

Joanicjusz Nazarko, Mikołaj Rybaczuk  
Politechnika Białostocka

## ANALIZA STRAT ENERGII ELEKTRYCZNEJ W SEKTORZE DYSTRYBUCJI W POLSCE

### 1. Wprowadzenie

W energetyce krajowej dokonują się głębokie przeobrażenia strukturalne, organizacyjne i własnościowe. Podejmowane są działania w kierunku urynkowienia sektora elektroenergetycznego i wprowadzenia konkurencyjności na rynkach energii elektrycznej.

Funkcjonowanie sektora energetycznego w Polsce regulowane jest ustawą z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne (DzU z 1977 r. nr 54, poz. 348 z późn. zmianami), która umożliwia wprowadzenie mechanizmów rynkowych do tego sektora, a jednocześnie ochronę interesów odbiorców specyficznego towaru, jakim jest energia. Ustawa powołała organ do spraw regulacji gospodarki paliwami i energią i promowania konkurencji. Organem tym jest Prezes Urzędu Regulacji Energetyki działający jako centralny organ administracji rządowej. Do najważniejszych uprawnień i obowiązków organu regulacji energetyki należy w szczególności zatwierdzanie i kontrolowanie taryf energii elektrycznej paliw i ciepła. Ustawa zobowiązuje Prezesa URE do równoważenia w działaniach regulacyjnych interesów przedsiębiorstw energetycznych i odbiorców paliw i energii. Szczegółowe zasady kształtowania i kalkulacji taryf zostały określone w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 14 grudnia 2000 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz zasad rozliczeń w obrocie energią elektryczną (DzU z 2001 r. nr 1, poz. 7). Przywoływane przepisy stwierdzają, że taryfy dla energii elektrycznej powinny zapewniać pokrycie uzasadnionych kosztów działalności przedsiębiorstw energetycznych z uwzględnieniem kosztów modernizacji, rozwoju i ochrony środowiska, a jednocześnie ochronę odbiorców przed nieuzasadnionym poziomem cen. Dalszy rozwój branży elektroenergetycznej coraz

silniej będzie kształtowany poprzez nowe kierunki rozwiązań prawnych, organizacyjnych i technologicznych.

Sektor dystrybucji energii elektrycznej tworzą w Polsce 33 spółki dystrybucyjne (dawne zakłady energetyczne). W obecnych warunkach spółki dystrybucyjne są przedsiębiorstwami zajmującymi się przesyłaniem i dystrybucją energii elektrycznej oraz jej obrotem. Wszystkie z nich stosują podobne technologie, różnią się jednak warunkami działania. Działają one m.in. w różnych warunkach geograficznych, warunkach popytu i podaży, mają różną strukturę i liczbę klientów oraz różnią się posiadaniem majątkiem sieciowym i jego stanem technicznym.

Na rys. 1 przedstawiono rozmieszczenie przestrzenne krajowych spółek dystrybucyjnych.



Rys. 1. Rozmieszczenie przestrzenne poszczególnych krajowych spółek dystrybucyjnych  
Źródło: [6].

Przeprowadzone badania wskazują na istnienie korelacji pomiędzy warunkami działania a kosztami przedsiębiorstw dystrybucyjnych. Istotną pozycję w bilansach wszystkich przedsiębiorstw dystrybucyjnych stanowią straty energii elektrycznej - w praktyce osiągają one wartość kilkunastu procent, a w skrajnych przypadkach mogą dochodzić nawet do kilkudziesięciu procent ogółu energii przepływającej przez wszystkie poziomy sieci [2]. Ze względu na swoją wielkość stanowią one poważny problem ekonomiczny i eksploatacyjny dla przedsiębiorstw zajmujących się dystrybucją energii elektrycznej [2]. Koszty wynikające z występowania strat energii elektrycznej obciążają zarówno przedsiębiorstwa energetyczne, jak i poszczególnych odbiorców, wpływając na efektywność gospodarczą przedsiębiorstw i na wysokość cen energii elektrycznej. Fakt ten ma bardzo duże znaczenie przy zróżnicowaniu cen energii elektrycznej.

Ograniczenie kosztów występowania strat energii elektrycznej w elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych stanowi źródło znacznych potencjalnych oszczędności. Podstawowym problemem jest tutaj prawidłowe oszacowanie różnych rodzajów strat energii występujących w sieciach rozdzielczych oraz identyfi-

kacja i lokalizacja ich źródeł. Proste porównanie wartości strat energii w poszczególnych przedsiębiorstwach dystrybucyjnych bez uwzględnienia rynków, na których one działają, nie daje podstaw do wnioskowania o uzasadnionym poziomie strat. Z tego też powodu zasadne jest stosowanie ekonometrycznych metod porównawczych (*benchmarking*) w ustalaniu uzasadnionego poziomu strat.

W pracy przedstawiono analizę wielkości strat energii elektrycznej w poszczególnych spółkach dystrybucyjnych w zależności od wybranych wskaźników rynkowych, geograficznych, organizacyjnych i technicznych charakteryzujących te spółki. Dla przeprowadzenia szczegółowej analizy wskaźników strat oraz uchwycenia wpływu różnych wielkości na poziom strat energii zastosowano oryginalną metodę graficznej prezentacji pełnej struktury danych wielowymiarowych, zaproponowaną w pracy [3], oraz analizę regresji liniowej wielu zmiennych[4].

## 2. Klasyfikacja strat energii

Występowanie strat energii elektrycznej jest nieodłącznie związane z procesami wytwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej. Straty te są zależne od wielu czynników natury technicznej, ekonomicznej, geograficznej i społecznej. Prawidłowe wyznaczenie strat energii elektrycznej w rzeczywistych układach elektroenergetycznych jest zagadnieniem złożonym, wymagającym uwzględnienia wielu różnych czynników. Zasadnicze znaczenie ma tutaj dostępność i wiarygodność danych pomiarowych oraz danych związanych ze strukturą sieci. Wyniki obliczeń strat energii elektrycznej oraz ich dokładność zależą głównie od rodzaju i jakości dostępnych danych wejściowych, które w przypadku sieci rozdzielczych są zróżnicowane formalnie oraz charakteryzują się różnym stopniem dostępności i wiarygodności.

W obliczeniach strat energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych przedsiębiorstw dystrybucyjnych dogodnie jest przyjęcie podziału strat energii na następujące kategorie: **straty bilansowe, straty techniczne, straty handlowe** [1].

**Straty bilansowe** są to straty obliczane jako różnica między energią wprowadzoną do sieci a energią zaewidencjonowaną jako sprzedana odbiorcom oraz sąsiednim przedsiębiorstwom dystrybucyjnym:

$$\Delta E_b = E_w - (E_o + E_p) \quad (1)$$

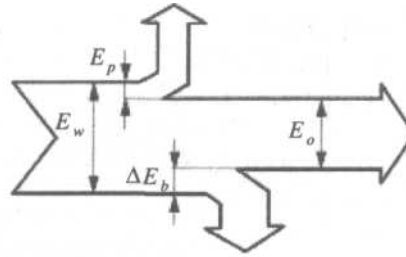
gdzie:  $\Delta E_b$ - straty bilansowe energii elektrycznej,

$E_w$ - energia elektryczna wprowadzona do sieci,

$E_o$  - energia elektryczna sprzedana odbiorcom,

$E_p$  - energia elektryczna przekazana do sąsiednich rejonów energetycznych. Na

rys. 2 przedstawiono bilans energii elektrycznej przedsiębiorstwa dystrybucyjnego.



Rys. 2. Schemat bilansu energii elektrycznej:  $E_w$  – energia elektryczna wprowadzona do sieci,  $E_p$  – energia elektryczna przekazana do sąsiednich rejonów energetycznych,  $E_o$  – energia elektryczna sprzedana odbiorcom,  $\Delta E_b$  – straty bilansowe energii elektrycznej

Źródło: opracowanie własne.

Straty bilansowe zawierają w sobie rzeczywiste straty techniczne energii elektrycznej oraz wszelkie uchybienia w rozliczeniach energii elektrycznej, zarówno z odbiorcami, jak i pomiędzy sieciami różnych jednostek organizacyjnych, nazywane stratami handlowymi. Wobec tego:

$$\Delta E_b = \Delta E_t + \Delta E_h \quad (2)$$

gdzie:  $\Delta E_t$  – straty techniczne energii elektrycznej,

$\Delta E_h$  – straty handlowe energii elektrycznej.

Straty bilansowe są też nazywane stratami wykazanymi, ponieważ właśnie one wykazywane są w sprawozdawczości.

**Straty techniczne** są to fizyczne straty energii elektrycznej powstające w elementach sieci elektroenergetycznej i związane są z procesem przesyłu i rozdziału energii elektrycznej.

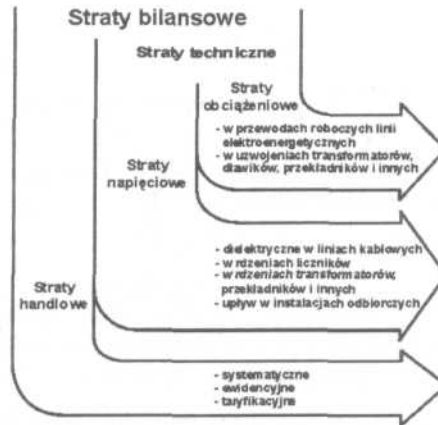
**Straty handlowe** stanowią różnicę pomiędzy stratami energii elektrycznej wynikającymi z bilansu energii elektrycznej dostarczonej i oddanej z sieci a obliczonymi stratami technicznymi. Straty handlowe są zatem sumą uchybień w pomiarach i rozliczeniach energii elektrycznej. Straty handlowe dzieli się na: **straty systematyczne, ewidencyjne** oraz **taryfikacyjne** [1].

**Straty systematyczne** powstają na skutek: nielegalnego poboru energii elektrycznej (kradzieży), niezaliczonego poboru energii elektrycznej lub złego doboru układu pomiarowego.

**Straty ewidencyjne** powstają na skutek: uchybień w rozliczeniach energii elektrycznej z odbiorcami, uchybień w rozliczeniach ilości energii elektrycznej przepływającej między różnymi stopniami sieci elektroenergetycznej i różnymi jednostkami administracyjnymi energetyki, niedokładnego odczytywania wskazań liczników energii elektrycznej oraz niedokładnej ewidencji nowych odbiorców.

**Straty taryfikacyjne** powstają na skutek instalowania układów pomiarowo-rozliczeniowych energii elektrycznej na napięciu niższym od napięcia zasilania, a następnie (zgodnie z taryfą opłat) powiększania wielkości dostarczonej energii czynnej o odpowiedni procent [1].

Graficzny podział strat bilansowych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Podział strat bilansowych energii elektrycznej w sieciach rozdzielczych  
Źródło: opracowanie własne.

Wskaźnik strat i różnic bilansowych energii elektrycznej określający bilansowe procentowe straty energii w sieciach przedsiębiorstw dystrybucyjnych jest jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących spółki dystrybucyjne pod względem technicznym i ekonomicznym.

Wskaźnik strat i różnic bilansowych definiowany jest jako:

$$\Delta E_{\%} = 100 \Delta E_b / \Delta E_w \quad (3)$$

Tabela 1. Straty bilansowe energii w poszczególnych spółkach dystrybucyjnych (1997 r.)

Lp.	Spółka	$\Delta E_{b(110)}$	$\Delta E_{b\% (110)}$	$\Delta E_{b(SN+nN)}$	$\Delta E_{b\% (SN+nN)}$	Lp.	Spółka	$\Delta E_{b(110)}$	$\Delta E_{b\% (110)}$	$\Delta E_{b(SN+nN)}$	$\Delta E_{b\% (SN+nN)}$
		GWh	%	GWh	%			GWh	%		
1	SD_1	162,00	1,69	437,50	13,12	18	SD_18	46,90	2,33	136,10	9,14
2	SD_2	106,30	3,38	390,50	14,42	19	SD_19	133,20	2,50	261,30	11,19
3	SD_3	117,00	3,24	175,40	7,81	20	SD_20	38,60	1,42	322,10	18,15
4	SD_4	107,60	2,82	355,40	13,51	21	SD_21	76,60	1,28	907,40	15,36
5	SD_5	96,60	3,06	319,40	16,36	22	SD_22	147,40	2,45	311,10	12,46
6	SD_6	14,20	1,04	167,50	18,29	23	SD_23	68,10	1,23	723,10	21,15
7	SD_7	26,10	0,60	616,60	17,20	24	SD_24	18,20	1,06	105,90	11,53
8	SD_8	661,60	4,42	605,20	10,09	25	SD_25	62,90	1,92	309,40	12,08
9	SD_9	62,00	3,75	115,10	7,58	26	SD_26	53,70	2,20	200,20	17,99
10	SD_10	31,20	1,55	166,70	13,75	27	SD_27	109,10	2,33	290,30	13,56
11	SD_11	99,90	1,65	401,50	15,62	28	SD_28	36,40	1,56	196,70	12,17
12	SD_12	19,50	1,21	197,00	15,02	29	SD_29	88,40	1,39	495,40	11,34
13	SD_13	107,20	1,76	751,60	17,55	30	SD_30	203,10	2,84	698,30	15,14
14	SD_14	25,20	0,60	139,10	12,99	31	SD_31	92,80	2,25	342,50	12,98
15	SD_15	53,70	1,83	329,40	15,02	32	SD_32	38,10	1,77	214,50	12,37
16	SD_16	44,70	1,20	500,00	17,13	33	SD_33	33,00	1,76	208,60	12,38
17	SD_17	89,20	1,46	588,70	17,47	34	SD_0				

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2].

Sieci rozdzielcze spółek dystrybucyjnych można podzielić na dwie kategorie napięć: sieci 110 kV oraz sieci średniego i niskiego napięcia ( $SN + nN$ ). Ze względu na dosyć autonomiczny charakter pracy sieci obu poziomów napięć występujące w nich straty energii można analizować osobno.

Analiza danych dotyczących bezwzględnych i procentowych bilansowych strat energii w poszczególnych przedsiębiorstwach (tab. 1) wskazuje na znaczne zróżnicowanie strat w poszczególnych spółkach.

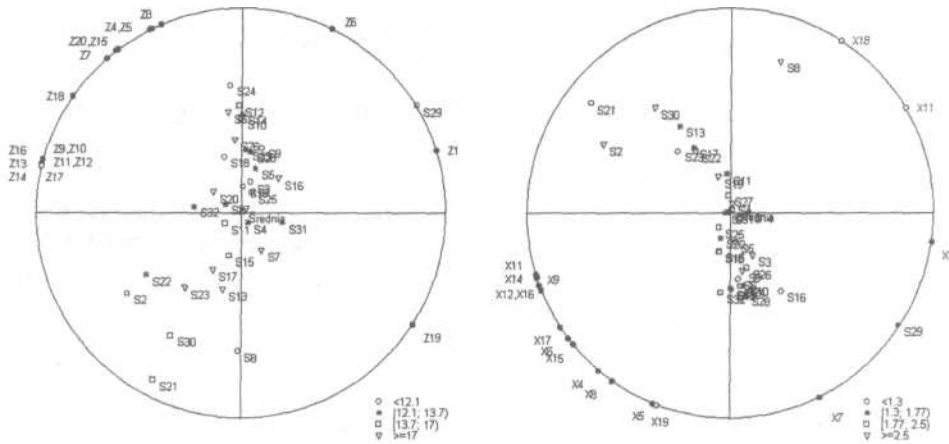
Omawiając straty handlowe, należy stwierdzić, że nie ma metody obliczania tych strat jako takich, a jedynie mogą one być wyznaczone wyłącznie jako różnica pomiędzy stratami bilansowymi a obliczonymi stratami technicznymi. Z kolei brak obecnie możliwości precyzyjnego obliczania strat technicznych nawet przy użyciu techniki komputerowej. Z tego powodu przy obliczaniu strat energii elektrycznej szerokie zastosowanie znalazły metody analizy statystycznej.

### 3. Analiza graficzna struktury spółek dystrybucyjnych ze względu na wybrane cechy

Poszukując zależności pomiędzy wartością strat energii elektrycznej a warunkami działania poszczególnych przedsiębiorstw dystrybucyjnych określonymi przez wybrane wskaźniki, autorzy w pierwszej kolejności posłużyli się analizą graficzną struktury obiektów (spółek dystrybucyjnych) ze względu na ich wybrane cechy. Wybrany w analizie merytorycznej zbiór wskaźników zestawiony został w tab. 2. Uwzględniono te wskaźniki, które można wyznaczyć na podstawie danych dostępnych w *Statystyce elektroenergetyki polskiej* [6]. Dodatkowo, przedsiębiorstwa dystrybucyjne podzielono na cztery kategorie pod względem poziomu strat procentowych w sieciach obu poziomów napięcia. W sieci 110 kV są to kategorie przedsiębiorstw o poziomie strat: mniejszym od 1,3%, z przedziału 1,3% do 1,8%, z przedziału 1,8% do 2,5% oraz powyżej 2,5%. Natomiast w sieci  $SN+nN$  są to kategorie przedsiębiorstw o poziomie strat: mniejszym od 11,1%, z przedziału 12,1% do 13,7%, z przedziału 13,7% do 17,0% oraz powyżej 17,0%. Wstępna analiza nie wykazała istotnego zróżnicowania poziomu strat dla spółek o różnym położeniu terytorialnym.

Wyniki dla sieci 110 kV oraz  $SN+nN$  uzyskane za pomocą programu realizującego graficzną prezentację struktury danych wielowymiarowych na płaszczyźnie [3] przedstawiono na rys. 4.

Analiza wzajemnego rozmieszczenia obiektów i cech wskazuje, że przedsiębiorstwa dystrybucyjne można podzielić, ze względu na warunki eksploatacji sieci obu poziomów napięć, na kilka klas. W przypadku sieci 110 kV (rys. 4a) wyróżnić można następujące klasy spółek: {S8}, {S2, S21}, {S13, S17, S22, S23, S30}, {S4, S6, S7, S11, S14, S19, S27, S31}, {S29} oraz pozostałe.



Rys. 4. Struktura spótek dystrybucyjnych ze względu na warunki eksploatacji sieci:  
a) sieć 110 kV, b) sieć SN+nN  
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Zestaw wskaźników charakteryzujących warunki działania poszczególnych spótek dystrybucyjnych

Cecha	Symbol [jednostka]	Opis	Cecha	Symbol [jednostka]	Opis
1	2	3	4	5	6
X1	$S$ [km <sup>2</sup> ]	Obszar działania przedsiębiorstwa	Z1	$S$ [km <sup>2</sup> ]	Obszar działania przedsiębiorstwa
X2	$\Delta E_{b(110)}$ [GWh]	Straty bilansowe energii w sieci 110 kV	Z2	$\Delta E_{b(SN+nN)}$ [GWh]	Straty bilansowe energii w sieci SN+nN
X3	$\Delta E_b\%_{(110)}$ [GWh]	Procentowe bilansowe straty energii w sieci 110 kV	Z3	$\Delta E_b\%_{(SN+nN)}$ [GWh]	Procentowe bilansowe straty energii w sieci SN+nN
X4	$E_{110}$ [GWh]	Energia wprowadzona do sieci 110 kV	Z4	$E_{(SN+nN)}$ [GWh]	Energia wprowadzona do sieci SN+nN
X5	$E_{l(110 \rightarrow SN)}$ [GWh]	Energia transformowana z sieci 110 kV do sieci SN	Z5	$L_{odb(SN+nN)}$ [szt.]	Liczba odbiorców w sieci SN+nN
X6	$L_{odb(110)}$ [szt.]	Liczba odbiorców w sieci 110 kV	Z6	$L_{(SN+nN)}$ [km]	Długość linii SN+nN
X7	$L_{110}$ [km]	Długość linii 110 kV	Z7	$Tr_{WN/SN}$ [MVA]	Moc transformatorów WN/SN
X8	$Tr_{WN/SN}$ [MVA]	Moc transformatorów WN/SN	Z8	$Tr_{(SN/nN)}$ [MVA]	Moc transformatorów SN/nN
X9	$E/S$ [GWh/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa energii wprowadzonej na obszar przedsiębiorstwa	Z9	$E/S$ [GWh/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa energii wprowadzonej na obszar przedsiębiorstwa
X10	$E_{110}/S$ [GWh/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa energii wprowadzonej do sieci 110 kV	Z10	$E_{(SN+nN)}/S$ [GWh/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa energii wprowadzonej do sieci SN+nN

cd. tab. 2.

1	2	3	4	5	6
X11	$E_{t(110 \rightarrow SN)}/E_{110}$ [MWh]	Energia transformowana z sieci 110 kV do sieci SN w odniesieniu do energii wprowadzonej do sieci 110 kV	Z11	$L_{odb(SN+nN)}/S$ [szt./km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa odbiorców w sieci SN+nN
X12	$L_{odb(110)}/S$ [szt./km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa odbiorców w sieci 110 kV	Z12	$L_{(SN+nN)}/S$ [km/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa linii SN+nN
X13	$L_{110}/S$ [km/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa linii 110 kV	Z13	$Tr_{(WN/SN)}/S$ [MVA/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa mocy transformatorów WN/SN
X14	$Tr_{(WN/SN)}/S$ [MVA/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa mocy transformatorów WN/SN	Z14	$Tr_{(SN/nN)}/S$ [MVA/km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa mocy transformatorów SN+nN
X15	$E_{110}^2$ [GWh <sup>2</sup> ]	Kwadrat energii wprowadzonej do sieci 110 kV	Z15	$E_{(SN+nN)}^2$ [GWh <sup>2</sup> ]	Kwadrat energii wprowadzonej do sieci SN+nN
X16	$E_{110}^2/S$ [GWh <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa kwadratu energii wprowadzonej do sieci 110 kV	Z16	$E_{(SN+nN)}^2/S$ [GWh <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ]	Gęstość powierzchniowa kwadratu energii wprowadzonej do sieci SN+nN
X17	$E_{110}^2/L_{110}$ [GWh <sup>2</sup> /km]	Kwadrat energii wprowadzonej do sieci 110 kV na km linii 110 kV	Z17	$E_{(SN+nN)}/L_{odb(SN+nN)}$ [GWh/odb.]	Średnie zużycie energii przez odbiorców w sieci SN+nN
X18	$Tr_{(WN/SN)}/E_{110}$ [MVA/GWh]	Moc transformatorów WN/SN odniesiona do energii wprowadzonej do sieci 110 kV	Z18	$E_{(SN+nN)}^2/L_{(SN+nN)}$ [GWh <sup>2</sup> /km]	Kwadrat energii wprowadzonej do sieci SN+nN na km linii SN+nN
X19	$E_{110}^2/L_{odb(110)}$ [GWh <sup>2</sup> /odb.]	Kwadrat energii wprowadzonej do sieci 110 kV przez odbiorców w sieci 110 kV	Z19	$Tr_{(SN/nN)}/E_{(SN+nN)}$ [MVA/GWh]	Moc transformatorów SN/nN odniesiona do energii wprowadzonej do sieci SN+nN
X20	$E_{110}/L_{odb(110)}$ [GWh/odb.]	Energia wprowadzona do sieci 110 kV przez odbiorców w sieci 110 kV	Z20	$E_{(SN+nN)}^2/L_{odb(SN+nN)}$ [GWh <sup>2</sup> /odb.]	Kwadrat energii wprowadzonej do sieci SN+nN przez odbiorców w sieci SN+nN

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2].

Głównymi czynnikami różnicującymi przedsiębiorstwa ze względu na warunki eksploatacji sieci 110 kV są cechy X7 (długość linii 110 kV), X5 (energia transformowana do sieci SN), X8 (moc transformatorów 110kV/SN), X4 (energia wprowadzona do sieci 110 kV), X1 (obszar działania przedsiębiorstwa). Pozostałe cechy nie wykazują znaczącego wpływu na zróżnicowanie spółek dystrybucyjnych ze względu na warunki eksploatacji sieci 110 kV.

W przypadku sieci SN+nN (rys. 4b) wyróżnić można na przykład następujące grupy przedsiębiorstw: {S8}, {S21}, {S29}, {S30}, {S2, S22, S23}, {S7, S13, S15, S17}, {S6, S10, S12, S14, S24} oraz pozostałe. Głównymi czynnikami różnicującymi przedsiębiorstwa ze względu na warunki eksploatacji sieci SN+nN są cechy Z1, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z15, Z20. Pozostałe cechy nie wykazują znaczącego



wpływu na zróżnicowanie spółek dystrybucyjnych ze względu na warunki eksploatacji sieci SN+nN.

Dalsza analiza wskazuje, że poziom procentowych strat energii elektrycznej w sieciach 110 kV oraz SN+nN poszczególnych przedsiębiorstw nie jest związany ze zróżnicowaniem przedsiębiorstw ze względu na wybrane cechy. W tych samych klasach znalazły się przedsiębiorstwa o różnych poziomach strat. Świadczy to, że wybrany zestaw czynników w analizowanym układzie nie objaśnia istotnie poziomu procentowych strat energii w poszczególnych przedsiębiorstwach dystrybucyjnych.

#### 4. Analiza strat energii elektrycznej metodą regresji liniowej wielu zmiennych

W celu wyłonienia grupy czynników, które lepiej objaśniałyby zróżnicowanie poziomu strat energii w poszczególnych przedsiębiorstwach dystrybucyjnych, wykonano dalsze badania za pomocą analizy regresji wielorakiej [4].

Analizie poddano wiele modeli uwzględniających różne zestawy zmiennych objaśniających. Analiza regresji dokonywana była za pomocą dostępnych w pakiecie STATISTICA procedur regresji standardowej, krokowej wstecznej i krokowej postępującej.

Niestety, w wyniku przeprowadzonych analiz nie udało się uzyskać modeli, które w sposób satysfakcjonujący objaśniałyby zróżnicowanie poziomu procentowych strat bilansowych energii elektrycznej w poszczególnych przedsiębiorstwach dystrybucyjnych, a jednocześnie posiadałyby racjonalną interpretację fizyczną i organizacyjną. Wszystkie zmienne pozostawione w modelach są istotne ( $p < 0,05$ ).

Przyjęty do dalszej prezentacji i analizy model regresyjny dla sieci 110 kV ma postać:

$$\Delta \hat{E}_B \%_{(110)} = 0,53213 + 0,00060 X7 - 2,06654 X11 + 8,85E-9 X15 + 5,67698 X18 \quad (4)$$

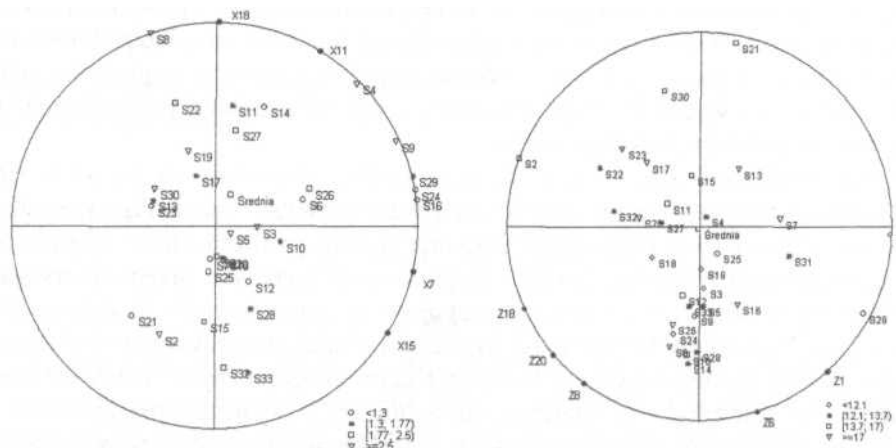
Skorygowany (poprawiony) współczynnik determinacji modelu wynosi 0,365 ( $p=0,0024$ ). Oznacza to, że tylko 36,5% wariancji procentowych strat energii objaśnia zbudowany model regresyjny.

Model dla sieci SN+nN ma natomiast postać następującą:

$$\Delta \hat{E}_B \%_{(SN+nN)} = 12,7599 - 0,00035 Z1 + 0,00043 Z6 - 0,00509 Z8 + 0,09244 Z20 \quad (5)$$

Skorygowany (poprawiony) współczynnik determinacji modelu dla sieci SN+nN wynosi tylko 0,175 ( $p=0,051$ ). Oznacza to, że w przypadku sieci SN+nN jedynie 17,5% wariancji procentowych strat energii jest objaśnianych zbudowanym modelem regresyjnym.

W celu dalszej eksploracji struktury modeli wykonano dodatkową ich analizę graficzną (rys. 5). W badaniach uwzględniono teraz tylko te cechy, które wystąpiły jako zmienne objaśniające w modelach regresji.



Rys. 5. Struktura spółek dystrybucyjnych ze względu na cechy wybrane w wyniku analizy regresji wielokrotnej:

a) sieć 110 kV, b) sieć SN+nN

Źródło: opracowanie własne.

Analiza obu struktur wskazuje na grupowanie się obiektów (przedsiębiorstw) w skupienia o zbliżonym poziomie opisujących je parametrów. Dla sieci 110 kV można wydzielić następujące klasy obiektów: {S4, S9, S16, S24, S29}, {S8}, {S2, S15, S21, S32, S33} oraz pozostałe. W każdej klasie wymieszane są spółki o różnym poziomie strat, co potwierdza wniosek o słabym wpływie analizowanych parametrów na poziom ponoszonych strat. Dla sieci SN+nN można wyróżnić skupienia: {S7, S11, S13, S15, S17, S21, S23, S30}, {S8, S9}, {S18, S22, S26, S27, S32}, {S2} oraz pozostałe.

Mimo ograniczenia cech charakteryzujących przedsiębiorstwa do takich, które istotnie objaśniają poziom procentowych strat energii w modelu regresyjnym, nadal nie uzyskano podziału na klasy przedsiębiorstw jednorodnych ze względu na poziom strat. W tych samych klasach znalazły się przedsiębiorstwa o różnych poziomach strat. Na uwagę zasługuje jedynie, iż pierwsza klasa, która charakteryzuje się podwyższonym poziomem wszystkich pięciu parametrów, zawiera tylko spółki o podwyższonych stratach. Wskazuje to, iż wyższy poziom badanych cech sprzyja wyższym stratom energii elektrycznej. Brak natomiast podstaw do stwierdzenia, iż niższy poziom tych cech związany jest z niższymi stratami.

## 5. Wnioski

W przypadku sektora dystrybucji energii elektrycznej statystyczna analiza porównawcza jest uzasadniona ze względu na liczbę podmiotów oraz ich bardzo zbliżony zakres działalności. Wielowymiarowa analiza danych pozwoliła określić podobieństwa i różnice pomiędzy poszczególnymi spółkami dystrybucyjnymi ze względu na analizowane cechy oraz wydzielić grupy wskaźników istotnie różnicujących poszczególne spółki, a także nieistotne w różnicowaniu.

Przeprowadzone badania miały na celu analizę porównawczą poziomu strat energii elektrycznej w sektorze dystrybucji. Niestety, wykonane analizy nie udzieliły pełnej odpowiedzi w zakresie rozpoznania czynników istotnie różnicujących poziom procentowych bilansowych strat energii w poszczególnych przedsiębiorstwach dystrybucyjnych. Mimo iż zmienne występujące w opracowanych modelach strat dla sieci obu poziomów napięć mają logiczny związek przyczynowo-skutkowy z poziomem strat występujących w sieciach elektroenergetycznych, a ich kierunek oddziaływania jest zgodny z interpretacją techniczną i organizacyjną zjawiska, to wyjaśniają one jedynie niewielką część zmienności poziomu strat w poszczególnych przedsiębiorstwach dystrybucyjnych.

Uzyskane rezultaty mogą wskazywać, że duży odsetek strat energii w polskich spółkach dystrybucyjnych należy do kategorii strat handlowych, w tym nielegalnego poboru energii. Zdaje się to również potwierdzać wysoki procentowy poziom strat energii w krajowych przedsiębiorstwach w stosunku do przedsiębiorstw w krajach Unii Europejskiej [2].

Uzyskane wyniki wskazują, że celowe jest kontynuowanie badań w tym zakresie. Z jednej strony należałoby podjąć próbę rozszerzenia zestawu zmiennych objaśniających o inne cechy opisujące warunki działania przedsiębiorstw, z drugiej zaś konieczne wydaje się podjęcie głębszej analizy kategorii strat handlowych energii elektrycznej i źródeł ich powstawania.

Zdaniem autorów, przedstawiona analiza może być ważnym głosem w dyskusji dotyczącej kształtowania taryfy opłat za dostarczanie energii elektrycznej.

## Literatura

- [1] Horak J.: *Straty sieciowe*. Politechnika Częstochowska, Monografie nr 8, Częstochowa 1989.
- [2] *Ograniczanie strat energii elektrycznej w elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych*, Red. J. Kulczycki, PTPiREE, Poznań 2002.
- [3] Rybaczuk M.: *Graficzna prezentacja struktury danych wielowymiarowych*. W: Taksonomia z. 9, *Klasyfikacja i analiza danych - teoria i zastosowania*. Prace Naukowe nr 942 Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu 2002, s. 146-153.

- [4] Stanisław A.: *Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL*, StatSoft Polska, Kraków 2000.
- [5] *STATISTICA PL dla Windows*, StatSoft, 2000.
- [6] *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2000*, Agencja Rynku Energii SA, Warszawa 2001.

*Artykuł powstał w wyniku badań prowadzonych w ramach pracy W/WZ/3/02 finansowanej przez KBN.*

## ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY LOSSES IN POLISH POWER DISTRIBUTION SECTOR

### Summary

Accurate calculation of energy losses, technical as well as commercial, in real power systems is a complex issue that requires consideration of many various factors. Overgrown losses reduce economic efficiency of a company thus worsen its competitiveness on the market. It is especially important in the context of deregulation of electric energy markets in Poland and Europe.

The analysis of electric energy losses in different distribution companies in relation to chosen market, geographic, organizational and technical characteristics of these companies is presented in this paper.

In order to carry out a detailed analysis of losses characteristics and to examine the influence of different factors on the level of losses a new method of graphical presentation of the full structure of multi-dimensional data proposed by the authors has been applied. Additionally, multiple regression analysis has been carried out.