrzymał pięciokrotnie nagrodę I stopnia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a także Nagrodę Naukową Miasta Łodzi. Otrzymał wiele odznaczeń: Krzyż Kawalerski, Oficerski i Komandorski Orderu Odrodzenia Polski, Złoty Krzyż Zasługi, Medal Komisji Edukacji Narodowej, tytuł Zasłużonego Nauczyciela, Odznakę Zasłużonego dla Politechniki Łódzkiej, Honorową Odznakę m. Łodzi, Srebrną i Złotą Odznakę Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Honorową Odznakę NOT.

1 października 1988 r. prof. Władysław Pełczewski przeszedł na emeryturę, utrzymując jednak codzienny, bardzo aktywny kontakt z Politechniką Łódzką i Instytutem, którego był twórcą.

Zasługi Pana Profesora, jako twórcy łódzkiej szkoły automatyki, są trudne do przecenienia. Składają się na to efekty Jego twórczej pracy z zakresu elektrotechniki i automatyki, uzyskany prestiż międzynarodowy, wychowanie wielu pokoleń inżynierów i pracowników naukowych, a także żmudna praca organizacyjna.

Na uroczystości związanej z pięćdziesięcioleciem Politechniki Łódzkiej prof. Władysław Pełczewski otrzymał doktorat honoris causa swej uczelni, z tej okazji wygłosił błyskotliwy wykład o historii i perspektywach rozwoju automatyki. Powiedział wtedy: *Z wielkim szacunkiem wspominamy założycieli Politechniki Łódzkiej. Pamiętajmy o tych wszystkich, którzy poświęcili jej swe zdolności, energię, zapał, a niestety od nas odeszli. Ich wiedza,*



doświadczenie, umiłowanie pracy naukowej i dydaktycznej miały ogromne znaczenie dla rozwoju Politechniki Łódzkiej i dla kolejnych pokoleń jej pracowników. Dla mnie wzorem jest i był zawsze mój drogi nauczyciel, promotor mojej rozprawy doktorskiej, Profesor Eugeniusz Jezierski, pod którego kierunkiem stawiałem pierwsze kroki w pracy na uczelni. Pamięć o twórcach Politechniki Łódzkiej i przykład jaki nam dali pozwala mieć nadzieję na dalszy rozwój naszej uczelni.

Wychowankowie, współpracownicy i przyjaciele pożegnali profesora Pełczewskiego, zmarłego 19 grudnia 2006 r., na Cmentarzu Komunalnym na Zarzewie. Teraz On dołączył do legendy twórców Politechniki. Jest On nie-

zapomnianym wzorem i przykładem dla tych, którzy pod Jego kierunkiem stawiali pierwsze kroki w pracy naukowej, którzy podziwiali Jego wiedzę, pracowitość i wielką osobistą kulturę. Przeszedł do legendy jako wielki uczyony i wspinający człowiek.

Na podstawie wydawnictwa LTN pt. „Profesor Władysław Pełczewski”, 1997, z cyklu Sylwetki Łódzkich Uczonych

**prof. dr hab. Krzysztof Kuźmiński**  
dyrektor Instytut Automatyki  
Politechniki Łódzkiej

## Medal im. profesora Eugeniusza Jezierskiego

**nadawany od 15 grudnia 2006 r. przez Oddział Łódzki SEP  
(Uchwałą Nadzwyczajnego Walnego Zgromadzenia Delegatów  
Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich  
z 15.12.2006 r.)**

W dniu 15 grudnia w Sali Kongresowej Domu Technika w Łodzi odbyło się Nadzwyczajne Walne Zgromadzenie Delegatów Oddziału Łódzkiego SEP, które podjęło uchwałę o ustanowieniu medalu im. prof. Eugeniusza Jezierskiego, wybitnego specjalisty w dziedzinie transformatorów, wieloletniego dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Łódzkiej, dr honoris causa Politechniki Łódzkiej i członka honorowego Stowarzyszenia Elektryków Polskich. 15 grudnia odbyła się również pierwsza ceremonia wręczenia medalu im. prof. Eugeniusza Jezierskiego. Pierwsze trzy medale otrzymali:

- medal nr 1 – inż. Zbigniew Kopczyński, współwłaściciel firmy Elektrobudowa, która dała początek Fabryce Transformatorów i Aparatury Trakcyjnej ELTA (w której był wieloletnim głównym konstruktorem transformatorów), obecnie ABB,
- medal nr 2 – prof. Michał Jabłoński, emerytowany profesor i dr h.c. PŁ,
- medal nr 3 – prof. Władysław Pełczewski, emerytowany profesor i dr h.c. PŁ.

Medale wręczali: prezes SEP prof. Jerzy Barglik, prezes OŁ SEP prof. Franciszek Mosiński oraz syn profesora dr Przemysław Jezierski. W imieniu nieobecnego prof. Władysława Pełczewskiego medal odebrał jego wnuk Maciej Pełczewski. Wszyscy trzej odznaczeni są członkami honorowymi SEP.



U góry projekt, poniżej medal po wykonaniu w metalu; medal projektowała artysta plastyk Anna Jasiak

Profesor Eugeniusz Jeziński (1902–1990) – twórca polskiej naukowej szkoły transformatorowej.

Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej w 1929 r. W latach 1930–1935 był wykładowcą w Państwowej Wyższej Szkole Budowy Maszyn i Elektrotechniki w Poznaniu. Prodziekan i Dziekan Wydziału Elektrycznego Politechniki Łódzkiej w latach 1948–1953 oraz prorektor tej uczelni w latach 1953–1955. Przez 26 lat kierował utworzoną przez siebie Katedrą Maszyn Elektrycznych i Transformatorów.

Wybitny specjalista w dziedzinie transformatorów elektrycznych, dziekan Wydziału Elektrycznego oraz dr honoris causa Politechniki Łódzkiej, wieloletni przewodniczący Rady Naukowej Instytutu Elektrotechniki, członek Komitetu Elektrotechnicznego PAN.

Autor pierwszej w Polsce monografii „Transformatory” wydanej w 1935 r. W 1945 r. ukazało się pierwsze powojenne wydanie książki „Transformatory – podstawy teoretyczne”, która w kolejnych wydaniach powiększyła się do dwutomowej monografii, obejmującej zarówno zagadnienia teoretyczne jak i konstrukcyjne. Autor i współautor 12 monografii książkowych i podręczników akademickich.

Był uczonym, którego dorobek przemysłowy i osiągnięcia w dziedzinie kształcenia kadry naukowej spotkały się z powszechnym uznaniem. Laureat Państwowej Nagrody w dziedzinie nauki (1955), Nagrody Naukowej m. Łodzi (1963). Został wyróżniony wieloma odznaczeniami państwowymi w tym Komandorskim Krzyżem Orderu Odrodzenia Polski.

Członek Honorowy SEP.

FM

## REGULAMIN NADAWANIA MEDALU IMIENIA PROFESORA EUGENIUSZA JEZIERSKIEGO

(zatwierdzony na posiedzeniu Zarządu Oddziału Łódzkiego SEP w dniu 05.03.2007 r. (Uchwała nr 1/Z/2007/))

### 1. Postanowienia ogólne

1.1. Medal im prof. Eugeniusza Jezińskiego, jednego z najwybitniejszych elektryków, został ustanowiony uchwałą Nadzwyczajnego Walnego Zgromadzenia Delegatów Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich w dniu 15 grudnia 2006 r. w Łodzi w uznaniu zasług Profesora.

1.2. Ustanowienie medalu ma na celu:

– upamiętnienie zasług profesora Eugeniusza Jezińskiego, wybitnego specjalisty w dziedzinie transformatorów elektrycznych, dziekana Wydziału Elektrycznego oraz dr honoris causa Politechniki Łódzkiej, wieloletniego przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Elektrotechniki, członka Komitetu Elektrotechnicznego PAN, członka honorowego Stowarzyszenia Elektryków Polskich,

– możliwość wyróżnienia osób lub instytucji szczególnie zasłużonych dla przemysłu transformatorowego, elektroenergetyki i Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

1.3. Medal wykonany jest z metalu – tombak patynowany:

– kształt medalu – okrągły,

– awers – podobizna profesora Eugeniusza Jezińskiego oraz napis: „Prof. Eugeniusz Jeziński 1902–1990 twórca polskiej naukowej szkoły transformatorowej”,

– rewers – napis: SEP za zasługi dla polskiego przemysłu transformatorowego i elektroenergetyki.

1.4. Medal w pierwszej serii jest wykonany w liczbie 50 ponumerowanych egzemplarzy.

### 2. Kryteria i tryb przyznawania medalu

2.1. Medal nadaje jednorazowo Zarząd Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich na wniosek Prezydium Oddziału.

2.2. Medal może być nadany:

– członkowi SEP lub innej osobie, za twórczą pracę w dziedzinie transformatorowej lub elektroenergetyki,

– instytucjom, organizacjom, szkołom itp.

2.3. Wnioski wg załączonego wzoru o nadanie medalu wraz z uzasadnieniem, mogą składać do Zarządu Oddziału Łódzkiego SEP, na nie mniej niż trzy miesiące przed przewidywanym terminem wręczenia: członkowie ZG SEP, członkowie Centralnej Komisji Odznaczeń i Wyróżnień, zarządy oddziałów, przewodniczący centralnych jednostek organizacyjnych Stowarzyszenia, członkowie Zarządu OŁ SEP, Rada i Dziekan Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki PŁ oraz Członkowie Wspierający.

2.4. Każdy wniosek przesłany do Oddziału Łódzkiego SEP jest rozpatrywany przez Komisję Pomocy Koleżeńskiej i Odznaczeń Oddziału Łódzkiego SEP pod względem zgodności z niniejszym regulaminem i po uzyskaniu pozytywnej opinii przedstawiony Prezydium Zarządu, a następnie Zarządowi Oddziału Łódzkiego SEP do ostatecznej decyzji.

2.5. Wnioski kierowane do ZOŁ SEP spoza terenu jego działania muszą być opiniowane przez CKOW.

2.6. Wnioski wypełnione niezgodnie z regulaminem i wnioski, które nie uzyskały pozytywnej opinii Komisji Pomocy Koleżeńskiej i Odznaczeń Oddziału Łódzkiego SEP, CKOiW albo akceptacji Zarządu Oddziału Łódzkiego SEP, są zwracane wnioskodawcom.

### 3. Postanowienia końcowe

3.1. Wręczenie medalu odbywa się w sposób uroczysty. Prawo wręczenia medalu mają: Prezes i Wiceprezesi Oddziału.

3.2. Biuro Oddziału Łódzkiego SEP prowadzi ewidencję wyróżnionych medalami.

Załącznik: wzór wniosku

Niniejszy regulamin został uchwalony przez Zarząd Oddziału Łódzkiego SEP w dniu 5 marca 2007 r.

## Konkurs prac magisterskich na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki PŁ

Do tegorocznego tradycyjnego konkursu na najlepszą pracę magisterską wykonaną w roku akademickim 2005/2006, organizowanym przez Zarząd Oddziału Łódzkiego SEP i Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej zgłoszono 12 prac dyplomowych ocenionych przez Komisję Konkursową w składzie: prof. dr hab. J. Wodziński (przewodniczący), dr inż. A. Kanicki, dr inż. W. Marańda, dr inż. K. Napiórkowski, dr inż. Jerzy Powierza.

Przy ocenie prac Komisja brała pod uwagę: nowoczesność tematyki, użyteczność uzyskanych wyników badań, pracochłonność, poprawność językową, stronę graficzną oraz deklarowaną i wykorzystaną w czasie wykonywania pracy literaturę polsko i obcojęzyczną. Po przeprowadzonej analizie i dyskusji Komisja ustaliła podany niżej podział nagród i wyróżnień:

I miejsce *ex aequo* – mgr inż. Alicja Michałowska za pracę pt.: **Implementacja w FPGA algorytmów identyfikacji osób na podstawie tęczy oka**. Promotor: dr inż. M. Napieralska oraz mgr inż. Krzysztof Dzieciatkowski

za pracę pt.: **Analiza pracy układu zabezpieczeń bloku energetycznego**. Promotor dr inż. Ryszard Pawelek.

III miejsce – mgr inż. Anna Ewa Fabijańska za pracę pt.: **Algorytm segmentacji w systemach analizy ilościowej obrazów**. Promotor dr inż. Krzysztof Strzecha.

I wyróżnienie – mgr inż. Kuba Pawlak za pracę pt.: **Implementacja sztucznych sieci neuronowych w mikrokontrolerach małej mocy obliczeniowej**. Promotor dr inż. Wojciech Tylman.

II wyróżnienie – mgr inż. Przemysław Nowak za pracę pt.: **System wykrywania włamań i informowania o awariach serwisów internetowych**. Promotor prof. dr hab. inż. Andrzej Napieralski, mgr Bartosz Sakowicz.

III wyróżnienie – mgr inż. Jacek Jastrzębski za pracę pt.: **Modelowanie cyfrowego zabezpieczenia transformatora**. Promotor dr inż. Józef Wiśniewski.

Wręczenie nagród odbyło się w dniu 15 grudnia 2006 r. podczas spotkania wigilijnego Oddziału Łódzkiego SEP. Streszczenia nagrodzonych prac laureatów zamieszczamy poniżej.

(AG)

## Implementacja w FPGA algorytmu identyfikacji osób na podstawie tęczy oka



Spośród technik biometrycznych identyfikację tęczy oka uważa się za najbardziej wiarygodną, zaś systemy stosujące tę metodę za najmniej inwazyjne. Zainteresowanie tematem wzrosło w latach 90., kiedy został opatentowany pierwszy algorytm analizy i rozpoznawania tęczy oka. Wygaśnięcie patentu w 2005 roku pozwoliło na rozszerzenie rynku i zapewniło możliwości rozwoju innym instytucjom. Jedną z nich jest uczelnia francuska *Institute Supérieur d'Electronique de Paris (ISEP)*, która prowadzi

badania nad systemem identyfikacji tęczy oka. Zostały już opracowane kompletne algorytmy, obecnie trwają prace nad sprzętową implementacją.

Prezentowana praca dyplomowa stanowi wkład w badania nad prototypem. Składa się na nią projekt interfejsu kamery cyfrowej, modułu odpowiedzialnego za akwizycję obrazu oraz integracja z systemem operacji morfologii matematycznej: dylatacji i erozji, niezbędnych przy analizie tęczy oka.

Przebieg analizy rozpoczyna ekstrakcja źrenicy. W tym celu eliminowane są jasne punkty w obrębie źrenicy – odbicia lampy błyskowej podczas akwizycji obrazu. Odpowiedni algorytm odnajduje środek źrenicy oraz tęczy oka. Na podstawie tych parametrów tęczy oka jest rozwinięta z dotychczasowego pierścienia, dając obraz paska.

Następnie za pomocą analizy falkowej otrzymuje się rozkład energii w obrazie. Jest on podstawą generowanej sygnatury biometrycznej. Proces identyfikacji polega na porównaniu sygnatury odniesienia z bazy danych z tą wygenerowaną przez system.

Z założenia prototyp systemu opiera się na blokach hardware IP (Intellectual Property) implementowanych w FPGA (Field Programmable Gate Array) zintegrowanych z wbudowanym procesorem. Metoda, w odróżnieniu od dotychczasowych systemów wykorzystujących mikrokontrolery i procesory sygnałowe, pozwoli osiągnąć większą wydajność algorytmów.

Projekt został zrealizowany na płycie Nios Development Board firmy Altera z FPGA Stratix EP1S10, umożliwiającej implementację rekonfigurowalnego procesora Nios z peryferiami, a następnie interfejsu kamery Omnivision OV7620. Interfejs składa się z bloku z automatem stanowym opisanym w VHDL oraz kanału FIFO, który służy przesyłaniu danych z kamery do procesora. Komunikacja procesora z zaprojektowanym blokiem IP w metodzie custom peripheral – poprzez magistralę systemową Avalon Bus pozwoliła uzyskać 10-krotnie mniejszy czas akwizycji niż w tradycyjnym połączeniu PIO (Parallel Input Output).

Zbudowany system stał się fundamentem badań algorytmów dylatacji i erozji. W obrazach skali szarości dylatacja polega na odnalezieniu najciemniejszego piksela w obsza-

rze określonym elementem strukturalnym i przypisaniu go wszystkim pikselom z tego obszaru. Erozja jest operacją komplementarną. Odpowiednie dobranie elementu strukturalnego pozwala na usunięcie z obrazu obiektów o wielkości znanej w przybliżeniu. W pracy zostały zaprezentowane 3 metody realizacji algorytmów: w formie programowej (software), sprzętowej (hardware) oraz mieszanej stosując tzw. custom instruction. Pierwsza – choć prosta w realizacji, wymaga długiego czasu obliczeń. Wersja sprzętowa okazała się tysiąckrotnie szybsza, jednak ze względu na skomplikowaną strukturę pochłania olbrzymie zasoby FPGA. Ostatnia z wymienionych metod prezentuje nowe podejście w realizacji algorytmów. Został zaprojektowany blok realizujący najwolniejszą część softwarowego algorytmu. Połączenie bloku bezpośrednio z jednostką arytmetyczno logiczną rozwiązało problem czasochłonnych zagnieżdżonych pętli nie pozostawiając zastrzeżeń co do wielkości. Zarówno prędkość jak i zasoby okazały się atrakcyjne w relacji do poprzednich skrajnych rozwiązań. Interesujące rezultaty skłaniają do podobnej implementacji innych algorytmów przetwarzania sygnałów i obrazów.

Praca skoncentrowana jest wokół kompromisu z podziału hardware – software, prezentuje techniki custom peripheral oraz custom instruction w zastosowaniu do optymalizacji systemów w FPGA.

*Alicja Michałowska*

## Analiza pracy układu zabezpieczeń bloku energetycznego



Tematem pracy dyplomowej była analiza pracy układu zabezpieczeń bloku energetycznego. Analiza dotyczyła rozwiązań funkcji zabezpieczeniowych bazujących na przekaźnikach elektromechanicznych a rozwiązaniami współczesnymi opartymi na konstrukcji mikroprocesorowej. Przedstawione zostały możliwości współczesnych rozwiązań w poprawnej identyfikacji i likwidacji zakłóceń, oraz dostarczaniu

pełnej informacji o przebiegu tego zakłócenia. Praca dyplomowa została podzielona na dwie części. W pierwszej części wymienione zostały i pokrótce opisane rodzaje funkcji zabezpieczeniowych wykorzystywanych dla ochrony obiektów wchodzących w skład bloku energetycznego, jak i również przedstawione niektóre rozwiązania firm w zakresie konstrukcji zabezpieczeń mikroprocesorowych. Natomiast w drugiej części, dysponując platformą sprzętową

i programową, dostępną na Politechnice Łódzkiej, dokonałem analizy pracy układu zabezpieczeń dla typowego węzła wytwórczego. Między innymi w programie symulacyjnym PSCAD/EMTDC podejmuje próbę odwzorowania niektórych zakłóceń zarejestrowanych przez zainstalowane na obiektach urządzenia zabezpieczające oraz przeprowadzam symulacje różnych zakłóceń, jakie mogą się pojawić w obrębie bloku energetycznego.

Dokładne odwzorowanie elementów sieci oraz funkcji zabezpieczeniowych w programie symulacyjnym pozwala ocenić zachowanie się elementów tego systemu w przypadku pojawienia się różnych zakłóceń wewnętrznych i zewnętrznych.

Dla potrzeb badań symulacyjnych w środowisku programu PSCAD/EMTDC zaprojektowano i zbudowano model sieci elektroenergetycznej z jednym węzłem wytwórczym i przyłączonymi do niego dwoma liniami zasilającymi i jedną linią odbiorczą (110 kV). Dla potrzeb badań symulacyjnych we wszystkich obiektach modelu węzła zastosowano opracowane w ramach niniejszej pracy modele zabezpieczeń nadprądowych, a ponadto zaprojektowano

układ zabezpieczenia różnicowego obejmującego tylko transformator blokowy. Dla zweryfikowania poprawności zbudowanego modelu układu elektroenergetycznego węzła wytwórczego wykorzystane zostały wyniki pomiarów wykonanych w czasie rzeczywistych zakłóceń. Następnie (po weryfikacji) opracowany model został wykorzystany do symulacji zakłóceń w obrębie obiektów wyprowadzenia mocy oraz reakcji, na te zakłócenia, zaprojektowanych zabezpieczeń. Badania dotyczyły w szczególności modelu zabezpieczenia różnicowo-prądowego przy zakłóceniach wewnątrz chronionego obiektu jak i poza nim.

Opracowany w ramach pracy dyplomowej komputerowy symulator pracy elektroenergetycznego węzła wytwórcze-

go zbudowany w środowisku programu PSCAD/EMTDC w prawidłowy sposób odwzorowywał zjawiska zachodzące podczas zakłóceń w układzie elektroenergetycznym.

Przeprowadzone symulacje uwiaryściły możliwości oferowanych obecnie na rynku nowoczesnych mikroprocesorowych rejestratorów zakłóceń i urządzeń zabezpieczających. Każde zarejestrowane zakłócenie można skrupulatnie prześledzić pod kątem poprawności działania funkcji zabezpieczeniowych. Ponadto symulacje wykonywane na zamodelowanym węźle wytwórczym mogą posłużyć do weryfikacji nastaw funkcji zabezpieczeniowych dobranych na podstawie ogólnie przyjętych zasad.

*Krzysztof Dzieciatkowski*

## Algorytmy segmentacji w systemach analizy ilościowej obrazów



Celem pracy magisterskiej „Algorytmy segmentacji w systemach analizy ilościowej obrazów” było opracowanie uniwersalnego i dokładnego algorytmu segmentacji, przeznaczonego dla obrazów stanowiących podstawę procesu pomiarowego w zautomatyzowanym stanowisku THERMO-WET do wysokotemperaturowych pomiarów właściwości powierzchniowych (napięcia powierzchniowego i kątów zwilżania) metali, będącego własnością Katedry In-

formatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. W systemie tym, właściwości powierzchniowe wyznaczane są metodą leżącej kropli tj. na podstawie analizy jej kształtu. Ponieważ kształt kropli wyodrębniany jest z obrazu w procesie segmentacji, dlatego jej dokładność ma kluczowe znaczenie dla procesu pomiarowego. Precyzyjne określenie kształtu jest dodatkowo utrudnione poprzez czynniki wynikające ze specyfiki wysokotemperaturowych pomiarów np. zjawisko aury, czyli świecenia krawędzi obiektów.

W pracy przeanalizowano podstawowe grupy metod segmentacji oraz ich przydatność dla badanej klasy obrazów. W wyniku wspomnianych analiz, szczególną uwagę zdecydowano się poświęcić różnym wariantom segmentacji poprzez progowanie oraz poprzez detekcję krawędzi, jako metodom najlepiej nadającym się do szybkiej segmentacji obrazów zawierających jasne obiekty o regularnych kształtach widoczne się na kontrastowym tle. W efekcie zaproponowano następujące metody segmentacji:

– globalne progowanie obrazu z progiem równym najczystszej jasności;

- globalne i lokalne progowanie obrazu z iteracyjnym doborem progu;
- progowanie wielkościami statystycznymi z lokalnym doborem progu;
- lokalne i globalne progowanie z użyciem wartości progowej równej kombinacji liniowej jasności średniej i kontrastu;
- progowanie wielopoziomowe poprzez konwersję do czterech odcieni szarości;
- segmentacja poprzez połączenie gradientowych operatorów wykrywających krawędzie z progowaniem lokalnym;
- segmentacja z zastosowaniem operacji jednopunktowych.

Powyższe metody segmentacji w większości dały bardzo dobre efekty. Obrazy po segmentacji zawierają obiekty o ostrych, wyraźnych krawędziach, pozbawionych artefaktów. Oddają one w stopniu wystarczającym dla celów dalszej analizy ilościowej geometrię obiektów znajdujących się w obrazach oryginalnych. Szczególną uwagę należy zwrócić na algorytmy globalnego i lokalnego progowania z iteracyjnym doborem progu, charakteryzujące się dokładnością i bardzo dużą uniwersalnością. Z uwagi na wysoką precyzję i bardzo niską złożoność obliczeniową należy również podkreślić potencjalne znaczenie algorytmu progowania wielopoziomowego poprzez konwersję obrazu do czterech odcieni szarości w systemie wizyjnym stanowiska pomiarowego THERMO-WET.

Każdy z zaproponowanych algorytmów segmentacji został dokładnie przetestowany a wyniki analizy i testów, poparte bogatym zestawem obrazów przedstawiających sceny przed i po segmentacji, przedstawiono w jedenastu rozdziałach części praktycznej pracy.

W ostatnim etapie badań przeprowadzono weryfikację otrzymanych wyników. Wykazała ona ich poprawność,

a w związku z tym, również przydatność opracowanych algorytmów w systemie wizyjnym stanowiska pomiarowego, na którym przeprowadzono badania.

W pracy zaproponowano również własne metody weryfikacji wyników, w oparciu o podstawowe prawa optyki oraz z wykorzystaniem algorytmów analizy obrazów. Metody te mogą być z powodzeniem stosowane dla różnych klas obrazów.

Pomimo bardzo szerokiego zakresu rozpatrzonych zagadnień, z uwagi na ograniczony charakter pracy, niemoż-

liwe było przeprowadzenie w jej ramach analizy wszystkich znanych metod segmentacji. Jedyne tematykę związaną z modyfikacjami algorytmu progowania można uznać, z punktu widzenia pracy magisterskiej, za wyczerpaną.

Mając na uwadze uniwersalizm i jakość segmentacji przeprowadzonej z użyciem algorytmów wykrywania krawędzi, według autorki, przyszłe działania powinny zmierzać ku detekcji krawędzi z użyciem aktywnych konturów, poddając się tym samym trendom panującym ostatnio w dziedzinie przetwarzania obrazów.

*Anna Fabijańska*

## Konferencja Kół Naukowych Wydziału EEIA PŁ

Coraz częściej słyszy się o problemach na rynku pracy i jako rozwiązanie przedstawia się wyjazd za granicę, gdzie żyje się „łatwiej”. Znalezienie dobrej pracy faktycznie nie jest proste. Analiza rynku pracy i gotowość na nowe wyzwania stają się koniecznością dla dzisiejszych absolwentów. Mimo to, umiejętności te nie są przekazy-

kiej. Prezentując swoją działalność wszystkie środowiska jednoznacznie wskazywały na ogromne zalety działalności w kole naukowym. Punktem kulminacyjnym konferencji była dyskusja poświęcona znalezieniu sposobu, aby kolejne roczniki studentów postrzegały prace w kole jako inwestycję w swoją przyszłość.



W konferencji uczestniczyli: dziekani Wydziału EEIA, pani dr inż. Irena Wasiak oraz pan dr inż. Adam Kobyłecki

wane podczas podstawowych zajęć. Jest jednak możliwość zdobycia doświadczenia potrzebnego do przyszłego życia zawodowego.

W dniach 5–7 stycznia b.r. w Białym Dunajcu odbyła się konferencja Kół Naukowych Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódz-

Koło naukowe nie zajmuje się tylko pogłębianiem czysto teoretycznej wiedzy. Działania kół to również przybliżanie przyszłej pracy poprzez wycieczki i zwiedzanie zakładów pracy, które mogą potencjalnie stać się naszymi pracodawcami. Akcje, których podejmuje się koło są w większości organizowane przez samych studentów. To właśnie na tym polu można zdobyć doświadczenie w kwestii planowania oraz organizacji działań. By móc cokolwiek zrobić potrzebne są finanse. Ich zdobycie nie jest czymś prostym, wymaga starań i zabiegów członków koła. Wszystko to sprawia, że w nowej pracy umiejętności interpersonalne nie stanowią żadnej bariery dla młodych pracowników.

Studenckie Koło SEP mogło z dumą zaprezentować swoją działalność. Jesteśmy jednym z większych kół, a nasz dorobek jest zauważalny i nagradzany. Organizujemy

cykliczne imprezy jak np. Wojewódzkie Dni Młodego Elektryka. Angażujemy się w działalność stowarzyszeniową SEP, m.in. prace w zarządzie oddziału oraz w oddziałowych i centralnych komisjach. Jesteśmy członkiem Studenckiej Rady Koordynacyjnej SEP.

*Marek Pawłowski*

# STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH



Oddział Łódzki

90-007 Łódź, pl. Komuny Paryskiej 5a

Dom Technika, IV p., pok. 409 i 404

tel./fax (0 42) 630 94 74, 632 90 39

e-mail: [seplodz@onet.pl](mailto:seplodz@onet.pl) [sep.lodz@neostrada.pl](mailto:sep.lodz@neostrada.pl)

<http://sep.p.lodz.pl>

świadczy wszelkiego rodzaju usługi we wszystkich dziedzinach elektryki:

- ▶ usługi techniczno-ekonomiczne w ramach Ośrodka Rzeczoznawstwa
- ▶ kursy specjalistyczne w zakresie doskonalenia zawodowego
- ▶ kursy przygotowawcze do egzaminów kwalifikacyjnych (wszystkie grupy)
- ▶ szkolenia audytorów wewnętrznych systemów jakości (normy ISO 9000)
- ▶ egzaminy kwalifikacyjne dla osób na stanowiskach EKSPLOATACJI I DOZORU w zakresach: elektroenergetycznym, cieplnym i gazowym
- ▶ usługi marketingowe
- ▶ prezentacje
- ▶ reklamy w Biuletynie Techniczno-Informacyjnym OŁ SEP
- ▶ rekomendacje dla wyrobów i usług branży elektrycznej
- ▶ organizacja imprez naukowo-technicznych (konferencje, seminaria)

## OŚRODEK RZECZOZNAWSTWA OŁ SEP

oferuje bogaty zakres usług technicznych i ekonomicznych:

- Projekty techniczne i technologiczne
- Ekspertyzy i opinie
- Badania eksploatacyjne
- Badania techniczne urządzeń elektrycznych, elektronicznych i elektroenergetycznych
- Ocena zagrożeń i przyczyn wypadków powodowanych przez urządzenia elektryczne
- Ocena prototypów wyrobów, maszyn i urządzeń produkcyjnych
- Ocena usprawnień, pomysłów, projektów i wniosków racjonalizatorskich
- Opracowywanie projektów przepisów oraz instrukcji obsługi, eksploatacji, remontów i konserwacji
- Wykonywanie wszelkich pomiarów w zakresie elektryki
- Prowadzenie nadzorów inwestorskich i autorskich
- Wykonywanie ekspertyz o charakterze prac naukowo-badawczych
- Prowadzenie stałych i okresowych obsług technicznych (konserwatorskich i serwisowych) oraz napraw
- Prowadzenie pośrednictwa handlowego (materiały, wyroby, maszyny, urządzenia i usługi)
- Odbiory jakościowe
- Pośrednictwo w zagospodarowywaniu rezerw mocy produkcyjnych, materiałów, maszyn i urządzeń
- Wyceny maszyn i urządzeń
- Ekspertyzy i naprawy sprzętu AGD i audio-video
- Tłumaczenia dokumentacji technicznej i literatury fachowej
- Doradztwo i ekspertyzy ekonomiczne
- Audyty i plany marketingowe
- Przekształcenia własnościowe
- Przygotowywanie wniosków koncesyjnych dla producentów i dystrybutorów energii

OR SEP tel. (0 42) 632 90 39, 630 94 74

**Pozycja i ranga SEP jest gwarancją najwyższej jakości, niezawodności i wiarygodności**

# XVIII INTERTELECOM

Międzynarodowe Targi Komunikacji Elektronicznej

17-19.04.2007

ŁÓDŹ

Zapraszamy do udziału w konferencjach  
towarzyszących targom:

- Przyszłość telekomunikacji w Polsce •
- Nowe technologie w telekomunikacji •
- Cyfrowy Dom - szanse i zagrożenia •
- dla operatorów telekomunikacyjnych
- Narzędzia informatyczne •
- i telekomunikacyjne w zarządzaniu  
kryzysowym i ratownictwie medycznym

Godziny zwiedzania ekspozycji:

dla profesjonalistów	17.04	10.00 - 17.00
dla publiczności i profesjonalistów	18.04	10.00 - 17.00
	19.04	10.00 - 16.00

tereny targowe  
ul. Stefanowskiego/Skorupki



17 kwietnia

18 kwietnia

Szczegółowe informacje dotyczące  
programu towarzyszącego targom  
[www.mtl.lodz.pl/targi/intertelecom](http://www.mtl.lodz.pl/targi/intertelecom)

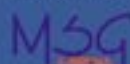


Organizator:



Międzynarodowe Targi Łódzkie  
90-531 Łódź, ul. Wólczańska 199  
tel: 042 637 29 34, 637 29 36

Patronat branżowy:



Patronat medialny:

