



Politechnika Wroclawska

Instytut Energoelektryki

PRACA DOKTORSKA

**PROBABILISTYCZNA METODA
WYKRYWANIA MIEJSC KRADZIEŻY ENERGII
W SIECIACH NN**

Krzysztof Billewicz

Krzysztof.Billewicz@winuel.com.pl

Promotor

prof. dr hab. inż. Marian Sobierajski

Wrocław 2007 r.

Oznaczenia

\bar{x}	wartość średnia arytmetyczna z próby,
\bar{x}_δ	wartość średnia z próby obliczona z wartości dobowych skorygowanej różnicy bilansowej względnej δE_t dla zadanego miesiąca,
\bar{x}_δ'	wartość średnia z próby obliczona z wartości dobowych skorygowanej różnicy bilansowej względnej δE_t dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
\bar{x}_δ''	wartość średnia z próby obliczona z wartości dobowych skorygowanej różnicy bilansowej względnej δE_t dla miesiąca analogicznego do zadanego, z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku,
\bar{x}_E	wartość średnia z próby obliczona z dobowych wartości energii dla zadanego miesiąca dla określonego licznika,
\bar{x}_E'	wartość średnia z próby z próby obliczona z dobowych wartości energii dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca dla określonego licznika,
\bar{x}_E''	wartość średnia z próby obliczona z dobowych wartości energii dla miesiąca analogicznego do zadanego z pomiarów ubiegłorocznych dla określonego licznika,
\bar{x}_{obc}	wartość średnia z próby obliczona z wartości strat obciążeniowych dla zadanego miesiąca dla określonego licznika,
\bar{x}_{obc}'	wartość średnia z próby z próby obliczona z wartości strat obciążeniowych dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca dla określonego licznika,
\bar{x}_{obc}''	wartość średnia z próby obliczona z wartości strat obciążeniowych dla miesiąca analogicznego do zadanego z pomiarów ubiegłorocznych dla określonego licznika,
$\bar{x}_{liczników}$	wartość średnia z próby obliczona z wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla zadanego miesiąca dla określonego licznika,
$\bar{x}_{liczników}'$	wartość średnia z próby z próby obliczona z wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca dla określonego licznika,
$\bar{x}_{liczników}''$	wartość średnia z próby obliczona z energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla miesiąca analogicznego do zadanego z pomiarów ubiegłorocznych dla określonego licznika,
\bar{x}_u	wartość średnia z próby obliczona z wartości strat upływnościowych dla zadanego miesiąca dla określonego licznika,

\bar{x}_u'	wartość średnia z próby z próby obliczona z wartości strat użytecznościowych dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca dla określonego licznika,
\bar{x}_u''	wartość średnia z próby obliczona z wartości strat użytecznościowych dla miesiąca analogicznego do zadanego z pomiarów ubiegłorocznych dla określonego licznika,
a_i	współczynnik Shapiro-Wilka, stała zależna od n oraz od k ,
d	odchylenie przeciętne,
E	energia czynna, w rozpatrywanym czasie t [kWh],
$E(X)$	wartość oczekiwana,
$E(X_E)$	wartość oczekiwana obliczona z dobowych wartości energii dla zadanego miesiąca dla określonego licznika,
$E(X_E')$	wartość oczekiwana obliczona z dobowych wartości energii dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca dla określonego licznika,
$E(X_E'')$	wartość oczekiwana obliczona z dobowych wartości energii dla analogicznego miesiąca z pomiarów ubiegłorocznych dla określonego licznika,
$E(X_{liczników})$	wartość oczekiwana obliczona z wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla zadanego miesiąca,
$E(X_{liczników}')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
$E(X_{liczników}'')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla miesiąca analogicznego do zadanego, z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku,
$E(X_{obc})$	wartość oczekiwana obliczona z wartości strat obciążeniowych dla zadanego miesiąca,
$E(X_{obc}')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości strat obciążeniowych dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
$E(X_{obc}'')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości strat obciążeniowych dla miesiąca analogicznego do zadanego, z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku,
$E(X_u)$	wartość oczekiwana obliczona z wartości strat użytecznościowych dla zadanego miesiąca,
$E(X_u')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości strat użytecznościowych dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,

$E(X_u'')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości strat upływnościowych dla miesiąca analogicznego do zadanego, z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku,
$E(X_\delta)$	wartość oczekiwana obliczona z wartości dobowych skorygowanej różnicy bilansowej względnej δ_t dla zadanego miesiąca,
$E(X_\delta')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości dobowych skorygowanej różnicy bilansowej względnej δ_t dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
$E(X_\delta'')$	wartość oczekiwana obliczona z wartości dobowych skorygowanej różnicy bilansowej względnej δ_t dla miesiąca analogicznego do zadanego, z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku,
E_1	wartość pobranej energii wskazywanej przez licznik nr 1 [kWh],
E_I	energia czynna zużywana w jednym torze prądowym licznika [kWh],
$E_{licz.bilans}$	wartość pobranej energii wskazywanej przez licznik bilansujący [kWh],
$E_{licz.sum_t}$	wartość pobranej energii wskazywanej przez licznik bilansujący dla doby t [kWh],
E_n	wartość pobranej energii wskazywanej przez licznik odbiorcy nr n [kWh],
E_{n_t}	wartość pobranej energii wskazywanej przez licznik odbiorczy numer n dla doby t [kWh],
E_p	energia czynna zużywana w cewce pomocniczej [kWh],
$E_{s.hand.}$	straty handlowe [kWh],
$E_{s.tech.}$	straty techniczne [kWh],
E_U	energia czynna zużywana w jednym torze napięciowym licznika [kWh],
e_i	reszty modelu Shapiro-Wilka <u>uporządkowane rosnąco</u>
I	prąd obciążenia [A],
i	numer kolejnego licznika,
I_{L1}	prąd płynący przewodem L1 [A],
I_{L2}	prąd płynący przewodem L2 [A],
I_{L3}	prąd płynący przewodem L3 [A],
I_N	prąd płynący przewodem N [A],
k_I	liczba torów prądowych w licznikach,
k_U	liczba torów napięciowych w licznikach,
L	długość linii [km],
L_n	stan licznika [kWh],
L_{n_t}	stan licznika o godzinie 0:00 zadanej doby t [kWh],

$L_{n_{t+1}}$	stan licznika o godzinie 0:00 doby następanej po dobie zadanej t [kWh],
l_{Σ}	łączna długość linii tworzących zbiór [km],
n	liczba wartości dobowych,
N_{03j}	liczba liczników jednofazowych,
N_{03t}	liczba liczników trójfazowych,
n_o	liczba liczników odbiorczych,
n_s	liczba liczników,
p'	Prawdopodobieństwo zmniejszenia się dobowych wartości energii pod warunkiem, że nastąpił wzrost skorygowanej różnicy bilansowej dla ubiegłego okresu dwumiesięcznego
P''	Prawdopodobieństwo zmniejszenia się dobowych wartości energii pod warunkiem, że nastąpił wzrost skorygowanej różnicy bilansowej dla analogicznego okresu dwumiesięcznego z ubiegłego roku
p_k	prawdopodobieństwo wystąpienia kradzieży energii
p_p	prawdopodobieństwo, że kradzież energii jednak nie występuje, czyli prawdopodobieństwo pomyłki
p_{σ}'	rząd kwantyla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej dla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego,
p_{σ}''	rząd kwantyla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej dla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku,
p_E'	rząd kwantyla wartości oczekiwanej dla dobowych wartości energii dla zadanych okresów dla określonego licznika w odniesieniu do poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego,
p_E''	rząd kwantyla wartości oczekiwanej dla dobowych wartości energii dla zadanych okresów dla określonego licznika w odniesieniu do okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku,
P	moc czynna [kW],
Q	moc bierna [kvar]
R	rezystancja przewodu (jednej fazy) [Ω],
R_0	rezystancja jednostkowa przewodu [Ω/km],
S	moc pozorna [kVA],

s	odchylenie standardowe,
t	czas [h],
t_0	chwila, od której rozpoczyna się kradzież energii,
U	napięcie znamionowe [kV],
W^*	wartość krytyczna odczytana z tablic wartości krytycznych do testu Shapiro-Wilka
X	rozkład zmiennej losowej – prawdopodobieństwo przyjmowania przez nią wartości x ,
X_E	rozkład zmiennej losowej – zbiór dobowych wartości energii dla zadanego miesiąca dla określonego licznika,
x_{E_i}	i -ta dobową wartość energii,
X_E'	rozkład zmiennej losowej – zbiór dobowych wartości energii dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca dla określonego licznika,
X_E''	rozkład zmiennej losowej – zbiór dobowych wartości energii dla analogicznego miesiąca z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku dla określonego licznika,
x_i	i -ta wartość dobową,
$X_{liczników}$	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla zadanego miesiąca,
$X_{liczników}'$	rozkład zmiennej losowej – zbiór dobowych wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
$X_{liczników}''$	rozkład zmiennej losowej – zbiór dobowych wartości energii pobieranej przez wszystkie liczniki dla analogicznego miesiąca z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku,
X_{obc}	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości strat obciążeniowych (prądowych) dla zadanego miesiąca dla określonego licznika,
X_{obc}'	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości strat obciążeniowych (prądowych) dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca dla określonego licznika,
X_{obc}''	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości strat obciążeniowych (prądowych) dla analogicznego miesiąca z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku dla określonego licznika,
X_u	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości energii strat upływnościowych dla zadanego miesiąca,

X_u'	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości energii strat upływnościowych dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
X_u''	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości energii strat upływnościowych dla analogicznego miesiąca z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku,
X_δ	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości dobowych różnicy bilansowej względnej δt dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca.
x_{δ_i}	i -ta wartość dobowa różnicy bilansowej,
X_δ'	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości dobowych różnicy bilansowej względnej δt dla zadanego miesiąca.
X_δ''	rozkład zmiennej losowej – zbiór wartości dobowych różnicy bilansowej względnej δt dla analogicznego miesiąca z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku.
$\Delta E'_u$	jednostkowe (na kilometr) straty upływnościowe energii,
δE_1	błąd pomiaru licznika nr 1 (klasa licznika, zazwyczaj 2),
ΔE_{L1}	energia strat w przewodzie L1 [kWh],
ΔE_{L2}	energia strat w przewodzie L2 [kWh],
ΔE_{L3}	energia strat w przewodzie L3 [kWh],
$\Delta E_{liczników}$	energia czynna zużywana przez wszystkie liczniki [kWh],
ΔE_N	energia strat w przewodzie N [kWh],
ΔE_{obc}	straty obciążeniowe [kWh],
δE_{St}	różnica bilansowa względna [%] dla doby t ,
ΔE_{St}	skorygowana różnica bilansowa bezwzględna [kWh] dla doby t ,
δE_t	skorygowana różnica bilansowa względna [%] dla doby t ,
ΔE_t	różnica bilansowa bezwzględna [kWh] dla doby t ,
δ_g	względny błąd graniczny,
δ_n	błąd pomiaru licznika nr n (klasa licznika, zazwyczaj 2),
$\Delta P'_u$	jednostkowe (na kilometr) straty upływnościowe mocy,
ϵ_{En}	wartość nielegalnego poboru u odbiorcy nr n [kWh],
σ	odchylenie standardowe zmiennej losowej – odchylenie średnie kwadratowe,
σ^2	wariancja – wartość oczekiwaną kwadratu odchylenia standardowego zmiennej losowej,
σ_E	odchylenie standardowe dla dobowych wartości energii dla zadanego miesiąca,

σ_E'	odchylenie standardowe dla dobowych wartości energii dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
σ_E''	odchylenie standardowe dla dobowych wartości energii dla analogicznego miesiąca w ubiegłym roku,
$\sigma_{liczników}$	odchylenie standardowe dla energii pobieranej przez liczniki dla zadanego miesiąca,
$\sigma_{liczników}'$	odchylenie standardowe dla energii pobieranej przez liczniki dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
$\sigma_{liczników}''$	odchylenie standardowe dla energii pobieranej przez liczniki dla analogicznego miesiąca w ubiegłym roku,
σ_{obc}	odchylenie standardowe dla strat obciążeniowych (prądowych) dla zadanego miesiąca,
σ_{obc}'	odchylenie standardowe dla strat obciążeniowych (prądowych) dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
σ_{obc}''	odchylenie standardowe dla strat obciążeniowych (prądowych) dla analogicznego miesiąca w ubiegłym roku,
σ_u	odchylenie standardowe dla strat upływnościowych dla zadanego miesiąca,
σ_u'	odchylenie standardowe dla strat upływnościowych dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
σ_u''	odchylenie standardowe dla strat upływnościowych dla analogicznego miesiąca w ubiegłym roku,
σ_δ	odchylenie standardowe dla skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla zadanego miesiąca,
σ_δ'	odchylenie standardowe dla skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) miesiąca,
σ_δ''	odchylenie standardowe dla skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla analogicznego miesiąca w ubiegłym roku,

Słownik

Poziomy napięcie

- nN – niskie napięcie (o napięciu znamionowym nie wyższym niż 1 kV; najczęściej 230/400 V)
- SN – średnie napięcie (wyższe niż 1 kV i niższe niż 110 kV)
- WN – wysokie napięcie (sieć elektroenergetyczna o napięciu znamionowym: 110 kV używana przez koncerny energetyczne lub 220 – 440 kV – używana przez PSE)

Skróty energetyczne

- DSM – Demand Side Managment (sterowanie popytem energii).
- NPE – nielegalny pobór energii
- OPM – czujnik pola magnetycznego
- WLZ – wewnętrzne linie zasilające
- URE – Urząd Regulacji Energetyki
- ZE – Zakład Energetyczny

Technologie

- LNS – Network Operating System (sieciowy system operacyjny),
- LON – Local Operating Network (lokalna sieć sterowania),
- PLC – Power Line Communications (komunikacja za pośrednictwem sieci zasilającej),
- GPRS – General Packet Radio Service (technologia stosowana w telefonach GSM do pakietowego przesyłania danych),
- PSTN – Public Switched Telephone Network (PSTN) – publiczna komutowana sieć telefoniczna,
- HSCSD – High Speed Circuit Switched Data - wykorzystywany w telefonach GSM sposób dostępu do Internetu z prędkością do 57,6 kbps (przy wykorzystaniu 4 kanałów) lub 43,2 kbps (3 kanały na odbiór, 1 na wysyłanie),

- AMR – Automatic Meter Reading (automatyczny odczyt licznika) lub Automated Meters Reading (automatyczny odczyt liczników),
- AMM – Automatic Meter Management (automatyczne zarządzanie licznikami),
- AM – Advanced Metering (zaawansowane układy pomiarowe),

Nazwy firm

- ENION Enion SA - koncern energetyczny
ul. Łagiewnicka 60
30-417 Kraków
- EnergiaPro EnergiaPro Koncern Energetyczny SA
54-203 Wrocław
ul. Legnicka 51-53
- PAFAL SA Fabryka Aparatury Pomiarowej
PAFAL S.A.
ul. Łukasińskiego 26
58-100 Świdnica
- Lanfys+Gyr Landis+Gyr Sp. z o.o.
Al. Jerozolimskie 136
02 - 326 Warszawa
- Politech P.P.H. POLITECH Sp. z o.o.
ul. Budowlana 3
58-100 Świdnica
- Elgama Systemy Pomiarowe ELGAMA Sp. z o.o.,
Plac Kombatantów 2
58-100 Świdnica Śląska
- PSE Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA
ul. Mysia 2
00-496 Warszawa

Vattenfall (d. GZE) Vattenfall Distribution Poland
GZE S.A., ul. Barlickiego 2
44-100 Gliwice

Stosowane pojęcia i określenia

Energetyczne

Energia – tam gdzie użyto tylko takiego określenia chodzi o energię elektryczną czynną,

Inkasent – pracownik energetyki, spisujący wskazanie licznika, na podstawie którego następnie wystawiany jest rachunek za energię elektryczną.

Kradzież energii elektrycznej, nielegalny pobór energii elektrycznej – pobór energii przez odbiorcę:

- bez zawarcia umowy lub w sposób niezgodny z umową z dostawcą energii,
- z częściowym lub całkowitym pominięciem urządzenia (lub układu) pomiarowo-rozliczeniowego,
- przy ingerencji w układ pomiarowo rozliczeniowy, utrudniając lub uniemożliwiając stwierdzenie wielkości zużytej energii lub zmniejszając wartość energii wskazywanej przez licznik energii,
- przy zмовie odbiorcy z inkasentem, w celu zaniżenia wpisywanego wskazania licznika i w konsekwencji zmniejszania płaconego przez odbiorcę rachunku za dostarczoną energię,

Licznik – licznik energii elektrycznej – indukcyjny lub elektroniczny,

Licznik bezklasowy – licznik energii elektrycznej, zainstalowany u odbiorcy przed 1999 rokiem, posiadający ważną cechę legalizacyjną, spełniający wymagania metrologiczne w świetle obowiązujących wówczas przepisów, ale niezgodny z aktualnymi standardami ze względu na wysoką awaryjność, niedokładność pomiaru lub wartość prądu rozruchu. Obecnie wszystkie takie urządzenia powinny być już wycofane z użytku.

Licznik bilansujący (sumujący) – licznik energii elektrycznej, który zlicza energię wpływającą do pewnej części sieci i służy do kontrolowania prawidłowego zliczania energii przez liczniki mierzące energie wpływającą z tej części sieci.

Magnes neodymowy to magnes trwały. Wytwarzany jest ze związków rzadkiego pierwiastka – neodymu, żelaza i boru $Nd_2Fe_{14}B$. Neodym $60Nd$ to żółty metal, pierwiastek chemiczny z bloku f, grupy 3, lantanowców. Magnesy te produkowane są metodami metalurgii proszków. Najpierw poddawane są operacji prasowania w polu magnetycznym. Następnie następuje proces wyżarzania w podwyższonych temperaturach. Najczęściej wyżarzanie dokonywane jest w specjalnych piecach próżniowych lub w atmosferze ochronnej. Dlatego tak wytworzone magnesy nazywamy magnesami spiekanymi. Ponieważ neodym jest pierwiastkiem bardzo aktywnym chemicznie magnesy te powlekane są specjalnymi warstwami ochronnymi np. niklową, cynkową, fosforanową itp.

Główną zaletą magnesów neodymowych jest to, że wytwarzają bardzo silne pole magnetyczne i mają bardzo dużą siłę przyciągania. Ich działanie jest kilkakrotnie mocniejsze od popularnych magnesów ferrytowych. Ich podstawowymi wadami są niska temperatura pracy, mała wytrzymałość mechaniczna oraz niska temperatura Curie.

Odbiorca – każdy, kto otrzymuje lub pobiera energię elektryczną na podstawie umowy o jej dostarczenie z przedsiębiorstwem energetycznym,

Prawo Joule'a – Lenza mówi, że ilość ciepła wytwarzana w przewodniku, przez który płynie prąd, w określonej jednostce czasu jest proporcjonalna do iloczynu kwadratu natężenia prądu i oporu przewodnika.

Próg rozruchu liczników, prąd nieczułości – wartość prądu, poniżej której licznik nie zlicza przepływającej przez niego energii.

Przylącze – odcinek sieci służący do połączenia instalacji elektrycznej odbiorcy z siecią energetyczną,

Różnica bilansowa (bezwzględna) – jest to różnica pomiędzy zmierzoną energią elektryczną czynną wprowadzoną do sieci i zmierzoną energią elektryczną czynną odebraną z sieci. Wyrażona jest w kWh. Tam gdzie jest mowa o różnicy bilansowej chodzi o różnicę bilansową bezwzględną.

Różnica bilansowa względna – jest to iloraz różnicy bilansowej bezwzględnej odniesionej do zmierzonej energii elektrycznej czynnej wprowadzonej do sieci. Wyraża się ją w procentach [%].

Skorygowana różnica bilansowa (bezwzględna) – jest to różnica pomiędzy wyliczoną wartością różnicy bilansowej i wyliczonymi (wyznaczonymi) wartościami strat energii. Wyrażona jest w kWh. Tam gdzie jest mowa o skorygowanej różnicy bilansowej chodzi o skorygowaną różnicę bilansową bezwzględną.

Skorygowane różnica bilansowa względna – jest to iloraz skorygowanej różnicy bilansowej bezwzględnej odniesionej do zmierzonej energii elektrycznej czynnej wprowadzonej do sieci. Wyraża się ją w procentach [%].

Spółka dystrybucyjna – przedsiębiorstwo odpowiedzialne za funkcjonowanie sieci rozdzielczych oraz kupujące energię na pokrycie strat (równej różnicy energii wpływającej do sieci i energii pobranej przez odbiorców).

Stan licznika – wskazanie licznika, liczydło

Urząd Miar, administracja miar – urzędy administracji rządowej, właściwe w sprawach miar i probiernictwa np. Główny Urząd Miar, Okręgowe Urzędy Miar.

Zarządzanie popytem – jeden ze sposobów kształtowania kosztów energii poprzez oddziaływanie na końcowych użytkowników energii elektrycznej (po stronie popytowej). Odbywa się poprzez zmniejszenie zużycia energii lub sterowanie obciążeniem w celu zmniejszenia zużycia energii w szczycie, a zwiększenia poza szczytem.

Probabilistyczne i statystyczne

Wartość oczekiwana – miara skupienia rozkładu [23]. Formalnie, jeżeli dyskretna zmienna losowa X przyjmuje wartości x_1, x_2, \dots odpowiednio z prawdopodobieństwami p_1, p_2, \dots , wówczas wartość oczekiwaną $E(X)$ zmiennej losowej X definiujemy jako:

$$E(X) = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i$$

W rozpatrywanych przypadkach jest równa średniej arytmetycznej, ponieważ mamy do czynienia ze zmienną losową skokową o skończonej liczbie wartości, w której każde zdarzenie jest tak samo prawdopodobne.

$$E(X) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Wariancja – miara rozproszenia układu [23], intuicyjnie utożsamiana ze zróżnicowaniem zbiorowości. Wariancja jest średnią arytmetyczną kwadratów odchyłeń poszczególnych wartości cechy od średniej arytmetycznej zbiorowości.

Wariancję dla populacji można estymować za pomocą n -elementowej próby losowej:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Taki estymator jest obciążony, dlatego też często używa się nieobciążonego estymatora:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Odchylenie średnie kwadratowe

Odchylenie standardowe wartości cechy w skończonej populacji jest to klasyczna miara zmienności [23]. Odchylenie standardowe w populacji można estymować odchyleniem standardowym z próby losowej. Wzór ma postać:

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Odchylenie standardowe jest bardzo przydatne w statystyce opisowej. Przede wszystkim jest ono wyrażone w tych samych jednostkach co wartości pomiarów.

Rozkład normalny (Gausa) – rodzina nieskończenie wielu rozkładów, definiowanych dwoma parametrami: średnią (odpowiada za położenie rozkładu) i odchyleniem standardowym (skala) [23]. Standardowy rozkład normalny to rozkład normalny ze średnią zero i odchyleniem standardowym jeden. Ponieważ wykres funkcji gęstości rozkładu normalnego przypomina dzwon, często nazywa się go *krzywą dzwonową*.

Reguła trzech sigm

W praktyce często zakłada się, że dane podlegają rozkładowi normalnemu [23]. Jeśli to założenie jest uzasadnione, wówczas prawdziwe są poniższe stwierdzenia:

- 68% wartości cechy leży w odległości $\leq 1\sigma$ od wartości oczekiwanej,
- 95,5% wartości cechy leży w odległości $\leq 2\sigma$ od wartości oczekiwanej,
- 99,7% wartości cechy leży w odległości $\leq 3\sigma$ od wartości oczekiwanej.

Centralne twierdzenie graniczne – przy pewnych założeniach, rozkład sumy dużej liczby zmiennych losowych jest w przybliżeniu normalny [23]. Mówi ono, że jeśli x_i są niezależnymi zmiennymi losowymi o jednakowym rozkładzie, takiej samej wartości oczekiwanej $E(X)$ i skończonej wariancji σ^2 , to

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{\sigma\sqrt{n}}$$

zbiega według rozkładu do standardowego rozkładu normalnego, gdy n rośnie do nieskończoności.

W praktyce twierdzenie to ma zastosowanie, jeżeli chcemy użyć rozkładu normalnego jako przybliżenia dla innych rozkładów.

Testy normalności rozkładu

W celu dokonania sprawdzenia, czy dane (wartości dobowe energii dla danego licznika w zadanym czasie, różnica bilansowa względna w zadanym czasie) mają rozkład normalny wykonuje się testy normalności rozkładu [23]. Znane są dwa testy:

- **Test Kołmogorowa – Smirnowa** – wymaga znajomości średniej i odchylenia standardowego całej populacji. Jeżeli nie są one znane to test ten stosuje się z poprawką Lilleforsa.
- **Test Shapiro–Wilka** – najbardziej zalecany test normalności rozkładu, ale może dawać mylne wyniki dla liczebności próbek powyżej 2000. Wymaga, żeby cecha miała rozkład ciągły.

Weryfikacja hipotez – sprawdzanie sądów o populacji, sformułowanych bez zbadania jej całości [23]. Przebieg weryfikacji:

- a) Sformułowanie hipotezy zerowej (H_0) i alternatywnej (H_1)
- b) Wybór statystyki testowej (W),
- c) Określenie poziomu istotności α ,
- d) Wyznaczenie obszaru krytycznego testu,
- e) Obliczenie statystyki na podstawie próby,
- f) Podjęcie decyzji,

Hipoteza zerowa (H_0) – Jest to hipoteza poddana procedurze weryfikacyjnej, w której zakładamy, że różnica między analizowanymi parametrami lub rozkładami wynosi zero [23]. Przykładowo wnioskując o parametrach hipotezę zerową zapiszemy jako: $H_0: \theta_1 = \theta_2$.

Hipoteza alternatywna (H_1) – Jest to hipoteza przeciwstawna do weryfikowanej [23]. Można zapisać ją na trzy różne sposoby w zależności od sformułowania badanego problemu:

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 > \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 < \theta_2$$

Obszar krytyczny – obszar znajdujący się zawsze na krańcach rozkładu [23].

Kwantyl – kwantylem rzędu p , gdzie $0 \leq p \leq 1$, w rozkładzie empirycznym P_X zmiennej X nazywamy każdą liczbę x_p , dla której spełnione są nierówności:

$$P_X((-\infty, x_p]) \geq p$$

oraz

$$P_X((x_p, \infty)) \geq 1 - p$$

W szczególności, kwantylem rzędu p jest taka wartość x_p zmiennej losowej, że wartości mniejsze lub równe od x_p są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej p , zaś wartości większe lub równe od x_p są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej $1-p$ [23].

Prawdopodobieństwo to funkcja $P(X)$, która przyporządkowuje każdemu elementowi zbioru zdarzeń losowych pewną nieujemną wartość rzeczywistą [22]. Wartość $P(X)$ nazywa się prawdopodobieństwem zdarzenia X .

Potocznie prawdopodobieństwo to pojęcie określające nasze oczekiwania co do rezultatu danego zdarzenia, którego wyniku nie znamy.

Niektóre własności prawdopodobieństwa to:

$$P(A') = 1 - P(A) \text{ - prawdopodobieństwo przeciwne do } A, \text{ gdy } A \subset \Omega$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \text{ - prawdopodobieństwo sumy zdarzeń } A \text{ i } B, \text{ gdy } A, B \subset \Omega$$

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \text{ - gdy } A \text{ i } B \text{ to zdarzenia od siebie niezależne}$$

Prawdopodobieństwo warunkowe

Prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia A pod warunkiem, że zdarzenie B zaszło, nazywamy liczbę [22]:

$$P(A \setminus B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, P(B) \neq 0$$

Probabilistyka – teoria prawdopodobieństwa [22].

Wprowadzenie

Straty energii elektrycznej

Definicja

Straty energii elektrycznej – różnica pomiędzy rzeczywistą energią elektryczną czynną wprowadzoną do sieci, a rzeczywistą energią elektryczną czynną odebraną z sieci. Trudno jednak mówić o stratach rzeczywistych, ponieważ wartości rzeczywiste energii nie są znane. Dlatego najczęściej jako straty traktuje się różnicę bilansową, czyli różnicę pomiędzy zmierzoną ilością energii wprowadzonej z sieci oraz zmierzoną odebraną przez odbiorców, za którą zostanie wystawione rozliczenie finansowe.

Poziom

W 2002 roku straty energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych w Polsce należały do najwyższych w Europie. Według „Electricity Information 2004 OECD/IEA” wskaźnik strat w relacji do energii dostarczonej na rynek był wyższy o ponad 4 punkty procentowe od średniej europejskich krajów OECD. Straty energii elektrycznej, w stosunku do energii wprowadzonej do sieci krajowych spółek dystrybucyjnych wyniosły 9,7%, tj. 12.508 GWh, wartości 1.514 mln zł.[28]

Podział

W energetyce powszechnie utarł się podział strat energii elektrycznej na straty techniczne i straty handlowe.

Straty techniczne – potrzeby wewnętrzne sieci; straty wynikające ze zjawisk fizycznych towarzyszących przepływowi energii (prądu) przez sieć lub napięciu w sieci. O jednym z tych zjawisk prawo Joule'a – Lenza mówi, że prąd płynący przez przewodnik o pewnej rezystancji powoduje wydzielenie z niego części energii w postaci ciepła. W skład tych strat wchodzi również: straty w liniach, straty ulotu i upływu.

Straty handlowe – energia nie zmierzona w skutek niedostosowania układów pomiarowych do struktury poboru. Inna definicja mówi, że ich przyczyna tkwi w konieczności rozliczania dostarczonej energii. Są skutkiem tego, że zarówno energia wprowadzona jak i odebrana mierzone są z pewnymi błędami [24]. Składowe strat

handlowych: energia zużywana przez liczniki energii, błędy rozruchów liczników, niejednoczesności odczytów, nielegalny pobór energii, błędy przesuniętego inkasa.

Straty w transformatorach SN/nN można podzielić na:

1. straty obciążeniowe w transformatorach SN/nN \approx straty w miedzi,
2. straty jałowe w transformatorach SN/nN \approx straty w żelazie.

Jeżeli transformator zasilany jest napięciem znamionowym, wtedy zamiast przybliżenia zachodzi równość.

Problemy przy klasyfikacji strat

Podział strat na handlowe i techniczne nie jest jednoznaczny. Istnieje trudność zakwalifikowania poboru energii przez liczniki do którejś z kategorii strat. Z jednej strony wydaje się, że są to potrzeby wewnętrzne sieci i w zasadzie nie można ich wyeliminować, a zmniejszyć można jedynie przez zmianę liczników na bardziej oszczędne – co w zasadzie nie ma uzasadnienia ekonomicznego (koszty zakupu nowych urządzeń, ich założenia oraz utylizacji starych liczników). Z drugiej strony wynikają one jedynie z tego, że dokonywane są rozliczenia dostawcy z odbiorcą za energię elektryczną (liczniki nie byłyby potrzebne gdyby nie było rozliczeń). Trudno zatem powiedzieć, że wynikają one ze zjawisk fizycznych związanych z dostarczaniem energii. Pobór energii przez liczniki w niniejszej rozprawie został zakwalifikowany jako straty handlowe.

Inna trudność polega na zakwalifikowaniu do części strat energii zużywanej do podgrzewania szafek licznikowych. Część szafek licznikowych znajdujących się na wolnym powietrzu przy transformatorach jest podgrzewanych w sezonie zimowym. Energia zużywana na ten cel nie jest osobno mierzona. Wydaje się, że należy traktować ją jako potrzeby sieci, ponieważ podgrzewane są układy zabezpieczające oraz pomiarowe, które mogłyby działać nieprawidłowo zwłaszcza podczas większych mrozów.

Problemy z wyliczaniem wartości strat w sieci nN

Istnieją problemy z liczeniem strat w sieciach nN. Najłatwiej wyliczyć lub oszacować wartości tych strat, które mają najmniejsze wartości. Najtrudniej – zmienne w czasie i największe, co do wartości:

- Nielegalny pobór energii,
- Straty obciążeniowe,

Wartość energii elektrycznej zużywanej przez liczniki, stosunkowo znaczącą wśród strat w sieciach nN, można łatwo wyliczyć na podstawie danych katalogowych licznika: mocy zużywanej w cewkach prądowych i napięciowych (lub także pomocniczej) [11-19]. Nawet jeżeli nie są one znane, można znaleźć wzory [24], za pomocą których można wartość tych strat wyliczyć z dużą dokładnością.

Straty obciążeniowe zależą od chwilowej wartości prądu w sieci energetycznej nN. Zazwyczaj znana jest topologia tej sieci. Natomiast bardzo kosztowne byłoby zainstalowanie systemu mierzącego szybkozmiennie wartości prądu i napięcia w sieci, na każdym przyłączy, w każdej żyłce przewodu lub kabla.

Wartość nielegalnie pobieranej energii można jedynie oszacować na podstawie różnicy bilansowej i wartości wyliczonych strat.

Straty, a wysokość napięcia zasilania odbiorców

Różny poziom strat dla różnych spółek dystrybucyjnych wynika z wysokości napięcia znamionowego, na którym zasilani są odbiorcy na terenie tej spółki. Jeżeli znajdują się tam duże zakłady zasilane z sieci 110 kV i 220 kV (np. Vattenfall Distribution Poland d.GZE S.A.), poziom strat jest mniejszy niż w przypadku, gdy znaczącą większość energii pobierają drobni odbiorcy na nN np. komunalni. W przypadku zasilania odbiorców na nN w sieci dostawcy występują straty na transformatorach WN na SN oraz SN na nN, dodatkowe straty techniczne w liniach, zwłaszcza nN, a także kradzież energii. Zasilanie wielkich odbiorców sieci 110 lub 220 kV powoduje, że wymienione wcześniej straty występują w sieci klienta i nie powodują zwiększenia niebilansowania spółki dystrybucyjnej. Nawet jeżeli opomiarowanie wielkiego odbiorcy jest po stronie wtórnej transformatora WN na SN, to dodatkowo znajdują się tam liczniki strat. Za te straty w transformatorze (np. 3% dostarczonej energii) płacą wielcy odbiorcy.

Straty, a tranzyt energii

Tranzyt energii czynnej do sąsiednich spółek dystrybucyjnych, występujący zwykle na napięciu 110 kV, obniża wskaźnik strat bilansowych ponieważ wiąże się ze znacznie mniejszymi stratami procentowymi niż przesył energii do odbiorców finalnych, zasilanych na niższych napięciach. W takich przypadkach wynik obliczeń strat zależy od przyjętej metody obliczeń.

Tranzyt energii biernej po sieci nN spółki A do sieci innej spółki B powoduje straty czynne mocy i energii w sieci spółki A [24]. By przepływała sama energia bierna – musi płynąć prąd przesunięty o 90° w stosunku do napięcia. Ten prąd ma określoną wartość natężenia (amplitudę i wartość skuteczną) większą od zera i płynie po sieci o określonej rezystancji, w skutek czego, wydziela się ciepło (straty techniczne).

Straty, a lokalizacja odbiorców i wytwórców

Energia z lokalnych elektrowni ma zwykle krótszą drogę przepływu do odbiorców niż energia dopływająca ze stacji nN [24]. Oddawana jest zatem przy mniejszych stratach.

Straty, a pora roku

Pora roku bezpośrednio nie ma znaczącego wpływu na najbardziej znaczące wartości strat wynikających ze zjawisk fizycznych. Pośrednio wpływa np. na wartości strat obciążeniowych, ponieważ odbiorcy pobierają większą ilość energii (przez sieć nN płynie prąd większej wartości). Główny wpływ na ilość zużywanej w danej chwili energii mają czynniki pogodowe takie jak temperatura i zachmurzenie. W konsekwencji więcej energii elektrycznej jest traconej w postaci ciepła (oddawanej do otoczenia). W wyniku płynięcia większego prądu i pobierania przez odbiorcę większej ilości energii rosną straty obciążeniowe i wzrasta różnica bilansowa bezwzględna. Natomiast różnica bilansowa względna istotnie nie ulega zmianie, ponieważ większą różnicę bilansującą (spowodowaną większą wartością strat obciążeniowych) dzieli się przez większą wartość energii wprowadzonej do sieci.

Pobór energii przez liczniki nie zależy od temperatury.

Niektóre wyniki badań [24] pokazują, że poziom niezbilansowania mocno zależy od pory roku. Największa wartość różnicy bilansowej jest w miesiącach zimowych, najmniejsza w letnich. Najprawdopodobniej zależy to od dwóch czynników:

- podgrzewania szafek licznikowych,
- nielegalnego poboru energii wykorzystywanej do „darmowego” ogrzewania mieszkań.

„Liczniki bezklasowe” i niezalegalizowane

Jedną z przyczyn strat lub zwiększenia różnicy bilansującej lub zwiększenia niedokładności pomiaru energii faktycznie zużywanej były tzw. liczniki bezklasowe, które

obecnie powinny być już całkowicie wycofane z użytku. Nie spełniają one bowiem obecnie obowiązujących standardów metrologicznych i mierzą energię elektryczną z większą niedokładnością. Wg raport NIK [28] w objętych kontrolą jednostkach okresie od początku 2002 r. do połowy 2004 r. liczbę takich liczników ograniczono z 462 tys. do 171,9 tys.

Raport NIK [28] wykazał, że w 13 kontrolowanych przez niego jednostkach w 2004 roku było użytkowanych ponad 70 tysięcy liczników bez ważnych cech legalizacyjnych. W świetle obowiązującego prawa [31 art. 8] jest to nielegalne. Trudno mówić o dokładności niezalegalizowanych liczników.

Sposoby zmniejszenia strat i koszty z tym związane

Dla operatora sieci minimalizowanie strat nie jest celem nadrzędnym. Istotą pracy sieci jest dostarczanie odbiorcom końcowym energii elektrycznej o określonych cechach jakościowych i przy najmniejszych kosztach [24]. Straty są jedną ze składowych tych kosztów. Zatem wskaźniki strat nie mogą stanowić jedynej podstawy do oceny sieci pod względem jej struktury jak i prowadzenia ruchu.

Teoretycznie można wyeliminować każdą z przyczyn powstawania różnicy bilansowej np. możliwe jest wyeliminowanie strat technicznych, gdyby do przesyłania i dystrybucji na skalę masową zastosować technologię nadprzewodnictwa. Straty Joule'a zostałyby ograniczone praktycznie do zera, ale odbiorcy energii musieliby zapłacić za odpowiednie inwestycje oraz późniejszą eksploatację systemu energetycznego (utrzymywany byłby w odpowiednio niskiej temperaturze). Płaciliby za to więcej niż obecnie. Podobnie jest ze stratami handlowymi. Do eliminowania każdej ze składowych strat potrzebne są odpowiednie inwestycje i wysiłek organizacyjny, pociągający za sobą koszty organizacyjne.

Podsumowując można stwierdzić, że istnieje racjonalnie uzasadniona granica, poniżej której dalsze eliminowanie zjawiska generowałyby tylko straty (ponoszone koszty byłyby wyższe od uzyskiwanych efektów) [21].

Zakłady energetyczne podejmują różne kroki celem obniżenia strat sieciowych [28]. Można podzielić je na inwestycyjne i bezinwestycyjne. Są to:

Bezinwestycyjne

- Optymalizacja rozcięć w układzie pracy sieci,
- Odciążenie przeciążonych odcinków sieci nN np. przez zmianę konfiguracji sieci,

- Zmiana obciążenia niektórych elementów sieci,
- Zmniejszenie asymetrii obciążenia sieci,
- Spłaszczenie profilu obciążenia (wyrównanie przebiegu) – poprzez stosowanie odpowiedniej polityki taryfowej w celu zmniejszenia obciążenia w strefach szczytowych i zwiększenia obciążenia w dolinie nocnej,
- Eliminacja zbędnych styków oraz konserwacja i wymiana istniejących w celu zmniejszenia strat oraz zwiększenia pewności pracy,

Inwestycyjne

- Dostosowanie mocy transformatorów SN/nN do aktualnych obciążeń,
- Wymiana transformatorów SN/nN na generujące niższe straty sieciowe,
- Montaż baterii kondensatorów np. w transformatorach SN/nN, umożliwiających kompensowanie mocy biernej i zredukowanie przez to strat energii. Zwrot kosztów zainstalowania takich kondensatorów nierzadko zwraca się w ciągu roku.
- Budowa nowych obiektów np.: linii elektroenergetycznych (zmniejszenia obciążenia istniejących), dodatkowych stacji transformatorowych SN/nN (skrócenie dróg przesyłu sieciami o niższym poziomie napięcia znamionowego), instalacji baterii kondensatorów (zmniejszenie obciążenia sieci mocą bierną).
- Montaż układów pomiarowych przy transformatorach SN/nN i bilansowanie obszarów,

Pełne dostosowanie transformatorów do aktualnych i przewidywanych obciążeń, a więc maksymalne ograniczenie strat w transformatorach, wymaga znacznych nakładów finansowych, co wyklucza uzyskanie maksymalnych efektów w krótkim okresie czasu. W ocenie NIK znaczące efekty w krótszym okresie czasu, można uzyskać przy niższych nakładach, w wyniku zmniejszania asymetrii obciążenia w sieci nN lub w wyniku poprawy gospodarki istniejącymi transformatorami np. optymalizując ich obciążenia przez wymianę pomiędzy stacjami [28].

Generalnie nie można opracować uniwersalnej strategii działań dla zmniejszenia strat w sieciach.

Obecnie jedną z niewielu opłacalnych metod ograniczania strat energii w sieciach nN jest wykrywanie nielegalnego poboru. Nierzadko służy to głównie prewencji i zademonstrowaniu, że kradzież energii nie jest bezkarna.

Zmniejszenie największych składowych strat na nN, a więc strat obciążeniowych np. wymianą kabli lub przewodów, oraz zmniejszenia ilości energii pobieranej przez liczniki np. w wyniku wymiany liczników indukcyjnych na droższe – elektroniczne, nie zapowiada zysków, czy nawet zwrotu inwestycji.

Przy obecnej rotacji prezesów wynikających z przyczyn politycznych, oraz z powodu ciągłych zmian struktur przedsiębiorstw energetycznych wynikających z konsolidacji w sektorze plany inwestycyjne nierzadko ograniczają się do koniecznych, remontów lub przynoszących zwrot kapitału w krótkim czasie. Trudno dziwić się, że zarząd przedsiębiorstw nie popiera inwestycji sięgających dalej niż kadencja członków, wiedząc, że potem zasiądą tam przeciwnicy polityczni. Dlatego w lepszej sytuacji niż nie sprywatyzowane koncerny energetyczne są: STOEN wykupiony przez niemiecki RWE oraz GZE wykupiony przez szwedzki Vattenfall, które również mogą lepiej przygotować się do zmian legislacyjnych, głównie możliwości dowolnego wyboru dostawcy przez wszystkich odbiorców energii po 1. lipca 2007 roku.

Metodologia URE do uznania uzasadnionego poziomu strat

Różne spółki energetyczne mają różne poziomy strat bilansowych. URE w praktyce taryfowej [35] stosuje następującą metodologię wyznaczania uzasadnionego poziomu różnicy bilansowej [21]:

- 1) uszeregowanie poszczególnych przedsiębiorstw wg ich wielkości i porównanie efektywności spółek wg wartości przeciętnych dla danej wielkości,
- 2) ustalenie celu, czyli uzasadnionego poziomu różnicy bilansowej dla każdego przedsiębiorstwa energetycznego,

Nie zakłada się, że uzasadnionym poziomem strat jest wartość uśredniona dla wszystkich przedsiębiorstw, ponieważ lepsze dostałyby „nagrodę” – nadwyżkę w przychodach firmy zapewnianych przez taryfę. Natomiast u gorszych byłyby to niedobór finansowy. W konsekwencji lepsze byłoby stać na kolejne inwestycje. Gorsze natomiast miałyby okrojony budżet i zmniejszone byłyby ich szanse dorównania liderom. Z punktu odbiorców byłyby mało atrakcyjne, ponieważ w krótkim horyzoncie czasowym nie dawałyby im żadnego odczuwalnego efektu. Zmuszałby jednak przedsiębiorstwa nieefektywne

do poprawy swej efektywności i, w dłuższej perspektywie, prowadził do obniżki kosztów funkcjonowania sieci [21].

Gdyby jako cel dla wszystkich wyznaczyć poziom efektywności najlepszego przedsiębiorstwa to te najgorsze miałyby mocny bodziec do poprawy efektywności, natomiast nie miałyby środków finansowych na konieczne inwestycje. W krótkim horyzoncie czasowym byłyby to model bardzo atrakcyjny dla odbiorców. Po niedługim jednak czasie mogłyby doprowadzić do pogorszenia standardów obsługi i obrócić się przeciw odbiorcom [21].

Cel liczenia strat energii

Główne cele liczenia wartości strat energii:

- 1) Dydaktyczny – wykazanie zależności strat energii od wskaźników typu makro np. udziału tranzytu,
- 2) Bilans zapotrzebowanie na energię na dużym obszarze. Duże błędy w liczeniu strat nie mają dużego wpływu na bilans,
- 3) Ocena zasadności strat,
- 4) Diagnostyka strat – wykazanie źródeł dużych strat oraz kierunków w celu ich zmniejszenia [8].

Nielegalny pobór energii elektrycznej

Kradzież energii elektrycznej jest plagą w naszym kraju i stałym elementem działalności zakładów energetycznych. Nie sposób podać dokładnej wartości kradzieży energii. W 2002 roku nielegalny pobór wykryto u ok. 13,5 tys. odbiorców i w wykrytych przypadkach oszacowano go na 56 GWh¹.

Odbiorcy stosują coraz wymyślniejsze metody nielegalnego poboru energii elektrycznej. Cechują się nieprawdopodobną pomysłowością. Niektóre przyłącza wyglądają tak, że nie można mieć wątpliwości, że były tworzone przez profesjonalistów z branży elektrycznej. Coraz więcej jest takich wyrafinowanych, zamaskowanych przyłączy, a coraz mniej na tzw. „zrzutkę”. W ślad za postępem, który dokonuje się w tym procederze, spółki dystrybucyjne stosują coraz lepsze sposoby wykrywania kradzieży energii. Ich specyficzne know-how w tej dziedzinie jest znane jedynie wąskiej grupie pracowników.

¹ Źródło URE

Najczęściej energię elektryczną kradną dwie skrajne grupy odbiorców. Pierwszą grupę stanowią osoby bardzo biedne, które najczęściej nie ukrywają tego faktu, ale nie mają z czego płacić za prąd. Taka kradzież jest problemem społecznym. Do drugiej grupy można zaliczyć osoby stosunkowo bogate i dobrze usytuowane. To oni najczęściej mają profesjonalne nielegalne przyłącza.

Niektórzy odbiorcy udają, że nic nie wiedzą o nielegalnym przyłączy. Argumentują, że zrobił je poprzedni właściciel lub lokator mieszkania. Niektórzy próbują przekupować pracowników dokonujących kontroli by zatuszować całą sprawę.

W proceder nielegalnego poboru energii elektrycznej niestety nierzadko bywają zamieszani pracownicy spółek dystrybucyjnych. W 2004 roku głośno było o 51 pracownikach Zakładu Energetycznego w Międzyzdrojach, zamieszanych w kradzież energii. Proceder tam wyglądał następująco. Inkasent za opłatą, proponował „własną taryfę”, która polegała na wpisywaniu do faktur заниzonego wskazania licznika. Kiedy już stan licznika znacznie odbiegał od tego, co wpisywano, u odbiorcy wymieniano licznik. Proceder trwałby pewnie jeszcze długo. Został wykryty zupełnie przypadkiem przez pracownika dokonującego kontroli wewnętrznej.

Podobne zjawisko zaobserwowano w dawnym Zakładzie Energetycznym Wrocław (obecnie koncern energetyczny EnergiaPro). Tam podobnie faktyczne wskazania liczników różniły się od tych, wypisywanych na fakturach. Stany liczników z zawyżonym wskazaniem monter „korygował” do „właściwego” przy pomocy wiertarki. Takie przypadki wykrywano podczas kontroli liczników. Aby zlikwidować ten proceder wprowadzono plastikowe, jednorazowe plomby. Z każdej z nich monter liczników musi rozliczyć się protokołem założenia. Plomby zdejmuje się po sprawdzeniu zgodności wskazania licznika i wpisu w protokole zdjęcia licznika. Ogranicza to nielegalny pobór energii, w który zamieszani byli pracownicy zakładów energetycznych.

W dawnym GZE w wielu przypadkach kradzieży energii zamieszani byli pracownicy tej firmy. Ustalono więc coroczne kontrole w domach pracowników pod ich nieobecność. Kontrolowali inni pracownicy. Zastosowano kilka prowokacji np. jednemu kontrolującemu za przemilczenie faktu kradzieży podstawiony mieszkaniec zaproponował łapówkę. Po dostarczeniu przez pracownika protokołu z kontroli licznika, w którym nie było słowa o nielegalnym poborze energii dostał on wypowiedzenie z pracy. W innym domu, gdzie dokonywano kradzieży energii wynajęto starszą kobietę. Mówiła ona z płaczem, że ma bardzo małą emeryturę i nie ma z czego żyć. Kiedy pracownik w protokole nie wspomniał o jej nielegalnym poborze, dostał wypowiedzenie.

Innymi sposobami kradzieży energii są próby manipulacji licznikiem. Polegają one np. na wierceniu małego otworka i hamowaniu przez niego tarczy obrotowej licznika. Zdarzył się przypadek, że odbiorca poluzował śruby i próbował hamować tarczę kliszą fotograficzną. Niestety dla niego, klisza wpadła do środka.

Kradzież energii przy pomocy magnesu neodymowego

Wstęp

Pewien czas temu na rynku pojawiły się bardzo mocne magnesy neodymowe. Są one dostępne w sprzedaży w wielu miejscach. I wszystko wygląda na to, że nastąpiła moda na nie, tak jak kilka lat temu na wskaźniki laserowe. Czy ludzie kupują magnesy jako gadżety, które świadczą o luksusie lub podnoszą komfort życia? A może dlatego, żeby przeciętny dorosły zjadacz chleba mógł pobawić się w przyciąganie metalowych przedmiotów, ostrożnie, żeby przy okazji nie uszkodzić powszechnie stosowanych urządzeń: telefonów komórkowych, sprzętu audio, komputerów itp.? Oczywiście, że nie. Skąd zatem popyt na te gadżety?

Niektórzy sprzedawcy oficjalnie ostrzegają, żeby nie stosować magnesów neodymowych w pobliżu liczników energii, wodomierzy itp. ponieważ w ten sposób można zakłócić ich pracę. Inni dodają, że takie działanie będzie sprzyjać płaceniu niższych rachunków. Zdarzają się nawet takie przypadki, że sprzedawca na bazarze demonstruje, jak należy przyłożyć magnes do licznika, żeby spowolnić jego pracę lub całkiem go zatrzymać. Proponują nawet wymianę na większy jeśli klient kupi magnes, a ten nie zatrzyma wodomierza lub licznika energii elektrycznej. Ze względu na możliwe nielegalne zastosowanie zabroniono sprzedaży tych magnesów na niektórych aukcjach internetowych np. na Allegro.

Są ludzie, którzy korzystają z „dobrodziejstwa” posiadania i stosowania magnesów neodymowych do obniżenia kwot płaconych rachunków za wodę lub prąd. Proceder ten dotyczy wszystkich spółek dystrybucyjnych.

Dla energetyków działanie na licznik magnesem neodymowym w celu zatrzymania zliczania pobieranej energii i zaniżania zużycia jest problemem dość trudnym i skomplikowanym [29]. W wyniku tego pomysłowego rozwiązania miesięczne straty szacowane przez LUBZEL sięgają dziesiątków tysięcy złotych.

Obecnie posiadamy sporą wiedzę nt. rzeczywistego i ubocznego wpływu magnesów neodymowych na liczniki energii [5].

Budowa i sposób działania licznika indukcyjnego energii elektrycznej

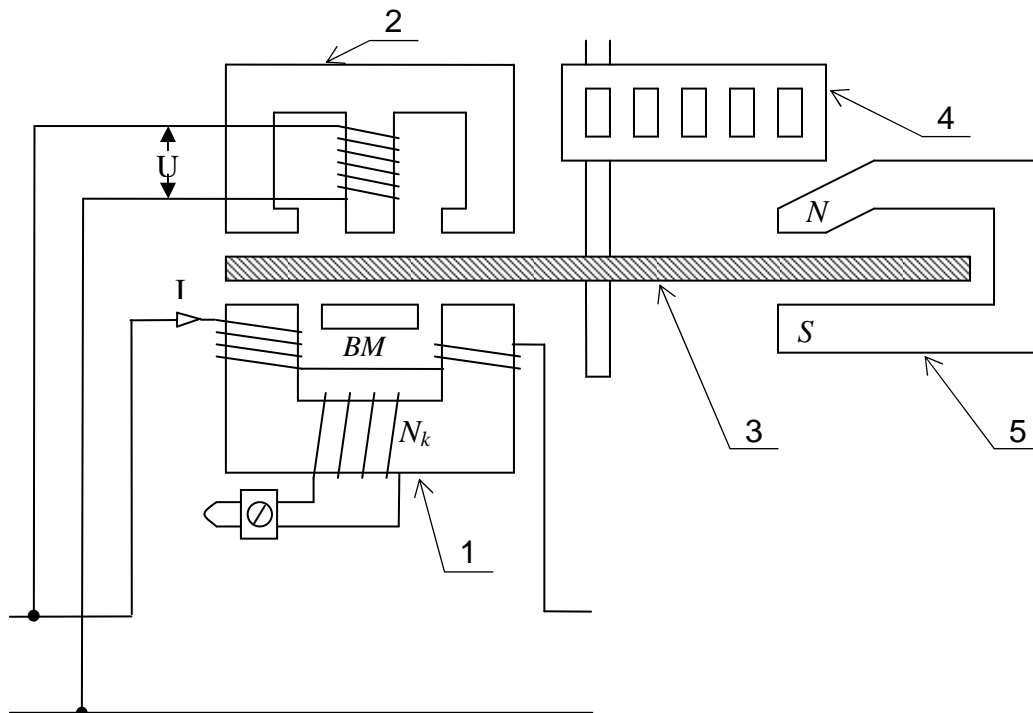
W uproszczeniu licznik indukcyjny energii (rys. 1) elektrycznej składa się z [7]:

1. Elektromagnesu prądowego (cewka prądowa uzwojona jest małą liczbą zwojów w dwóch sekcjach połączonych szeregowo),
2. Elektromagnesu napięciowego (cewka napięciowa uzwojona jest dużą liczbą zwojów cienkiego drutu miedzianego),
3. Wirnika – tarczy aluminiowej połączonej przekładnią zębatą z liczydłem,
4. Liczydła bębnowego,
5. Magnesu trwałego.

BM – bocznik magnetycznych,

N_k – cewka składająca się z kilku dodatkowych zwojów na rdzeniu prądowym obciążona pętlą z drutu oporowego służących do korekty. Dzięki niej możliwe jest wyregulowanie fazowe licznika.

Elektromagnesy wykonane są z rdzeni ferromagnetycznych z blach transformatorowych.



Rys.1. Uproszczony szkic konstrukcji licznika indukcyjnego

W liczniku indukcyjnym wykorzystano zjawisko współdziałania dwóch strumieni magnetycznych z prądami wirowymi indukowanymi przez te strumienie w metalowej tarczy.

Pod wpływem sinusoidalnego napięcia i prądu doprowadzonych do odpowiednich cewek powstają przemienne strumienie magnetyczne. Przenikają one aluminiową tarczę w kilku miejscach i indukują w niej prądy wirowe. Współdziałanie indukowanych prądów wirowych ze strumieniami magnetycznymi przesuniętymi między sobą w przestrzeni i fazie powoduje powstanie momentu napędowego wprawiającego wirnik w ruch obrotowy [7].

Moment napędowy równoważony jest przeciwnie skierowanym momentem hamującym, który powstaje w tarczy aluminiowej wirnika na skutek jej ruchu obrotowego w polu magnetycznym. W tarczy indukują się prądy proporcjonalne do strumieni magnetycznych przecinających tarczę i do prędkości wirowania. Współdziałanie strumieni z indukowanymi prądami powoduje powstanie momentu obrotowego przeciwnie skierowanego do kierunku wirowania [7].

Główna składowa momentu hamującego pochodzi od magnesu trwałego. Druga bierze się od strumienia napięciowego, którego wartość zmienia się nieznacznie, ponieważ w normalnych warunkach obwód napięciowy zasilany jest napięciem o wartości zbliżonej do znamionowej. Trzecia składowa – najmniejsza – pochodzi od strumienia prądowego. Wzrost prądu powoduje szybszy wzrost momentu hamującego niż napędowego. Aby temu zapobiec stosuje się bocznik napięcia BM, który szybko nasycy się [7].

Magnes trwały można ustawiać, ale ma on niewielką regulację. Regulacja ta nie powoduje zbyt istotnych różnic w zliczaniu energii. Zbliżenie biegunów magnesu do osi tarczy obrotowej zmniejsza moment hamujący.

Skutki oddziaływania magnesu neodymowego na licznik indukcyjny

Niektórzy sprzedawcy magnesów neodymowych szeroko reklamują je jako urządzenia, których stosowanie może sprzyjać zmniejszeniu kwot płaconych rachunków za niektóre media dostarczone do mieszkań. W przypadku zbliżenia magnesu neodymowego do przepływomierza wody powoduje on zwiększenie tarcia układu mierzącego przepływ wody. Odbiorcom wydaje się, że podobne zjawisko zachodzi w przypadku działania magnesu na licznik energii elektrycznej. Tak jednak nie jest.

Magnes neodymowy w zdecydowanej większości przypadków nie jest przyłożony do licznika na chwilę, lecz znajduje się przy nim kilka tygodni lub miesięcy. Magnes

ma bowiem stale spowalniać jego pracę, a nie tylko przez krótki czas. Zbliżenie do licznika i pozostawienie w jednym miejscu magnesu neodymowego powoduje powstanie czwartej składowej momentu hamującego tarczę obrotową. Strumień magnetyczny nie tylko powoduje hamowanie tarczy obrotowej, ale również oddziałuje długotrwale na cały układ licznika. W szczególności oddziałuje również na magnes trwały i doprowadza do jego rozmagnesowania. W konsekwencji licznik zostaje trwale uszkodzony. Składowa momentu hamującego pochodząca od magnesu trwałego ulega zmniejszeniu.

Kiedy magnes neodymowy zostanie usunięty od licznika energii, na tarczę obrotową przestanie oddziaływać składowa momentu hamującego pochodząca od magnesu neodymowego. Składowa pochodząca od magnesu trwałego, który został rozmagnesowany jest mniejsza niż była pierwotnie. W konsekwencji tarcza będzie obracać się szybciej niż powinna w przypadku prawidłowej pracy. W takiej sytuacji licznik będzie zliczać energię nawet dziesięciokrotnie szybciej. Kiedy odbiorca zorientuje się, że taka sytuacja ma miejsce najczęściej sam zadzwoni do dostawcy energii z prośbą o wymianę licznika. W takich sytuacjach ma miejsce wstępna kontrola i w przypadku podejrzeń kradzieży energii, licznik zostaje wysłany celem przeprowadzenia szczegółowej ekspertyzy.

W liczniku nabiegunniki hamującego magnesu trwałego są tak ukształtowane, że bieguny magnetyczne znajdują się na wewnętrznych końcach magnesu podkowiastego. Występuje tam najsilniejsze pole. Jeżeli z zewnątrz oddziałuje się na niego magnesem neodymowym działa się w sposób przypadkowy i na pewno nie namagnesuje się go w taki sposób, jak być powinien. W taki sposób nie można przywrócić wcześniejszej funkcjonalności licznika i z powrotem namagnesować magnes. Licznik taki u odbiorcy musi zostać wymieniony na inny, a ten uszkodzony musi trafić do producenta. Tylko on bowiem jest w stanie go naprawić. Naprawa polega na wymianie magnesu trwałego lub całego układu licznika.

W przypadku oddziaływaniem silnym magnesem neodymowym może również trwale przekrzywić się tarcza obrotowa.

W niektórych przemysłowych licznikach elektronicznych są wewnętrzne przekładniki prądowe i je producenci będą również musieli zabezpieczyć przed tym problemem. Liczniki te zazwyczaj pracują na ważniejszych odbiorach. Odbiorcy tam mogliby oszukiwać na większą skalę (pobór mocy w MW).

Dotyka się tutaj bardzo poważnego problemu: kilkaset osób oszukujących spółkę dystrybutorską nie stworzy większego problemu niż oszukujące zakłady przemysłowe. Liczniki elektroniczne stosowane do pomiarów komunalnych najczęściej posiadają boczniki,

a nie wewnętrzne przekładniki prądowe. W takim wypadku magnes neodymowy praktycznie nie wpływa na dokładność pomiarów.

Oddziaływanie magnesem neodymowym na licznik z przekładnikiem prądowym powoduje pracę na nieliniowej części charakterystyki pętli histerezy przekładnika. W zależności od płaszczyzny w jakiej jest bocznik błąd może wynosić 10 - 30 % oczywiście na minusie. Podobnie jak w przypadku wodomierzy, nieprawidłowe zliczanie ma miejsce jedynie wtedy, kiedy do licznika przyłożony jest magnes. Kiedy magnes zostaje usunięty, licznik znowu poprawnie mierzy energię. Stwierdzenie manipulacji magnesem neodymowym przy takim liczniku w celu zmniejszenia wskazywanego przez niego poboru energii jest trudniejsze do udowodnienia.

Elementy liczników wrażliwe na działanie magnesów

W licznikach indukcyjnych należy chronić:

- tarczę obrotową i liczydło bębnowe,
- przełącznik taryf,
- magnes hamujący.

W przemysłowych licznikach elektronicznych elementem wrażliwym na działanie pola magnetycznego jest:

- przekładnik prądowy.

Sposoby zabezpieczania liczników przed kradzieżą energii z użyciem magnesu neodymowego

Producenci liczników wychodzą z ofertą naprzeciw oczekiwaniom dostawców energii. Obecnie w licznikach są dwa sposoby zabezpieczeń przed taką kradzieżą:

Liczniki odporne na działanie magnesów neodymowych i silnych pól magnetycznych.

1) Rozwiązują problem takiej kradzieży, ale są droższe od indukcyjnych. odporne są:

- liczniki elektroniczne z bocznikami (bez przekładników) stosowane u odbiorców komunalnych. Nawet w takich odpornych licznikach PAFAL stosuje czujnik pola magnetycznego oraz w przemysłowych dodatkowo rejestrację zdarzeń w tym również rejestrowanie działania polem magnetycznym na licznik,

- stosowane przez POLITECH liczniki oparte na cewce Rogowskiego, praktycznie niewrażliwe na magnesy neodymowe. Błąd dodatkowy w takim liczniku nie przekracza 2%.
- przemysłowe liczniki z metalowymi ekranami (w elektronicznych licznikach chroni się przekładnik prądowy),

2) Liczniki z czujnikiem pola magnetycznego np. OPM, który w przypadku takiego działania ulega trwałemu uszkodzeniu. Ułatwiają udowodnienie nieuczciwemu odbiorcy działania na licznik silnym polem magnetycznym np. w wyniku zbliżenia do niego magnesu neodymowego. W takim liczniku po ingerencji polem magnetycznym może wystąpić przepalenie lub zwarcie jednego elementu co, w konsekwencji spowoduje wizualną sygnalizację stanu tegoż licznika. PAFAL SA stosuje czujnik zwłoczny, żeby odbiorca miał chwilę, żeby rozmyślić się. Litewski producent liczników ELGAMA w produkowanych przez siebie licznikach instaluje rejestratory zdarzeń – oddziaływania na liczniki polem magnetycznym. Landis+Gyr na życzenie zamawiającego wyposaża liczniki ZMD120, ZMD310 oraz ZMD400 w opcjonalne układy detekcji, sygnalizacji i rejestracji pola magnetycznego. POLITECH stosuje:

- przetwornik Halla – takie liczniki są wrażliwe na działanie magnesów neodymowych.

Zastosowany jest w nich specjalny układ elektroniczny z diodą sygnalizacyjną, która zapala się nawet po chwilowym zadziałaniu silnym polem magnetycznym. Diodę można zgasić po zdjęciu plomb legalizacyjnych. Stosowane były również liczniki z naklejonym na tabliczce znamionowej pseudo wyświetlaczem LCD – NEO – czujnikiem pola magnetycznego. NEO – polega na wykorzystaniu struktury domenowej, przy pomocy odpowiedniej matrycy (sztancy) tworzy się paski magnetyczne – proste linie. Magnes powoduje wymazanie symbolicznego kodu z paska.

Uzasadnianie i udowadnianie odbiorcy kradzież energii z użyciem magnesu neodymowego

Nie da się w żaden sposób udowodnić, że uszkodzenie licznika było celowe i nastąpiło w wyniku zbliżenia magnesu neodymowego. Nie ma bowiem żadnych śladów za wyjątkiem rozmagnesowanego magnesu hamującego tarczę obrotową. Nie ma również naukowego uzasadnienia tezy, że każde powstanie dodatniego uchybu licznika jest spowodowane działaniem na licznik magnesem neodymowym.

Z drugiej strony przemagnesowanie magnesu hamującego nie może nastąpić w żaden inny sposób podczas jego prawidłowej eksploatacji za wyjątkiem silnego uderzenia, a to nie zdarza się przypadkiem. W takiej sytuacji można zostać ukaranym za uszkodzenie licznika. Należy pamiętać, że:

- Każdy licznik jest legalizowany w obecności pracownika Urzędu Miar, dlatego odbiorca nie może tłumaczyć się, że trafił na wadliwy egzemplarz. Protokół z wynikami z legalizacji licznika jest przechowywany w spółce dystrybucyjnej i OUM.
- Każde zgłoszenie większego poboru połączone z błędami większymi niż +10% jest sygnałem do wszczęcia postępowania i wysunięcia podejrzenia stosowania kradzieży energii z użyciem magnesu neodymowego.
- Jeżeli licznik błędnie zlicza energię zostaje zdjęty i wysłany do kontroli. Każdy monter ma obowiązek dowieźć licznik nie uszkodzony. Odbiorca nie może tłumaczyć się, że licznik został uszkodzony podczas transportu.

Jeżeli ktoś ma licznik na posesji to ma obowiązek zabezpieczyć licznik, nawet jeżeli mają do niego dostęp osoby trzecie.

Na rynku pojawiają się już urządzenia pomagające wstępnie identyfikować, czy dany licznik był poddany działaniu magnesu neodymowego. Jednym z takich urządzeń jest wskaźnik-WMN-1 opracowany przez firmę Energopomiar-Elektryka. Jeżeli licznik został poddany takiemu działaniu, urządzenie sygnalizuje ten fakt przez zaświecenie czerwonej diody LED.

Niektórzy odbiorcy kiedy zorientują się, że po działaniu magnesem neodymowym licznik energii dużo szybciej zlicza energię uszkadzają licznik i proszą o jego wymianę. Wtedy jest on wymieniany na koszt odbiorcy. Dla licznika, który został mechanicznie mocno uszkodzony nie wykonuje się ekspertyzy.

Zakończenie

Na dzień dzisiejszy nie ma prostej recepty na rozwiązanie tego problemu. Nie wchodzi w grę wymiana zamontowanych już u odbiorców liczników, które są wrażliwe na działanie silnych pól magnetycznych pochodzących od magnesów neodymowych. Jest to bowiem kwestia ogromnych nakładów finansowych i pracy, na które spółek obecnie nie stać [29]. Pomimo tego, że dostawcy energii posiadają dużą wiedzę na temat skutecznego wykrywania kradzieży energii z wykorzystaniem magnesów neodymowych nie znaczy to, że wiedza ta jest zawsze stosowana.

Wiedza nt. wykrywania kradzieży energii skutecznie zniechęca odbiorców do podejmowania prób.

Niezależnie od tego, czy łatwo, czy trudno jest udowodnić kradzież energii nieuczciwym odbiorcom trzeba powiedzieć, że stosowanie w tym procederze magnesów neodymowych stało się poważnym problemem, ze względu na skalę zjawiska i łatwość kradzieży. Przecież wystarczy kupić na bazarze magnes neodymowy za 50 zł i przyłożyć do licznika, a to przecież nawet dziecko potrafi. A działanie magnesem na licznik nie pozostawia na zewnątrz żadnych śladów. I jak nie skorzystać z tego dobrodziejstwa, przecież to takie proste...

Kradzież energii przy użyciu magnesów neodymowych może bardzo mocno zakłócić dane pomiarowe i utrudnić lub nawet uniemożliwić analizowanie różnicy bilansowej w całym podobszarze sieci w polu transformatora. Jeżeli przy użyciu magnesu licznik wolniej zlicza energię, to łatwiej jest w sposób analityczny wykryć taką kradzież. Jeżeli jednak nieuczciwy odbiorca będzie okresowo przykładał magnes, żeby zatrzymać licznik, a następnie co pewien czas zabierał go, to można będzie zaobserwować zaburzenie danych pomiarowych. Odbiorca przewidując wizytę inkasenta będzie przecież usuwał magnes od licznika, ponieważ w przeciwnym razie inkasent od razu stwierdzi kradzież energii. Przez pewien czas dane będą zerowe, innym razem większe niż rzeczywiste zużycie energii i w konsekwencji dodatnią różnicę bilansową i ujemne straty. Obserwując taki profil łatwo jest podejrzewać odbiorcę o kradzież energii, natomiast trudniej jest zaprząć do tego komputer, który dokonywałby wyliczeń wg określonych algorytmów.

Wymieniono jedynie niektóre przypadki kradzieży energii. Można by mnożyć opisy poszczególnych przypadków nielegalnego poboru, ale nie chodzi o to, by nimi kogokolwiek inspirować.

Kwalifikacja prawna czynu

Wiele lat nielegalny pobór energii posiadał kwalifikację prawną jako wykroczenie. Doprowadziło to znacznego wzrostu tego zjawiska i stałego wzrostu strat przedsiębiorstw dystrybucyjnych. Dopiero wprowadzenie w 1998 roku zmiany kwalifikacji prawnej nielegalnego poboru energii jako przestępstwo, podlegający społecznemu obowiązkowi zgłoszenia do prokuratury i organów ścigania stało się najbardziej pomocne w skutecznym

zwalczaniu tego zjawiska. Zmiana kwalifikacji czynu została dokonana w 1997 roku na podstawie nowelizacji Kodeksu Karnego [24].

Problemy ekonomiczne i prawne

Z innej strony jednak patrząc w samych spółkach dystrybucyjnych często pojawia się pytanie: czy opłaca się ścigać odbiorców nielegalnie pobierających energię? I nie jest to banalne pytanie... Spółka dystrybucyjna jest podmiotem gospodarczym, który żyje z marży. Kupuje energię taniej, sprzedaje drożej. Straty (techniczne i handlowe) uwzględnione są w taryfie jako koszty uzasadnione. Koszty nielegalnego poboru traktowane jako koszty uzasadnione (straty) pokrywają de facto wszyscy odbiorcy.

Jeżeli zostanie wykryty i ukarany odbiorca, który kradnie energię (zapłaci za nielegalny pobór) to za tę energię zakład energetyczny opłatę pobiera dwukrotnie. Po pierwsze jest ona uwzględniona w taryfie jako straty, po drugie odbiorca, któremu udowodniono nielegalny pobór płaci karę (za kradzież oraz za oszacowaną wartość nielegalnie pobranej energii).

Jeżeli straty handlowe (w tym kradzież energii) nie byłoby uwzględnione w taryfie, to spółka dystrybucyjna ponosiłaby corocznie stratę finansową, która w końcu groziłaby bankructwem. Z drugiej strony, jeżeli jest to uwzględnione w taryfie, to nie jest w interesie dostawcy energii ściganie nielegalnego poboru. I tak płacą za to wszyscy klienci. Dostawca ponosi koszty ścigania kradzieży energii, otrzymuje za to opłaty za nielegalny pobór, które pokrywają koszty funkcjonowania komórki ds. ścigania kradzieży. Potem, przy zatwierdzaniu taryfy, wykazuje mniejsze straty, więc ma dostosowaną do nich odpowiednią taryfę, a w konsekwencji tańszą energię i niższe przychody. Koszty wykrywania kradzieży ponosi spółka dystrybucyjna, zyski przypadają na wszystkich odbiorców (czyli dla spółki dystrybucyjnej nie są odczuwalne). Do lipca 2007 roku koncerny energetyczne, utworzone przez połączenie działających na danym obszarze zakładów energetycznych, praktycznie są monopolistą w dostarczaniu energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych.

Problem stanowi również sama definicja nielegalnego poboru energii elektrycznej. Wg taryf jest to m.in. pobór energii bez zawarcia umowy z dostawcą. Takie zdefiniowanie ma jednak swoje mankamenty. Załóżmy, że w mieszkaniu mieszka małżeństwo. Umowa na dostarczenie energii elektrycznej zawarta jest na męża. Mąż umiera, a żona nie przepisze licznika na siebie. Nadal jednak pobiera energię elektryczną i za nią płaci. W myśl prawa

pobiera ona energię bez zawarcia umowy (czyli nielegalnie) i powinna być obciążana (w myśl zapisów w taryfie) dodatkowymi opłatami.

Przy eliminowaniu kradzieży energii należy jednak założyć, że nie będziemy mieli do czynienia z naciskami politycznymi. Taka sytuacja zdarzyła się w Biłgoraju w lipcu 2004 roku. Pracownik zakładu energetycznego – odkrył, że zastępca burmistrza Józefowa kradnie prąd. Zastępca burmistrza wciąż sprawuje swój urząd, a energetyk po 37 latach stracił pracę w Rejonowym Zakładzie Energetycznym w Biłgoraju.

Zaniedbania zakładów energetycznych

Poważnym problemem jest również dość luźna interpretacja przepisów prawa lub ich nieprzestrzeganie przez zakłady energetyczne.

Raport NIK [28] wykazał, że w dwóch spółkach dystrybucyjnych w 2004 wyboru odbiorców energii elektrycznej do kontroli dokonywały podmioty gospodarcze, którym zakłady zleciły wykonywanie kontroli. Jest to sprzeczne z obowiązującym prawem [34 §6 pkt. 1]. Przywołany przepis upoważnia wyłącznie przedsiębiorstwo energetyczne do ustalania miejsca kontroli, ze wskazaniem odbiorcy ponieważ wskazywanie odbiorcy do kontroli, jest przetwarzaniem danych osobowych, dopuszczalnym jedynie w przypadkach określonych w art. 23 ust. 1 ustawy z 29 sierpnia 1997 r. o ochronie danych osobowych. Przewiduje on przetwarzanie danych osobowych jedynie wtedy, gdy jest to niezbędne dla zrealizowania uprawnienia wynikającego z przepisu prawa.

Ponadto Raport NIK [28] donosi, że z ogólnej liczby stwierdzonych 26 tysięcy kradzieży o ponad 18 tysiącach przypadków zakłady energetyczne nie zawiadomiły Policji ani prokuratury. Stanowiło to naruszenie obowiązków określonych w art. 304 § 1 ustawy Kodeks postępowania karnego (Dz.U. z 1997 r. Nr 89 poz. 555 ze zm.).

Dodatkowo stwierdzono systematycznie obniżającą się skuteczność windykacji opłat od sprawców nielegalnego poboru [28]. W 2001 roku ściągalność opłat naliczonych za kradzież energii wynosiła ona 73,6 %, natomiast w 2003 już tylko 67,3 %.

Prawidłowa kontrola układu pomiarowego u odbiorcy

Prawidłowo przeprowadzona kontrola, tak jak i jej reklamacja, są prawnymi środkami do dochodzenia prawdy. Służy zabezpieczeniu interesów dostawcy i odbiorcy energii (wobec prawa wygląda to następująco, cytat z orzeczenia Sądu Najwyższego: *Mimo równorzędności*

stron, znamiennej dla stosunku cywilno prawnego pozycja dostawcy energii została z mocy ustawy (...) wzmocniona.) oraz sprawdzeniu prawidłowego działania licznika i jego zabezpieczeń, mechaniki. Każdy odbiorca powinien znać swoje prawa. Można określić je w punktach:

1. Kontrolujący, bez wezwania, muszą okazać legitymację służbową oraz pisemne upoważnienie [30 art. 6 pkt. 2]
2. Zespół kontrolujący musi składać się co najmniej z dwóch osób [34 §5 ust. 1]
3. Przy kontroli musi być obecny odbiorca lub osoba przez nią upoważniona [34 §10].
4. Protokół z kontroli musi być sporządzony w dwóch egzemplarzach [34 §13 ust. 2]
5. Czas odpowiedzi na reklamację to 14 dni od kontroli zgodnie z rozporządzeniem [33 §33 p. 8].
6. Badanie licznika musi się odbyć w ciągu 14 dni na wniosek reklamującego [33 §37 ust. 2].
7. W ciągu 30 dni od daty otrzymania wyników ekspertyzy można odwołać się od niej i żądać przeprowadzenia dodatkowej ekspertyzy [33 §37 ust. 4].
8. Odbiorca może dostać wynik tej ekspertyzy [33 §37 ust. 4].
9. Kontrolujący są w obowiązku poinformować o prawach osób kontrolowanych (czasie trwania reklamacji, badania, kosztach itp.)

Dodatkowo:

10. Kontrola licznika może być przeprowadzona w obecności świadka i wtedy powinno to być opisane w protokole
11. Odbiorca ma również prawo żądać od przedsiębiorstwa energetycznego laboratoryjnego sprawdzenia prawidłowości działania układu pomiarowo – rozliczeniowego, które powinno być przeprowadzone w ciągu 14 dni od dnia zgłoszenia [33 § 36 ust. 2].

Raport NIK [28] donosi, że analiza 45 losowo wybranych akt kontroli podczas których stwierdzono nielegalny pobór energii elektrycznej (4,5% ogółu kontroli stwierdzających kradzież energii) przeprowadzonych w okresie początek 2001 - czerwiec 2004 przez przedstawicieli ZE w Białymstoku, wykazała iż:

- w 15 przypadkach (33,3% badanych) kontroli dokonano bez upoważnień do kontroli,
- w 4 przypadkach (8,8% badanych) jeden z 2 pracowników uczestniczących w kontrolach nie posiadał wymaganej legitymacji przedstawiciela przedsiębiorstwa energetycznego,
- w 21 protokołach (26,7% badanych) nie określono podstawy prawnej kontroli.

Dodatkowo w wyniku 2 kontroli objętych badaniem (4,4%) zaniżono (łącznie o 1.184 zł) opłaty naliczone w następstwie ujawnionych nielegalnych poborów energii [28].

Konsekwencje dla odbiorców kradnących energię

Nieuczciwi odbiorcy muszą wiedzieć, że czeka ich wiele przykrości – układ pomiarowy (licznik) przenoszony jest na zewnątrz mieszkania – uniemożliwia to manipulacje na odcinku przed licznikiem, a przyłącze wymieniane jest na izolowane. Oczywiście koszt tych operacji – ok. 3-5 tys. zł obciąża odbiorcę. Do tego dochodzi kara przewidziana w taryfie – nie mniej niż 2 tys. zł. Konsekwencje, jak widać, są więc bardzo dotkliwe.

Odpowiedzialność karna za kradzież energii elektrycznej przewidziana została w art. 278 §§ 1 i 3 w związku z § 5 ustawy Kodeks karny. Kradzież energii elektrycznej jest przestępstwem zagrożonym karą pozbawienia wolności od 3 miesięcy do lat 5. W przypadku mniejszej wagi, sprawca kradzieży energii podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do roku. Kradzież energii elektrycznej jest przestępstwem bez względu na wartość skradzionej energii [patrz uchwała Sądu Najwyższego z 13 grudnia 2000 r. I KZP 43/00.]. [28]

Stosownie do przepisów [art. 304 § 1 ustawy Kodeks postępowania karnego], każdy dowiedziawszy się o popełnieniu przestępstwa ściganego z urzędu ma społeczny obowiązek zawiadomić o tym prokuratora lub Policję [28].

Coraz częściej odbiorcy, którzy kradli prąd mają założone liczniki przedpłatowe.

Sposoby obrony odbiorców w przypadku stwierdzenia u nich nielegalnego poboru energii

Działania zmierzające do pokrycia kosztów nielegalnego poboru napotykają na szereg przeszkód ze strony nielegalnych odbiorców. Jedną z form obrony dłużnika jest przed roszczeniami przedsiębiorstwa jest wytoczenie powództwa o ustalenie nieistnienia wierzytelności z tytułu nielegalnego pobierania energii [1].

Sposoby w jakie odbiorca może wykazać nieistnienie należności z tytułu nielegalnego poboru [1]:

1. może zażądać ustalenia faktu prawotwórczego, z którego w sposób bezpośredni wynika roszczenie.

2. może kwestionować podstawę prawną naliczenia opłaty za nielegalny pobór lub wysokość samej opłaty.
3. może udowodnić nieistnienie należności np. przez powołanie się na okoliczności wyłączające winę odbiorcy.

Pracownicy zakładów energetycznych muszą pamiętać, że protokół kontroli nie może zostać uznany za wyłączny dowód zaistnienia nielegalnego pobierania energii. Inne, bardzo istotne to np. zeznania osób kontrolujących, sporządzone fotografie, oględziny zabezpieczonych elementów instalacji. Czasem będzie konieczne sporządzenie opinii przez biegłego, np. w celu potwierdzenia ingerencji w działanie mechanizmu licznikowego.

Klasyfikacja metod kradzieży

Kradzież energii elektrycznej może odbywać się na różne sposoby:

1. Odbiorca może wszystkie swoje odbiory podłączyć do sieci z pominięciem licznika elektrycznego, ale taka sytuacja jest bardzo łatwa do wykrycia. Jego licznik będzie wykazywał zerowe lub nieprawdopodobnie małe zużycie energii. Analogiczna sytuacja będzie wtedy, jeżeli odbiorca zablokuje na stałe tarczę obrotową licznika indukcyjnego lub wtedy, gdy zewrze styki obwodu prądowego licznika.
2. Odbiorca może podłączyć jako nielegalny odbiór jakieś urządzenia dodatkowe. Taka sytuacja jest bardzo trudna do wykrycia, jeżeli bierze się pod uwagę jedynie odczyty z licznika. Nielegalny pobór może mieć wartość stałą (np. po podłączeniu grzejnika lub ogrzewania podłogowego) lub zmienną (np. po podłączeniu urządzeń z garażu lub z piwnicy).
3. Część odbiorników w pewnym momencie może zostać przełączona do sieci z pominięciem licznika energii, w skutek czego ilość legalnie pobieranej energii przez odbiorcę ulegnie zmniejszeniu. Analogiczna sytuacja będzie miała wtedy, gdy odbiorca będzie hamował tarczę obrotową licznika.
4. Odbiorca może korzystać z magnesu neodymowego w celu spowolnienia lub całkowitego zatrzymania zliczania energii przez licznik. Zmienia to pomiary w taki sposób, że przez większość czasu są one minimalne lub zerowe, a zwiększają się jedynie w okresie odczytu licznika przez inkasenta (odbiorca usuwa magnes neodymowy od licznika, ponieważ w przeciwnym wypadku inkasent zauważyłby go i odbiorcy udowodniono by nielegalny pobór energii).

5. Osobnym przypadkiem są kradzieże energii przez osoby bardzo ubogie, które nie stać na płacenie za energię elektryczną rachunków normalnej wysokości. Nie ukrywają, że nielegalnie pobierają prąd. Nie mają jednak czym płacić. Można wymienić tu np. kradzieże przez osoby, które mają zdemontowany licznik energii elektrycznej w wyniku nieopłacenia rachunków lub wcześniej stwierdzonego nielegalnego poboru. Jest to problem społeczny (bieda). Niektóre spółki dystrybucyjne oczekują zatwierdzenia przez Urząd Regulacji Energetyki tzw. Taryfy socjalnej dla ludzi żyjących w ubóstwie.

Zmowa odbiorcy z inkasentem jest innym typem kradzieży, ale przypadek ten nie będzie występował w systemie pomiarowym zdalnie odczytującym liczniki.

Weryfikacja danych pomiarowych

W spółkach dystrybucyjnych rzadko kiedy dane pomiarowe są szczegółowo weryfikowane. Najczęściej zakłada się, że wartości energii wskazywane przez licznik i odczytane do systemu pomiarowego są prawidłowe. Aby wykorzystać te dane np. do szczegółowej analizy i wykrywania miejsca nielegalnego pobierania energii trzeba być świadomym, że nie zawsze są one poprawne i te nieprawidłowości można wychwycić.

Można wyróżnić różne przyczyny zaburzenia danych pomiarowych:

1. niewłaściwe podłączenie lub zaprogramowanie urządzenia pomiarowego (np. mnożnych, daty i godziny, rozkładu stref czasowych),
2. uszkodzenie urządzenia pomiarowego,
3. przekłamania podczas odczytu danych pomiarowych,
4. działanie na licznik silnym polem magnetycznym np. magnesem neodymowym,

Weryfikacja może być wykonana przez:

1. porównanie wielkości energii wskazywanej przez pomiar podstawowy i rezerwowy,
2. porównywanie wartości energii zmierzonej na dwóch końcach linii,
3. czytanie rejestrów licznika. Jeżeli na licznik odbiorca oddziałuje magnesem neodymowym, lub brak jednej fazy, informacje o tym zapisywane są w logach nowszych urządzeń.
4. porównanie warunkami technicznymi (znając moc transformatora i przyłącza można z góry wykluczyć możliwość wystąpienia przepływu pewnych wartości energii).
5. ocenę dokonywaną przez eksperta – pracownika zakładu energetycznego. Niejednokrotnie w zakładach, gdzie dokonuje się weryfikacji danych, osoba analizująca

dane – ekspert, który ma wieloletnie doświadczenie, jest w stanie bardzo szybko określić, czy dana wartość poboru energii elektrycznej w danej lokalizacji mogła mieć miejsce. Zazwyczaj zna on bieżącą konfigurację sieci oraz rodzaj pracy odbiorców zasilanych z danego miejsca, a także ich orientacyjny profil.

Niestety rzadko kiedy weryfikacja jest bardziej szczegółowa niż porównanie: pomiar podstawowy – pomiar rezerwowy, a niekiedy nawet takiej nie ma.

Przypadek wystąpienia małych skojarzonych źródeł energii

W rozpatrywanych układach nie znajdowały się małe skojarzone źródła energii. W przypadku wystąpienia ich, gdyby wprowadzały energię elektryczną do sieci nN zostałyby opomiarowane (do rozliczeń ze spółką dystrybucyjną) i w wyliczaniu wartości różnicy bilansowej należałoby wartość energii z tych źródeł dodawać do zużycia energii wskazywanego przez licznik bilansujący. W takich sytuacjach mógłby mieć miejsce przepływ energii biernej, który powodowałby zwiększenie strat obciążeniowych w sieci. Nie można byłoby go jednak wyliczyć ponieważ w rozpatrywanym układzie założono mierzenie jedynie zużycia energii czynnej.

Jeżeli małe skojarzone źródła energii nie wprowadzałyby energii do sieci, tylko z odbiorcami byłyby połączone odrębną instalacją, mogłyby spowodować zaburzenie profilu dobowego odbiorców zasilanych z tych źródeł. Nie miałyby jednak żadnego wpływu na wartość różnicy bilansowej w podobszarze sieci transformatora.

Krytyczny przegląd literatury

W literaturze wiele miejsca poświęca się zagadnieniom wyliczania strat energii elektrycznej w sieciach nN. Metod jest wiele, natomiast stosunkowo rzadko robi się dokładne badania, weryfikujące te metody, ponieważ są one stosunkowo kosztowne i nie zapowiadają obiecujących sposobów ograniczenia strat.

Wiedza na temat strat przydaje się przy planowaniu nowych instalacji lub przy okresowej wymianie przewodów lub liczników, ale nawet wtedy nie zawsze najlepsze inwestycje są opłacalne. Jak dotychczas spółki dystrybucyjne te straty energii mogą wliczyć w koszty uzasadnione i uwzględnić w taryfie, obciążając ich kosztem odbiorców energii.

Natomiast niewiele jest szczegółowych opisów metod wykrywania nielegalnego poboru. Nie wynika to z faktu, że nie ma takich sposobów, tylko z tego, że nie są one niezawodne. Pracownicy spółek dystrybucyjnych niechętnie dzielą się wiedzą na ten temat. Wynika to z faktu, że odbiorca kradnący energię, znając te metody, może uniemożliwić wykrycie u siebie tego procederu.

Krótki przegląd metod obliczania strat w sieciach nN

Obecny stan wiedzy dotyczący metod do wyliczania strat w sieciach nN [24]:

- metody stosujące równania regresji
- metody zespołu prof. Horaka,
- metoda opracowana na Politechnice Warszawskiej.

Metody stosujące równania regresji

Metody te bazują na wieloletniej statystyce całkowitych strat energii. Były one stosowane we wszystkich SD. W każdej z tych metod zdarzały się jednak wyniki nie do zaakceptowania przez niektóre SD. Metody te nie są stabilne – współczynniki równań regresji wyznaczone na podstawie statystyk strat z różnych lat znacznie się różnią [24].

Metody zespołu prof. J.Horaka (Politechnika Częstochowska)

a) Straty w licznikach [MWh]

$$(1) \quad \Delta E_L = T_a \cdot 10^{-6} (1,5n_{L1} + 4,0n_{L3})$$

gdzie:

T_a - czas (okres), za jaki straty są analizowane [h],

n_{L1} - liczba liczników 1-fazowych [szt],

n_{L3} - liczba liczników 3-fazowych [szt],

b) Straty w przyłączach [MWh]

$$(2) \quad \Delta E_p \cong 0,003 \cdot E_n$$

gdzie:

E_n - energia przepływająca przez sieć [MWh],

c) Straty w WLZ

$$(3) \quad \Delta E_{wlz} \cong 0,003 \cdot E_n$$

gdzie:

E_n - energia przepływająca przez sieć [MWh],

d) Upływ w linii 3-faz.

$$(4) \quad \Delta E_{um} = T_a \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot L_n$$

gdzie:

L_n - całkowita długość linii 3-fazowej nN [km],

T_a - czas (okres), za jaki straty są analizowane [h],

e) Obciążeniowe w sieci wiejskiej

$$(5) \quad \Delta E_o = \frac{E^2 L}{s_{hr} F^2} \cdot \frac{(2t_s + 1)k_{LN}k_v}{U_r^2 \cos^2 \varphi_r n_L^2 t_s}$$

$$(6) \quad t_s = \frac{T_{sa}}{T_a}$$

gdzie:

- E - energia pobierana z sieci w ciągu roku [MWh],
- L - długość linii tworzących sieć [km],
- t_s - względny czas trwania obciążenia szczytowego,
- F - liczba stacji SN/nN zasilających sieć nN [szt],
- n_L - średnia liczba wyjść ze stacji (wartość średnia = 2,77),
- s_{hr} - średni handlowy przekrój linii [mm²],
- U_r - średnie roczne napięcie na zaciskach odbiorów [kV],
- $\cos \varphi_r$ - średni roczny współczynnik mocy na zaciskach transformatorów,
- k_v - współczynnik uwzględniający rozbieżność szczytów,
- k_{LN} - współczynnik poprawkowy

f) Obciążeniowe w sieci miejskiej

$$(7) \quad \Delta E_o = \frac{E^2}{s_{hr} L F^2} \cdot \frac{\chi^2 A (2t_s + 1) k_{a\Delta P}}{0,75 \cdot T_a t_s U_r^2 \cos^2 \varphi_r \delta_s k_{rL}}$$

gdzie:

- E - energia pobierana z sieci w ciągu roku [MWh],
- χ - współczynnik idealizacji obszaru i sieci (~3,1)
- L - długość linii tworzących sieć [km],
- A - obszar [km²],
- $K_{a\Delta P}$ - współczynnik uwzględniający wzrost strat spowodowany asymetrią faz (wartość średnia = 1,34),
- t_s - względny czas trwania obciążenia szczytowego,
- F - liczba stacji SN/nN zasilających sieć nN [szt],
- n_L - średnia liczba wyjść ze stacji (wartość średnia = 2,77),
- s_{hr} - średni handlowy przekrój linii [mm²],
- U_r - średnie roczne napięcie na zaciskach odbiorów [kV],
- $\cos \varphi_r$ - średni roczny współczynnik mocy na zaciskach transformatorów,
- k_v - współczynnik uwzględniający rozbieżność szczytów,
- k_{rL} - współczynnik rezerwy linii (wartość średnia = 0,8),
- δ_s - współczynnik wykorzystania przekrojów (wartość średnia = 1,00),

Metoda opracowana na Politechnice Warszawskiej

Metoda pomija straty w transformatorach oraz straty napięciowe. Straty techniczne wylicza się za pomocą wzoru:

$$(8) \quad \Delta E_t = \Delta E_{ol_nN} + \Delta E_{licz} + \Delta E_{pwłz}$$

gdzie:

ΔE_{ol_nN} - obciążeniowe straty energii w liniach niskiego napięcia (łącznie ze stratami powodowanymi asymetrią napięć i obciążeń),

ΔE_{licz} - straty energii w licznikach,

$\Delta E_{pwłz}$ - obciążeniowe straty mocy w przyłączach i wewnętrznych liniach zasilających,

Obciążeniowe straty energii w liniach niskiego napięcia określany z następujących wzorów:

$$(9) \quad \Delta E_{ol_nN} = \Delta P_{max} \cdot \tau_{str}$$

$$(10) \quad \tau_{str} = \frac{2}{3} T_s$$

$$(11) \quad T_s = \frac{E_{nN}}{P_{max}}$$

gdzie:

P_{max} - maksymalne obciążenie roczne stacji,

T_s - czas użytkowania mocy szczytowej w przyjętym okresie rozliczeniowym,

τ_{str} - czas występowania maksymalnych strat obciążeniowych w przyjętym okresie rozliczeniowym,

ΔP_{max} - maksymalne straty obciążeniowe w sieci,

E_{ol_nN} - energia sprzedana odbiorcom na niskim napięciu,

Algorytm wyznaczania strat w sieciach nN:

- a) estymacja dobowych obciążeń szczytowych
- b) wyznaczenie rocznych obciążeń szczytowych stacji
- c) ustalenie obciążeń sieci nN
- d) weryfikacja strat technicznych na podstawie strat mocy w liniach nN, licznikach, przyłączach i włz. Postępowanie jest prowadzone w sposób iteracyjny,
- e) wyznaczenie strat handlowych = energia bilansu – wyliczone wcześniej straty techniczne

Krótki przegląd analitycznych metod wykrywania nielegalnego poboru energii na nN

W SD podejmowane są przeróżne próby, by wykryć nielegalny pobór energii. Każde podejście ma zalety i wady. Poniżej opisano niektóre analityczne metody (m.in. opierające się na analizie wskazań liczników lub poboru energii) stosowanych w tym celu [3].

Na rynku nie ma sprawdzonych systemów zajmujących się wykrywaniem nielegalnego poboru. Pracownicy niektórych firm twierdzą, że znaleźli sposób, aby z dużym prawdopodobieństwem wskazać odbiorcę, który kradnie prąd. Jednakże nie opisali szczegółowej metody postępowania, dzięki czemu można byłoby empirycznie zweryfikować (potwierdzić lub zaprzeczyć) jej skuteczność. Brak szczegółowego opisu algorytmu raczej świadczy o jego braku, niż o dbaniu o prawa firmy do zastosowania go. Gdyby istniał taki system zapewne zrobiłoby się o nim głośno i zostałby wdrożony we wszystkich zakładach energetycznych.

Innym problemem jest to, że nawet jeżeli intuicyjnie wydaje się, że analitycznie można z dużym prawdopodobieństwem dokonać obliczeń z wynikiem wskazującym na to, że jakiś licznik pokazuje zaniżony pobór energii, brakuje rzeczywistych danych pomiarowych, które mogłyby posłużyć do zweryfikowania danego sposobu. Pozyskiwanie takich danych od odbiorców indywidualnych jest trudne i kosztowne.

Przy obecnym stanie wiedzy można stwierdzić, że:

- metody analityczne wymieniane są raczej ogólnikowo, jedynie z podaniem funkcji matematycznych (głównie statystycznych) służących do określenia prawdopodobieństwa nielegalnego poboru u danego odbiorcy,
- nawet jeżeli firmy informatyczne uważają, że posiadają analityczną metodę wykrywania nielegalnego poboru, w zasadzie nie zdarzyło się, by podczas eksploatacji jakiś system wykrył nielegalny pobór. Jest mało prawdopodobne, by istniał skuteczny algorytm i był gdzieś wdrożony.

Dotychczas najczęściej stosowana metoda wykrywania miejsca kradzieży energii (nieuczciwego odbiorcy) wygląda następująco: jeżeli pracownikom spółki dystrybucyjnej wydaje się, że w danym podobszarze sieci w polu transformatora zaczyna ubywać energii, przy transformatorze zakłada się półpośredni licznik bilansujący. Ponieważ zdarza się, że czasami nie udaje się odczytać niektórych liczników np. z powodu nieobecności odbiorców dopiero po kilku okresach rozliczeniowych (odczytowych) widać, jakiego rzędu jest różnica

bilansowa. Wtedy można podjąć stosowne kroki, żeby rozpocząć poszukiwania miejsc kradzieży energii.

Metody oparte na liczeniu różnicy bilansowej

Metody oparte na porównywaniu sumy wskazań liczników z licznikiem kontrolnym (bilansującym) są przekonujące co do zawężenia kręgu podejrzanych osób jak i sprawdzenia wskazań licznika konkretnego odbiorcy. Różnica bilansowa jest to podstawowy i najważniejszy wskaźnik mówiący o tym, że ma miejsce kradzież energii.

Metoda licznika kontrolnego (tradycyjna)

Polega na założeniu dodatkowego licznika kontrolnego, by wykazać, że licznik odbiorcy wskazuje zaniżoną wartość kWh.

W ścisłym tego pojęcia znaczeniu nie służy ona do wykrywania miejsca nielegalnego poboru, a udowadniania kradzieży energii. Do tego, że dany odbiorca kradnie energię i że to właśnie u niego trzeba założyć licznik kontrolny dochodzi się stosując inne metody.

Zalety:

- o ta metoda jest skuteczna teoretycznie, choć słaba praktycznie. Często stosowana do udowodnienia kradzieży.

Wady:

- o Wadą tej metody jest założenie, że nielegalne przyłącze znajduje się pomiędzy licznikiem odbiorcy a miejscem, gdzie planuje się założenie licznika kontrolnego lub licznik odbiorcy jest uszkodzony i pokazuje niewłaściwą ilość energii,. Dla skontrolowania odbiorcy potrzebny jest czas najpierw do wysunięcia podejrzenia, że to właśnie on może kraść energię. Następnie po założeniu licznika kontrolnego musi minąć okres obrachunkowy, by można było porównać zużycie energii wskazywane przez dwa liczniki: podejrzanego odbiorcy i kontrolny. Jeżeli jednak odbiorca korzysta z nielegalnego przyłącza w innym miejscu licznik kontrolny nie wykaże niezgodności wskazań licznika odbiorcy.
- o Muszą istnieć techniczne warunki do założenia licznika kontrolnego,
- o Odbiorca nie może zorientować się, ani nawet podejrzewać, że ma założony licznik kontrolny. W przeciwnym wypadku nie będzie korzystał z urządzeń podłączonych do nielegalnego przyłącza i licznik kontrolny nie wskaże większego poboru energii przez odbiorcę niż jego licznik.

Układ wielu równań

$$E_{licz.bilans} = E_1 + \epsilon_{E1} + E_2 + \epsilon_{E2} + E_3 + \epsilon_{E3} + \dots + E_{s.tech.} + E_{s.hand.}$$

Na pierwszy rzut oka układ równań z różnych godzin powinien być kluczem do rozwiązania problemu.

Zalety:

- o teoretycznie możliwość wykrywania nielegalnego poboru bez żadnej ingerencji w istniejącą sieć nN, jedynie korzystając z obróbki danych.

Wady:

- o metoda zakłada stały nielegalny pobór w rozpatrywanych okresach, a nie ma żadnej pewności co do powtarzalności tychże wielkości w różnym czasie,
- o uwzględniając przemienność w dodawaniu wzór mógłby mieć postać:

$$E_{licz.bilans} = E_1 + E_2 + E_3 + \epsilon_{E1} + \epsilon_{E2} + \epsilon_{E3} + \dots + E_{s.tech.} + E_{s.hand.}$$

Widać z tego, że analitycznie wg tego wzoru nie da się wyliczyć faktycznej wartości nielegalnie pobieranej energii przez danego odbiorcę (czyli poszczególnych składowych: ϵ_{E1} , ϵ_{E2} , ϵ_{E3} ...).

Metoda wędrującego licznika bilansującego

Metoda może być stosowana przy użyciu systemów typu AMR (np. System NETPAF XP). Oparta jest ona o algorytm postępowania metody tradycyjnej.

Przy transformatorze SN/nN znajduje się jeden licznik bilansujący dla wszystkich liczników odbiorczych. Jeżeli liczniki nie bilansują się to za pomocą dodatkowego licznika (który można łatwo przełączać w inne miejsce) dokonuje się częściowych bilansów.

System pomiarowy umożliwia odczytywanie liczników w cyklu piętnastominutowym. Na podstawie zebranych danych można sprawdzić, czy liczniki poprawnie bilansują. Jeżeli nie, to za pomocą dodatkowego licznika próbuje się bilansować podgrupę liczników np. piony lub klatki schodowe. Jeżeli znajdzie się pion, w którym liczniki nie bilansują się, licznik dodatkowy zostaje przełączony i bilansuje się np. poszczególne piętra. W ten sposób można

dojść do licznika z podejrzanymi wskazaniem. Nie trzeba czekać całego okresu obliczeniowego tak, jak to było w przypadku metody tradycyjnej.

Można wyobrazić sobie taką sytuację: podczas pomiarów osoba kradnąca energię wychodzi z domu wyłączając odbiorniki na legalnym przyłączy. Na podstawie wstępnych pomiarów stwierdziło się, w której bramie ktoś kradnie energię, ale robiąc bilanse na piętrach nie udaje się stwierdzić, na którym piętrze. W takich sytuacjach metoda będzie bezużyteczna.

W przypadku większego przedziału czasu metoda może przynieść bardzo dobre efekty.

Zalety:

- Zaletą metody jest szybkie dotarcie do miejsca, gdzie energia wypływa z pominięciem urządzeń pomiarowo-rozliczeniowych.

Wady:

- Nie wszędzie jednak istnieją techniczne możliwości (odpowiednia infrastruktura: brak szafek itp.) do zainstalowania licznika na dłuższy czas np. kilka dni, tydzień.
- Jeżeli szybko otrzymuje się niezbilansowanie dla danej grupy liczników to sprawa jest jasna. Natomiast można wyobrazić sobie przypadek, że po stwierdzeniu niezbilansowania się liczników na określonej klatce schodowej próbuje się wykonać bilanse na piętrach i akurat podczas wykonywania pomiarów wszystkie wychodzą poprawnie. Trudno jest wówczas powiedzieć jak długo należy czekać dla danej podgrupy liczników na ewentualne niezbilansowanie.

Cząstkowe Bilanse Pełzające

W literaturze [9] przedstawiana jest metoda podobna do **metody wędrującego licznika bilansującego**. Różni się ona od metody licznika wędrującego paroma elementami:

- zakłada stosowanie licznika bilansującego (kontrolnego) z cęgami, by można było łatwo przemieszczać dodatkowy licznik bilansujący,
- zakłada, że częściowe bilanse otrzymamy już po 15 minutach i potem można będzie robić kolejne podbilanse szukając miejsca nielegalnego poboru.

Zalety:

- teoretycznie może być bardzo skuteczna przy sprzyjających okolicznościach.

Wady:

- w Zakładach Energetycznych zazwyczaj pracuje się w godzinach 7 – 15 (wg rozporządzenia [34] kontrolę w lokalu mieszkalnym przeprowadza się w godzinach

od 7:00 do 20:00, z wyłączeniem dni ustawowo wolnych od pracy). Osoby z ZE zazwyczaj w tych godzinach mogą poszukiwać miejsca nielegalnego poboru energii. Ale osoba mająca „lewe” przyłącze w tych samych godzinach również może pracować. Jeżeli jej dom lub mieszkanie jest puste, najprawdopodobniej nielegalny pobór energii w tym czasie jest bardzo małej wartości, lub nie ma go wcale.

- Metoda opisana jest jako stosowana w systemie pomiarowym NETPAF XP. Dokładność tego systemu wynosi $\pm 0,01$ kWh. Kwadransowy pobór energii przez przeciętnego odbiorcę (gospodarstwo domowe) jest na poziomie $0,02 - 0,12$ kWh². Przez 15 minut dla 8-10 liczników dokładność jest na poziomie poboru jeszcze jednego odbiorcy. Dla 50 liczników błąd jest na poziomie poboru energii przez 6-8 odbiorców.
- Cęgi wprowadzają do pomiarów duży błąd. Przy tej dokładności błąd względny przekracza poziom nielegalnego poboru

Można zatem wysnuć wniosek, że spotykane tam stwierdzenie, że po 15 minutach można zbilansować liczniki i określić różnicę bilansową przy takiej dokładności, jest raczej chwytem marketingowym, a nie opisem postępowania na rzeczywistym obiekcie.

Metody, w których stosuje się funkcje statystyczne

Metody te nie prowadzą do konkretnego odbiorcy. Zawężają jednak zakres osób podejrzanych o kradzież energii.

Metody statystyczne

Metody [9] statystyczne wg wielkości, na podstawie której określa się licznik najbardziej odbiegający od pozostałych. Stosuje się tam następujące wskaźniki:

A. Miary zgodności

- średnia arytmetyczna
- wartości maksymalne
- wartości minimalne
- mediana
- wartość modalna

B. Miary dyspersji

- amplituda wahań (max-min)
- odchylenie przeciętne

² wartość podano na podstawie rzeczywistych poborów odbiorców w instalacji wiejskiej w Lipnicy Wielkiej, w której zainstalowany jest system odczytu liczników po sieci energetycznej

- o odchylenie standardowe
- o współczynnik zmienności³ V
- o współczynnik zmienności⁴ V_s

Metody polegają na badaniu podobieństw pomiędzy licznikami na podstawie wyliczonych ww. wskaźników. Metoda zakłada, że licznik, którego wskazania (profil) najbardziej odbiegają od wskazań pozostałych jest własnością odbiorcy, o którym z największym prawdopodobieństwem można powiedzieć, że kradnie energię.

C. Reguła 3-sigma

Metoda statystyczna oparta na regule 3-sigma zakłada, że rozkład ilości energii piętnastominutowej pobieranej przez licznik o różnych porach można opisać rozkładem normalnym. Metoda zakłada wyliczenie wartości oczekiwanej X , wartości odchylenia standardowego σ i sprawdzenie kolejno, czy w przedziale $\pm \sigma$ znajduje się 68,27 % wartości, $\pm 2\sigma$ znajduje się 95,45 %, $\pm 3\sigma$ znajduje się 99,73 % wartości.

Jeżeli w określonym przedziale (wg klucza $\pm \sigma \geq 68,27$ % wartości, $\pm 2\sigma \geq 95,45$ % wartości, $\pm 3\sigma \geq 99,73$ % wartości) nie znajduje się podana ilość pomiarów, to możemy mieć do czynienia z nielegalnym poborem.

Zalety:

- o teoretycznie możliwość wykrywania nielegalnego poboru bez żadnej ingerencji w istniejącą sieć nN, jedynie korzystając z analizy zebranych danych pomiarowych.

Wady:

- o Czy profil dobowy poboru energii można opisać za pomocą rozkładu normalnego? Przecież profil obciążenia nie jest kwestią przypadku. Wiadomo, że pobór w szczycie wieczornym o godzinie 18 jest dużo większy niż w dolinie nocnej o godzinie drugiej nad ranem. Profil można określić za pomocą złożonej funkcji, zatem zbiór wartości energii jakie otrzymamy jedynie w szczególnym przypadku można opisać za pomocą rozkładu normalnego.

³ Współczynnik zmienności jest miarą zróżnicowania rozkładu cechy. Współczynnik zmienności jest stosowany najczęściej przy porównywaniu zróżnicowania cechy w dwóch różnych rozkładach.

$$V = \frac{d}{\bar{x}}$$

⁴ Współczynnik zmienności jest miarą zróżnicowania rozkładu cechy. W odróżnieniu od odchylenia standardowego, które określa bezwzględne zróżnicowanie cechy, współczynnik zmienności jest miarą względną, czyli zależną od wielkości średniej arytmetycznej.

$$V_s = \frac{s}{\bar{x}}$$

- o Metoda zakłada, że odbiorcy mają podobne profile obciążeń. Jeżeli któryś odbiorca będzie kradł energię, to jego profil obciążenia będzie wyraźnie różnił się od pozostałych. Na tyle będzie on odmienny, że można będzie w wyniku obliczeń wskazać właśnie ten profil, jako zaburzony przez nielegalny pobór.
- o Metody te opierają się na założeniu, że używając określonych metod statystycznych można będzie określić profil obciążenia którego odbiorcy najbardziej różni się od pozostałych i w ten sposób wskazać go jako potencjalnego złodzieja. Czy jednak najbardziej nietypowy pobór energii musi oznaczać kradzież energii?

Metody taksometryczne

Oparta na metodzie statystycznej stosowanej w antropologii tzw. taksonomii wrocławskiej [9]. Polega na porównywaniu przyrostów piętnastominutowych na poszczególnych licznikach kolejno z każdym z pozostałych liczników. Licznik, którego suma poszczególnych odległości jest największa (najbardziej odbiega od pozostałych) uważa się jako odbiegający od pozostałych czyli taki, w którym możliwa jest potencjalna kradzież.

W metodzie tej stosuje się następujące wzory dla określenia odległości jako przeciętnej różnicy cech:

$$d(A, B) = \frac{|a_1 - b_1| + |a_2 - b_2| + |a_3 - b_3| + |a_4 - b_4|}{4}$$

$$d^x(A, B) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + \dots + (a_4 - b_4)^2}$$

gdzie: A i B są licznikami

Zalety:

- o teoretycznie możliwość wykrywania nielegalnego poboru bez żadnej ingerencji w istniejącą sieć nN, jedynie korzystając z obróbki danych.

Wady:

- o metoda zakłada podobieństwo pomiędzy przyrostami z poszczególnych liczników. W zasadzie za jej pomocą można określić (przynajmniej teoretycznie) licznik, którego wskazania odbiegają od pozostałych. Nie wiadomo na jakiej podstawie jest wyciągany wniosek, że odbiorca najbardziej różniący się od pozostałych w zużyciu energii (profilu) to potencjalny złodziej. Przykładowo można wyobrazić sobie wioskę w regionie o dużym bezrobociu, w której w prawie wszystkich domach na utrzymanie pracuje tylko

jeden z małżonków, a drugi przed południem ogląda telewizję. W takich rodzinach rzadko zdarzają się żarówki energooszczędne, a pralki i lodówki są starszego typu, nierzadko dziesięcio czy dwudziesto letnie. Przy założeniu, że w domku w takiej wiosce zamieszkuje rodzina inteligencka, gdzie 2 osoby pracują, dzieci dojeżdżają do miasta do szkoły. Dobowy profil obciążenia takiej rodziny odbiega od pozostałych. Ale czy ma to wiele wspólnego z nielegalnym poborem energii?

Metody oparte na obserwacji poboru energii

Metody te umożliwiają wskazanie podejrzanego miejsca nielegalnego poboru na podstawie nieprawidłowego analizy zużycia energii bądź dobowego profilu.

Metody analizy zużycia

W Vattenfall kontroluje się miesięczne pobory odbiorców. Jeżeli pobór któregoś z nich sukcesywnie maleje, wysuwa się podejrzenie, że ma miejsce nielegalny pobór i wysyła się tam kontrolę.

Zalety:

- Metoda często stosowana i dość skuteczna.

Wady:

- Trudno powiedzieć, że zmniejszenie zużycia energii wiąże się z kradzieżą energii. Najczęściej jest nielegalny pobór energii jest przyczyną zmniejszenia zużycia legalnie pobieranej energii.

Metody analizy profilu

Metoda analizy profilu umożliwia znalezienie miejsc, w których pobór energii jest większy niż wynikałoby to z mocy zainstalowanych odbiorników (np. opraw oświetleniowych)⁵. Przykład: na klatce schodowej zainstalowane są 4 oprawy oświetleniowe, w każdej żarówka 60 W. Po ich załączeniu moc wynosi 240 W. Przez 15 minut pobór energii powinien wynosić maksymalnie 0,06 kWh (jeżeli wszystkie byłyby załączone i świeciłyby przez cały kwadrans). Jeżeli pobór energii jest rzędu 0,15 kWh (i to w dzień) można podejrzewać, że mamy do czynienia z nielegalnym poborem energii.

Taka sytuacja występuje wtedy, gdy nieuczciwy odbiorca podłącza się np. do instalacji oświetlenia klatki schodowej. Kradnie energię. Instalacja ta jest opomiarowana. Zapłata

⁵ Taka sytuacja miała miejsce w jednej miejscowości, gdzie jest zainstalowany system typu AMR.

za energię pobrana na potrzeby oświetlenia (+ nielegalny pobór w tym przypadku) jest dzielony solidarnie na wszystkich mieszkańców klatki lub bloku. Zarządca te koszty wpisuje do czynszu mieszkańców. To nie jest jego problem. On widzi zużycie energii na liczniku, dzieli to na liczbę mieszkań. Dla dostawcy energii również nie jest to problem. Dostarcza energię, wystawia fakturę, za którą płaci zarządca. Nie jest zainteresowany wykrywaniem takiego nielegalnego poboru, ponieważ dla niego są to tylko koszty. Dostawca nie jest okradany. Nie jest to jego sieć. Należy ona do administracji budynkiem lub do wspólnoty lokatorskiej. Kradzież energii jednak występuje.

Zalety:

- Metoda umożliwia w prosty sposób znalezienie kradzieży energii

Wady:

- Spółki Dystrybucyjne nie są zainteresowane taką kradzieżą energii i jej wykrywaniem.

Metody psychologiczne

Spółki dystrybucyjne posiadają cały wachlarz metod psychologicznych, ale nie chcą dzielić się wiedzą na ich temat.

Metoda prowokowania

Jeżeli podejrzany o kradzież odbiorca mieszka w domku, na zewnątrz podłącza się amperomierz na linii idącej do odbiorcy. Następnie ostentacyjnie przed domem parkuje się samochód Spółki Dystrybucyjnej, z którego wychodzi kilku pracowników ubranych w stroje robocze i kręci się po okolicy. Czasem pukają oni do domu podejrzanego odbiorcy i rozmawiają o sprawach zupełnie nie związanych z kradzieżą energii. Cały czas kontroluje się wskazanie amperomierza. Jeżeli w wyniku tak zaimprovizowanego zdarzenia następuje wyraźne zmniejszenie poboru energii przez odbiorcę to podejrzewa się, że może on posiadać nielegalne przyłącze.

Zalety:

- Metodę można stosować tam, gdzie fizycznie nie ma możliwości założenia licznika kontrolnego.

Wady:

- Zmniejszenie poboru prądu może wystąpić z innych przyczyn.

Inne metody

Metody te umożliwiają wskazanie podejrzanego miejsca nielegalnego poboru nie mierząc w żaden sposób energii elektrycznej.

„Poufny” telefon

Najczęstszą pomocą przy wykrywaniu kradzieży energii są... telefony od osób, które często czując „obywatelski obowiązek” powiadamiają spółki dystrybucyjne. Po tonie rozmowy można niestety wyczuć, że częstym motywem dzwonienia i wskazywania na sąsiadów jest kierowanie się zasadą: dlaczego on miałby mieć lepiej niż ja albo zatargi międzysąsiedzkie.

Doświadczenie wskazuje, że informacja o kradzieży energii nie zawsze jest prawdziwa. Czasami jest to forma załatwiania porachunków. W wyniku przeprowadzonych kontroli nie znajduje się nielegalnego przyłącza, a sąsiad, który informował o kradzieży energii, czasami zerka zza firanki.

Reflektometr – wykorzystanie efektu falowego

Jest to urządzenie, które nie tyle wykrywa nielegalne przyłącza, co w ogóle przerwy w ciągłości lub niejednorodności kabla. Wykorzystania efektu falowego do badania kabla nie jest niczym nowym. Nowe jest jej zastosowanie. Urządzenie do wykrywania kradzieży energii, oparte na tej metodzie to RiserBond Model 1205 CXA.

W celu wykrycia nieciągłości kabla Bond wykorzystuje efekt falowy. Do urządzenia podłącza się parę przewodów i wysyła się krótkie impulsy testujące. Jeżeli nie ma przerwy w biegu kabla wówczas energia sygnału zostaje wchłonięta. W przypadku, gdy nastąpiło przerwanie ciągłości kabla lub nawet naruszenie jego fabrycznej izolacji, wówczas część lub całość energii sygnału zostaje odbita z powrotem do urządzenia. Przebieg drogi impulsu pojawia się na wyświetlaczu. Na podstawie rodzaju zaburzenia w przebiegu wykresu można zidentyfikować typ uszkodzenia. Bond potrafi dokładnie wskazać, na jakim odcinku kabla nastąpiło przerwanie ciągłości, wykonano odczep lub naruszono izolację fabryczną, choć czasami nic nie wskazuje na to, że kradzież może tam mieć miejsce.⁶

Urządzenia wykorzystujące efekt falowy do wykrywania kradzieży energii stosowane są w niektórych spółkach dystrybucyjnych (np. w Zamojskiej Korporacji Energetycznej).

⁶ roztocze.net/newsroom.php/17010.html - 23.marca 2005 r. godz. 15:13

Skuteczność znanych metod wykrywania kradzieży energii

Skuteczność stosowania w zakładach energetycznych dotychczas znanych metod wykrywania nielegalnego poboru wg raportu NIKu [28] do 2004 roku była mała, przynajmniej w skontrolowanych przez Izbę zakładach energetycznych. W wyniku przeprowadzanych kontroli [30 art. 6] corocznie ujawniano blisko 8 tysięcy przypadków kradzieży energii. Pomimo tego w 8 zakładach dokonujących w latach 2001 – 2003 szacunków strat energii elektrycznej spowodowanych nielegalnym poborem, straty te (oszacowane na 1.896,4 GWh, wartości 228,9 mln zł) były od 12 do 66 razy wyższe od energii elektrycznej pobranej przez wykrytych sprawców.

Systematycznie obniżająca się skuteczność windykacji należności od sprawców nielegalnego poboru nie sprzyja eliminowaniu tego zjawiska.

Tabela. Egzekwowanie należności z ogólnej kwoty opłat ustalonych sprawcom kradzieży energii w Oddziale EnergiaPro w Wałbrzychu [28].

rok	należności ustalone za nielegalny pobór energii [tys. zł]	wyegzekwowano [tys. zł]	Odsetek ustalonych należności
2001	467,8	424,5	90,7%
2002	633,8	287,6	46,1%
2003	1.029,1	343,8	33,4%.

Podejście probabilistyczne

Różnica pomiędzy podejściem probabilistycznym (i zasadą przyczynowości) a losowością (i prawdopodobieństwem) leży nie w naturze tego, czy innego zjawiska, lecz w ilościach, którymi badacz jest zainteresowany [32]. Przykładowo obliczenia i twierdzenia inżyniera projektującego jedną stację SN/nN mają głównie charakter deterministyczny, natomiast doświadczenia i twierdzenia inżyniera odpowiedzialnego za eksploatację 1000 stacji SN/nN w rejonie energetycznym mają niewątpliwie charakter probabilistyczny [32].

Rozkład przestrzenny odbiorców przyłączonych do sieci oraz przebiegi czasowe ich mocy (prądów) charakteryzują się wielką losowością [32]. Także oddziaływanie atmosferyczne i inne oddziaływanie zewnętrzne na sieci napowietrzne (i w pewnym stopniu również sieci kablowe) takie jak np. wiatr, deszcz, mżawka, oblodzenie, pioruny mają charakter losowy.

Metodę probabilistyczną należy rozumieć jako formułowaną i badaną na gruncie teorii prawdopodobieństwa a także jako model statystyczny tworzony na podstawie danych obserwowanych [32].

Problemy wymagające rozwiązania. Cel pracy

Problemy wymagające rozwiązania:

- jak najdokładniejsze wyliczenie wartości strat w celu oszacowania zjawiska nielegalnego poboru energii,
- minimalizowanie strat energii dzięki ich znajomości przez bardziej symetryczne obciążanie sieci i transformatorów, wymianę trafo, odciążanie przeciążonych elementów sieci, stosowanie baterii kondensatorów, lepsze projektowanie nowych sieci,
- szybkie i skuteczne wykrywanie miejsc nielegalnego poboru, najlepiej na podstawie analizy danych, bez ingerencji w sieć i bez konieczności dodatkowych prac w terenie (oczywiście konieczna będzie prawidłowo przeprowadzona kontrola układu pomiarowego u odbiorcy),
- skuteczne zniechęcanie (odstraszanie) odbiorców do kradzieży energii w celu minimalizowania zjawiska,
- zlikwidowanie zjawiska zaangażowania pracowników zakładów energetycznych w proceder nielegalnego poboru energii,
- skuteczne egzekwowanie należności za nielegalny pobór.

Cel pracy

Celem pracy jest:

- zaproponowanie nowej metody do wyliczanie wartości strat w sieciach nN,
- sprawdzenie możliwości szybkiego wykrywania miejsc nielegalnego poboru w sieciach nN na podstawie analizy danych pomiarowych.

Pośrednio po wprowadzeniu rozwiązań tej rozprawy przyczyni się ona również do:

- zniechęcania odbiorców do nielegalnego pobierania energii,
- zmniejszenie liczby przypadków kradzieży energii, w którzy będą zamieszani pracownicy zakładów energetycznych.

Zaproponowana metoda bilansu i szybkości narastania wskazania licznika, zakłada:

- wykonanie bilansu,
- wyznaczenie skorygowanej różnicy bilansowej przez odjęcie od różnicy bilansowej wyliczonych strat – równania liczące straty są potraktowane jako zmienne losowe,
- na podstawie zmian skorygowanej różnicy bilansowej względnej w czasie i analizy profili poboru energii wszystkich odbiorców w podobszarze sieci transformatora zostaną wyznaczeni odbiorcy, co do których można wysunąć podejrzenie o nielegalny pobór energii elektrycznej.

Sformułowanie zadania, teza, plan rozwiązania

Sformułowanie zadania

Część energii wyprodukowanej w elektrowniach jest na różne sposoby tracona. To, jaki udział w bilansie tych strat mają poszczególne składowe można wyliczyć na kilka różnych sposobów. Brak jednego, sprawdzającego się w każdej sytuacji sposobu liczenia strat, zwłaszcza obciążeniowych w sieciach nN, wynika z braku możliwości zebrania dokładnych pomiarów. Niektóre z dotychczas znanych i stosowanych w praktyce metod opiera się o wartości wskaźników, które co pewien czas muszą być korygowane.

W niniejszej pracy, przy założeniu znajomości piętnastominutowych wartości energii odczytywanych przez system typu AMR bezpośrednio z liczników komunalnych oraz topologii sieci nN, zostały wyznaczone rozpiętki mocy, a na ich podstawie zaproponowano nieco inne podejście do wyliczenia strat. Równania liczące straty zostały tutaj potraktowane jako funkcje zmiennych losowych.

Przy wyliczaniu ich przyjęto kilka uproszczeń. Pomimo tego błędy poszczególnych składowych nie powinny być zbyt duże. Dodatkowo metoda powinna być dokładniejsza w wyliczaniu strat niż dotychczas stosowane metody m.in. ze względu na użycie przy ich wyliczaniu dużo większej liczby danych pomiarowych.

Po odjęciu od różnicy bilansowej wyliczonych wartości strat wg wzorów pozostaje skorygowana różnica bilansowa, z której większą część może (choć nie musi) stanowić nielegalny pobór energii przez nieuczciwych odbiorców.

Na podstawie skorygowanej różnicy bilansowej w czasie oraz znajomości poboru energii przez wszystkich odbiorców zaproponowana zostanie analityczna metoda wykrywania kradzieży energii.

Teza pracy

W systemach zdalnie odczytujących liczniki energii elektrycznej za pomocą probabilistycznej metody bilansu i szybkości narastania stanu licznika można wskazywać miejsca kradzieży energii elektrycznej.

Plan rozwiązania

- Określenie technicznego sposobu wyliczania strat w sieciach nN,
- Potraktowanie równań do wyliczania strat jako zmiennych losowych,
- Sprawdzenie bilansu w podobszarze sieci transformatora poprzez wyznaczenie skorygowanej różnicy bilansowej względnej,
- Porównanie zmian skorygowanej różnicy bilansowej względnej i profili poboru energii przez odbiorców,
- Wyznaczenie podejrzanych odbiorców,
- Określenie prawdopodobieństwa pomyłki,

Sposoby weryfikacji metody

Metoda zostanie zweryfikowana przy pomocy danych pomiarowych z miejsc, gdzie dotychczas został zainstalowany system NETPAF XP:

- Lipnica Wielka i Kraków ul. Słoneckiego 9 – ENION SA. (dawny ZE Kraków SA.)
- Lipnica i Środa Śląska – EnergiaPro SA. (dawny ZE Wrocław SA.)

Systemy AMR

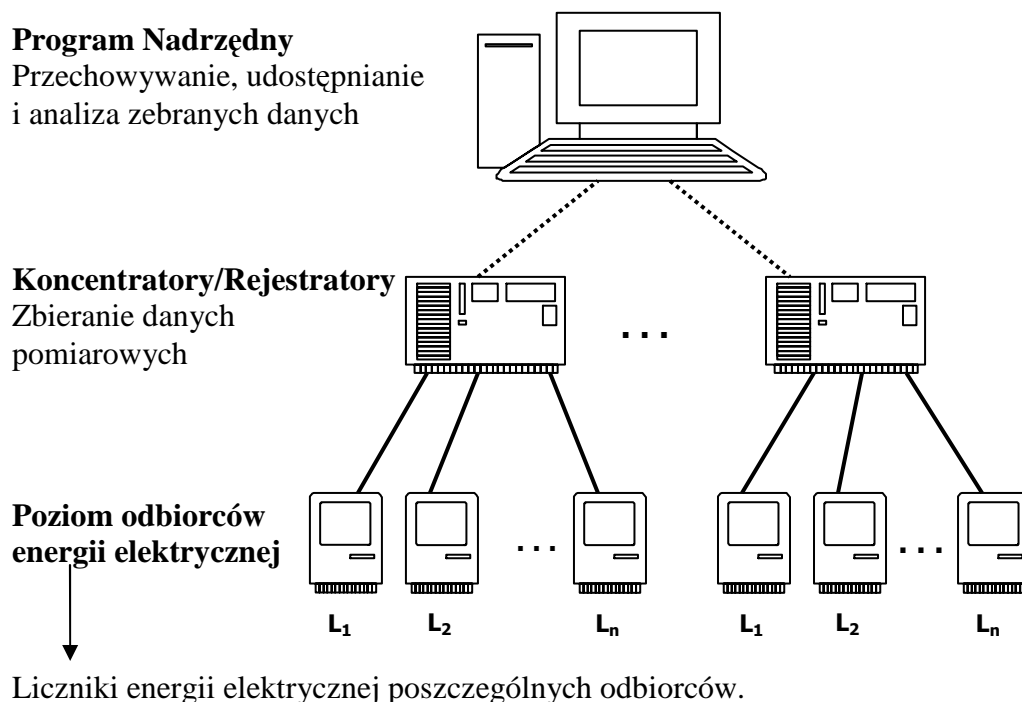
Wymagania dla systemów zdalnego odczytu liczników

Wstęp

Metoda bilansu i szybkości narastania stanu licznika może być wykorzystana przez systemy zdalnie odczytujące liczniki odbiorcze spełniające określone warunki techniczne.

System musi umożliwiać zdalne odczytywanie wszystkich liczników odbiorczych (wartości energii albo stanów liczydeł) znajdujących się w podobszarze sieci transformatora. Wartości te muszą być zatrzaśnięte w tym samym czasie. Tutaj pojawia się kwestia jednoczesności odczytu. Nie są to procesy szybkozmiennie, dlatego też zwłoka czasowa nawet rzędu kilku sekund pomiędzy pierwszym zatrzaśniętym odczytem a ostatnim, nie wprowadza znaczącego błędu.

Struktura systemu



Rys.2. Struktura systemu zdalnie odczytującego dane

Nie wchodząc w rozważania, czy instalowanie takiego systemu jednego lub innego producenta jest uzasadnione ekonomicznie oraz w skomplikowane zagadnienia stosowanych tam technologii [37], systemy typu AMR dostarczają unikalnej wiedzy o rozptywach mocy w sieci nN.

Zazwyczaj system taki składa się z kilku poziomów:

- A) ze specjalnych liczników lub zwykłych liczników impulsowych z przystawkami do transmisji danych, które co 15 minut zatrzymują wartości energii lub wskazań liczydeł; liczniki najczęściej odczytywane są po sieci energetycznej PLC [26, 38] lub radiowo w technologii GPRS.
- B) z koncentratorów (rejestratorów), synchronizowanych zegarem satelitarnym, które odczytują dane z liczników po sieci energetycznej i jednocześnie synchronizują ich zegary; koncentratory najczęściej odczytywane są za pośrednictwem Ethernetu, łącza komutowanego PSTN lub radiowo w technologiach HSCSD lub GPRS.
- C) z systemu centralnego, który umożliwia konfigurowanie liczników, koncentratorów, a także wyświetlanie odczytanych danych i ich obróbkę.

Już na pierwszy rzut oka można zauważyć, że system gromadzi bardzo dużą liczbę danych $96 \text{ odczytów dziennie} * \text{liczba liczników} * \text{liczba dni w miesiącu} * \text{liczba miesięcy}$. Wyświetlanie takiej ilości danych jest w zasadzie niemożliwe i jak okazuje się, niepotrzebne. Interesujące są natomiast wyniki obróbki tych danych i zaprezentowane w formie przystępnych tabel, raportów, rozliczeń i wykresów.

Zalety systemów typu AMR

Systemy tego typu umożliwiają [10] – korzyści techniczne:

- monitorowanie bieżącego zużycie energii elektrycznej przez poszczególnych odbiorców,
- stworzenie indywidualnego profilu obciążenia dla każdego z odbiorców,
- wykreślenie charakterystyki narastania wskazania wybranego licznika w czasie,
- bilansowanie określonych obszarów (podsieci liczników) oparte na jednoczesnych pomiarach (wiarygodne dane) z różnych liczników,
- tworzenie rozkładu niezbilansowania bezwzględnego (w kWh) i względnego (w %) w zadanym okresie,
- rozliczanie odbiorców wg dowolnego rozkładu stref czasowych,
- automatyzację rozliczeń, bilingi, automatyczne systemy przedpłatowe,

- zdalną zmianę parametrów w urządzeniach kontroli dostaw energii, np. zmianę wartości maksymalnej mocy odbieranej, zdalną zmianę rozkładu stref czasowych,
- usługi dodane „na miejscu”, np. u klienta w domu zdalne załączanie określonego odbioru gdy licznik zlicza w tańszej strefie czasowej (np. urządzenie o niższym priorytecie) i wyłączenie go, gdy pracuje w droższej,
- sterowanie popytem (DSM) – zasadniczy cel – zmniejszenie kosztów zakupu energii poprzez wyrównanie krzywej obciążenia w wyniku stosowania określonych taryf; w konsekwencji zmniejszenie poboru energii w szczycie lub przesunięcie obciążenia poza szczyt (zapełnienie dolin), także zmniejszenie zużycia energii np. przez wprowadzenie nowoczesnych, energooszczędnych technologii,
- sterowanie zabezpieczeniami,
- archiwizowanie danych,
- kontrolowanie poziomu strat handlowych, w tym kradzieży oraz innych zdarzeń,

Koszty:

W analizie finansowej należałoby uwzględnić czy koszty inwestycji w system AMR są niższe niż koszty pracy. Koszty:

- zakupu sprzętu: liczników, koncentratorów, modemów, serwerów + oprogramowania,
- zainstalowania nowych liczników,
- prac wdrożeniowych nad udrożnieniem sieci do przesyłu danych pomiarowych,
- utylizacji zużytych liczników,
- zmiany struktury zasobów ludzkich: zatrudnienia specjalistów, zwolnienia części pracowników, przekonania i przeszkolenia części pracowników,
- przesyłu danych z koncentratorów oraz gromadzenia danych,
- uzależnienia od nieredundantnego systemu komputerowego – koszty redundantnego są wielokrotnie wyższe.

Korzyści finansowe:

- skrócenie cyklu (okresu) rozliczeniowego za energię – uniknięcie kosztów kredytowania odbiorców,
- sterowanie zabezpieczeniami – efekt techniczny: obniżenie ryzyka poważnej awarii sieci elektroenergetycznej,

- monitorowanie obciążeń (monitorowanie punktów pomiarowych) – poprawa bezpieczeństwa dostaw, alarm, większa trafność prognozy,
- możliwość rozliczania odbiorców w kilku strefach czasowych – efekt marketingowy polegający na poszerzeniu oferty taryfowej,
- wizualizacja danych – obniżenie kosztów robocizny i materiałów piśmiennych oraz skrócenie czasu podejmowania decyzji,
- obróbka danych – poszerzenie możliwości wizualizacji w różnych układach, obniżenie kosztów robocizny i materiałów piśmiennych, ograniczenie możliwości popełnienia pomyłek
- archiwizowanie danych - obniżenie kosztów robocizny i materiałów piśmiennych,
- po zainstalowaniu specjalnych, elektronicznych liczników, następuje zmniejszenie ilości energii zużywanej przez te urządzenia (ta energia wliczana jest w potrzeby sieci).

Dzięki zastosowaniu takiego systemu nie występuje zjawisko „przesuniętego inkasa energii”. Występuje ono wtedy, gdy [24]:

1. liczniki energii odczytywane są raz na miesiąc,
2. odbiorcy podzieleni są na dwie grupy A i B,
3. w pierwszej grupie odczytywane są w miesiące nieparzyste, w drugiej w parzyste,
4. odczytywanie liczników trwa cały miesiąc, zużycie energii przypisywane jest na piętnasty dzień danego miesiąca i wykazywane jako zużycie energii w obu grupach.

Skutkiem zjawiska „przesuniętego inkasa energii” mogą być znaczne różnice między ilościami energii sprzedanej a dostarczonej poszczególnym odbiorcom w poszczególnych miesiącach i błędne obliczenia strat bilansowych.

Niektórzy producenci systemów zdalnie odczytujących dane pomiarowe dokonują ich klasyfikacji wg ilości dostępnych funkcji:

- a) AMR – system umożliwiający zdalny odczyt liczników energii elektrycznej,
- b) AMM – system posiada możliwość zdalnego odczytu liczników oraz dodatkowe funkcje: zdalnego zarządzania obciążeniem, odłączenia instalacji odbiorczej, rekonfiguracji oraz realizacji funkcji przedpłatowych

Podstawowe funkcje systemu

System powinien posiadać następujące funkcje:

Edycja konfiguracji systemu:

- Definiowanie typów liczników występujących w systemie

- Definiowanie grup taryfowych
- Definiowanie grup liczników w układzie pierścieniowym
- Definiowanie zbioru koncentratorów/rejestratorów
- Edytowanie katalogu odbiorców
- Edytowanie katalogu płatników
- Edytowanie połączeń sieciowych wykorzystujących sieci LAN i telefonicznych (także modemy komórkowe z transmisją HSCSD)

Zasady współpracy z wybranym koncentrATOREM/rejestrATOREM:

- Przesłanie plików konfiguracyjnych do koncentratora/rejestratora
- Odczyt dziennika zdarzeń
- Monitorowanie zużycia energii
- Przełączanie grup liczników zasilanych w układach pierścieniowych
- Zmiana statusu modułów komunikacyjnych na pracę serwisową
- Pobieranie plików profili obciążeń – automatyczne lub ręczne

Zasady pracy z poziomym systemem nadrzędnym

- Tworzenie bilansów
- Tworzenie wykresu wartości różnicy bilansowej w czasie
- Tworzenie raportów do rozliczeń – automatyczne lub ręczne
- Wizualizacja profilu obciążenia

System zdalnie odczytujący liczniki powinien umożliwiać bilansowanie liczników na różnych poziomach.

Szanse na systemy AMR w Polsce

Obecnie jest bardzo mało czasu na przygotowanie się do otwarcia prorynkowego, w którym odbiorcy detaliczni będą mogli zmieniać dostawcę energii [25]. Dlatego najprawdopodobniej zostaną wprowadzone systemy rozliczania na podstawie profili, ponieważ można je wdrożyć dużo szybciej niż wymieniać liczniki u wszystkich odbiorców lub przynajmniej u tych, którzy zdecydują się na zmianę dostawcy. Natomiast w dalszej perspektywie, w Polsce podobnie jak w innych krajach UE zostaną wprowadzone systemy AMR [39].

Opracowanie modelu matematycznego

Sposoby wyliczenia strat w systemie AMR

Straty techniczne

Straty techniczne wyliczona się na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych, dokładnych lokalizacji odbiorców, znajomości kabli i przewodów oraz rozptyłów mocy. Na podstawie rezystancji obliczeniowych przewodów wziętych z tabel katalogowych [27, 36] wyliczony został prąd płynący przez poszczególne odcinki kabli i przewodów. Zdaniem niektórych naukowców [24] dane katalogowe wartości jednostkowych rezystancji przewodów podawanych przez wytwórców należy powiększać ok. 10 %. W tym opracowaniu wartości te jednak nie zostały zwiększone.

W rozpatrywanym układzie mierzona była jedynie energia czynna. Aby wyznaczyć wartość energii biernej i pozornej, a w konsekwencji prawidłowej wartości prądu, na podstawie wyników rozmaitych badań [24] przyjęto następujące założenia:

- o drobni odbiorcy miejscy, którzy są przyłączeni do sieci nN, pobierają energię przy średnim współczynniku mocy $\cos \varphi_m = 0,93$,
- o drobni odbiorcy wiejscy – przy $\cos \varphi_w = 0,87$

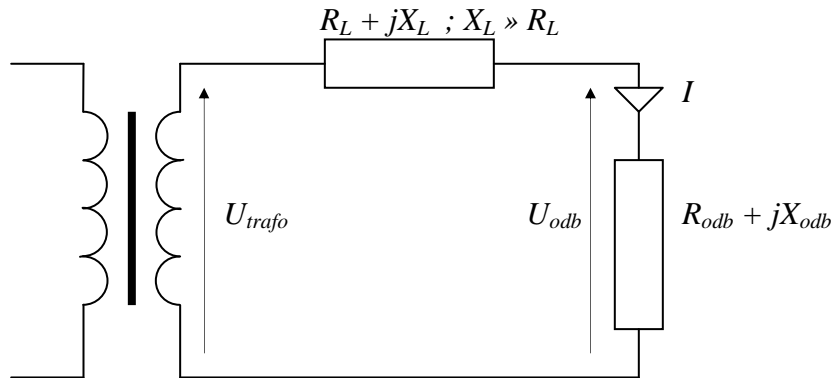
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{E}{t}}{U \cdot \cos \varphi}$$

W sieciach nN $R \ll X$ [24]. Producenci urządzeń energetycznych podają rezystancje jednostkowe dla przewodów i kabli. Straty techniczne-obciążeniowe występują w skutek wydzielania się ciepła na rezystancjach przewodów. Reaktancja indukcyjna w tych sieciach powoduje zwiększenie się kąta przesunięcia pomiędzy wykresem napięcia i prądu w sieciach. W konsekwencji powoduje, że większa wartość prądu musi płynąć przez żyły przewodów, żeby odbiorca mógł otrzymać określoną zamówioną moc czynną (mniejsza wartość $\cos \varphi$).

Na samych reaktancjach indukcyjnych przewodów nie wydzielają się ciepło, czyli nie ma strat technicznych-obciążeniowych.

Znajomość typowej wartości $\cos \varphi$ dla określonego odbiorcy wystarcza do prawidłowego wyliczenia prądu, ponieważ na kąt φ przesunięcia prądu I w stosunku do napięcia U_{odb} u odbiorcy składają się przesunięcie na reaktancji linii X_L ($X_L \gg R_L$) oraz reaktancji u odbiorcy X_{odb} .



Rys.3. Przykładowy schemat zastępczy sieci nN dla odbiorcy jednofazowego

1. Potrzeby wynikające z wydzielania się ciepła

Inaczej są nazywane jako: straty podłużne, prądowe, obciążeniowe.

Powstają w wyniku płynięcia prądu przez przewód/kabel o pewnej rezystancji – Prawo Joule’a – Lenza. Straty obciążeniowe w liniach napowietrznych i kablowych oblicza się ze wzoru:

$$\Delta P_{obc} = 3 \cdot I^2 \cdot R_L = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l = \frac{S^2}{U_N^2} \cdot R_0 \cdot l = \frac{P^2 + Q^2}{U_N^2} \cdot R_0 \cdot l$$

$$\Delta E_{obc} = \int \Delta P_{obc} dt$$

Poniżej w punktach 1) i 2) dla uproszczenia zostało przyjęte założenie, że $\cos \varphi = 1$ (obciążenie jedynie rezystancyjne).

Straty obciążeniowe – zastosowane uproszczenia:

- 1) w przypadku odbiorców trójfazowych zakłada się odbiory symetryczne, czyli równomierne obciążenie wszystkich faz,

$$P = 3 \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi = 3 \cdot I^2 \cdot R$$

Zakładając, że wszystkie fazy i przewód neutralny mają te same przekroje i rezystancje straty w dwóch przedstawionych przypadkach wyglądają następująco:

a) – obciążenie jednofazowe – prąd skuteczny w fazie L1 o wartości 3 A

$$\Delta E_{L1} = R I_{L1}^2 t = 9Rt \text{ [A}^2\text{]}$$

$$\Delta E_{L2} = R I_{L2}^2 t = 0$$

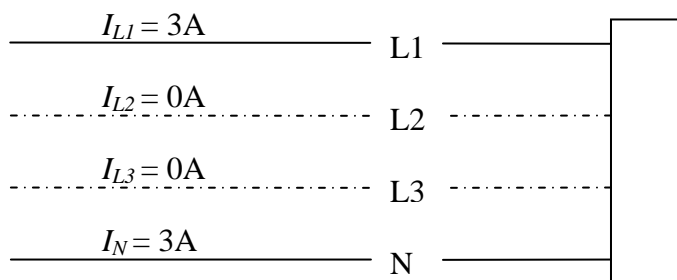
$$\Delta E_{L3} = R I_{L3}^2 t = 0$$

$$\Delta E_N = R I_N^2 t = 9Rt \text{ [A}^2\text{]}$$

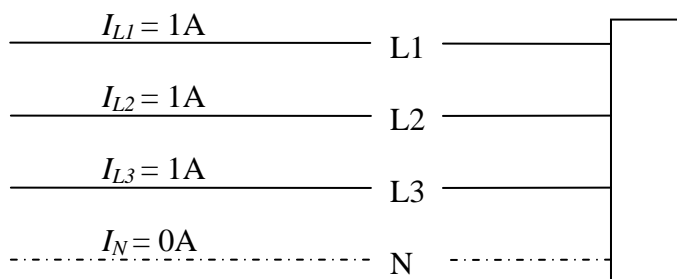
Całkowite straty obciążeniowe:

$$\Delta E_{obc} = \Delta E_{L1} + \Delta E_{L2} + \Delta E_{L3} + \Delta E_N = 9Rt \text{ [A}^2\text{]} + 9Rt \text{ [A}^2\text{]} = 18Rt \text{ [A}^2\text{]}$$

a)



b)



Rys.4. Różny charakter obciążenia: jednofazowy (a) i trójfazowy (b)

b) – obciążenie symetryczne – prąd skuteczny w każdej fazie 1 A

$$\Delta E_{L1} = R I_{L1}^2 t = Rt \text{ [A}^2\text{]}$$

$$\Delta E_{L2} = R I_{L2}^2 t = Rt \text{ [A}^2\text{]}$$

$$\Delta E_{L3} = R I_{L3}^2 t = Rt \text{ [A}^2\text{]}$$

$$\Delta E_N = R I_N^2 t = 0$$

Całkowite straty obciążeniowe:

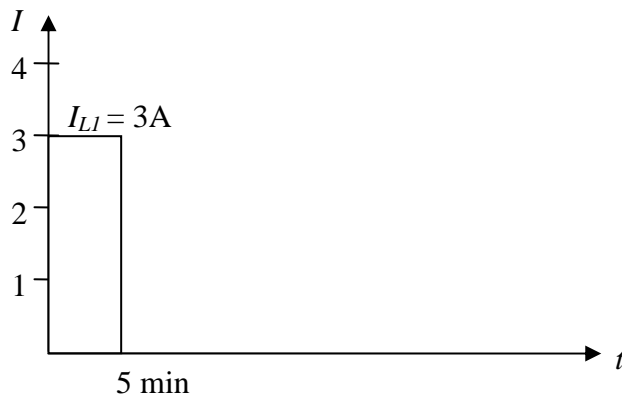
$$\Delta E_{obc} = \Delta E_{L1+} + \Delta E_{L2+} + \Delta E_{L3+} + \Delta E_N = 3Rt [A^2]$$

Straty całkowite w przypadku obciążenia jednofazowego (przypadek **a**) są sześć razy większe niż w przypadku obciążenia symetrycznego (przypadek **b**). Odczytując z liczników trójfazowych jedynie wartości trójfazowej energii piętnastominutowej nie można powiedzieć jak obciążenie rozkładało się na poszczególne fazy. Stąd przyjęte zostało założenie, zakładające, że obciążenie jest symetryczne. W konsekwencji wyliczane są minimalne wartości strat prądowych przy określonej wartości energii piętnastominutowej.

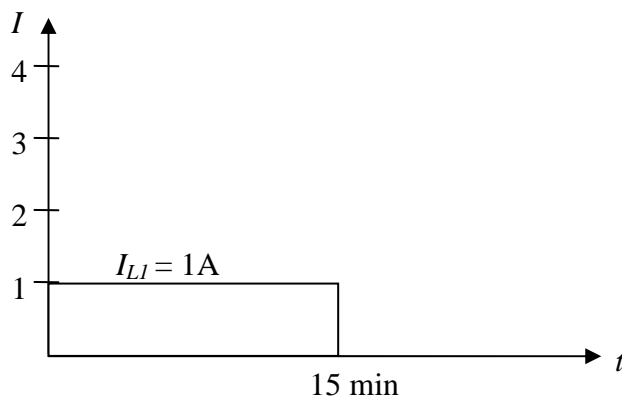
Dokładność metody można zwiększyć mierząc obciążenie poszczególnych faz lub napięcie przy transformatorze. Straty techniczne najdokładniej można byłoby wyliczyć stosując rejestratory parametrów sieci dla każdej z faz, ale jest to rozwiązanie bardzo drogie. Takiego kosztu nie uzasadniają ewentualne przyszłe oszczędności, które wynikałyby z wykorzystania pozyskanej w ten sposób wiedzy o wartościach, przyczynach i miejscach występowania strat.

- 2) do obliczeń używana jest uśredniona wartość 15 minutowa, zakłada się, że przez ten okres obciążenie jest stałe,

a) obciążenie zmienne w czasie



b) obciążenie równomierne



Rys.5. Różne obciążenie w czasie: zmienne w czasie (a) i równomierne (b)

Dla jednej fazy przy tej samej ilości energii piętnastominutowej dla dwóch różnych obciążeń straty wyglądają następująco:

a) $t = 1/12$ h, $I_{LI} = 3A$

$$\Delta E_{LI} = R I_{LI}^2 t = 9/12 Rt [A^2] = 0,75 Rt [A^2]$$

b) $t = 1/4$ h, $I_{LI} = 1A$

$$\Delta E_{LI} = R I_{LI}^2 t = 1/4 Rt [A^2] = 0,25 Rt [A^2]$$

Odczytując z liczników trójfazowych jedynie wartości energii piętnastominutowej nie można powiedzieć z jakim rodzajem obciążenia chwilowego miało się do czynienia. Odbiorcy energii nie czekają z załączeniem, przełączeniem lub wyłączeniem odbiorników do końca okresu uśredniania.

W rozpatrywanym przypadku **a**), kiedy obciążenie jest większe w krótszym czasie straty są trzy razy większe niż w przypadku **b**) obciążenia równomiernego przez cały okres całkowania (uśredniania).

Przy braku znajomości dokładnego wykresu obciążenia w czasie (krótszym niż 15 minut – okres uśredniania) zostało przyjęte założenie, zakładające, że obciążenie jest równomierne. W konsekwencji wyliczane są minimalne wartości strat prądowych przy określonej wartości energii piętnastominutowej

W celu zwiększenia dokładności liczenia strat należałoby zwiększyć ziarno odczytu energii 15 minut np. do 1 minuty, lub jeszcze bardziej. Energia strat technicznych wyliczana jest jako całka z mocy, dlatego im krótszy epsilon czasowy (okres uśredniania) tym dokładniejsze wyliczenia.

- 3) pobór energii dla kabla lub przewodu trójfazowego, do którego został podłączony odbiorca jednofazowy, zostały rozłożone proporcjonalnie na 3 fazy.

Najczęściej nie wiadomo, do której konkretnej fazy przypisany jest dany odbiorczy licznik jednofazowy. Dla jednego licznika sprawa byłaby prosta. Powodowałby on obciążenie tylko jednej fazy. Dla wielu sprawa staje się mniej oczywista. Nie ma algorytmu, dzięki któremu dałoby się wywnioskować, że dane liczniki odbiorcze obciążają tę, a nie inną fazę i są w określony sposób pogrupowane i przypisane do konkretnych faz. Każde analityczne przypisanie dałoby się podważyć, ponieważ nie byłoby przekonujące (ponadto mogłoby nie spełnić niżej wypisanego założenia, że „rzeczywiste straty techniczne są nie mniejsze niż wyliczone w ten sposób”).

- 4) straty energii dla kabla lub przewodu jednofazowego są rozpatrywane jednofazowo.
- 5) zakłada się, że napięcie ma określoną wartość, chociaż rozpatrywanych lokalizacjach, w których zainstalowany został system AMR faktycznie nie było ono zmierzone. Można zwiększyć dokładność liczenia strat technicznych dodając woltomierz przy transformatorze.

W wyniku tych uproszczeń wynik mówi szacunkowo o poziomie strat, a nie o ich dokładnej wartości. Należy je interpretować w ten sposób, że rzeczywiste straty techniczne są nie mniejsze niż wyliczone w ten sposób.

2. Straty wynikające z upływu prądu do ziemi

Potrzeby wynikające z upływu prądu do ziemi przez niedoskonałą izolację (straty poprzeczne na konduktancjach, napięciowe)

Straty powstałe w skutek upływu prądu do ziemi (godzinowa wartość strat) w linii przez niedoskonałą izolację (rocznych strat upływnościowych energii w zbiorze linii) wylicza się [20] następująco:

$$\Delta E_{u\Sigma} = l_{\Sigma} \Delta P'_u = l_{\Sigma} \Delta E'_u$$

Jest to wzór uproszczony ponieważ nie uwzględnia zależności jednostkowych strat mocy $\Delta P'_u$ od pogody i napięcia roboczego. Założenie jest w pełni do przyjęcia w praktyce. Można przyjąć [20] następujące wartości przeciętne jednostkowych strat mocy $\Delta P'_u$ dla linii napowietrznych nN 1,5 W/km.

3. Inne straty

Dodatkowo można wyznaczyć średnie roczne straty mocy na upływność (dielektryczne) w elementach sieci niskiego napięcia [24]. Wynoszą one dla wewnętrznych linii zasilających (WLZ) 0,02-015 [W/WLZ] oraz dla instalacji zalicznikowych odbiorców 0,1 - 1,0 [W/instalację]. Ze względu na ich niewielką wartość w stosunku do pozostałych zostały one pominięte. Straty na instalacjach zalicznikowych odbiorców znajdują się poza rozpatrywanym obszarem mierzenia strat. Ich poziom jest znacznie mniejszy niż dokładność pomiaru energii przez liczniki odbiorcze, przeciętne klasy 2.

Dodatkowo w skład strat wchodzi energia zużywana zimą na potrzeby podgrzania niektórych szafek licznikowych, zwłaszcza tych, znajdujących się na wolnym powietrzu.

Wstępują również straty wynikłe z wydzielania się ciepła na niedociśniętych złączkach, łączących ze sobą końcówki odcinków sieci

Straty handlowe

1. Pobór energii elektrycznej przez zainstalowane liczniki

Pobór ten można podzielić na:

- pobór mocy w obwodzie/obwodach napięciowych
- pobór mocy w obwodzie/obwodach prądowych

- o pobór mocy w obwodzie pomocniczym
- o pobór przez odbiorcę prądu o wartości mniejszej niż próg rozruchowy

Powyższe parametry określone są przez producenta danego licznika.

Uproszczony wzór [20] wyliczania rocznych strat energii w licznikach [MWh] wygląda następująco:

$$\Delta E_{03} = (1,5N_{03j} + 3,5N_{03r}) \cdot 10^{-6}$$

Pobór energii czynnej elektrycznej przez liczniki energii elektrycznej zainstalowane w danej lokalizacji wyliczono na podstawie danych katalogowych [kWh]:

$$\Delta E_{liczników} = \sum_{i=1}^{n_s} E_i = \sum_{i=1}^{n_s} (E_U \cdot k_U + E_I \cdot k_I + E_p)$$

Nasuwa się pytanie, czy analizując dane pomiarowe można oszacować wartość energii traconej w wyniku płynięcia przez licznik wartości prądu mniejszej od prądu rozruchowego licznika?

Minimalny prąd (przy założeniu, że obciążenie jest czysto rezystancyjne $\cos\phi = 1$), który płynąc przez 15 minut w jednym torze prądowym dla licznika jednofazowego spowoduje najmniejszy zauważalny przyrost energii (0,01 kWh):

$$I = \frac{E}{Uh} = \frac{0,01kWh}{230V * 0,25h} = \frac{40W}{230V} = 0,17A = 170mA$$

2. Przepływ prądu o wartości mniejszej niż próg rozruchowy licznika

Prądy rozruchu liczników w zainstalowanych licznikach są na poziomie 0,005 – 0,050 A. Zatem prąd na poziomie 0,05 – 0,17A płynąc przez piętnaście minut może nie spowodować minimalnego, zauważalnego przyrostu energii piętnastominutowej. Taki przyrost byłaby poniżej poziomu dokładności odczytu 0,01 kWh, jednak licznik rejestrowałby go.

Stąd nie można przyjąć żadnego założenia, co do przybliżonej wartości płynącego prądu, gdy zdalnie odczytana wartość energii w danym kwadransie będzie równa zero. Założenie mówiące, że jeżeli przyrost piętnastominutowy jest równy zero, wtedy płynie prąd

poniżej progu rozruchowego jest nieuzasadnionym wnioskiem. Można podejrzewać, że tak może być czasami np. w nocy, kiedy niektóre urządzenia domowe pobierają niewiele energii. Za pomocą takiego systemu zdalnego odczytu liczników z dokładnością 0,01 kWh/15 minut nie można prowadzić dokładnych rozważań o wartości prądu poniżej prądu rozruchowego.

Nie ma zatem sensu na podstawie takiego założenia wyliczać jakiegokolwiek wartości strat zakładając, że płynął wtedy prąd poniżej progu rozruchowego. Ponadto na podstawie wartości 0,01 kWh z dokładnością $\pm 0,01$ kWh, czyli na podstawie wartości na granicy błędu, trudno jest szacować takie wielkości jak pobór energii przez liczniki przy prądzie mniejszym niż prąd rozruchowy.

Z drugiej strony należy być świadomym, że na pewno występuje zjawisko płynięcia przez liczniki odbiorców prądu poniżej prądu rozruchowego licznika, czyli energia wypływa z sieci i nie jest zmierzona przez przyrządy pomiarowo-rozliczeniowe.

Te straty [24] nie są wielkie, rzędu 0,2 kWh/odb i dobę. Ta wielkość nie jest jednak zbyt pewna, ponieważ dokładniej była badana w latach 1970-1980 i nie jest zbyt aktualna. Straty te są zbyt małe, żeby przeprowadzić w istniejących warunkach nowe, kosztowne badania, nie rokujące większych korzyści.

3. Niedokładność pomiaru energii elektrycznej przez liczniki

Wynikają one z klasy liczników

W przypadku sumy pomiarów, z których każdy obarczony jest błędem stosuje się wyliczenie *błędu granicznego* [7]. Jest to przypadek najbardziej niekorzystny dla danych pomiarów.

Względny błąd graniczny wylicza się ze wzoru:

$$\delta_g = \left| \frac{\partial \Delta E}{\partial E_1} \frac{E_1}{\Delta E} \delta_1 \right| + \left| \frac{\partial \Delta E}{\partial E_2} \frac{E_2}{\Delta E} \delta_2 \right| + \left| \frac{\partial \Delta E}{\partial E_3} \frac{E_3}{\Delta E} \delta_3 \right| + \dots + \left| \frac{\partial \Delta E}{\partial E_n} \frac{E_n}{\Delta E} \delta_n \right| + \left| \frac{\partial \Delta E}{\partial E_{liczbilans}} \frac{E_{liczbilans}}{\Delta E} \delta_{bilans} \right|$$

Występuje jednak bardzo małe prawdopodobieństwo wystąpienia takiego błędu, w którym błędy systematyczne wszystkich składowych wartości jednocześnie przyjmowały wartości graniczne i niekorzystny układ znaków. Liczenie błędów granicznych prowadzi do zawyżonych wyników. Ponieważ błędy systematyczne przy takich pomiarach dla poszczególnych wielkości mierzonych układają się losowo i niezależnie od siebie, więc błąd wypadkowy można obliczać tak, jak błąd przypadkowy.

4. Nielegalny pobór energii elektrycznej

Wartości kradzieży energii nie można wyliczyć za pomocą wzoru. Można natomiast próbować ją oszacować. Od wartości różnicy bilansowej należy odjąć wartości wyliczonych pozostałych strat i tak otrzymuje się skorygowaną różnicę bilansową, w składzie której znaczącą wartość ma nielegalny pobór energii .

5. Straty ewidencyjne

Polegają na przesunięciach odczytów stanów liczników pomiędzy okresami ewidencyjnymi spowodowane niejednoczesnością odczytów tych stanów. Występują silnie przy rozliczeniach miesięcznych, nie stanowią problemu przy rozliczeniach rocznych. W systemach AMR w zasadzie nie występują, ponieważ występuje synchronizacja czasu liczników i przesunięcia czasowe pomiędzy odczytami liczników są rzędu kilku sekund.

Metoda bilansu i szybkości narastania liczydła w ujęciu deterministycznym

Opis metody

Dlaczego część odbiorców energii elektrycznej kradnie energię? Odpowiedź jest prosta, żeby płacić niższe rachunki za wykorzystywaną energię.

W wyniku niektórych kradzieży energii część odbiorników w pewnym momencie zostaje przyłączona do sieci z pominięciem licznika. Ilość legalnie pobieranej energii przez odbiorcę ulegnie wtedy zmniejszeniu.

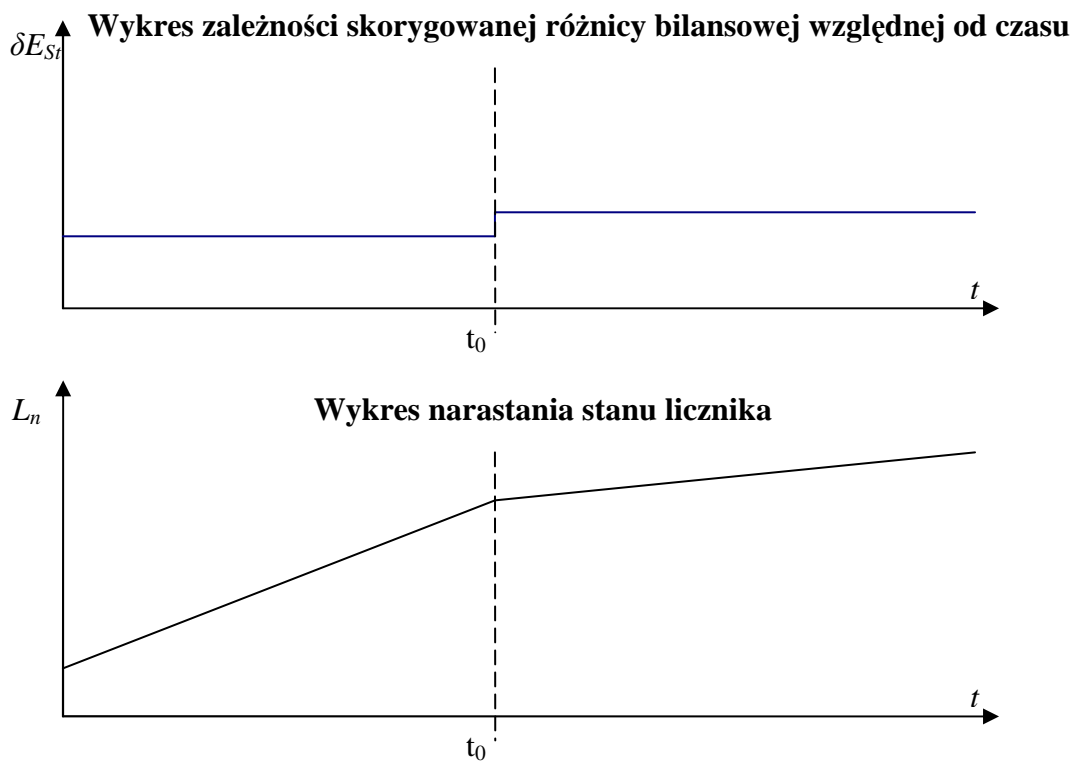
Opisywana metoda [2, 4] bazuje na tym zjawisku. Sposób jej działania można opisać za pomocą następującego algorytmu:

- sprawdzenie różnicy bilansowej poprzez odjęcie sumy poboru energii wskazanej przez liczniki w polu transformatora od energii wskazywanej przez licznik bilansujący.
- wyliczenie skorygowanej różnicy bilansowej poprzez wyznaczenie wartości strat energii (obciążeniowych, poboru energii przez liczniki, upływu) i odjęcie ich od różnicy bilansowej,
- porównanie skorygowanej różnicy bilansowej względnej [%] dla danego dnia z jej wcześniejszym poziomem,
- w przypadku niepokojącego (nieuzasadnionego) zwiększenia poziomu skorygowanej różnicy bilansowej dokonuje się porównania kąta nachylenia wykresu narastania stanu licznika dla wszystkich odbiorców bilansowanych przez dany licznik sumujący.
- w przypadku wystąpienia nielegalnego poboru przez jakiegoś odbiorcę kąt nachylenia wykresu narastania stanu licznika ulegnie zmniejszeniu.

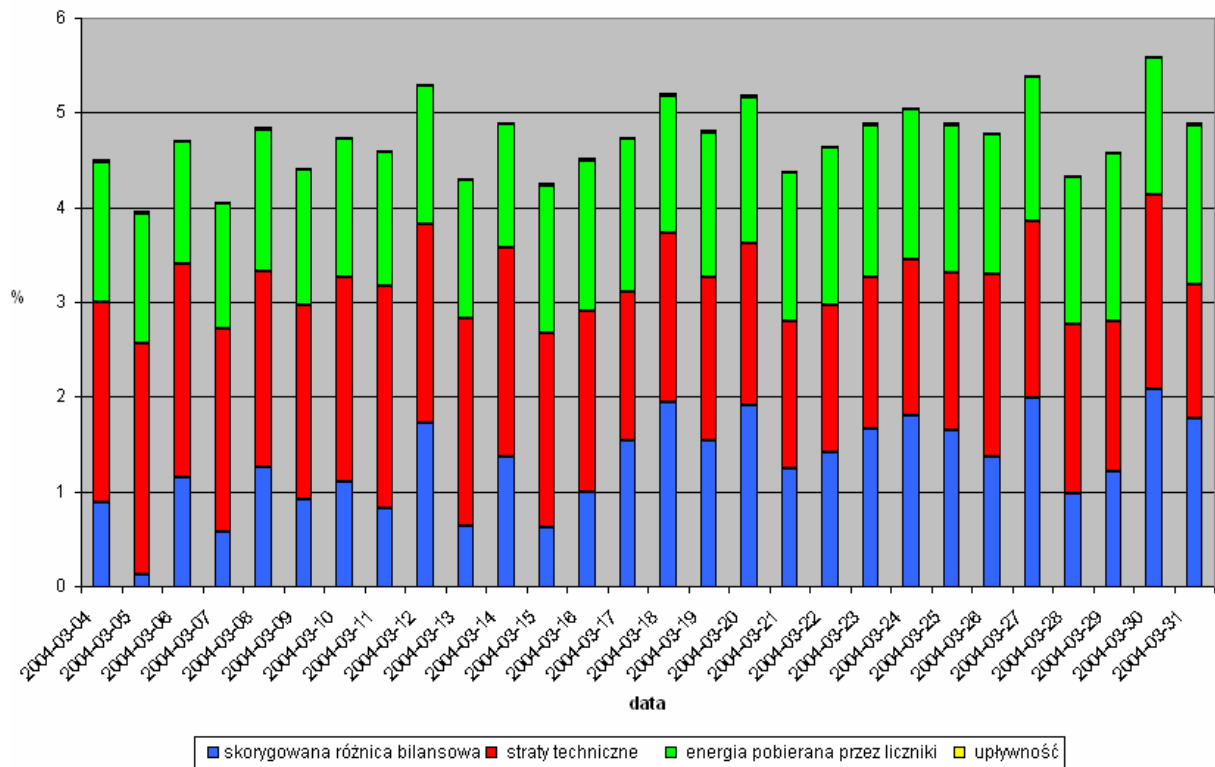
Aby dokładniej określać zmienność kąta nachylenia wykresu narastania stanu licznika można uwzględnić wskaźnik sezonowości oraz wskaźnik zwiększania poboru odbiorcy w czasie.

Na wykresach można zaobserwować, że począwszy od któregoś dnia wystąpiło zwiększenie różnicy bilansowej względnej dla liczników w polu transformatora. Od tego samego momentu ulega zmianie kąt nachylenia krzywej narastania stanu licznika jednego z odbiorców.

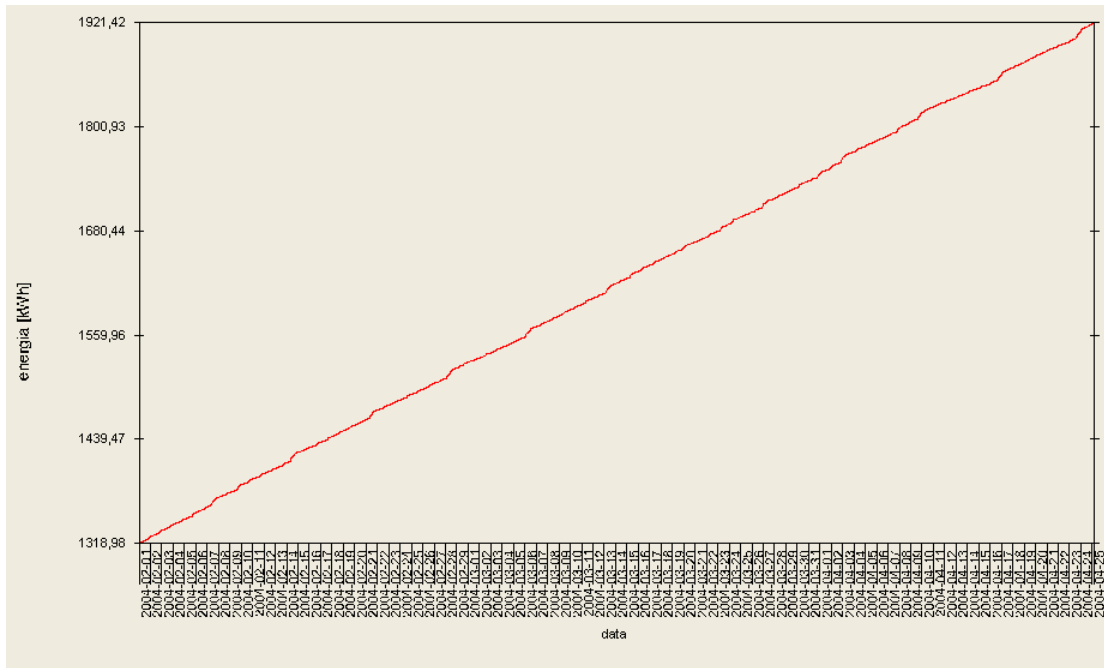
Metodę tę można zastosować w systemach zdalnie odczytujących energię elektryczną z liczników energii. Niewątpliwą jej zaletą jest bazowanie na wyliczeniach wykorzystujących jedynie wartości energii/stanów liczników odczytanych z liczników bez jakiegokolwiek ingerencji w infrastrukturę sieci nN.



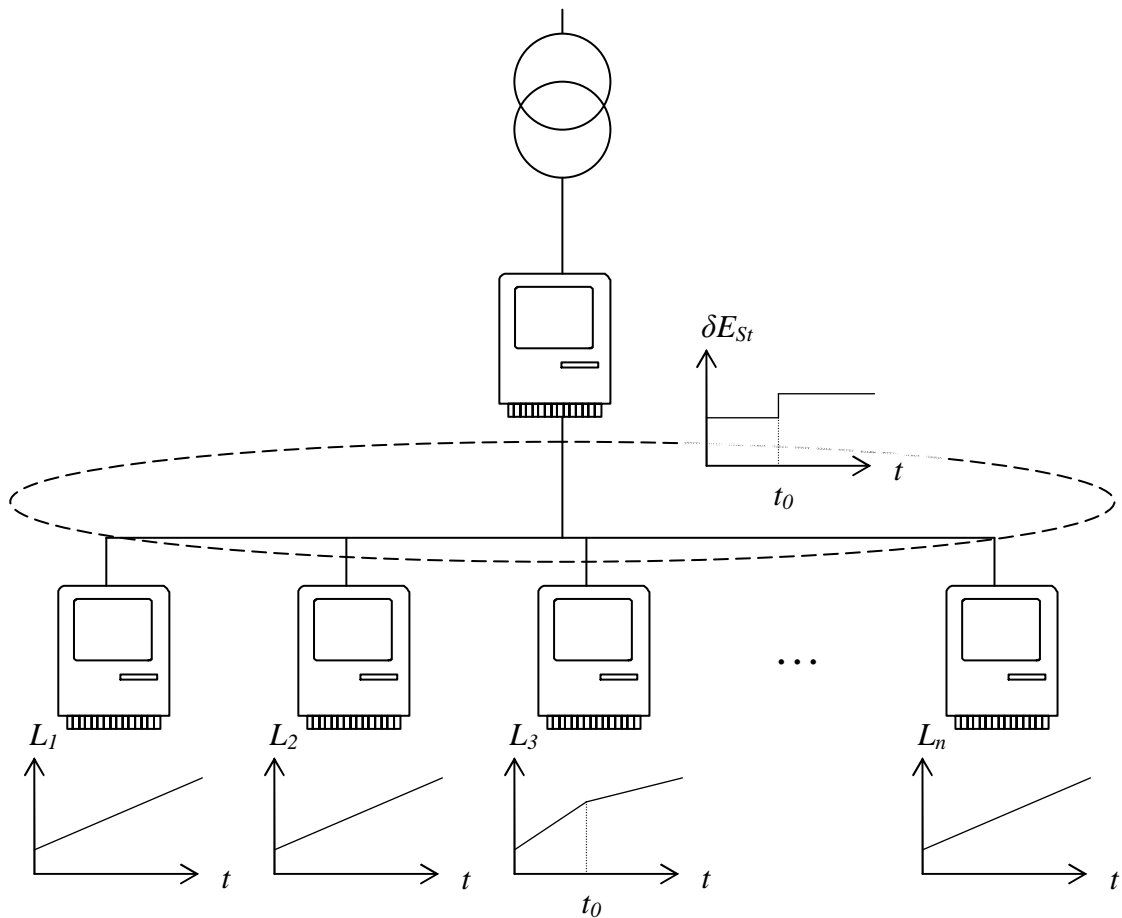
Rys.6. Teoretyczne wykresy prezentujące sposób działania metody



Rys.7. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej δE_t od czasu



Rys.8. Rzeczywisty wykres narastania stanu licznika



Rys.9. Zastosowanie wykresów do lokalizacji odbiorcy, którego można podejrzewać o kradzież energii

Dobowe zużycie energii wskazane przez licznik:

$$E_{n_t} = L_{n_t} - L_{n_t+1},$$

Różnica bilansowa bezwzględna:

$$\Delta E_t = E_{licz.sum_t} - \sum_{i=1}^{n_o} E_{n_t}$$

Skorygowana różnica bilansowa bezwzględna:

$$\Delta E_{St} = \Delta E_t - \Delta E_{liczników} - \Delta E_{obc} - \Delta E_{u\Sigma}$$

Skorygowana różnica bilansowa względna:

$$\delta E_{St} = \frac{\Delta E_{St}}{E_{licz.sum_t}} * 100\%$$

W ten sposób otrzymuje się wartość skorygowanej różnicy bilansowej, wynikającą ze strat technicznych oraz handlowych (w tym również ze zużycia energii przez zainstalowane liczniki).

Jeżeli

$$\delta E_{St} > \delta E_{dopuszcza\ln e}$$

to należy rozpocząć poszukiwanie licznika z najbardziej zmienionym kątem nachylenia krzywej narastania stanu licznika. W algorytmie pomijamy dobę t , w której nastąpiło zauważalne zwiększenie różnicy bilansowej względnej oraz dobę $t-1$, ponieważ jeżeli w danej dobie wystąpiła zauważalna zmiana różnicy bilansowej względnej to kradzież energii o znaczącej wartości rozpoczęła się w tej dobie t albo w dobie poprzedzającej $t-1$. Wynika to z założenia, że jeżeli w dobie t można było zauważyć zmianę kąta wykresu narastania stanu

licznika, to nielegalny pobór (o wartościach na tyle dużych, by można było go zaobserwować) zaczął występować w tej dobie t , lub w dobie poprzedzającej $t-1$.

Ograniczenia metody

Nie ma idealnej metody do wykrywania kradzieży prądu. Każda z dotychczas stosowanych ma jakieś swoje ograniczenia. Metoda bilansu i szybkości narastania stanu licznika również nie jest bez wad. Aby można było stosować ją muszą być spełnione następujące warunki:

1. Kradzież energii musi zacząć występować po zainstalowaniu systemu. W przeciwnym wypadku nie zostanie zaobserwowana zmiana różnicy bilansowej i narastania stanu licznika. Nie można jednak wykluczyć możliwości stwierdzenia kradzieży w takim przypadku w pewnych sytuacjach np. odbiorca wyjeżdża na 2-3 tygodniowy urlop i w tym czasie nie pobiera energii ani legalnie, ani nielegalnie. Po powrocie włącza swoje odbiorniki. W takich sytuacjach należy jednak przeprowadzić osobną analizę danych: wzrostowi od zera poboru energii przez odbiorcę towarzyszy wzrost różnicy bilansowej względnej.
2. Część odbiorników zasilanych dotychczas legalnie musi zostać przełączona na nielegalne przyłącze (musi nastąpić zmniejszenie poboru energii). W przeciwnym wypadku nie można powiązać zwiększenia różnicy bilansowej w danym podobszarze sieci ze zmianą wskazań licznika jednego z odbiorców.

Metoda nie wykrywa kradzieży prądu o „niewielkiej” wartości. Na tym etapie trudno jest stwierdzić jaka musi być wartość nielegalnego poboru, aby można było wykryć go za pomocą tej metody. Na pewno można powiedzieć, że jeżeli 100% odbiorników zostanie przełączona na nielegalne przyłącze, to taką kradzież da się wykryć. Można również powiedzieć, że jeżeli 1% energii będzie przed odbiorcą pobierana z pominięciem urządzeń pomiarowo rozliczeniowych, to takiej kradzieży nie da się wykryć za pomocą tej metody. Nie ma sztywnej granicy pomiędzy tym, jaka wartość nielegalnego poboru można wykryć za pomocą tej metody, a jaką nie.

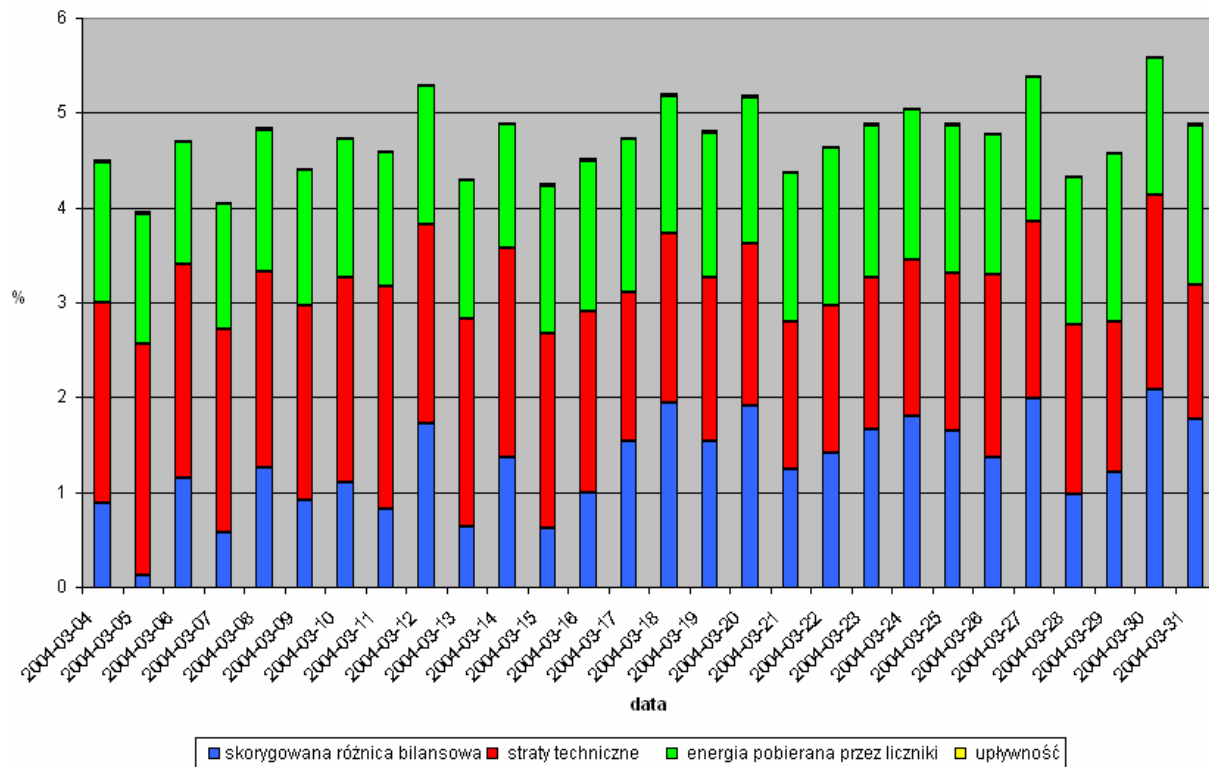
To czy wartość będzie wykrywalna zależy od kilku czynników:

- I. ubytek energii musi być zauważalny w odniesieniu do zużycia energii wskazywanego przez licznik,

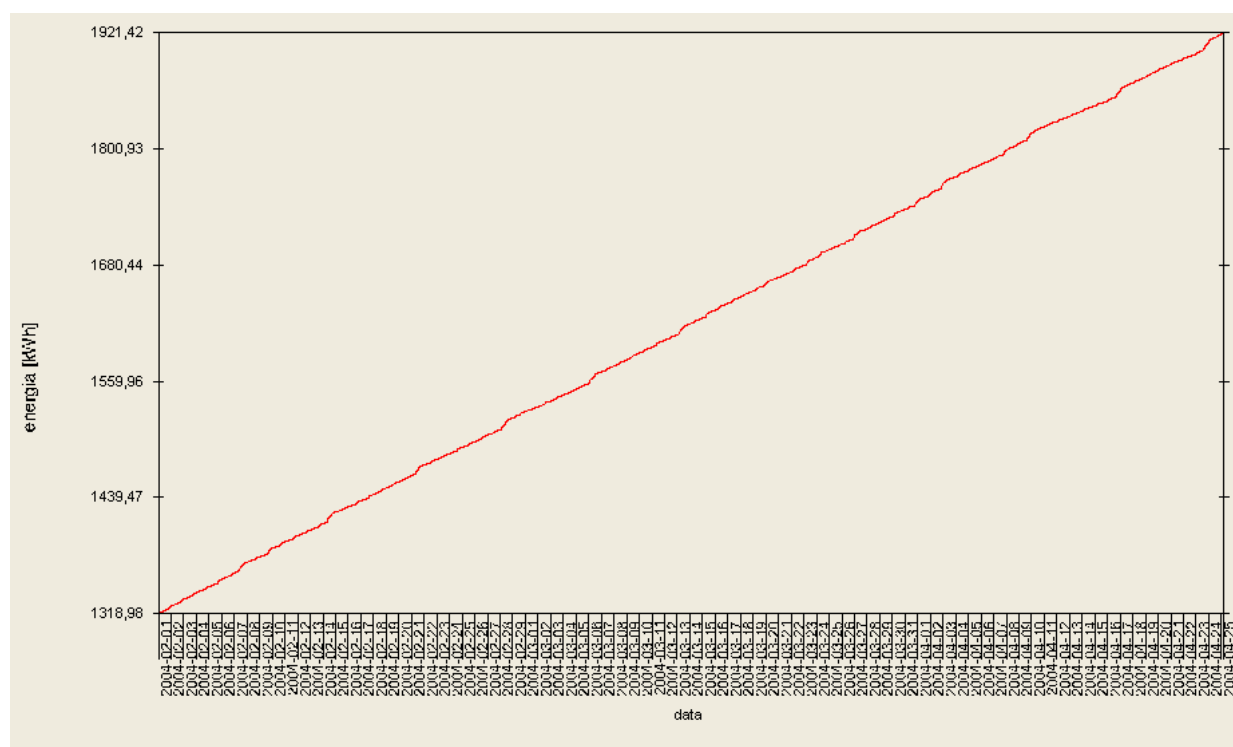
- II. kradzież energii musi być na tyle duża w stosunku do sumarycznego zużycia energii pobieranej przez wszystkie liczniki, żeby można było zauważyć znaczne zwiększenie różnicy bilansowej (i skorygowanej różnicy bilansowej),
 - III. liczby liczników, które są bilansowane przez jeden licznik bilansujący; im więcej liczników jest bilansowanych przez jeden licznik tym mniej znaczące i trudniej zauważalne są zmiany przy kradzieży energii.
3. Podobne zjawisko zmienienia kąta nachylenia krzywej narastania stanu licznika odbiorczego do osi czasu (x) zależy również od sezonowości, wyjazdów odbiorcy, urlopów itp. Zakłóca to wykrywanie kradzieży prądu za pomocą tej metody.
 4. Metoda zakłada, że osoba kradnąca energię musi mieć zainstalowany u siebie licznik energii, który jest zdalnie odczytywany przez system zbierania danych. Nie można zatem wykryć kradzieży prądu polegającej na nielegalnym podłączeniu się np. do WLZ osoby, która ma zdemontowany licznik, np. w wyniku wcześniejszego udowodnienia kradzieży prądu. W przeciwnym wypadku nie można powiązać zwiększenia różnicy bilansowej w danym podobszarze sieci ze zmianą wskazań licznika jednego z odbiorców.
 5. Nie da się wskazać miejsca kradzieży energii lub będzie to bardzo trudne, jeżeli jeden z liczników w polu transformatora nie jest zdalnie odczytywany np. jest to licznik przedpłatowy firmy Apator.
 6. Nie można wykryć nielegalnego poboru prądu przez odbiorcę, który znajduje się w polu innego transformatora (jest zasilany przez inny transformator). Nie można wtedy powiązać zwiększenia różnicy bilansowej w podobszarze sieci ze zmianą wskazań jednego z liczników tej podsieci.
 7. Nielegalne przyłącze nie może znajdować się za licznikiem odbiorczym. Metoda nie wykryje nielegalnego pobierania energii od sąsiada lub z instalacji oświetlenia klatki schodowej, ponieważ nie nastąpi wzrost skorygowanej różnicy bilansowej.

Metoda bilansu i szybkości narastania liczydła w ujęciu probabilistycznym

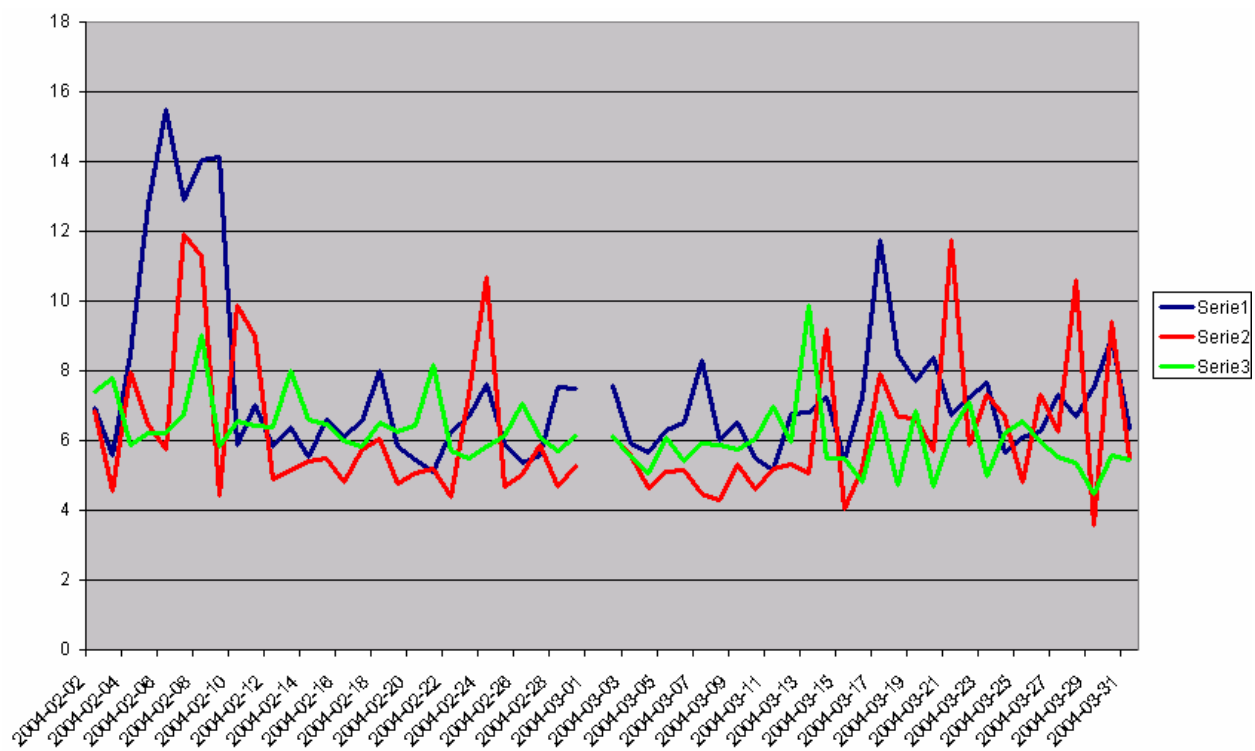
Wykresy rzeczywiste



Rys.10. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu

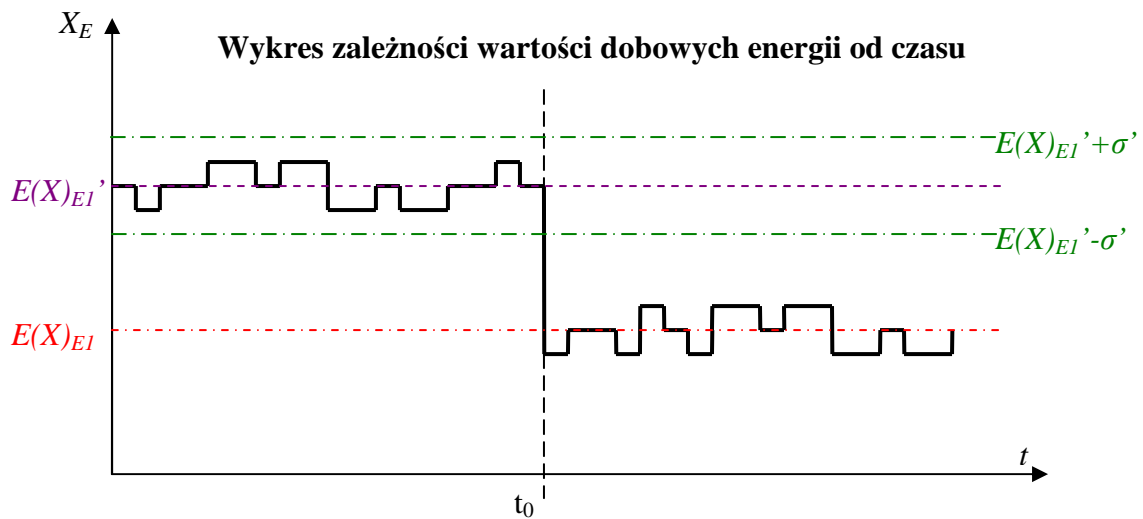
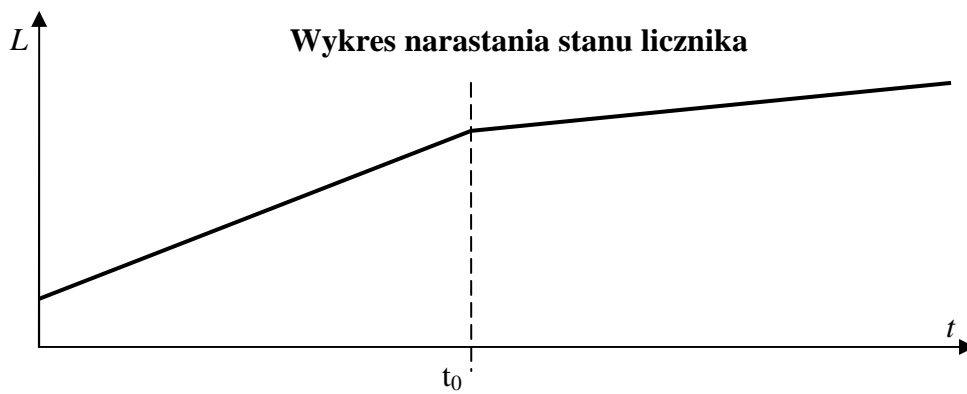
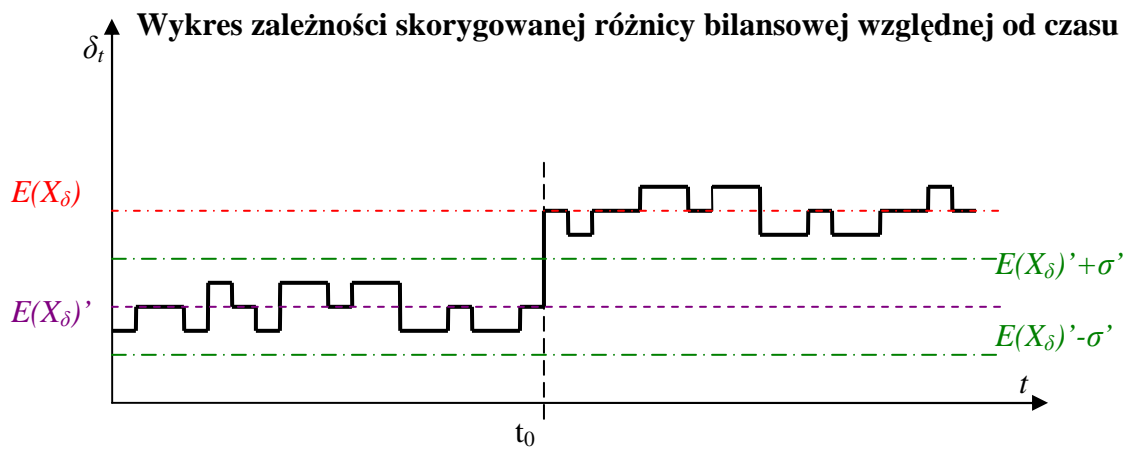


Rys.11. Rzeczywisty wykres narastania stanu licznika



Rys.12. Rzeczywisty wykres wartości dobowych dla trzech przykładowych liczników

Wykresy – model



Rys.13. Wykresy przybliżające podejście probabilistyczne

Brak wskaźnika sezonowości

Wskaźnik sezonowości można byłoby uwzględnić przy wyliczaniu zmian dobowych wartości energii dla każdego z odbiorców. Generalnie jednak wszyscy odbiorcy w zimie będą pobierać większą ilość energii, a zastosowana metoda typuje najbardziej prawdopodobne miejsca kradzieży energii. Prawdopodobieństwo wystąpienia kradzieży energii zwiększy się dla wszystkich odbiorców.

Nie ma jednego wskaźnika sezonowości dla wszystkich odbiorców. Jest on różny dla różnych odbiorców i trudno jest określić jeden prawidłowy dla każdego z nich, ponieważ zmienność poboru zależy w dużej mierze od kilku czynników np.:

- temperatury otoczenia (a nie pory roku),
- godzin brzasku i zmierzchu,
- rodzaju dnia: roboczy, wolny, świąteczny,
- wzrostu zużycia w czasie,
- zmienności sytuacji materialnej odbiorcy.

Generalnie bardziej wiarygodnym wskaźnikiem od sezonowości byłby wskaźnik temperaturowy, opierający się na temperaturze otoczenia. Byłaby wtedy konieczność wprowadzania temperatury – jako kolejnej danej w systemie. Dalej idąc im więcej danych o temperaturze byłoby dostarczonych do systemu tym dokładniej można byłoby wyliczać jaka zmienność poboru energii przez odbiorców zależy od temperatury. Wskaźnik temperaturowy różnych odbiorców mógłby różnić się znacznie.

W systemie zbierającym jedynie dane o energii elektrycznej pominięto zarówno wskaźnik sezonowości jak i temperaturowy.

Możliwe rozbudowy systemu zwiększające dokładność zastosowanych metod

System dokładniej wyliczałby wartości strat, jeżeli dodałoby się do niego funkcjonalności:

- 1) pomiar energii biernych i napięć,
- 2) pomiar temperatury,
- 3) pomiar prądu obciążenia poszczególnych faz.

Rozbudowa systemu wiązałaby się z kosztami. Wyniki wyliczeń jednak nie zapowiadałyby zwrotu tych kosztów. Zatem założono, że istniejący system zbierający jedynie dane pomiarowe – odczyty energii elektrycznej czynnej jest optymalny pod względem kosztowym.

Centralne twierdzenie graniczne

W oparciu o centralne twierdzenie graniczne, które mówi, że rozkład sumy dużej liczby zmiennych losowych jest w przybliżeniu normalny założono, że rozkład dobowych wartości strat technicznych i handlowych oraz skorygowanej różnicy bilansowej i poboru energii przez konkretnego odbiorcę jest rozkładem normalnym.

Testy normalności: test Shapiro-Wilka

Test ten oparty jest na szacowaniu średniej odległości wykresu kwantyl-kwantyl od prostej.

Przykład

Przykładowe sprawdzenie, czy wartości dobowe skorygowanej różnicy bilansowej z Lipnicy Wielkiej z okresu 04 ÷ 28-03-2004 roku mają rozkład normalny. Wyliczone wartości zostały zaokrąglone do czwartego miejsca po przecinku.

Postawienie hipotezy:

$H_0: \varepsilon \sim N(0, \sigma)$; rozkład składnika losowego modelu jest rozkładem normalnym,

$H_1: -\varepsilon \sim N(0, \sigma)$; składnik losowy modelu ma rozkład różny od normalnego.

Sprawdzianem testu jest statystyka

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{\lfloor n/2 \rfloor} a_{n-i+1} (e_{n-i+1} - e_i) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2},$$

gdzie

a_i – współczynnik Shapiro-Wilka, stała zależna od n oraz od k ,

e_i – reszty modelu uporządkowane rosnąco.

Obszar odrzucenia hipotezy jest lewostronny:

$$(0, W^*_{n, \alpha}),$$

gdzie:

W^* - wartość krytyczna odczytana z tablic wartości krytycznych do testu Shapiro-Wilka.

(test może być stosowany dla małych prób, jest mało wrażliwy na autokorelację i heteroskedastyczność)

Wyliczenia:

Lp	x_n	\bar{x}	e_i
1.	0,8921	1,2605	0,3684
2.	0,1261	1,2605	1,1344
3.	1,1433	1,2605	0,1172
4.	0,5696	1,2605	0,6909
5.	1,2572	1,2605	0,0033
6.	0,9197	1,2605	0,3408
7.	1,1048	1,2605	0,1557
8.	0,8275	1,2605	0,4330
9.	1,7226	1,2605	-0,4621
10.	0,6398	1,2605	0,6207
11.	1,3682	1,2605	-0,1077
12.	0,6265	1,2605	0,6340
13.	0,9948	1,2605	0,2657
14.	1,5422	1,2605	-0,2817
15.	1,9459	1,2605	-0,6854
16.	1,5413	1,2605	-0,2808
17.	1,9048	1,2605	-0,6443
18.	1,2434	1,2605	0,0171
19.	1,4073	1,2605	-0,1468
20.	1,6640	1,2605	-0,4035
21.	1,8106	1,2605	-0,5501
22.	1,6455	1,2605	-0,3850
23.	1,3696	1,2605	-0,1091
24.	1,9853	1,2605	-0,7248
Suma	30,2521	30,252	0,0001
Suma kwadratów			5,5403

Zweryfikowanie hipotezy o normalności rozkładu składnika losowego modelu.

H_0 : $\varepsilon \sim N(0, \sigma)$; rozkład składnika losowego modelu jest rozkładem normalnym,

H_1 : składnik losowy modelu ma rozkład różny od normalnego.

Obliczenia do sprawdzianu testu prowadzimy w tabeli:

$Lp.$	e_i	e_{n-i+1}	$e_{n-i+1} - e_i$	a_i	$a_i (e_{n-i+1} - e_i)$
1.	-0,7248	1,1344	1,8592	0,4493	0,835339
2.	-0,6854	0,6909	1,3763	0,3098	0,426378
3.	-0,6443	0,6340	1,2783	0,2554	0,326478
4.	-0,5501	0,6207	1,1708	0,2145	0,251137
5.	-0,4621	0,4330	0,8951	0,1807	0,161745
6.	-0,4035	0,3684	0,7719	0,1512	0,116711
7.	-0,3850	0,3408	0,7258	0,1245	0,090362
8.	-0,2817	0,2657	0,5474	0,0997	0,054576
9.	-0,2808	0,1557	0,4365	0,0764	0,033349
10.	-0,1468	0,1172	0,2640	0,0539	0,014230
11.	-0,1091	0,0171	0,1262	0,0321	0,004051
12.	-0,1077	0,0033	0,1110	0,0107	0,001188
13.	0,0033	-0,1077			
14.	0,0171	-0,1091			
15.	0,1172	-0,1468			
16.	0,1557	-0,2808			
17.	0,2657	-0,2817			
18.	0,3408	-0,3850			
19.	0,3684	-0,4035			
20.	0,4330	-0,4621			
21.	0,6207	-0,5501			
22.	0,6340	-0,6443			
23.	0,6909	-0,6854			
24.	1,1344	-0,7248			

$$\lfloor n/2 \rfloor = 12,$$

$$\sum_{i=1}^{12} a_{24-i+1} (e_{24-i+1} - e_i) = 2,3155,$$

$$\sum_{i=1}^{24} (e_i - \bar{e})^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 = 5,5404$$

$$W = \frac{(2,3155)^2}{5,5404} = 0,9677$$

Wartość krytyczna dla $n=24$ na poziomie istotności $\alpha=0,05$ wynosi $W^*=0,916$, obszar odrzucenia $(0, 0,916)$, $W > W^*$, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , tzn. nie ma podstaw, aby uważać rozkład składnika losowego modelu za różny od normalnego.

Równania wyliczające straty jako funkcje zmiennych losowych

Mając dostęp do bardzo szczegółowych danych pomiarowych: pomiary profili piętnastominutowych odbiorców indywidualnych, bilansów z kilku lokalizacji można zaproponować nowe podejście do wyznaczania wartości strat.

Wyniki obliczeń poszczególnych składowych strat w różnym czasie są traktowane jako wyniki zmiennych losowych. Dla każdej składowej strat wyliczona została wartość oczekiwana oraz odchylenie standardowe. Na tej podstawie zostaną wyznaczone szacunkowe poziomy strat oraz prawdopodobieństwo występowania nielegalnego poboru energii.

Algorytm wykrywania miejsca kradzieży energii

Wyliczenia wartości dla zadanego okresu

1) Wyliczenie wartości dobowych poszczególnych strat,

a) Obciążeniowych

Przyjęto następujące założenia[24]:

- o drobni odbiorcy miejscy, którzy są przyłączeni do sieci nN, pobierają energię przy średnim współczynniku mocy $\cos \varphi_m = 0,93$ ($\text{tg } \varphi_m = 0,395$),
- o drobni odbiorcy wiejscy – przy $\cos \varphi_w = 0,87$ ($\text{tg } \varphi_m = 0,250$),

$$\Delta P_{obc} = 3 \cdot I^2 \cdot R_L = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l = \frac{S^2}{U_N^2} \cdot R_0 \cdot l = \frac{P^2 + Q^2}{U_N^2} \cdot R_0 \cdot l = \frac{P^2 + (P \cdot \text{tg} \varphi)^2}{U_N^2} \cdot R_0 \cdot l$$

Uproszczony wzór na energię strat:

$$\Delta E_{obc_t} = \int \Delta P_{obc} dt = \Delta P_{obc(i)} t$$

b) Poboru energii przez liczniki

$$\Delta E_{liczników} = 24 * \sum_{i=1}^{n_s} E_i = 24 * \sum_{i=1}^{n_s} (E_U \cdot k_U + E_I \cdot k_I + E_p)_i$$

Wielkości współczynników E_U , k_U , E_I , k_I , E_p zostały wzięte z katalogów producentów zainstalowanych liczników. W przypadku ich braku można posłużyć się uproszczonym wzorem:

$$\Delta E_{03} = 24(1,5N_{03j} + 3,5N_{03t}) \cdot 10^{-6}$$

Współczynnik 24 bierze się stąd, że liczona jest wartość dobową, czyli wzór na wartość godzinową strat mnożymy razy 24 godziny.

c) Upływu

$$\Delta E_{u\Sigma} = 24l_{\Sigma} \Delta P'_{u} = l_{\Sigma} \Delta E'_{u}$$

Współczynnik 24 bierze się stąd, że liczona jest wartość dobową, czyli wzór na wartość godzinową strat mnożymy razy 24 godziny.

Zostały przyjęte następujące wartości przeciętne jednostkowych strat mocy $\Delta P'_{u}$ dla linii napowietrznych nN 1,5 W/km [20].

2) Wyliczenie wartości oczekiwanych oraz odchyłeń standardowych dla strat

Zostaną wyliczone dobowe wartości poszczególnych składowych strat, a na ich podstawie zostaną wyznaczone wartości oczekiwane dla każdej ze strat oraz odchylenie średnie kwadratowe dla okresów dwumiesięcznych [6],

a) Obciążeniowych

Wartość oczekiwana

$$E(X_{obc}) = \bar{x}_{obc} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{obc(i)}$$

Odchylenie standardowe

$$\sigma_{obc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obc(i)} - \bar{x}_{obc})^2}{n-1}}$$

b) Poboru energii przez liczniki

Wartość oczekiwana

$$E(X_{liczników}) = \bar{x}_{liczników} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{liczników(i)}$$

Odchylenie standardowe

$$\sigma_{liczników} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{liczników(i)} - \bar{x}_{liczników})^2}{n-1}}$$

c) Upływu

Wartość oczekiwana

$$E(X_u) = \bar{x}_u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{u(i)}$$

Odchylenie standardowe

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{u(i)} - \bar{x}_u)^2}{n-1}}$$

3) Wyliczenie różnicy bilansowej,

$$\Delta E_t = E_{licz.sum_t} - \sum_{i=1}^{n_o} E_{n_t}$$

gdzie: t oznacza wybraną dobę,

4) Wyliczenie skorygowanej różnicy bilansowej

W oparciu o regułę 3-sigma

$$\Delta E_{st} = \Delta E_t - E(X_{liczników}) - E(X_{obc}) - E(X_{u\Sigma}) - 3 \cdot \sigma_{obc} - 3 \cdot \sigma_{liczników} - 3 \cdot \sigma_u$$

Wyliczenie skorygowanej różnicy bilansowej w wyniku odejmowania od wartości różnicy bilansowej wartości oczekiwanych poszczególnych składowych strat oraz trzykrotnych wartości odchylenia średniego kwadratowego poszczególnych składowych. Należy jednak pamiętać, że w wyniku przyjętych uproszczeń przy wyliczaniu strat technicznych nie można powiedzieć, że 99,7% wartości strat rzeczywistych będzie znajdowało się w tym przedziale, tylko 99,7% strat liczonych z dokładnością tej metody.

5) Obliczenie wielkości statystycznych dla skorygowanej różnicy bilansowej dla zadanych okresów

a) wartość oczekiwana dla zadanego okresu dwumiesięcznego

$$E(X_\delta) = \bar{x}_\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{\delta-i}$$

b) wartość oczekiwana dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego,

$$E(X_{\delta'}) = \bar{x}_{\delta'} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{\delta-i}$$

c) wartość oczekiwana dla analogicznego okresu dwumiesięcznego do zadanego, z ubiegłego roku

$$E(X_{\delta''}) = \bar{x}_{\delta''} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{\delta-i}$$

- d) odchylenie średnie kwadratowe dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego**

$$\sigma_{\delta}' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{\delta-i} - \bar{x}_{\delta}')^2}{n-1}}$$

- e) odchylenie średnie kwadratowe dla analogicznego okresu dwumiesięcznego do zadanego, z ubiegłego roku**

$$\sigma_{\delta}'' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{\delta-i} - \bar{x}_{\delta}'')^2}{n-1}}$$

- 6) Sprawdzenie, czy wystąpiło zwiększenie wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej względnej $E(X_{\delta}) > E(X_{\delta}')$**

Porównywana jest wartość oczekiwana obliczona z pomiarów z zadanego okresu dwumiesięcznego z wartością oczekiwaną obliczoną z pomiarów z poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego.

- a) Jeżeli $E(X_{\delta}) < \delta E_{dopuszczalne}$ to nie wystąpiło zachodzi podejrzenie o nielegalny pobór energii,
- b) Jeżeli $E(X_{\delta}) \leq E(X_{\delta}')$ to nie wystąpiło zwiększenie wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej względnej. Z tego wynika, że nie zachodzi podejrzenie o kradzież energii.
- c) Jeżeli $E(X_{\delta}) > E(X_{\delta}')$ to wystąpiło zwiększenie wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej względnej. Z tego wynika, że zachodzi podejrzenie o kradzież energii. Należy zatem postępować wg kolejnych punktów algorytmu wykrywania miejsca kradzieży energii.

Jeżeli $E(X_{\delta}) > \delta E_{dopuszczalne}$ ale $E(X_{\delta}) \leq E(X_{\delta}')$ oraz $E(X_{\delta}) \leq E(X_{\delta}'')$ to najprawdopodobniej ma miejsce nielegalny pobór energii, ale nie można wykryć go za pomocą tej metody, ponieważ nie można podać momentu, od którego nastąpiło zwiększenie skorygowanej różnicy bilansowej.

7) Sprawdzenie, czy wystąpiło zwiększenie wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej względnej $E(X_\delta) > E(X_\delta'')$

Porównywana jest wartość oczekiwana obliczona z pomiarów z zadanego okresu dwumiesięcznego z wartością oczekiwaną obliczoną z pomiarów z analogicznego okresu z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku.

- a) Jeżeli $E(X_\delta) \leq E(X_\delta'')$ to nie wystąpiło zwiększenie wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej względnej. Z tego wynika, że nie zachodzi podejrzenie o kradzież energii.
- b) Jeżeli $E(X_\delta) > E(X_\delta'')$ to wystąpiło zwiększenie wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej względnej. Z tego wynika, że zachodzi podejrzenie o kradzież energii. Należy zatem postępować wg kolejnych punktów algorytmu wykrywania miejsca kradzieży energii.

8) Symulacyjne określenie rzędu kwantyli rozkładu skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla danego okresu dwumiesięcznego w porównaniu z ubiegłym okresem dwumiesięcznym

Symulacyjne określenie rzędu kwantyli p_σ' , gdzie $0 \leq p_\sigma' \leq 1$, w rozkładzie empirycznym skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla danego okresu dwumiesięcznego. Liczba $x_{\sigma\sigma}'$ równa jest wartości oczekiwanej dla poprzedniego okresu dwumiesięcznego \bar{x}_σ' :

założenie

$$x_{\sigma\sigma}' = \bar{x}_\sigma'$$

wzory

$$P_X((-\infty, x_{\sigma\sigma}']) \geq p_\sigma'$$

oraz

$$P_X((x_{\sigma\sigma}', \infty)) \geq 1 - p_\sigma'$$

W szczególności, kwantylem rzędu p_σ' jest taka wartość $x_{\sigma\sigma}'$ zmiennej losowej, że wartości mniejsze lub równe od $x_{\sigma\sigma}'$ są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej p_σ' , zaś wartości większe lub równe od $x_{\sigma\sigma}'$ są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej $1-p_\sigma'$.

9) Symulacyjne określenie rzędu kwantyli rozkładu skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla danego okresu dwumiesięcznego w porównaniu z analogicznym okresem dwumiesięcznym z ubiegłym rokiem.

Symulacyjne określenie rzędu kwantyli p_σ , gdzie $0 \leq p_\sigma \leq 1$, w rozkładzie empirycznym skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla danego okresu dwumiesięcznego. Liczba $x_{\sigma p}$ równa jest wartości oczekiwanej dla okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku \bar{x}_σ :

założenie

$$x_{\sigma p} = \bar{x}_\sigma$$

wzory

$$P_X((-\infty, x_{\sigma p}]) \geq p_\sigma$$

oraz

$$P_X((x_{\sigma p}, \infty]) \geq 1 - p_\sigma$$

W szczególności, kwantylem rzędu p_σ jest taka wartość $x_{\sigma p}$ zmiennej losowej, że wartości mniejsze lub równe od $x_{\sigma p}$ są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej p_σ , zaś wartości większe lub równe od $x_{\sigma p}$ są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - p_\sigma$.

Poniższe obliczenia wartości oczekiwanej i odchylenia standardowego należy wykonać dla każdego licznika energii elektrycznej (dla każdego odbiorcy).

Analiza poborów dobowych wartości energii każdego z odbiorców. Wyznaczenie momentu (okresu dwumiesięcznego), od którego następuje zwiększenie skorygowanej różnicy bilansowej względnej

10) Obliczenie wielkości statystycznych dla dobowych wartości energii dla zadanych okresów dla określonego licznika:

a) wartość oczekiwana dla zadanego okresu dwumiesięcznego

$$E(X_E) = \bar{x}_E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{E-i}$$

- b) **wartość oczekiwana dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego**

$$E(X_{E'}) = \bar{x}_{E'} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{E-i}$$

- c) **odchylenie średnie kwadratowe dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego**

$$\sigma_{E'} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{E-i} - \bar{x}_{E'})^2}{n-1}}$$

- d) **wartość oczekiwana dla okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku**

$$E(X_{E''}) = \bar{x}_{E''} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{E-i}$$

- e) **odchylenie średnie kwadratowe dla okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku**

$$\sigma_{E''} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{E-i} - \bar{x}_{E''})^2}{n-1}}$$

- 11) **Sprawdzenie, czy nie nastąpiło zmniejszenie wartości oczekiwanej wartości dobowej energii $E(X_E) < E(X_{E'})$**

Porównywana jest wartość oczekiwana obliczona z pomiarów z zadanego okresu dwumiesięcznego z wartością oczekiwaną obliczoną z pomiarów z poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego.

- a) Jeżeli $E(X_E) < E(X_{E'})$ to wystąpiło zmniejszenie wartości oczekiwanej dobowej wartości energii. Z tego wynika, że zachodzi podejrzenie o kradzież energii. Należy zatem postępować wg kolejnych punktów algorytmu wykrywania miejsca kradzieży energii.
- b) Jeżeli $E(X_E) \geq E(X_{E'})$ to nie wystąpiło zmniejszenie wartości oczekiwanej dobowej wartości energii. Z tego wynika, że nie zachodzi podejrzenie o kradzież energii.

12) Sprawdzenie, czy nie nastąpiło zmniejszenie wartości oczekiwanej wartości dobowej energii $E(X_E) < E(X_E'')$

Porównywana jest wartość oczekiwana obliczona z pomiarów z zadanego okresu dwumiesięcznego z wartością oczekiwaną obliczoną z pomiarów z analogicznego okresu z poprzedniego (w stosunku do zadanego) roku.

- a) Jeżeli $E(X_E) < E(X_E'')$ to wystąpiło zmniejszenie wartości oczekiwanej dobowej wartości energii. Z tego wynika, że zachodzi podejrzenie o kradzież energii. Należy zatem postępować wg kolejnych punktów algorytmu wykrywania miejsca kradzieży energii.
- b) Jeżeli $E(X_E) \geq E(X_E'')$ to nie wystąpiło zmniejszenie wartości oczekiwanej dobowej wartości energii. Z tego wynika, że nie zachodzi podejrzenie o kradzież energii.

13) Symulacyjne określenie rzędu kwantyli rozkładu dla dobowych wartości energii dla zadanych okresów dla określonego licznika dla danego okresu dwumiesięcznego w porównaniu z ubiegłym okresem

Symulacyjne określenie rzędu kwantyli p_E' , gdzie $0 \leq p_E' \leq 1$, w rozkładzie empirycznym skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla danego okresu dwumiesięcznego. Liczba $x_{\sigma E}'$ równa jest wartości oczekiwanej dla poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego \bar{x}_E' :

założenie

$$x_{Ep}' = \bar{x}_E'$$

wzory

$$P_X \left((-\infty, x_{Ep}') \right] \geq p_E'$$

oraz

$$P_X \left((x_{Ep}', \infty) \right] \geq 1 - p_E'$$

W szczególności, kwantylem rzędu p_E' jest taka wartość x_{Ep}' zmiennej losowej, że wartości mniejsze lub równe od x_{Ep}' są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej p_E' , zaś wartości większe lub równe od x_{Ep}' są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej $1-p_E'$.

14) Symulacyjne określenie rzędu kwantyli rozkładu dla dobowych wartości energii dla zadanych okresów dla określonego licznika dla danego okresu dwumiesięcznego z ubiegłego roku

Symulacyjne określenie rzędu kwantyli p_E , gdzie $0 \leq p_E \leq 1$, w rozkładzie empirycznym skorygowanej różnicy bilansowej względnej dla danego okresu dwumiesięcznego. Liczba x_{Ep} równa jest wartości oczekiwanej dla okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku \bar{x}_E :

założenie

$$x_{Ep} = \bar{x}_E$$

wzory

$$P_X((-\infty, x_{Ep}]) \geq p_E$$

oraz

$$P_X((x_{Ep}, \infty)) \geq 1 - p_E$$

W szczególności, kwantylem rzędu p_E jest taka wartość x_{Ep} zmiennej losowej, że wartości mniejsze lub równe od x_{Ep} są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej p_E , zaś wartości większe lub równe od x_{Ep} są przyjmowane z prawdopodobieństwem co najmniej $1 - p_E$.

Prawdopodobieństwo błędnej decyzji

Wzór do wyliczenia prawdopodobieństwa pomyłki przy wskazaniu konkretnego odbiorcy, jako na nielegalnie pobierającego energię elektryczną.

Przyjęto założenie, że jeżeli wartości oczekiwane dobowych wartości energii oraz skorygowanej różnicy bilansowej nie zmieniają się w czasie to prawdopodobieństwo kradzieży energii 43,75 % i prawdopodobieństwo pomyłki wynosi 56,25%. Są to wartości odniesienia.

Jeżeli wartość oczekiwana dobowych wartości energii dla danego odbiorcy zwiększa się to maleje prawdopodobieństwo kradzieży, a rośnie prawdopodobieństwo pomyłki. Analogicznie jeżeli wartość oczekiwana dobowych wartości energii maleje się to wzrasta prawdopodobieństwo kradzieży, a maleje prawdopodobieństwo pomyłki.

Prawdopodobieństwo kradzieży energii najbardziej wzrasta, jeżeli zwiększa się wartość oczekiwana skorygowanej różnicy bilansowej i jednocześnie maleje wartość oczekiwana wartości dobowej energii.

Korzystając ze wzoru na prawdopodobieństwo iloczynu zdarzeń:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \text{ - gdy } A \text{ i } B \text{ to zdarzenia od siebie niezależne}$$

oraz ze wzoru na prawdopodobieństwo sumy zdarzeń A i B , gdy $A, B \subset \Omega$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Prawdopodobieństwo zmniejszenia się dobowych wartości energii i wzrostu skorygowanej różnicy bilansowej:

dla ubiegłego okresu dwumiesięcznego:

$$p' = P'(E \cap \sigma) = p'_E (1 - p'_\sigma)$$

dla analogicznego okresu dwumiesięcznego w ubiegłym roku:

$$p'' = P''(E \cap \sigma) = p''_E (1 - p''_\sigma)$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia kradzieży energii korzystając z prawdopodobieństwa sumy zdarzeń:

$$p_k = p' + p'' - p' \cdot p''$$

Prawdopodobieństwo pomyłki, czyli prawdopodobieństwo, że kradzież energii jednak nie występuje:

$$p_p = 1 - p_k = 1 - (p' + p'' - p' \cdot p'')$$

gdzie:

p_{σ}' - rząd kwantyla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej dla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego,

p_{σ}'' - rząd kwantyla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej dla wartości oczekiwanej skorygowanej różnicy bilansowej okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku,

p_E' - rząd kwantyla wartości oczekiwanej dla dobowych wartości energii dla zadanych okresów dla określonego licznika w odniesieniu do poprzedniego (w stosunku do zadanego) okresu dwumiesięcznego,

p_E'' - rząd kwantyla wartości oczekiwanej dla dobowych wartości energii dla zadanych okresów dla określonego licznika w odniesieniu do okresu dwumiesięcznego analogicznego do zadanego, z ubiegłego roku,

Przykładowe wyliczenia strat

W niniejszej rozprawie do wyliczania strat obciążeniowych wykorzystano piętnastominutowe wartości energii odczytywane z liczników odbiorczych przez systemy AMR zainstalowane w kilku miejscowościach.

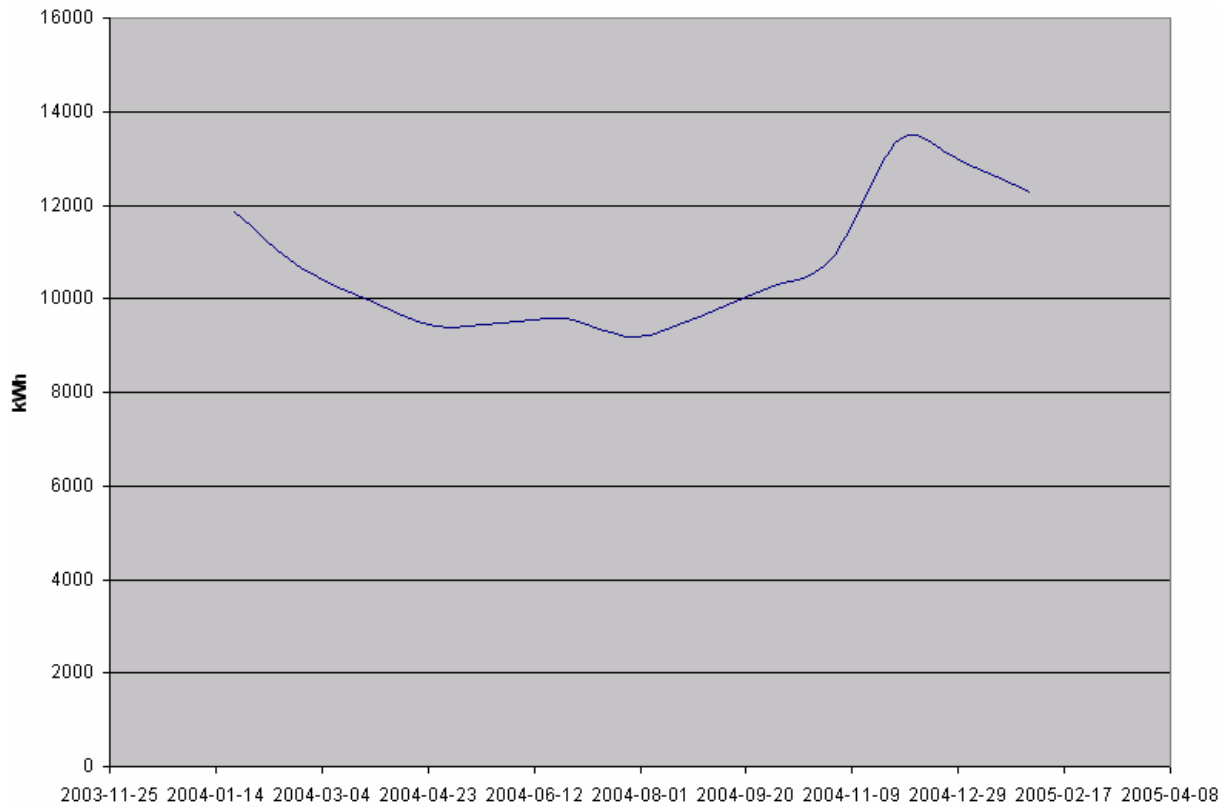
Instalacje wiejskie

Lipnica Wielka (ENION)

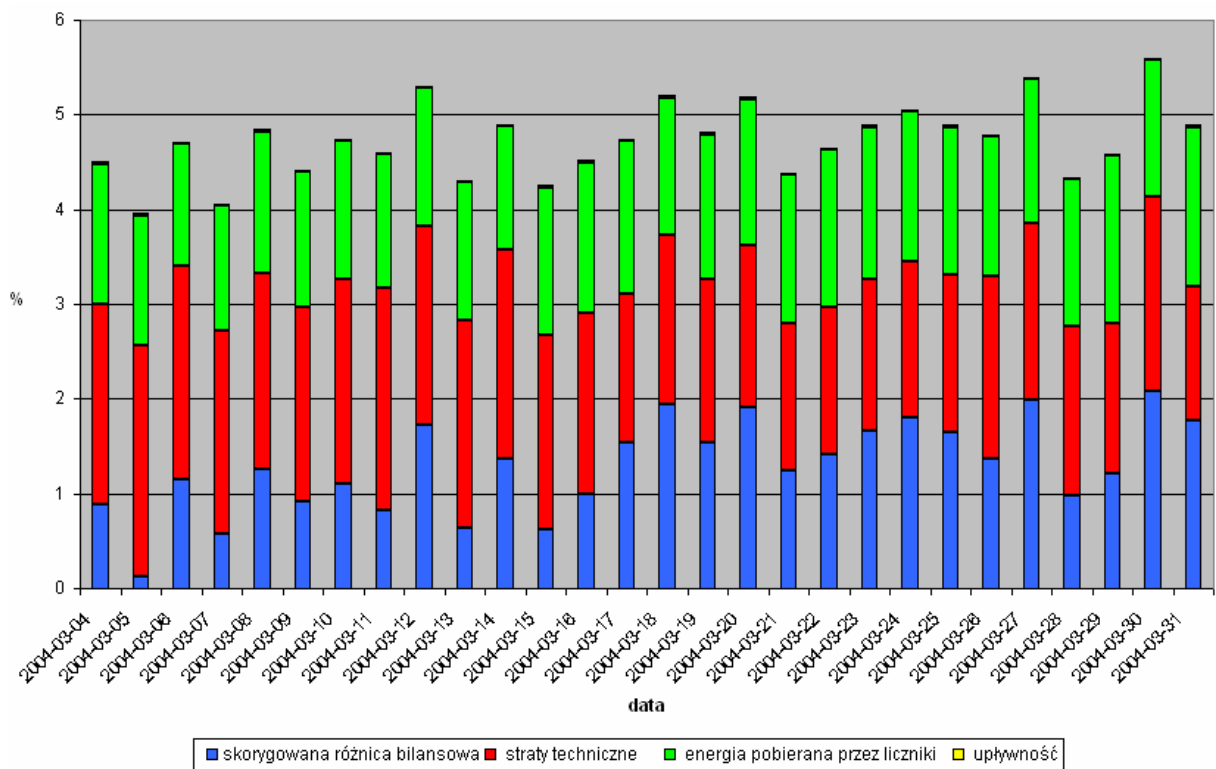
Opis

Mała wioska na Orawie niedaleko Nowego Targu znajdująca się przy granicy słowackiej. Rozważana instalacja została wykonana w terenie wiejskim i obejmuje wszystkich odbiorców zasilanych z jednej stacji transformatorowej SN/nN. W skład tej instalacji wchodzi 49 bezpośrednich indukcyjnych oraz elektronicznych liczników energii elektrycznej jedno- i trójfazowych wraz z przystawkami komunikacyjnymi oraz jeden półpośredni licznik bilansujący.

Sieć napowietrzna ma ok. 30 lat i była wielokrotnie pozrywana, najczęściej na skutek wiejących tam wiatrów halnych. Połączona jest wieloma złączkami. Na początku instalacji systemu pracownicy spółki dystrybucyjnej z kamerą termowizyjną sprawdzali, na których złączkach wydziela się dużo ciepła (w wyniku większej rezystancji). Zły styk utrudniał transmisję danych z liczników. W ramach prac dostosowujących sieć kilka przyłączy przeniesiono na zewnątrz budynków.



Rys.14. Lipnica Wielka. Rzeczywisty wykres miesięcznej wartości energii zużywanej przez wszystkich odbiorców

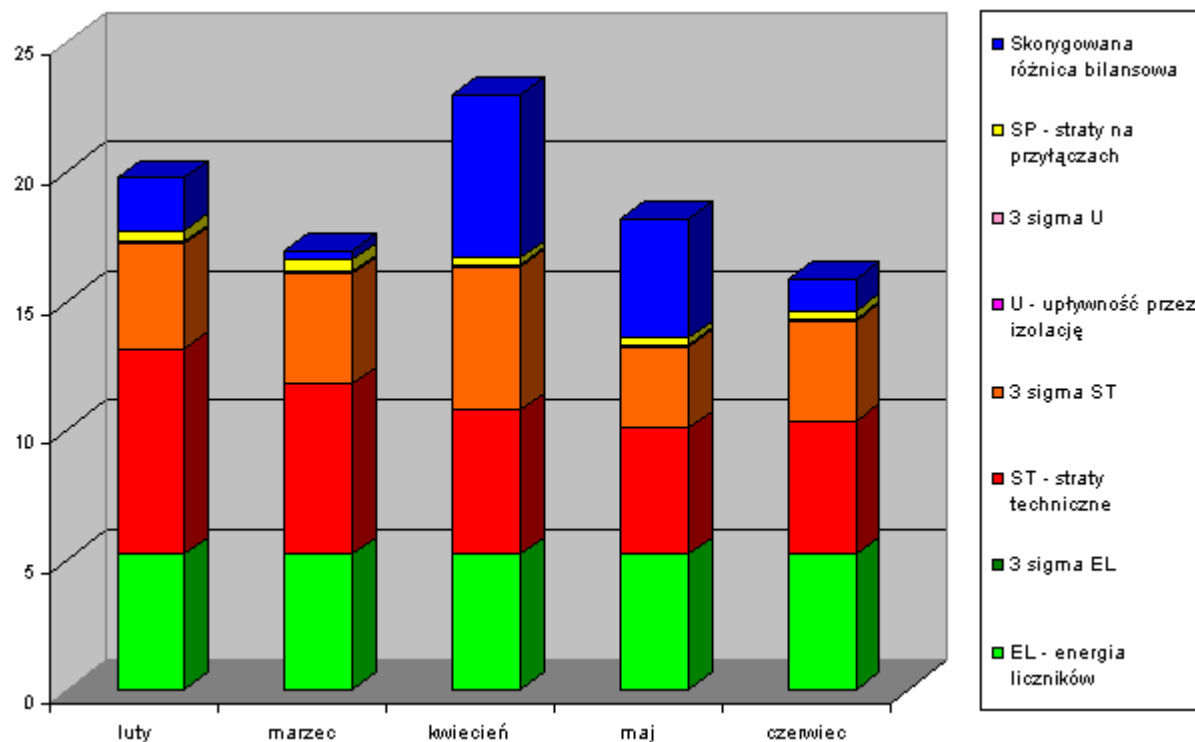


Rys.15. Lipnica Wielka. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu

Wyniki obliczeń

Uwzględniając pomiary energii zużytej przez okres 3. marca – 31 marca 2004 r. Licznik bilansujący wskazał zużycie energii 9371,10 kWh. Suma energii pobieranej przez wszystkich odbiorców wynosi w tym czasie 8927,69 kWh. Straty obciążeniowe (rozpływy mocy) wynoszą 180,6 kWh. Wszystkie liczniki pobrały energię 140,31 kWh. W skutek upływności tracone jest w tym czasie 2,16 kWh. Potrzeby bilansowe kształtują się na poziomie 4,73 %. Pomniejszone o energię zużywaną przez liczniki, straty wynikające z upływności oraz straty obciążeniowe niezbilansowanie jest na poziomie 1,28 %.

Pobór energii czynnej elektrycznej przez liczniki energii elektrycznej zainstalowane w tej lokalizacji wyliczono na podstawie danych katalogowych [11-19].



Rys.16. Lipnica Wielka. Graficzna ilustracja procentowego udziału poszczególnych strat wchodzących w skład różnicy bilansowej

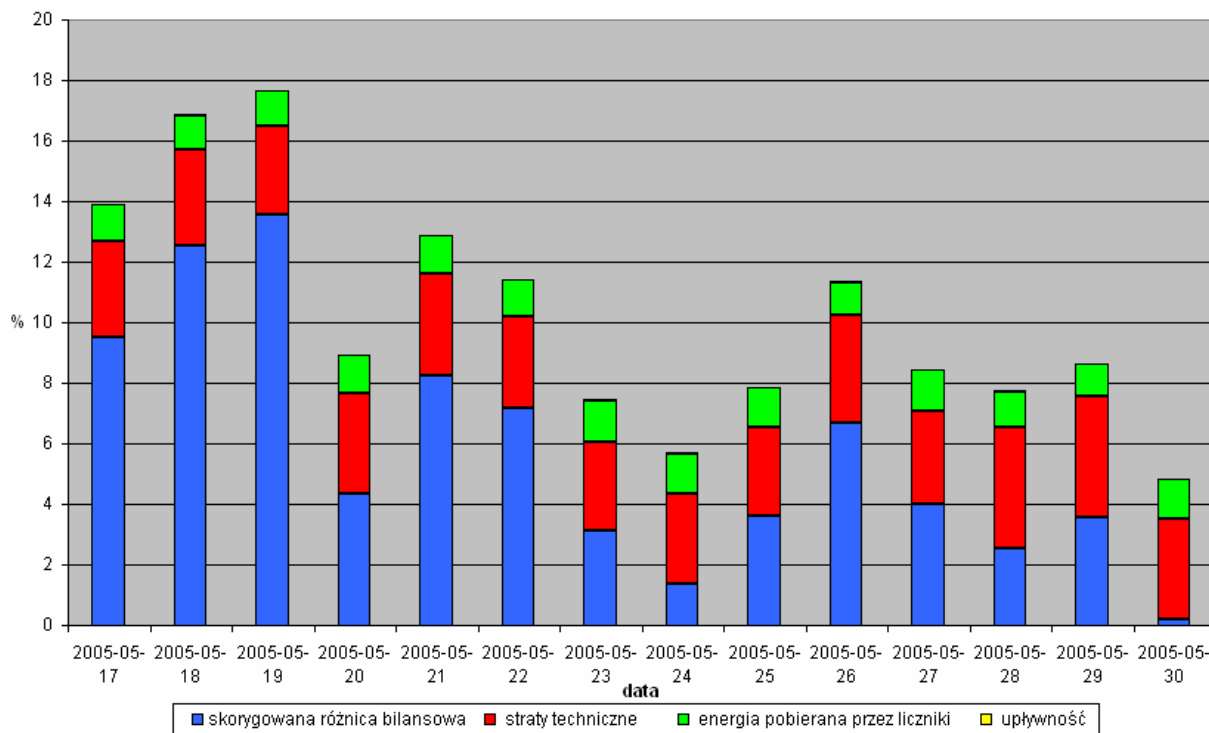
Poszczególne składowe strat

[kWh]	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec
energia pobierana przez liczniki (EL)	5,232	5,232	5,232	5,232	5,232
3 sigma EL	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
straty obciążeniowe (ST)	7,941	6,562	5,559	4,877	5,118
3 sigma ST	4,049	4,252	5,548	3,121	3,905
upływność przez izolację (U)	0,077	0,077	0,077	0,077	0,077
3 sigma U	-	-	-	-	-
SP - straty na przyłączach	0,396	0,468	0,259	0,273	0,306
Skorygowana różnica bilansowa	2,062	0,338	6,302	4,603	1,199

Lipnica (EnergiaPro)

Opis

Lipnica to mała wioska w województwie dolnośląskim. Został tam zainstalowany system NETPAF XP rozszerzony o możliwość dokładnego wyliczania strat technicznych. Rozważana instalacja została wykonana w terenie wiejskim i obejmuje wszystkich odbiorców zasilanych z jednej stacji transformatorowej SN/nN. W skład tej instalacji wchodzi 69 bezpośrednich elektronicznych liczników energii elektrycznej jedno- i trójfazowych wraz z przystawkami komunikacyjnymi oraz 6 bezpośrednich liczników bilansujących dokonujących bilansów na poszczególnych fazach. Od stacji transformatorowej instalacja rozchodzi się w dwie strony. Na każdej fazie każdego odejścia został zainstalowany licznik bilansujący.



Rys.17. Lipnica. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu

Uwzględniając pomiary energii zużytej przez okres 17. maja – 30 maja 2005 r. Licznik bilansujący wskazał zużycie energii 6022,85 kWh. Suma energii pobieranej przez wszystkich odbiorców wynosi w tym czasie 5602,85 kWh. Straty obciążeniowe (rozplywy mocy) wynoszą 197,84 kWh. Wszystkie liczniki pobrały energię 74,22 kWh. W skutek upływności tracone jest w tym czasie 0,73 kWh. Potrzeby bilansowe kształtują się na poziomie 6,97 %. Pomniejszone o energię zużywaną przez liczniki, straty wynikające z upływności oraz straty obciążeniowe niezbilansowanie jest na poziomie 2,44 %.

Pobór energii czynnej elektrycznej przez liczniki energii elektrycznej zainstalowane w tej lokalizacji wyliczono na podstawie danych katalogowych [11-19]:

przez godzinę:

$$\Delta E_{liczników} = 0,2301 \text{ kWh}$$

przez dobę:

$$\Delta E_{liczników} = 0,2301 \text{ kWh} * 24 = 5,5224 \text{ kWh}$$

Poszczególne składowe strat

	upływność	straty obciążeniowe	energia pobierana przez liczniki	skorygowana różnica bilansowa
	[%]	[%]	[%]	[%]
wartość oczekiwana	0,012232	3,267033	1,23992	5,739233
odchylenie standardowe	0,000947	0,345431	0,095949	3,886231

Wnioski z instalacji wiejskich

Trudno jest porównywać dwie instalacje wiejskie w Lipnicy i Lipnicy Wielkiej. Niewłaściwe byłoby również wyciąganie generalnych wniosków co do instalacji wiejskich na przykładzie tych dwóch sieci, które pomimo zbieżności nazw miejscowości, w których zostały zainstalowane, co do specyfiki różnią się dość znacznie. Można rozpatrywać je na zasadzie analizy przypadku (case method). Wszystkie dane, na podstawie których wykonane zostały wyliczenia są rzeczywiste [kilka brakujących (jest ich niespełna 1%) zostało aproksymowanych lub oszacowanych].

Sieć w Lipnicy Wielkiej działa od września 2003 roku, bardzo często jest komplet odczytów z liczników. Na wykresie energii miesięcznej licznika bilansującego widać zjawisko sezonowości poboru energii przez odbiorców indywidualnych. Straty techniczne były wyznaczane na podstawie bardzo szczegółowych schematów sieci.

Lipnica k. Środy Śląskiej to eksperymentalna sieć do liczenia strat technicznych. Zastosowano tam kilka ciekawych mechanizmów np. przypisywanie konkretnych liczników do określonych faz, 6 liczników bilansujących – po jednym na każdej fazie dla każdego z dwóch odczytów. Sieć jeszcze jest w fazie testów i nie wszystkie jej funkcje działają w niej poprawnie. Zatem nie można jeszcze bazować na tym szczególnym rozwiązaniu.

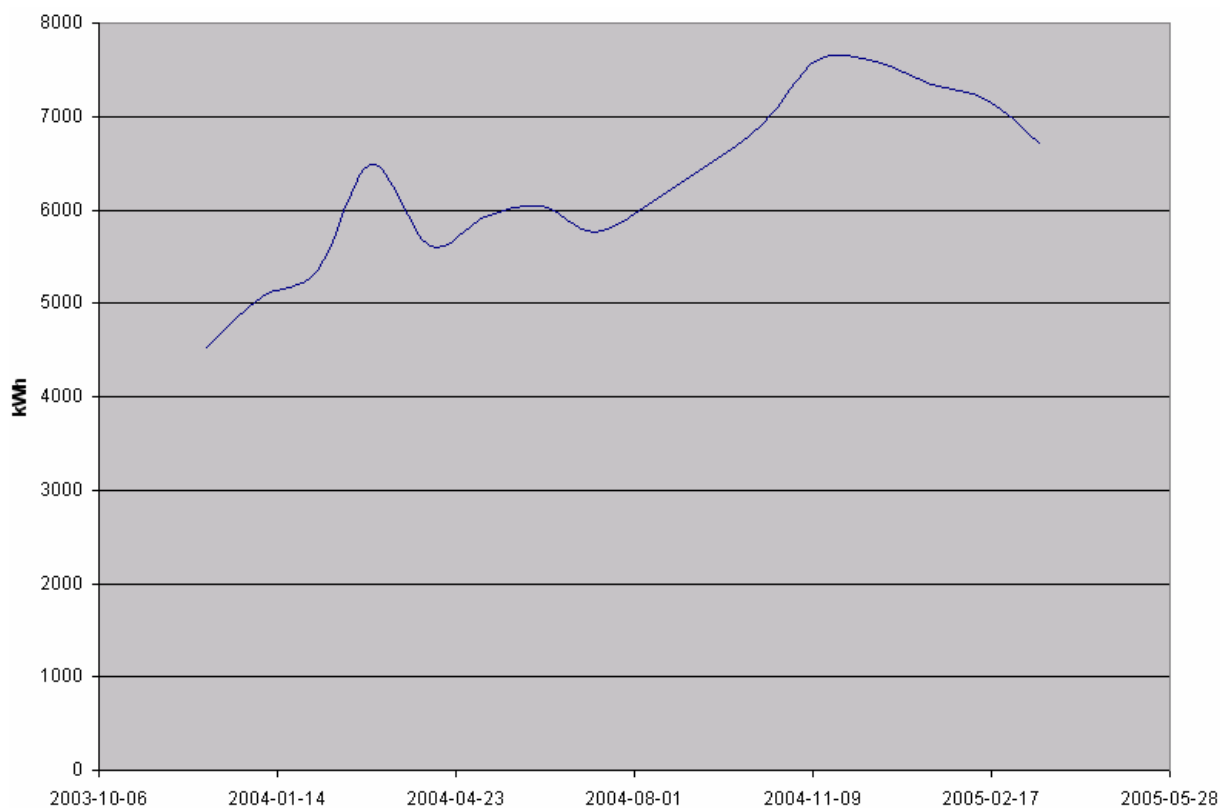
Wykonane wyliczenia wskazują, że z dużym prawdopodobieństwem można powiedzieć, że w dolnośląskiej Lipnicy występuje nielegalny pobór energii. Wartość pozostałych (nieokreślonych strat) jest na zbyt wysokim poziomie. Warto wykonać jeszcze szczegółową analizę danych z tej lokalizacji.

Instalacje miejskie

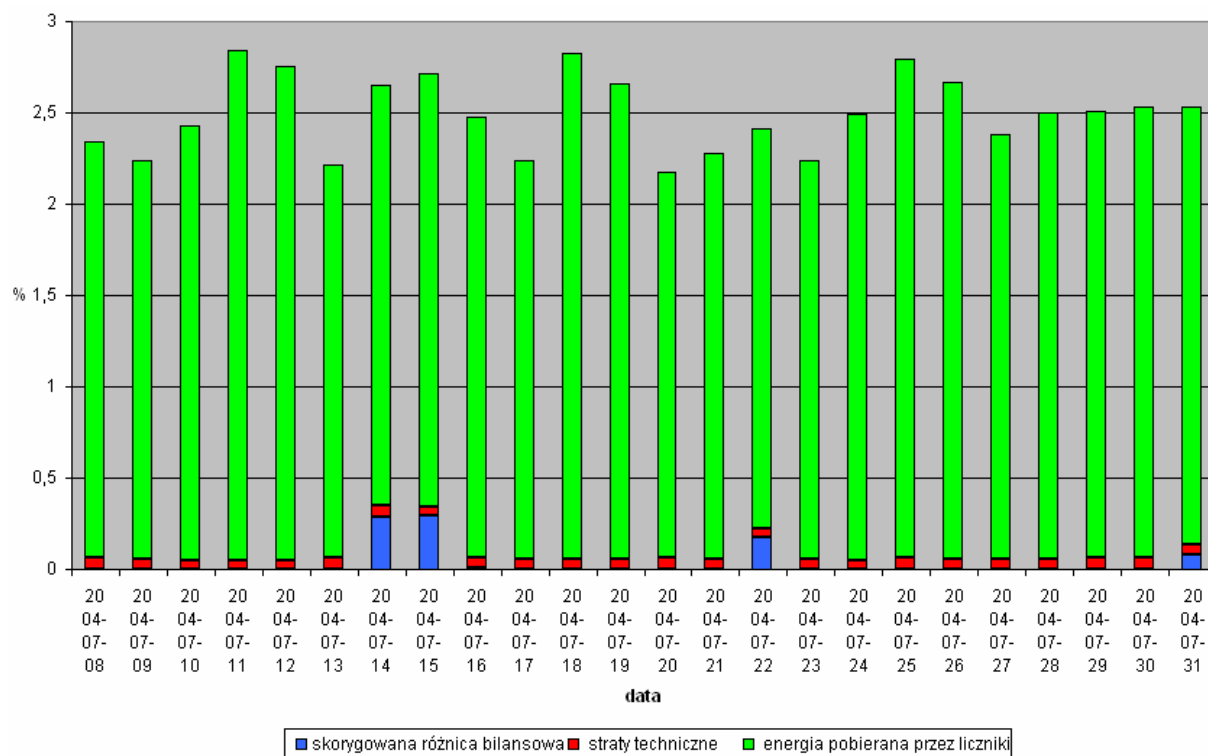
Kraków (ENION)

Opis

W Krakowie na ul. Słoneckiego 9 w 2002 roku został wybudowany nowy budynek mieszkalny. Liczniki znajdują się na klatkach schodowych. W budynku tym zainstalowany został system zdalnego odczytu liczników odbiorczych. Rozważana instalacja obejmuje wszystkich odbiorców zasilanych z jednej stacji transformatorowej SN/nN. W skład tej instalacji wchodzi 44 bezpośrednich indukcyjnych oraz elektronicznych liczników energii elektrycznej jedno- i trójfazowych wraz z przystawkami komunikacyjnymi oraz 1 półpośredni licznik bilansujący.



Rys.18. Kraków. Rzeczywisty wykres miesięcznej wartości energii zużywaną przez wszystkich odbiorców



Rys.19. Kraków. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu

Uwzględniając pomiary energii zużytej przez okres 7. lipca – 31 lipca 2004 r. potrzeby bilansowe kształtują się na poziomie 1,88 %. Licznik bilansujący wskazał zużycie energii 4494,80 kWh. Suma energii pobieranej przez wszystkich odbiorców wynosi w tym czasie 4410,22 kWh. Straty obciążeniowe (rozpływy mocy) wynoszą 2,54 kWh. Wszystkie liczniki pobrały energię 107,30 kWh. Potrzeby bilansowe kształtują się na poziomie 2,97 %. Pomniejszone o energię zużywaną przez liczniki oraz straty techniczne niezbilansowanie jest na poziomie -0,56 %. Z tego wynika, że odbiorcy i liczniki zużywają więcej energii niż jest dostarczone. Wynika to z faktu, że dla liczników klasy 2 błąd pomiaru energii może być na poziomie $\pm 2\%$.

Pobór energii czynnej elektrycznej przez liczniki energii elektrycznej zainstalowane w tej lokalizacji wyliczono na podstawie danych katalogowych [11-19]:

przez godzinę:

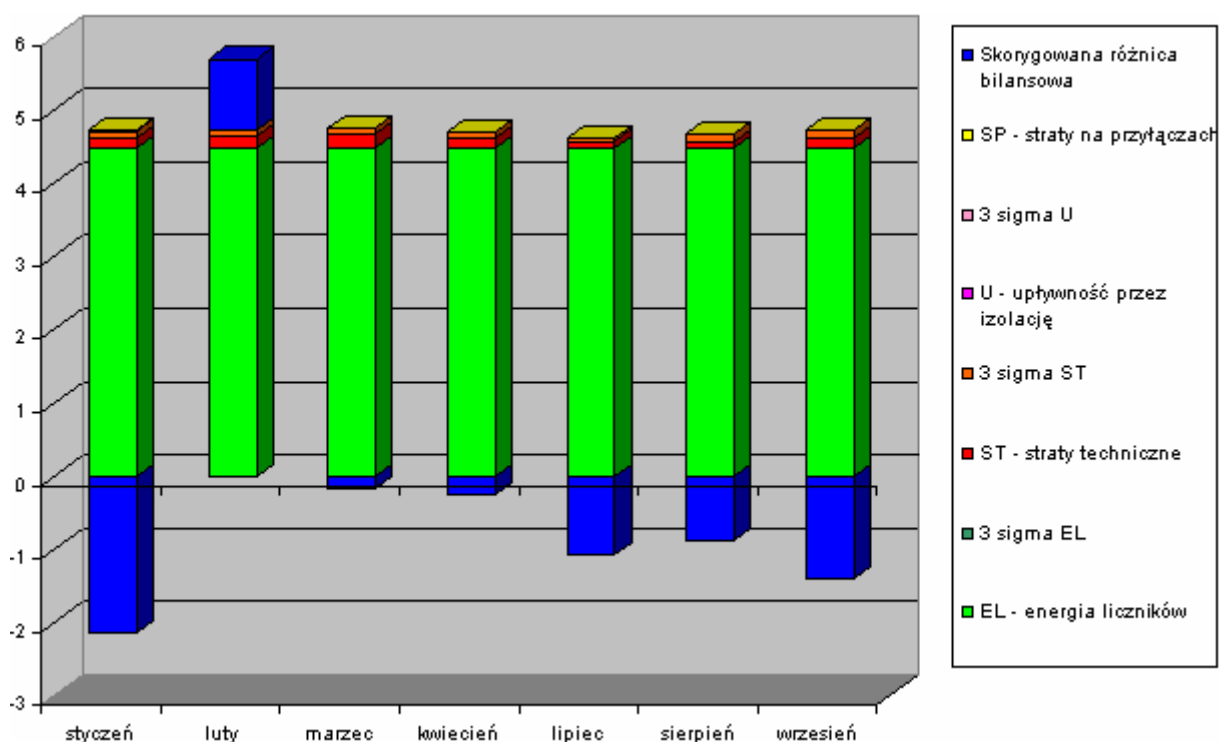
$$\Delta E_{liczników} = 0,1863 \text{ kWh}$$

przez dobę:

$$\Delta E_{liczników} = 0,1863 \text{ kWh} * 24 = 4,4712 \text{ kWh}$$

Poszczególne składowe strat

	straty obciążeniowe	energia pobierana przez liczniki	skorygowana różnica bilansowa
	[%]	[%]	[%]
wartość oczekiwana	0,056401	2,403898	0,034933
odchylenie standardowe	0,004972	0,202298	0,085423



Rys.20. Kraków. Graficzna ilustracja procentowego udziału poszczególnych strat wchodzących w skład różnicy bilansowej bezwzględnej

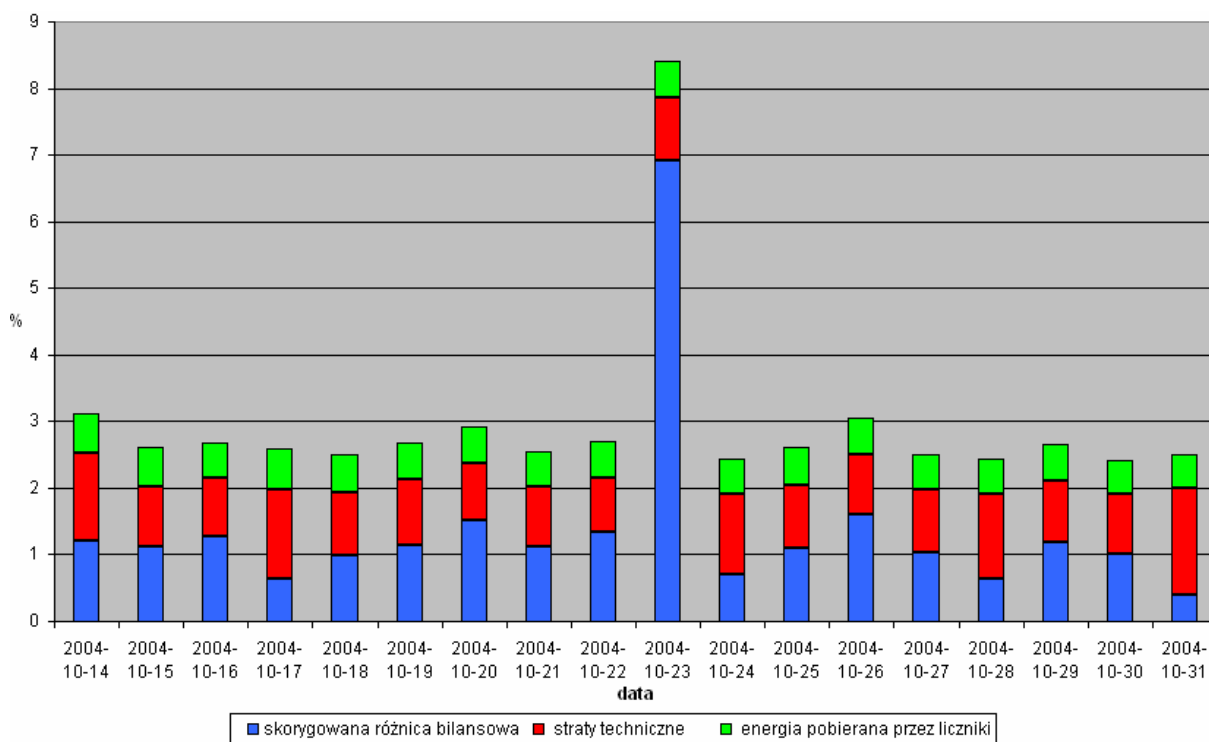
	styczeń	luty	marzec	kwiecień	lipiec	sierpień	wrzesień
energia pobierana przez liczniki (EL)	4,471	4,471	4,471	4,471	4,471	4,471	4,471
3 sigma EL	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
straty obciążeniowe (ST)	0,146	0,161	0,187	0,133	0,103	0,093	0,143
3 sigma ST	0,094	0,083	0,090	0,086	0,043	0,094	0,115
upływność przez izolację (U)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
3 sigma U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SP - straty na przyłączach	-	-	-	-	-	-	-
Skorygowana różnica bilansowa	- 2,122	0,975	- 0,172	- 0,257	- 1,071	- 0,879	- 1,395

Środa Śląska (EnergiaPro)

Opis

W mieście Środzie Śląskiej w budynkach znajdujących się przy ul. Śląskiej nr 2 - 4 i Białokórnicznej nr 2 - 4 został zainstalowany system zdalnego odczytu liczników odbiorczych. Rozważana instalacja obejmuje wszystkich odbiorców zasilanych z jednej stacji transformatorowej SN/nN. W skład tej instalacji wchodzi 69 bezpośrednich elektronicznych liczników energii elektrycznej jedno- i trójfazowych wraz z przystawkami komunikacyjnymi oraz 15 bezpośrednich liczników bilansujących.

Na każdej fazie odejścia od transformatora został zainstalowany licznik bilansujący. Dodatkowo zostało założonych 12 liczników bilansujących: po jednym na każdej fazie każdego z 4 przyłączy.



Rys.21. Środa Śląska. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu

Uwzględniając pomiary energii zużytej przez 14. października – 31. października 2004 r. Licznik bilansujący wskazał zużycie energii 6396,54 kWh. Suma energii pobieranej przez wszystkich odbiorców wynosi w tym czasie 6206,56 kWh. Straty obciążeniowe (rozpływy mocy) wynoszą 66,01 kWh. Wszystkie liczniki pobrały energię 35,01 kWh.

Potrzeby bilansowe kształtują się na poziomie 2,97 %. Pomniejszone o energię zużywaną przez liczniki oraz straty obciążeniowe niezbilansowanie jest na poziomie 1,39 %.

Pobór energii czynnej elektrycznej przez liczniki energii elektrycznej zainstalowane w tej lokalizacji wyliczono na podstawie danych katalogowych [11-19]:

przez godzinę:

$$\Delta E_{liczników} = 0,0738 \text{ kWh}$$

przez dobę:

$$\Delta E_{liczników} = 0,0738 \text{ kWh} * 24 = 1,772 \text{ kWh}$$

Poszczególne składowe strat

	straty obciążeniowe	energia pobierana przez liczniki	skorygowana różnica bilansowa
	[%]	[%]	[%]
wartość oczekiwana	1,030707	0,548996	1,385182
odchylenie standardowe	0,212284	0,029846	1,373011

Zastanawiający może być dobowy wzrost wartości strat, który wystąpił 23. października. Wynika on z prowadzonych tego dnia prac wdrożeniowo – serwisowych przy uruchamianiu i testowaniu systemu zdalnego odczytu energii po sieci energetycznej. Pomędzy licznik bilansujący a liczniki odbiorcze zostało podłączonych kilka urządzeń: komputery, urządzenia kontroli jakości transmisji danych po sieci nN i in.

Wnioski z instalacji miejskich

Instalacje w miastach również różnią się od siebie. W Krakowie analizowana sieć znajduje się w nowym budynku mieszkalnym oddanym do użytku w 2003 roku, natomiast w Środzie śląskiej są to starsze, ale już powojenne, budynki.

Na wykresie energii miesięcznej zużywanej w tej lokalizacji w przeciągu półtora roku nie widać jeszcze zjawiska sezonowości poboru energii. Obserwuje się natomiast stałe zwiększanie zużycia sumarycznej energii zużywanej przez wszystkich odbiorców. Wyjaśnienie tego zjawiska jest następujące: jest to nowy budynek mieszkalny i odbiorcy wprowadzali się stopniowo. Sukcesywnie również kupowali odbiorniki energii elektrycznej.

W Krakowie liczniki energii znajdują się poza lokalami mieszkalnymi. Wyliczenia poszczególnych składowych strat pokazują, że nie zachodzi tam podejrzenie o kradzież energii.

W Środzie Śląskiej wartość skorygowanej różnicy bilansowej pokazuje, że może, choć niekoniecznie, występować tam nielegalny pobór energii.

W Środzie Śląskiej wyliczony pobór energii przez jest ok. 3 razy mniejszy niż w pozostałych lokalizacjach. Wynika to z faktu zastosowania tam wielu liczników jednofazowych, które charakteryzują się niższym poborem energii niż trójfazowe.

Zestawienie danych

Lp.	nazwa		ENION		EnergiaPro	
			Lipnica Wielka	Kraków	Środa Śląska	Lipnica
1.	Zakres dat		4-31.03.2004	8-31.07.2004	14-31.10.2004	17-30.05.2005
2.	Licznik bilansujący	kWh	9 371,10	4 494,80	6 396,54	6 022,85
3.	Liczniki odbiorcze	kWh	8 927,69	4 410,22	6 206,56	5 602,85
4.	Różnica bilansowa	kWh	443,41	84,58	189,98	420,00
5.		%	4,73	1,88	2,97	6,97
6.	Straty techniczne	kWh	180,60	2,54	66,01	197,84
7.		%	1,93	0,06	1,03	3,28
8.	Energia liczników	kWh	140,31	107,30	35,01	74,22
9.		%	1,50	2,39	0,55	1,23
10.	Upływność	kWh	2,16	-	-	0,73
11.		%	0,02	-	-	0,01
12.	Skorygowana	kWh	120,33	-25,27	88,96	147,20
13.	różnica bilansowa	%	1,28	-0,56	1,39	2,44

Interpretacja wyników

Otrzymane wyniki nie umożliwiają wyciągnięcia generalnych wniosków co do wszystkich tych sieci. Mogą jednak posłużyć do dalszej analizy. W instalacjach wiejskich niezbilansowanie jest większe niż w miejskich. Większe są również tzw. pozostałe

straty, w skład których głównie wchodzi straty energii na złączkach zerwanych wcześniej linii napowietrznych (niedokładne złe styki powodują grzanie się).

Straty techniczne w lokalizacjach wiejskich mają dużo większe wartości niż w przypadku instalacji miejskich. Dla dolnośląskiego koncernu mają one większą wartość niż dla małopolskiego. Do wyliczeń zostały użyte schematy sieci, które w przypadku drugiego z przedsiębiorstw zostały o wiele bardziej szczegółowo opisane. W Środzie Śląskiej i Lipnicy np. schematach nie zaznaczono i nie opisano krótkich przewodów łączących poszczególne liczniki odbiorcze (przyłącza) z ciągiem (przewodami lub kablami) głównym. Ze szczegółowej analizy przypadku wynika, że małe prądy płynące przez te przewody mają niewielki wpływ i stanowią 5 - 6 % sumarycznej wartości strat technicznych. Największe straty występują w tych przewodach, przez które płyną największe prądy, czyli odchodzących bezpośrednio od transformatora.

Wartość energii pobieranej przez liczniki jest w zasadzie niezależna od wielkości miejscowości. W ENIONie jest ona średnio dwa razy większa niż w przypadku EnergiiPro. Wynika to z faktu zastosowania w instalacjach drugiego z koncernów wyłącznie nowoczesnych liczników elektronicznych zintegrowanych z modułem komunikacyjnym do przesyłania danych po sieci energetycznej. W ENIONie natomiast w większości przypadków do istniejących liczników indukcyjnych podłączono przez wyjście impulsowe przystawkę do transmisji danych.

Wyliczona upływność sieci jest pomijalnie mała.

Pozostałe straty dla instalacjach dolnośląskich są średnio większe o ok. 1,3 % od strat w Małopolsce. Nie można jednak wysunąć takiego generalnego wniosku. Przedstawione lokalizacje nie są reprezentatywne dla tych koncernów energetycznych. W zasadzie każda z lokalizacji posiada własną specyfikę. Poziom pozostałych strat dla sieci w Lipnicy sugeruje, że może mieć tam miejsce nielegalny pobór energii.

Zastanawiający jest szacunkowy bilans strat technicznych w polskich sieciach rozdzielczych w 1984 roku [32]. Wg wyliczeń wygląda on obecnie nieco inaczej. Straty obciążeniowe dla rozpatrywanych starszych instalacji nie są na poziomie 75%, lecz 30-50 %. Można podejrzewać, że w okresie, kiedy wyżej wymieniony bilans był przygotowywany nie było takich możliwości pomiaru rzeczywistych wartości energii (prądu) i rozplywów mocy jak jest obecnie.

Wnioski

Porównanie z dotychczas znanymi metodami wyliczania strat

Wprowadzenie

Nie ma metody, która umożliwiłaby określić dokładne techniczne straty energii rzeczywistej w rozległej sieci energetycznej [24]. Nie znając rzeczywistych wartości trudno porównywać wyniki dwóch różnych metod wyliczania strat. W konsekwencji nie można ściśle określić błędu danej metody [24]. Można jedynie oprzeć się na założeniach, metodzie matematycznej, zastosowanych algorytmach wyliczeń przejrzystości metod, autorytecie ośrodka badawczego lub danego naukowca oraz intuicji.

Dotychczas stosowane metody wyliczania strat, wyszczególnione wcześniej, są w pewnym sensie metodami szacowania wielkości poszczególnych składowych strat. W niektórych wypadkach wzory i współczynniki opracowano na podstawie wieloletnich badań. Profil obciążenia oraz wielkość zużycia energii zmienia się u odbiorców w wyniku:

- rozwoju technologicznego (energooszczędne urządzenia oraz AGD, komputery i Internet wdzierające się pod strzechy),
- zmian sytuacji materialnej społeczeństwa (bogacenia się lub biedy, zwiększania się cen energii i jej udziału procentowego w budżecie domowym),
- zmian statusu społecznego (ogólnego zwiększania się wykształcenia społeczeństwa),
- zmian kulturowych (oglądanie telenowel, syndromu wykluczenia społecznego, spędzenia wolnego czasu przy komputerach itp.).

Dlatego też wyznaczone wzory i współczynniki należy traktować jako podlegające zmianie w czasie, a nie jako ostateczne. Są one kolejnym krokiem iteracyjnym, który jest również początkiem nowej iteracji, w celu dokładniejszego wyznaczenia wzorów. Tych wzorów nie można wyprowadzić ani zweryfikować w sposób analityczny.

Nowe podejście wyznaczania strat zostało opracowane na podstawie podstawowych wzorów z elektrotechniki i statystyki matematycznej. Wyliczenie strat tymi metodami jest możliwe dzięki systemom AMR, które gromadzą odpowiednie dane pomiarowe.

W niniejszej rozprawie straty wyliczono na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych mierzonych w kilku lokalizacjach w sieci nN. Analizę przeprowadzono posiadając dane o zużyciu od wszystkich odbiorców znajdujących się w polu transformatora, zbierane w cyklach kwadransowych. Pod tym względem z definicji w metodzie zakłada się znajomość takich danych.

Nawet przy uwzględnieniu przyjętych uproszczeń zaprezentowana metoda pozwala z dużą dokładnością wyliczyć rozkład poszczególnych strat. Może ona posłużyć do ewentualnej weryfikacji dotychczas stosowanych metod.

Porównanie z dotychczas znanymi metodami wykrywania kradzieży energii

Porównanie metody bilansu i szybkości narastania liczydła z dotychczas znanymi metodami wykrywania kradzieży energii:

- Metoda licznika kontrolnego (tradycyjna) – zastosowanie licznika kontrolnego do weryfikacji wskazań licznika odbiorcy jest najskuteczniejszym sposobem stwierdzenia kradzieży energii, natomiast właściwie technicznie nie jest możliwe za pomocą tej metody wstępne poszukiwanie miejsca kradzieży energii. Metoda bilansu i szybkości narastania liczydła umożliwia takie wyszukiwanie jedynie na podstawie analizy danych bez konieczności prac w terenie.
- Układ wielu równań – metoda zupełnie nieskuteczna bez podstaw matematycznych. Każda jedna metoda jest skuteczniejsza od niej.
- Metoda wędrującego licznika bilansującego – metoda trudna technicznie do zrealizowania, z teoretyczną dużą skutecznością. Jej zakończeniem jest, w zasadzie, metoda licznika kontrolnego. Skuteczna w innych przypadkach niż metoda bilansu i szybkości narastania liczydła.
- Częstkowe Bilanse Pełzające – metoda trudna technicznie do zrealizowania, z teoretyczną dużą skutecznością. Jej zakończeniem jest, w zasadzie, metoda licznika kontrolnego. Skuteczna w innych przypadkach niż metoda bilansu i szybkości narastania liczydła.
- Metody statystyczne i taksometryczne – nie odnoszą się do różnicy bilansowej – podstawowego wskaźnika mówiącego, czy ma miejsce nielegalny pobór. Brak odniesienia do tego wskaźnika pokazuje, że za pomocą tej metody można szukać i znaleźć w populacji odbiorcę najbardziej podejrzanego o kradzież energii nawet wtedy jeżeli wiadomo, że zjawisko to nie występuje. Zawsze znajdzie się odbiorca, którego pobór najbardziej różni się od średniej. W opisanych metodach nie został przedstawiony algorytm wnioskowania. Zaproponowana, w pracy doktorskiej, metoda oprócz analizy statystycznej poboru poszczególnych odbiorców zakłada wykonanie analizy bilansu układu, która to pokazuje czy można mówić o nielegalnym poborze

energii w danym podobszarze sieci transformatora. Analiza statystyczna polega na porównywaniu bieżącego zużycia energii przez odbiorcę z historycznym.

- Metody analizy zużycia – metoda bilansu i szybkości narastania liczydła zakłada analizę zużycia energii, a do tego jeszcze wykorzystuje informację o niezbilansowaniu układu, która zwiększa jej skuteczność.
- Metody analizy profilu – metoda bilansu i szybkości narastania liczydła nie analizuje profilu zużycia energii, natomiast wykorzystuje informację o niezbilansowaniu układu i zmniejszeniu poboru energii przez nielegalnego odbiorcę.
- Metoda prowokowania – do tej metody trudno się odnieść ponieważ nie jest techniczna tylko psychologiczna. Trudno porównywać ją z innymi metodami.
- „Poufny” telefon – trudno odnieść się do tej metody. Jeżeli ktoś zadzwoni do zakładu energetycznego, zgłosi kradzież energii przez sąsiada i będzie mówił prawdę to wystarczy tylko dokonać kontroli instalacji podejrzanej osoby, znaleźć nielegalne przyłącze lub obejście licznika oraz to udokumentować. W zakładach energetycznych pracownikom pozostaje czekanie na takie telefony. Inicjatywa nie należy do nich. Trudno mówić o „naukowości” tej metody. Trudno też mówić o jej skuteczności, zależy bowiem od prawdopodobności osoby telefonującej. W różnych spółkach dystrybucyjnych jest różnie.
- Reflektometr – wykorzystanie efektu falowego – metoda szukania niektórych przypadków kradzieży energii niejako z drugiej strony. Nie od odbiorcy tylko od infrastruktury sieciowej – konkretnie od kabla, a właściwie od jego uszkodzenia. Generalnie służy do wykrywania niewidocznych przyłączy i w swoim wąskim zastosowaniu nie do zastąpienia przez inne metody. Metoda bilansu i szybkości narastania liczydła może pomóc w wykrywaniu takich przypadków kradzieży jeżeli przyłącze powstało po zainstalowaniu systemu AMR i nastąpił spadek poboru energii przez odbiorcę.

Oryginalność rozprawy

Oryginalność rozprawy polega na:

- 1) Opracowaniu nowego podejścia do wyliczania wartości strat. Równania do obliczania strat zostały potraktowane jako funkcje zmiennych losowych.
- 2) Zaproponowaniu nowego sposobu wykrywania kradzieży energii z wykorzystaniem systemu typu AMR oraz przy złożonej analizie danych. Umożliwiono w ten sposób typowanie podejrzanych odbiorców, z mniejszym, niż w przypadku dotychczasowych metod, prawdopodobieństwem pomyłki.

Podsumowanie, a cel rozprawy

Celem pracy było zaproponowanie wyliczania strat energii, a także analitycznego znajdowania miejsca kradzieży energii. Cel osiągnięto przez:

1. Opracowanie metody matematycznej, wyprowadzenie wzorów i opracowanie algorytmu wyliczania strat energii wg nowej metody,
2. Opracowanie algorytmu analitycznego wykrywania kradzieży energii oraz wzorów na wyliczenie prawdopodobieństwa pomyłki,
3. Wyliczenie wartości strat w kilku lokalizacjach oraz analizę otrzymanych wyników.

Udowodnienie tezy pracy

Teza pracy została udowodniona w następujący sposób:

- 1) opisano szczegółowo metodę wykrywania nielegalnego poboru energii,
- 2) opracowano metodę matematyczną, wyprowadzono wzory, za pomocą których można wyznaczyć odbiorcę podejrzanego o nielegalne pobieranie energii,
- 3) zweryfikowano wzory przez ich zastosowanie do obliczeń w jednym zakładzie energetycznym korzystając z rzeczywistych danych pomiarowych zebranych przez system AMR.
- 4) otrzymane wyniki poddano krytycznej analizie.

Literatura

- [1] Bednarczyk P. ZE Warszawa – Teren SA RE Legionowo – *Powództwo o ustalenie nieistnienia wierzytelności z tytułu nielegalnego pobierania energii elektrycznej*, Wokół Energetyki, kwiecień 2005
- [2] Billewicz K. – Wykrywanie nielegalnego poboru na podstawie odczytów z liczników energii elektrycznej odbiorców indywidualnych, Energetyka nr 12 (606)/2004, str. 788-799
- [3] Billewicz K. – Analityczne metody wykrywania kradzieży energii elektrycznej, Energetyka nr 2 (620)/2006, str. 124-129
- [4] Billewicz K. – Wykrywanie kradzieży prądu przez odbiorców indywidualnych za pomocą systemów AMR, Przegląd energetyczny nr 1/2006, str. 22-25
- [5] Billewicz K. – Kradzież energii za pomocą magnesu neodymowego i jej wykrywanie, Przegląd elektrotechniczny nr 6/2006, str. 82-85
- [6] Billewicz K. – Funkcje wyliczające straty w sieciach nN jako funkcje zmiennych losowych, Przegląd elektrotechniczny nr 12/2006, str. 24-30
- [7] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A. – *Metrologia elektryczna*, Warszawa 1998
- [8] Griffin T., Tomsovic K., Secret D., Law A. – *Placement of Dispersed Generations Systems for Reduced Losses*, Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences - 2000
- [9] Harasimowicz L., Stawski P., Tomczyk A., Billewicz K. – *System bieżącego szacowania strat technicznych i handlowych oraz rejestracji parametrów jakościowych energii elektrycznej w sieciach niskiego i średniego napięcia*, IASE, Wrocław 2004
- [10] Kalinowski T., Wilczyński A. – *Analiza efektywności zakupu i instalacji systemu 'NETPAF' przez Zakład Energetyczny*, IASE, Wrocław 2004
- [11] Karta katalogowa liczników B52 i C52 – *Liczniki indukcyjne energii elektrycznej prądu trójfazowego z nadajnikiem impulsów*, Pafal, Lipiec 1997
- [12] Karta katalogowa – *Liczniki indukcyjne energii elektrycznej prądu jednofazowego A52*, Pafal, Wrzesień 2004
- [13] Karta katalogowa – *Liczniki indukcyjne energii elektrycznej prądu jednofazowego A8*, Pafal, Wrzesień 2004
- [14] Karta katalogowa – *Jednofazowy elektroniczny licznik energii 12EA5g NETPAF*, Pafal, Wrzesień 2004

- [15] Karta katalogowa – *Trójfazowe elektroniczne liczniki energii elektrycznej czynnej i biernej*, Pafal, Wrzesień 2004
- [16] Karta katalogowa – *Trójfazowy elektroniczny licznik energii elektrycznej czynnej EC7 NETPAF*, Pafal, Wrzesień 2004
- [17] Karta katalogowa – *Trójfazowe elektroniczne liczniki energii elektrycznej czynnej i biernej EC6 EB6*, Pafal, Wrzesień 2004
- [18] Karta katalogowa – *Trójfazowy elektroniczny licznik energii elektrycznej EC8*, Pafal, Wrzesień 2004
- [19] Karta katalogowa – *Liczniki indukcyjne energii elektrycznej prądu trójfazowego C8*, Pafal, Wrzesień 2004
- [20] Konstanciak M. – *Obliczanie potrzeb własnych oraz ocena sprawności wiejskich sieci elektroenergetycznych niskiego napięcia*, WINUEL, Wrocław 1997
- [21] Kowalik T. – *Refleksje na temat domniemanego „zawyżania taryf na pokrycie strat”*, Biuletyn URE 2/2006
- [22] Kryszicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M. – *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach, Cz. 1, Rachunek prawdopodobieństwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005 r.
- [23] Kryszicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M. – *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach, Cz. 2, Statystyka matematyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005 r.
- [24] Kulczycki J. – *Ograniczanie strat energii elektrycznej w elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych*, PTPiREE, Poznań 2002
- [25] Kulesa M. - *Profile obciążeń w rozliczeniach odbiorców są korzystne dla rynku*, Świat Energii 07/2006
- [26] LonWorks® PLT-22 Power Line Transceiver User's Guide, Echelon Corporation, 078-0175-01B
- [27] Markiewicz H. – *Instalacje elektryczne*, WNT, Warszawa 1996
- [28] Najwyższa Izba Kontroli, Delegatura we Wrocławiu – *Informacja o wynikach kontroli działalności zakładów energetycznych w zakresie ograniczenia nieuzasadnionych strat energii wprowadzanej do sieci elektroenergetycznej i wpływu tych strat na wysokość ustalanych taryf* – nr ewid.: 159/2005/P04178/LWR, Wrocław, listopad 2005
- [29] Piersisk J. – *Problem z magnesami*, Panorama ENION, 7-8 (13-14) 2005, str.12-13
- [30] *Prawo energetyczne* – Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. (Dz. U. z 2003 r. Nr 153, poz. 1504 i Nr 203, poz. 1966, z 2004 r. Nr 29, poz. 257, Nr 34, poz. 293, Nr 91, poz. 875,

- Nr 96, poz. 959 i Nr 173, poz. 1808 oraz z 2005 r. Nr 62, poz. 552, Nr 163, poz. 1362 i Nr 175, poz. 1462)
- [31] *Prawo o miarach* – Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. (tekst jednolity ogłoszony w Dz. U. z 2004 r. Nr 243, poz. 2441)
- [32] Popczyk J. – *Modele probabilistyczne w sieciach elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 1991
- [33] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. (Dz. U. Nr 2, poz. 5 i 6)
- [34] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 11 sierpnia 2000 r. (Dz. U. Nr 75, poz. 866); Rozporządzenie określa szczegółowe zasady przeprowadzania kontroli układów pomiarowych przez przedsiębiorstwa energetyczne,
- [35] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 23 kwietnia 2004 r. (Dz. U. Nr 105 z 2004 r. poz. 1114) W sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną
- [36] Tele-Fonika Kable SA., Kable i przewody elektroenergetyczne, Edycja Sierpień 2004
- [37] Tiersch F. – *LonWorks Technology - An Introduction*, Echelon, Erfurt 2002
- [38] Using the LONWORKS PLT-22 Power Line Transceiver in European Utility Applications, Version 1, Echelon Corporation, 078-0180-01A
- [39] Wrocławski M. – Standardowe profile obciążeń czy wymiana liczników sposobem na otwarcie rynku, *Wokół Energetyki* 6/2006, str. 47-48

Spis ilustracji

<i>Rys.1. Uproszczony szkic konstrukcji licznika indukcyjnego</i>	29
<i>Rys.2. Struktura systemu zdalnie odczytującego dane</i>	62
<i>Rys.3. Przykładowy schemat zastępczy sieci nN dla odbiorcy jednofazowego</i>	68
<i>Rys.4. Różny charakter obciążenia: jednofazowy (a) i trójfazowy (b).....</i>	69
<i>Rys.5. Różne obciążenie w czasie: zmienne w czasie (a) i równomierne (b)</i>	71
<i>Rys.6. Teoretyczne wykresy prezentujące sposób działania metody</i>	78
<i>Rys.7. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej δE_t od czasu... ..</i>	78
<i>Rys.8. Rzeczywisty wykres narastania stanu licznika</i>	79
<i>Rys.9. Zastosowanie wykresów do lokalizacji odbiorcy, którego można podejrzewać o kradzież energii</i>	79
<i>Rys.10. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu.....</i>	83
<i>Rys.11. Rzeczywisty wykres narastania stanu licznika.....</i>	84
<i>Rys.12. Rzeczywisty wykres wartości dobowych dla trzech przykładowych liczników</i>	84
<i>Rys.13. Wykresy przybliżające podejście probabilistyczne.....</i>	85
<i>Rys.14. Lipnica Wielka. Rzeczywisty wykres miesięcznej wartości energii zużywanej przez wszystkich odbiorców</i>	104
<i>Rys.15. Lipnica Wielka. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu</i>	104
<i>Rys.16. Lipnica Wielka. Graficzna ilustracja procentowego udziału poszczególnych strat wchodzących w skład różnicy bilansowej</i>	105
<i>Rys.17. Lipnica. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu</i>	107
<i>Rys.18. Kraków. Rzeczywisty wykres miesięcznej wartości energii zużywanej przez wszystkich odbiorców.....</i>	109
<i>Rys.19. Kraków. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu</i>	110
<i>Rys.20. Kraków. Graficzna ilustracja procentowego udziału poszczególnych strat wchodzących w skład różnicy bilansowej bezwzględnej.....</i>	111
<i>Rys.21. Środa Śląska. Rzeczywisty wykres zależności dobowej różnicy bilansowej względnej od czasu</i>	112

Spis treści

OZNACZENIA.....	2
SŁOWNIK.....	9
<i>Poziomy napięcie</i>	9
<i>Skróty energetyczne</i>	9
<i>Technologie</i>	9
<i>Nazwy firm</i>	10
STOSOWANE POJĘCIA I OKREŚLENIA.....	12
<i>Energetyczne</i>	12
<i>Probabilistyczne i statystyczne</i>	15
WPROWADZENIE	19
STRATY ENERGII ELEKTRYCZNEJ.....	19
<i>Definicja</i>	19
<i>Poziom</i>	19
<i>Podział</i>	19
<i>Problemy przy klasyfikacji strat</i>	20
<i>Problemy z wyliczaniem wartości strat w sieci nN</i>	20
<i>Straty, a wysokość napięcia zasilania odbiorców</i>	21
<i>Straty, a tranzyt energii</i>	21
<i>Straty, a lokalizacja odbiorców i wytwórców</i>	22
<i>Straty, a pora roku</i>	22
<i>„Liczniki bezklasowe” i niezalegalizowane</i>	22
<i>Sposoby zmniejszenia strat i koszty z tym związane</i>	23
<i>Metodologia URE do uznania uzasadnionego poziomu strat</i>	25
<i>Cel liczenia strat energii</i>	26
NIELEGALNY POBÓR ENERGII ELEKTRYCZNEJ	26
KRADZIEŻ ENERGII PRZY POMOCY MAGNESU NEODYMOWEGO	28
<i>Wstęp</i>	28
<i>Budowa i sposób działania licznika indukcyjnego energii elektrycznej</i>	29
<i>Skutki oddziaływania magnesu neodymowego na licznik indukcyjny</i>	30
<i>Elementy liczników wrażliwe na działanie magnesów</i>	32
<i>Sposoby zabezpieczania liczników przed kradzieżą energii z użyciem magnesu neodymowego</i>	32
<i>Uzasadnianie i udowadnianie odbiorcy kradzież energii z użyciem magnesu neodymowego</i>	33
<i>Zakończenie</i>	34
KWALIFIKACJA PRAWNA CZYNU	35
PROBLEMY EKONOMICZNE I PRAWNE.....	36
ZANIEDBANIA ZAKŁADÓW ENERGETYCZNYCH.....	37
PRAWIDŁOWA KONTROLA UKŁADU POMIAROWEGO U ODBIORCY	37
KONSEKWENCJE DLA ODBIORCÓW KRADNĄCYCH ENERGIĘ	39

SPOSOBY OBRONY ODBIORCÓW W PRZYPADKU STWIERDZENIA U NICH NIELEGALNEGO POBORU ENERGII	39
KLASYFIKACJA METOD KRADZIEŻY	40
WERYFIKACJA DANYCH POMIAROWYCH	41
PRZYPADEK WYSTĄPIENIA MAŁYCH SKOJARZONYCH ŹRÓDEŁ ENERGII.....	42
KRYTYCZNY PRZEGLĄD LITERATURY	43
KRÓTKI PRZEGLĄD METOD OBLICZANIA STRAT W SIECIACH NŃ	43
<i>Metody stosujące równania regresji.....</i>	43
<i>Metody zespołu prof. J.Horaka (Politechnika Częstochowska).....</i>	44
<i>Metoda opracowana na Politechnice Warszawskiej</i>	46
KRÓTKI PRZEGLĄD ANALITYCZNYCH METOD WYKRYWANIA NIELEGALNEGO POBORU ENERGII NA NŃ	47
<i>Metody oparte na liczeniu różnicy bilansowej</i>	48
<i>Metody, w których stosuje się funkcje statystyczne.....</i>	51
<i>Metody oparte na obserwacji poboru energii.....</i>	54
<i>Inne metody</i>	56
SKUTECZNOŚĆ ZNANYCH METOD WYKRYWANIA KRADZIEŻY ENERGII.....	57
PODEJŚCIE PROBABILISTYCZNE	57
PROBLEMY WYMAGAJĄCE ROZWIĄZANIA. CEL PRACY.....	58
<i>Problemy wymagające rozwiązania:</i>	58
<i>Cel pracy</i>	59
SFORMUŁOWANIE ZADANIA, TEZA, PLAN ROZWIĄZANIA	60
SFORMUŁOWANIE ZADANIA	60
TEZA PRACY	60
PLAN ROZWIĄZANIA.....	61
<i>Sposoby weryfikacji metody.....</i>	61
SYSTEMY AMR	62
WYMAGANIA DLA SYSTEMÓW ZDALNEGO ODCZYTU LICZNIKÓW.....	62
<i>Wstęp</i>	62
<i>Struktura systemu</i>	62
<i>Zalety systemów typu AMR.....</i>	63
<i>Podstawowe funkcje systemu.....</i>	65
<i>Szanse na systemy AMR w Polsce</i>	66
OPRACOWANIE MODELU MATEMATYCZNEGO	67
SPOSOBY WYLICZENIA STRAT W SYSTEMIE AMR	67
<i>Straty techniczne.....</i>	67
<i>Straty handlowe.....</i>	73
METODA BILANSU I SZYBKOŚCI NARASTANIA LICZYDŁA W UJĘCIU DETERMINISTYCZNYM	77
<i>Opis metody.....</i>	77
<i>Ograniczenia metody.....</i>	81

METODA BILANSU I SZYBKOŚCI NARASTANIA LICZYDŁA W UJĘCIU PROBABILISTYCZNYM	83
<i>Wykresy rzeczywiste</i>	83
<i>Wykresy – model</i>	85
<i>Brak wskaźnika sezonowości</i>	86
<i>Możliwe rozbudowy systemu zwiększające dokładność zastosowanych metod</i>	86
<i>Centralne twierdzenie graniczne</i>	87
<i>Testy normalności: test Shapiro-Wilka</i>	88
<i>Równania wyliczające straty jako funkcje zmiennych losowych</i>	91
<i>Algorytm wykrywania miejsca kradzieży energii</i>	92
<i>Prawdopodobieństwo błędnej decyzji</i>	101
PRZYKŁADOWE WYLICZENIA STRAT	103
INSTALACJE WIEJSKIE	103
<i>Lipnica Wielka (ENION)</i>	103
<i>Lipnica (EnergiaPro)</i>	106
<i>Wnioski z instalacji wiejskich</i>	108
INSTALACJE MIEJSKIE.....	109
<i>Kraków (ENION)</i>	109
<i>Środa Śląska (EnergiaPro)</i>	112
<i>Wnioski z instalacji miejskich</i>	113
<i>Zestawienie danych</i>	114
<i>Interpretacja wyników</i>	114
WNIOSKI	116
PORÓWNANIE Z DOTYCHCZAS ZNANYMI METODAMI WYLICZANIA STRAT	116
<i>Wprowadzenie</i>	116
<i>Porównanie z dotychczas znanymi metodami wykrywania kradzieży energii</i>	117
ORYGINALNOŚĆ ROZPRAWY	119
PODSUMOWANIE, A CEL ROZPRAWY.....	119
UDOWODNIENIE TEZY PRACY	119
LITERATURA	120
SPIS ILUSTRACJI	123
SPIS TREŚCI	124