

POLITECHNIKA OPOLSKA  
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI

**mgr inż. Wiesław Kopterski**



Autoreferat rozprawy doktorskiej

***Ocena kosztów utrzymania niezawodności pracy sieci  
rozdzielczej w spółce dystrybucyjnej***

Promotor: dr hab. inż. Barbara Kaszowska – prof. Politechniki Opolskiej

Praca powstała przy współfinansowaniu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach grantu promotorskiego nr N511 012 32/2195

OPOLE 2008

1. Wprowadzenie.....	3
1. 1. Cel pracy .....	3
1. 2. Teza pracy .....	4
2. Analiza niezawodnościowa – stan wiedzy .....	4
3. System elektroenergetyczny w Polsce .....	6
4. Ryzyko w działaniu spółek dystrybucyjnych.....	9
5. Badania parametrów niezawodnościowych wybranych urządzeń .....	12
6. Prognozowanie – wiadomości ogólne .....	16
6.1. Prognozowanie na podstawie szeregów czasowych.....	16
6.2. Prognoza czasowych przebiegów sygnałów (Time Series Signals Prediction).....	16
6.3. Rozmyte systemy decyzyjne .....	17
6.3.1. ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System).....	17
6.4. Wyniki prognoz awaryjności urządzeń elektroenergetycznych.....	19
7. Analiza kosztów .....	25
7.1. Analiza obniżki kosztów w przedsiębiorstwie.....	27
7.2. Model kalkulacji wyniku finansowego spółki dystrybucyjnej .....	31
8. Podsumowanie .....	34
Wybrane pozycje literaturowe .....	37

# 1. Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach elektroenergetyka w Polsce uległa znacznym przemianom w kierunku wprowadzenia zasad konkurencyjności na rynku energii elektrycznej. Transformacja rynku energii elektrycznej ma zasadnicze znaczenie dla gospodarki i znajduje swoje odbicie w sposobie działania spółek dystrybucyjnych. Celem ich działania stała się maksymalizacja osiąganych wyników finansowych w warunkach istniejącego ryzyka, dotyczącego efektów podejmowanych decyzji.

Problem jakości zasilania odbiorców w energię elektryczną dzielimy na trzy zagadnienia [37]:

- jakość dostarczanej energii elektrycznej (jakość napięcia),
- niezawodność dostawy energii elektrycznej (niezawodność zasilania),
- jakość obsługi odbiorcy (klienta).

Zapewnienie ciągłości dostawy energii elektrycznej wymaga stałej sprawności wszystkich urządzeń stosowanych do wytwarzania, przesyłania oraz rozdzielania energii elektrycznej. Niezawodność dostarczania energii elektrycznej o wysokiej jakości ma duże znaczenie zarówno dla spółki dystrybucyjnej, jak również dla coraz bardziej wymagającego odbiorcy. Odbiorcy energii elektrycznej wymagają od spółek dystrybucyjnych zapewnienia im ciągłości zasilania oraz wspomnianej już wysokiej jakości energii. Niedotrzymanie parametrów jakościowych przez daną spółkę dystrybucyjną pociąga za sobą określone skutki, głównie ekonomiczne. Jeśli chodzi o spółki dystrybucyjne, mogą to być kary finansowe i bonifikaty, a w przypadku odbiorców końcowych znaczne straty materialne spowodowane kosztami usuwania różnego rodzaju uszkodzeń. Sprawna energetyka jest podstawą funkcjonowania gospodarki całego kraju, dlatego zagadnienia ograniczenia awaryjności urządzeń elektroenergetycznych oraz podwyższenia niezawodności dostawy energii elektrycznej będą zawsze aktualne. Problem niezawodności w technice jest jednym z ważniejszych zagadnień, które stało się przedmiotem badań naukowych mających duże zastosowanie w praktyce. Dotychczas brak jest wyczerpujących i w pełni wiarygodnych danych statystycznych dotyczących awaryjności eksploatacyjnej różnego rodzaju urządzeń i aparatów elektroenergetycznych, pozwalających na ocenę ich niezawodności i przyczyn powstawania uszkodzeń. Jednym z warunków realizacji postępu w zakresie zwiększenia niezawodności urządzeń elektroenergetycznych jest prowadzenie badań statystycznych ich trwałości eksploatacyjnej, które pozwolą na ustalenie elementów najbardziej zawodnych i przyczyn powstawania uszkodzeń. Podawane dotychczas w literaturze przedmiotowej dane z tego zakresu [45, 91] są nieaktualne, gdyż pochodzą sprzed kilkudziesięciu lat, a tym samym mało przydatne w prowadzeniu analiz niezawodnościowych.

W pracy zaprezentowano metodę prognozowania wskaźników niezawodności. Metoda ta jest oparta na danych statystycznych, które są niezbędne do oceny niezawodności pracy sieci rozdzielczej. Znajomość prognozowanych wartości wskaźników niezawodności jest niezbędna do oceny kosztów, jakie może ponieść spółka dystrybucyjna na utrzymanie niezawodności na wymaganym poziomie.

## 1. 1. Cel pracy

Następstwem zakłóceń w dostawie energii elektrycznej mogą być straty ekonomiczne występujące u odbiorców. Szczególnie groźne są tutaj przerwy w zasilaniu. Przerwy takie są nieuchronne, wyposażenie bowiem układów elektroenergetycznych w urządzenia zapewniające niezawodność zasilania zbliżoną do 100% wymagałoby ogromnych nakładów kapitałowych, co jest ekonomicznie nieopłacalne.

Celami pracy są:

- opracowanie metody prognozowania wskaźników niezawodności na podstawie danych statystycznych, które są niezbędne do oceny niezawodności pracy sieci rozdzielczej. Znajomość prognozowanych wartości wskaźników niezawodności pozwoli ocenić koszty, jakie może ponieść spółka dystrybucyjna na utrzymanie niezawodności na wymaganym poziomie,

- przeprowadzenie oceny kosztów ponoszonych przez spółkę dystrybucyjną na utrzymanie wymaganego poziomu niezawodności zasilania odbiorców (remonty, likwidacja awarii),
- opracowanie modelu kalkulacji wyniku finansowego w spółce dystrybucyjnej,
- zbadanie zależności między wartościami wskaźników niezawodności a kosztami likwidacji awarii,
- prognoza kosztów ponoszonych przez spółkę na likwidację awarii i wzrost niezawodności pracy sieci.

## 1. 2. Teza pracy

Praca zmierza do wykazania zasadności następującej tezy:

***Możliwe jest przewidywanie kosztów ponoszonych przez spółkę dystrybucyjną na utrzymanie wymaganego poziomu niezawodności zasilania odbiorców w perspektywie kilku lat, na podstawie prognozowanych wartości wskaźników niezawodności pracy sieci rozdzielczej. Uzyskana dokładność oszacowania będzie wystarczająca dla potrzeb tej spółki.***

## 2. Analiza niezawodnościowa – stan wiedzy

Efektom wieloletniego zainteresowania analizą niezawodności systemu elektroenergetycznego są liczne metody i programy komputerowe do realizacji obliczeń niezawodnościowych. O tym, że zagadnienia niezawodności są istotne dla elektroenergetyki, świadczą liczne publikacje w zagranicznych czasopiśmie naukowych oraz publikacje książkowe [3, 4, 9, 10,]. Pod koniec lat 80-tych powstał system komputerowy „Awaryjność” służący do analizy danych dotyczących awaryjności sieci elektroenergetycznych, jak również zakłóceń dla sieci średniego i wysokiego napięcia [6]. Powstało również wiele narzędzi komputerowych w kraju jak i zagranicą [5, 8, 75, 76, 99], służących do analizy niezawodności systemów przesyłowych i dystrybucyjnych bazujących na różnych metodach obliczeniowych [74, 77].

Problem niezawodności systemu elektroenergetycznego w ostatnim okresie nabrał w świecie i w Polsce ogromnego znaczenia ze względu na wymagania współczesnej gospodarki.

Ocena niezawodności może odnosić się do przeszłości (jest dokonywana ex post) lub do przyszłości (jest to wówczas niezawodność prognozowana). W obu sytuacjach wyznacza się wartości odpowiednich miar niezawodności – wskaźników niezawodności. Z punktu widzenia zapobiegania wielkim awariom systemowym, które są katastrofalne w skutkach, bo pozbawiają zasilania w energię elektryczną wielu milionów ludzi, szczególnie istotna jest analiza (prognozowanie) niezawodności systemów elektroenergetycznych, która powinna być wykonywana w celu określenia warunków bezpiecznej pracy w fazie programowania układów i parametrów SEE.

Niezawodności systemu elektroenergetycznego, określają dwie grupy wskaźników niezawodności [74, 91]:

- wskaźniki węzłowe (najczęściej używa się oczekiwanej liczby przerw w roku i czasu ich trwania),
- wskaźniki systemowe (najczęściej używa się wskaźnika niedostarczonej energii oraz wskaźnika niepokrycia zapotrzebowania ).

Operator systemu ma w taki sposób prowadzić ruch i eksploatację sieci, by energia elektryczna miała odpowiednie parametry i niezawodność dostawy określone odpowiednimi standardami technicznymi (zwykle przez czas przerw i ograniczeń oraz ich liczbę) [82]. Działania w tym zakresie polegają na ocenie i analizie aktualnego poziomu niezawodności w miejscach dostawy i odbioru energii elektrycznej, do której potrzebne są dane statystyczne awaryjności elementów wytwórczych, przesyłowych i rozdzielczych,

oraz na planowaniu i ocenie perspektywicznych poziomów niezawodności, w tym także parametrów niezawodnościowych, do których potrzebne są przewidywane (prognozowane) wskaźniki niezawodnościowe.

W ostatnich latach obserwuje się bardzo dynamiczny rozwój oraz wzrost zastosowań metod sztucznej inteligencji w wielu dziedzinach techniki, w tym również z zakresu elektroenergetyki. Do tych metod zalicza się sieci neuronowe (*Artificial Neural Networks*), algorytmy ewolucyjne (*Evolution Algorithms*), logikę rozmytą (*Fuzzy Logic*) oraz systemy ekspertowe (*Expert Systems*). Dziedziny działalności człowieka, w których sieci neuronowe mogą być użyte, są praktycznie nieograniczone i dotyczą m.in.: techniki, ekonomii, medycyny, psychologii czy socjologii. Interesującym przykładem zastosowań sieci neuronowych jest system przewidywania awarii urządzeń. Sieć na podstawie informacji z czujników analizuje na bieżąco stan urządzenia, po czym jest w stanie przewidzieć awarię urządzeń spowodowane korozją, zużyciem lub zmęczeniem materiału. System Saams umożliwia nadzorowanie pracy silnika indukcyjnego, przewidując prawidłowo 90% awarii, gdzie tradycyjny system przewidywał tylko 30% awarii [38]. Na uwagę zasługują badania prowadzone w polskich ośrodkach naukowych takich jak AGH w Krakowie, gdzie zespół dr J. Kulczyckiego skupione są na optymalizacji rozwoju sieci elektroenergetycznych przy użyciu sieci neuronowych typu optymalizującego. Badania te dotyczą szeroko rozumianej optymalizacji rozwoju sieci elektroenergetycznych o strukturze otwartej oraz zamkniętej.

Prognozowanie wyniku finansowego przedsiębiorstwa dystrybucyjnego z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji było przedmiotem dotychczasowych badań [19, 48, 57, 59, 66, 90, 102]. Liczba badań w elektroenergetyce przy wykorzystaniu sieci neuronowych rośnie bardzo dynamicznie. Najbardziej intensywnie narzędzie to wykorzystuje się w prognozowaniu zjawisk elektroenergetycznych takich jak: prognozowanie obciążeń, planowanie sieci elektroenergetycznych, modelowanie i sterowanie procesami w elektrowniach, ocena bezpieczeństwa systemu elektroenergetycznego, zarządzanie sieciami rozdzielczymi.

Większość badań dotyczyło prognozowania obciążeń systemu elektroenergetycznego oraz zapotrzebowania na moc [22, 41, 73, 77] jak również diagnostyki i detekcji [2, 12, 18, 23, 34, 36, 43, 72, 79, 95, 105]. Istnieje wiele metod prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną [13, 19, 21, 37, 58, 60, 62, 64, 65, 68, 80, 89]. Wśród tych metod istnieją metody oparte na sztucznej inteligencji, które mają zastosowanie zwłaszcza w prognozowaniu krótko i bardzo krótkoterminowych (godzinowe, dobowe) [19, 22, 38, 48, 57, 59, 88, 90, 92, 102].

Narzędziem wspomagającym pracę systemów ekspertowych staje się coraz częściej logika rozmyta, która lepiej potrafi oddać w bazie wiedzy i w maszynie wnioskującej określenia używane w eksploatacji sieci elektroenergetycznych.

Współpraca sieci neuronowych z systemami ekspertowymi oraz logiką rozmytą w postaci układów hybrydowych ma największe perspektywy na przyszłość. Ten rodzaj układów pozwala wydobyć z każdej z technik jej największe zalety i umożliwić najbardziej efektywne i szybkie rozwiązanie konkretnego problemu. Układy tego typu wykorzystujące dwie lub więcej metod sztucznej inteligencji są efektywnie wdrażane w wielu krajach w wielu dziedzinach, w tym w elektroenergetyce [7, 14, 15, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 44, 49, 51, 52, 55]. Praca ta stanowi kontynuację badań na temat niezawodności urządzeń, których celem będzie prognozowanie awaryjności poszczególnych elementów sieci elektroenergetycznej, a tym samym będą pomocne w ocenie i analizie niezawodności pracy sieci. Analiza ekonomiczna, która jest również przedmiotem badań, pozwoli na ocenę kosztów ponoszonych przez spółki dystrybucyjne na usuwanie powstałych awarii i utrzymanie niezawodności pracy sieci na wysokim poziomie. W ten sposób zostanie powiększona i uzupełniona wiedza dotycząca prognozowania niezawodności pracy urządzeń elektroenergetycznych. Ponadto zastosowanie metod wykorzystujących sieci neuronowe oraz logikę rozmytą (*fuzzy logic*) do analizy i przetwarzania danych [27, 28, 50, 53, 54, 56, 69, 73, 84, 86, 93, 97, 101] ułatwi i przyspieszy ocenę niezawodnościową pracy systemów dystrybucyjnych.

### 3. System elektroenergetyczny w Polsce

System elektroenergetyczny definiowany jest jako: sieci elektroenergetyczne wraz z przyłączonymi do nich urządzeniami do wytwarzania lub pobierania energii elektrycznej, współpracujące według ściśle określonych zasad, zdolne do trwałego utrzymywania określonych parametrów niezawodnościowych i jakościowych dostaw energii elektrycznej oraz spełnienia warunków obowiązujących we współpracy z innymi połączonymi systemami [98].

Niezawodność SEE jest określona jego zdolnością do zapewnienia zasilania odbiorców energią elektryczną o odpowiedniej jakości. Zwykle analizuje się niezależnie niezawodność podsystemów składających się na system elektroenergetyczny, a zatem niezawodność realizacji pojedynczej funkcji: wytwarzania, przesyłu, zasilania konkretnych odbiorców [3, 4, 46, 47, 91].

Według Ustawy „Prawo energetyczne” z dnia 10 kwietnia 1997 roku [100] do zadań operatora przesyłowego, którym w Polsce są Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA można zaliczyć:

- zapewnienie prowadzenia ruchu, utrzymania i rozwoju sieci przesyłowych wraz z połączeniami międzysystemowymi,
- utrzymanie bezpieczeństwa i niezawodności pracy SEE (poprzez zarządzanie mocą i energią),
- zapewnienie rezerw i usług systemowych, bilansowanie zapotrzebowania,
- dostarczanie energii elektrycznej o odpowiedniej jakości,
- niezawodność zasilania,
- koordynację pracy systemów rozdzielczych.

Wzrost zapotrzebowania na moc i energię elektryczną jest oznaką rozwoju gospodarczego państwa [61]. Sytuacja taka wymusza rozwój sieci elektroenergetycznych, których podstawowymi elementami są linie przesyłowe i rozdzielcze oraz stacje transformatorowe. Oprócz działań inwestycyjnych, konieczna jest także optymalizacja wykorzystania posiadanych zasobów, głównie poprzez redukcję kosztów eksploatacji i dystrybucji. Należy znaleźć kompromis między poziomem nakładów inwestycyjnych i poziomem kosztów dystrybucji. Wymiana zużytej aparatury na technologicznie nowocześniejszą przysparza dużo trudności, które wynikają z wysokości nakładów przekraczających zdolności finansowe spółek dystrybucyjnych. Dlatego dużego znaczenia nabierają obsługa eksploatacyjna oraz kompleksowa ocena stanu technicznego urządzeń.

Utrzymanie istniejącej sieci elektroenergetycznej związane jest z wydatkowaniem środków finansowych. Alokacja tych środków powinna opierać się na rzetelnej analizie techniczno-ekonomicznej gwarantującej odpowiednią jakość i pewność zasilania. Szczególnego znaczenia nabierają zabiegi eksploatacyjne takie jak oględziny i przeglądy, które są kluczowymi czynnościami pozwalającymi utrzymać prawidłowy stan techniczny urządzeń.

Wyniki ze sprzedaży energii elektrycznej w poszczególnych podsektorach w roku 2006 zamieszczono w tabeli 1.

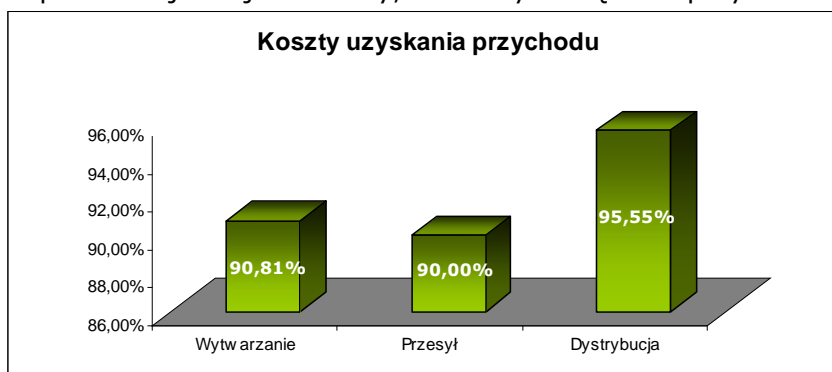
Tab.1. Przychody ze sprzedaży w poszczególnych podsektorach w roku 2006

Podsektor	Przychody ze sprzedaży [mln zł]	Koszty uzyskania przychodu [mln zł]	Zysk na sprzedaży [mln zł]
Wytwarzanie	21 482	19 508	1 974
Przesył	15 307	13 777	1 530
Dystrybucja	31 310	29 918	1 392

Źródło: Agencja Rynku Energii SA

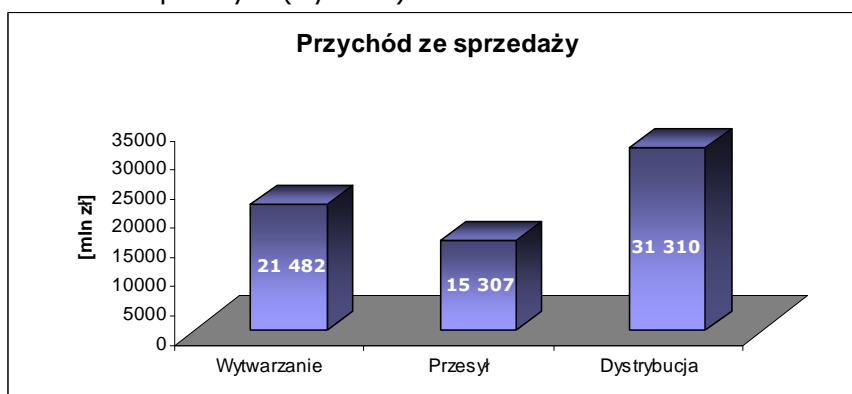
Analiza powyższych danych wykazuje, że największe koszty uzyskania przychodu występują w podsektorze dystrybucji, które są na poziomie 95,55% (Rys.3.1). W

podsektorze wytwarzania koszty kształtują się na poziomie 90,81%, natomiast podsektor przesyłu ponosi najmniejsze koszty, które wynoszą 90% przychodu.



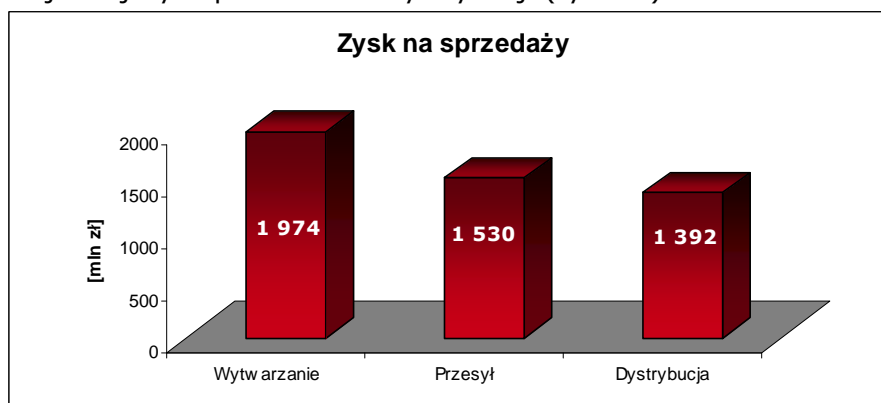
Rys. 3.1. Koszty uzyskania przychodu ze sprzedaży energii elektrycznej [Źródło: opracowanie własne]

Przychód ze sprzedaży w roku 2006 był największy w podsektorze dystrybucji a najmniejszy w podsektorze przesyłu (Rys.3.2).



Rys. 3.2. Przychód ze sprzedaży energii elektrycznej w podsektorach [Źródło: opracowanie własne]

Biorąc pod uwagę przychody i koszty poszczególnych podsektorów widać, że największy zysk na sprzedaży energii elektrycznej w roku 2006 wystąpił w podsektorze wytwarzania, a najmniejszy w podsektorze dystrybucji (rys.3.3).



Rys. 3.3. Zysk ze sprzedaży energii elektrycznej w podsektorach [Źródło: opracowanie własne]

Analizując powyższe dane należy stwierdzić, iż prowadzenie badań zmierzających do zmniejszenia kosztów w podsektorze dystrybucji jest jak najbardziej zasadne. Poniżej przedstawiona została symulacja obniżenia całkowitych kosztów uzyskania przychodu w skali kraju.

## SYMULACJA OBNIŻENIA KOSZTÓW PODSEKTORA DYSTRYBUCJI

Podsektor	Przychody ze sprzedaży	Zysk ze sprzedaży	Koszt	[%]
Dystrybucja	31 310	1 392	29 918	<b>95,55%</b>

\* kwoty podane w mln zł

Podsektor	Przychody ze sprzedaży	Zysk ze sprzedaży	Koszt	[%]
Dystrybucja	31 310	1 691,18	29 618,82	<b>94,60%</b>

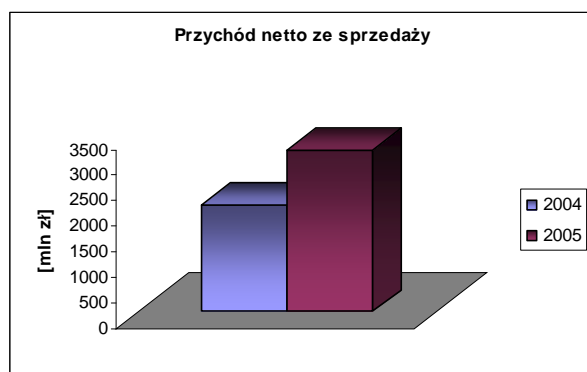
\* kwoty podane w mln zł

Obniżenie kosztów o **1%** czyli o **299,18 mln zł**  
**powoduje wzrost zysku o 21,49%** co stanowi **299,18 mln zł zysku więcej**

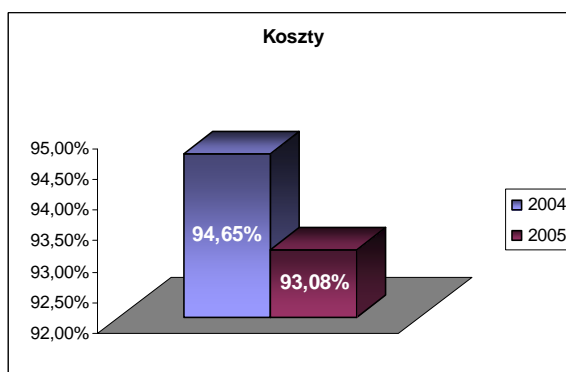
Badana spółka dystrybucyjna wchodzi w skład Koncernu Energetycznego, który posiada 11-procentowy udział w rynku dystrybucji w Polsce. Koncern działa na obszarze 27 429 km<sup>2</sup> i jest właścicielem ponad 67 500 km linii elektrycznych. Sprzedaje ponad 11,5 TWh energii elektrycznej rocznie obsługując tym samym 1,6 miliona klientów. Ze sprawozdania finansowego spółki za lata 2004-2005 (Tab. 2) wynika, że koszty uzyskania przychodu ze sprzedaży produktów, towarów i materiałów są bardzo wysokie (powyżej 90%) (Rys. 3.4, 3.5), co powoduje tylko kilkuprocentowy zysk ze sprzedaży co widać na rysunku 3.6. Dokładna analiza kosztów zostanie przeprowadzona w dalszej części pracy.

Tab. 2. Przychody, koszty i zyski wybranego Koncernu Energetycznego w latach 2004-2005

Rok	2004	2005
<b>Przychody netto ze sprzedaży produktów, towarów i materiałów</b>	2 095 240 751,16 zł	3 173 763 488,87 zł
<b>Koszty sprzedanych produktów, towarów i materiałów</b>	1 983 172 009,92 zł	2 954 215 944,10 zł
<b>Zysk (strata) brutto ze sprzedaży</b>	112 068 741,24 zł	219 547 544,77 zł

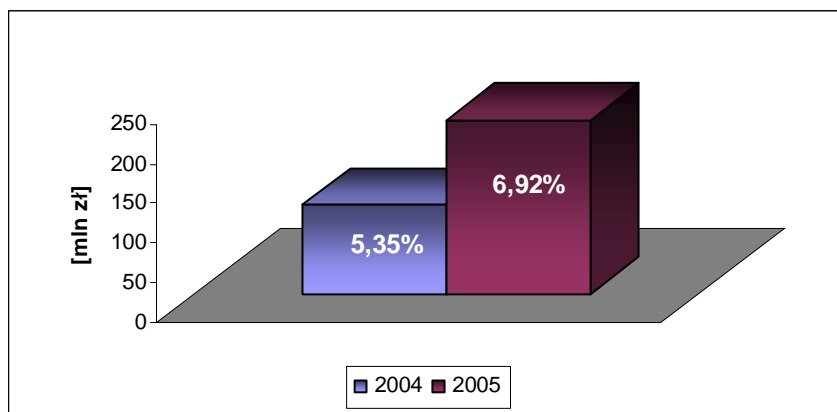


Rys. 3.4. Przychód ze sprzedaży w latach 2004-2005



Rys. 3.5. Koszty uzyskania przychodu ze sprzedaży w latach 2004-2005





Rys. 3.6. Zysk ze sprzedaży w latach 2004-2005

Kluczowym elementem każdego systemu elektroenergetycznego jest sprawnie działająca aparatura, jak również elementy rezerwowe oraz automatyka zabezpieczeniowa. Równie ważnym elementem jest sprawnie działająca aparatura sygnalizująca stan zagrożenia. W przypadku pojawienia się uszkodzenia, bardzo ważna jest sprawna organizacja usuwania uszkodzeń przez wykwalifikowany personel. Niezbędnym czynnikiem umożliwiającym poprawne działanie SEE jest systematyczne i dokładne prowadzenie statystyk awaryjności, na podstawie których możliwe jest wcześniejsze prognozowanie kosztów przyszłych napraw i ewentualnych remontów. Odpowiednie uwzględnienie wyżej wymienionych elementów w procesie eksploatacyjnym, może pozwolić na zmniejszenie ujemnych skutków finansowych niedotrzymania parametrów jakościowych energii w spółce dystrybucyjnej. Ewidencja i statystyka awaryjności jest kluczowa przy opracowaniach wskaźników niezbędnych do obliczeń niezawodnościowych, jak również przy prognozowaniu rozwoju systemu, wykrywania słabych miejsc sieci, porównania niezawodności zasilania odbiorców w różnych obszarach [6].

Opracowanie poprawnych statystyk awaryjności ma zasadnicze znaczenie dla poprawy niezawodności dostaw energii elektrycznej odbiorcom końcowym. Próby zmniejszenia awaryjności poszczególnych elementów systemu elektroenergetycznego i opracowanie konkretnych algorytmów postępowania, ograniczających awaryjność, a tym samym utrzymujących ciągłość zasilania jest obecnie celem nadrzędnym. Należy zdawać sobie sprawę z tego, że ciągłość dostaw energii elektrycznej o odpowiedniej jakości ma zasadnicze znaczenie poprawnego funkcjonowania wszystkich sektorów gospodarki danego państwa. O jakości energii elektrycznej i niezawodności jej dostaw w dużej mierze decyduje właśnie niezawodność SEE, a konkretnie poziom funkcjonowania jego poszczególnych elementów składowych. Wprowadzenie monitorowania ciągłości zasilania oraz przeprowadzanie różnych symulacji i analiz zwiększających bezpieczeństwo energetyczne ma zasadnicze znaczenie dla odbiorców. Dużą rolę odgrywają również odpowiednie techniki diagnostyczne, które pozwalają w porę wykryć uszkodzenia bądź niewłaściwą pracę poszczególnych elementów systemu elektroenergetycznego zmniejszających prawdopodobieństwo awarii obiektu.

#### 4. Ryzyko w działaniu spółek dystrybucyjnych

Spółka dystrybucyjna musi podejmować ryzyko związane przede wszystkim z wynikami ekonomicznymi swojej działalności i odpowiednio tym ryzykiem zarządzać [1, 67, 94]. Ryzyko jest związane z różnymi rodzajami działalności spółki dystrybucyjnej, zarówno operacyjnymi, jak i inwestycyjnymi (Rys. 4.1). Prognozowanie zapotrzebowania na moc wpływa na opracowywanie planów rozwoju sieci rozdzielczej i wynikające z tych planów działania inwestycyjne spółki oraz plany pracy sieci. Prognozy zapotrzebowania na energię i moc wpływają na kształtowanie odpowiedniego portfela zakupów energii, a

rzeczywiste zapotrzebowanie na energię wpływa na sprzedaż energii elektrycznej odbiorcom.

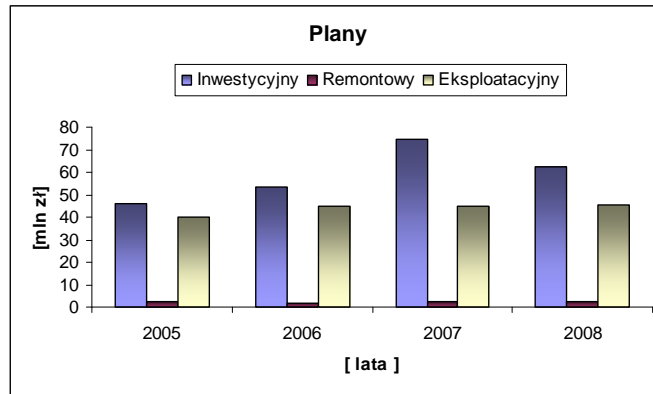


Rys. 4.1. Czynniki wpływające na ryzyko podejmowania decyzji w spółce dystrybucyjnej [48]

Ryzyko jest więc związane głównie z prognozowaniem oraz działaniami na rynku energii, czyli kształtowaniem odpowiedniego portfela zakupów energii elektrycznej oraz sprzedażą energii odbiorcom detalicznym. Zapewnienie odpowiedniej niezawodności pracy sieci dystrybucyjnej oraz właściwej jakości dostarczanej energii powoduje konieczność podejmowania decyzji, mających wpływ na koszty funkcjonowania spółki (koszty operacyjne). Podejmowanie tych decyzji jest również obarczone ryzykiem. Spółka dystrybucyjna, zgodnie z rozporządzeniem [81], jest zobowiązana do przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznej na podstawie umowy o przyłączenie i po spełnieniu określonych przez nią warunków przyłączenia. Natomiast umowa sprzedaży energii elektrycznej zawierana przez spółkę dystrybucyjną z odbiorcą powinna zawierać standardy jakościowe obsługi odbiorców lub wymagania dotyczące odmiennych od standardów jakościowych parametrów energii elektrycznej oraz odpowiedzialności stron za niedotrzymanie warunków umowy, a w szczególności standardów jakościowych obsługi odbiorców. Spółka dystrybucyjna jest obowiązana m. in. do: dostarczania energii elektrycznej zgodnie z obowiązującymi standardami i na warunkach określonych w umowie sprzedaży energii elektrycznej oraz do informowania odbiorców o terminach planowanych przerw i ograniczeń w dostarczaniu energii elektrycznej, z wyprzedzeniem umożliwiającym przygotowanie się odbiorcy do przerw lub ograniczeń, i niezwłocznego likwidowania przerw i zakłóceń w dostarczaniu energii elektrycznej. Operator systemu rozdzielczego jest obowiązany m. in. do: dotrzymywania parametrów i warunków umożliwiających dostarczanie energii elektrycznej o wymaganej jakości oraz do bezzwłocznego likwidowania awarii lub zagrożeń dla bezpiecznej pracy sieci rozdzielczej. Niezawodność dostaw energii elektrycznej w dużej mierze zależy od sprawności urządzeń wchodzących w skład systemu elektroenergetycznego (SEE). Współczynnik zawodności, który można określić na podstawie statystyk awaryjności, zależy nie tylko od należytej jakości danego elementu, ale również od: właściwej konserwacji i remontów, diagnostyki czyli właściwej kontroli pracy danego urządzenia, szybkiej sygnalizacji uszkodzeń oraz sprawnej organizacji usuwania awarii. Diagnostyka urządzeń ma na celu zapewnienie wysokiej dyspozycyjności urządzeń, maksymalne zabezpieczenie ich przed awariami, ustalenie przyczyn zaistniałych uszkodzeń i sposobu ich uniknięcia. W osiągnięciu tego celu sprzyja właściwa organizacja badań diagnostycznych i remontów profilaktycznych. Szybki postęp zarówno w teorii, metodach jak i aparaturze diagnostycznej prowadzi do

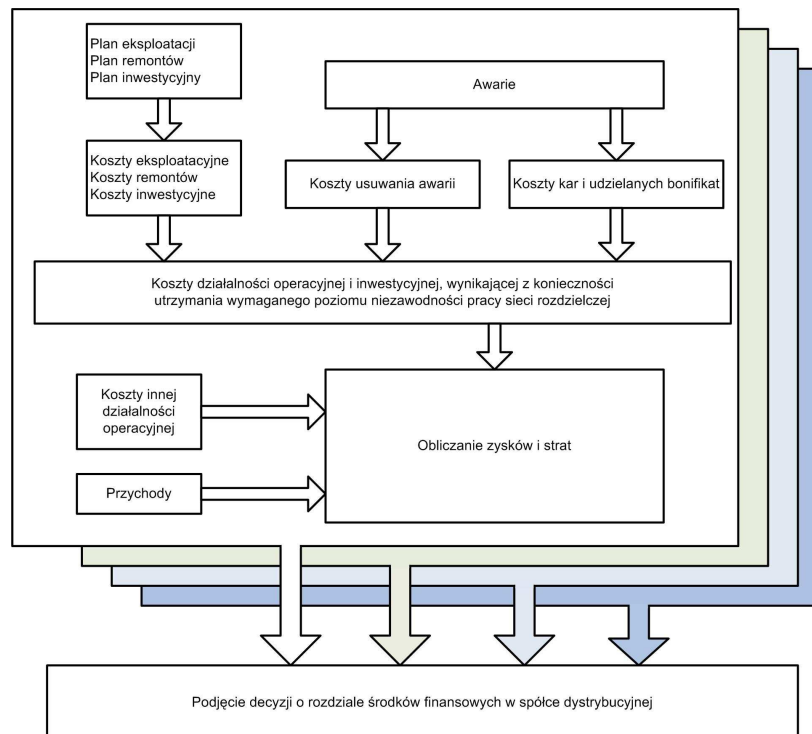
powstawania nowoczesnych systemów diagnostyki technicznej przedłużającej żywotność i zwiększającej dyspozycyjność maszyn i urządzeń energetycznych.

W spółce dystrybucyjnej, na podstawie corocznych oględzin, przeglądów i pomiarów, przygotowywane są trzy rodzaje planów: eksploatacji, remontów oraz inwestycji. Na rysunku 4.2 przedstawiono kwoty planowane na inwestycje, remonty i eksploatacje w badanej spółce dystrybucyjnej. Jako koszty eksploatacji podano koszty działalności dystrybucyjnej pomniejszone o: amortyzację, podatki i opłaty oraz koszty rozliczane.



Rys. 4.2. Kwoty planowane na inwestycje, remonty i eksploatację w latach 2005 – 2008  
[Źródło: opracowanie własne]

Plany te obejmują działania mające zapewnić niezawodną dostawę energii oraz jej wymaganą jakość, działania związane z przywróceniem właściwej niezawodności pracy obiektów sieciowych (również modernizację) oraz budowę nowych obiektów. Muszą być tak skonstruowane, aby z punktu widzenia spółki zapewnić racjonalny poziom niezawodności pracy sieci rozdzielczej i dostawy energii. Oprócz tego, bardzo istotne są powstające awarie w sieci rozdzielczej, które są przyczyną wystąpienia kosztów usuwania awarii oraz kosztów kar i bonifikat (Rys. 4.3). Powstają koszty operacyjne i inwestycyjne, wynikające z konieczności utrzymania wymaganego poziomu niezawodności pracy sieci rozdzielczej, które muszą być uwzględnione w obliczeniach wyników finansowych spółki [96].



Rys. 4.3. Podejmowanie decyzji na podstawie analizy kosztów działalności operacyjnej i inwestycyjnej oraz różnych wariantów planów [35]

Na wynik finansowy spółki wpływają różne czynniki, m. in. koszty zakupu energii elektrycznej na rynku hurtowym, przychody ze sprzedaży energii elektrycznej, przychody z innych rodzajów działalności, koszty działalności operacyjnej i inwestycyjnej i jest on obciążony dużą niepewnością.

Plany eksploatacyjne, remontowe i inwestycyjne są oparte na danych operacyjnych i niezawodnościowych dla sieci rozdzielczej spółki dystrybucyjnej, m. in. na przyjmowanych do analiz wartościach wskaźników niezawodności pracy obiektów sieciowych. Stąd, podejmowanie decyzji w zakresie eksploatacji, remontów i inwestycji może być obciążone dużym ryzykiem i należy zwrócić szczególną uwagę na dane wejściowe do wszelkich analiz sieciowych. Ostateczny podział środków finansowych jest decyzją, które musi być podjęta na podstawie analizy różnych wariantów danych wejściowych.

Jednym z uwarunkowań wpływających na jakość dostarczanej energii elektrycznej jest niezawodność, czyli pewność jej dostawy. Dlatego przerwa w zasilaniu to jeden z parametrów oceny jakości napięcia zasilającego zalecanych przez normę PN-EN 50160 [106]. Dla szeregu współczesnych urządzeń nawet krótkotrwała przerwa w zasilaniu oznacza poważne problemy eksploatacyjne bądź zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi lub zwierząt [63]. Na zagadnienie zapewnienia odpowiedniej niezawodności zasilania należy jednak spojrzeć jako na swego rodzaju kompromis pomiędzy zagrożeniami czy stratami jakie mogą być skutkiem przerw w zasilaniu a kosztami środków i urządzeń, które mają takim przerwom zapobiegać. Jedną z konsekwencji tego kompromisu jest podział odbiorców na grupy czy kategorie w zależności od dopuszczalnego czasu trwania przerw w zasilaniu. Obecnie w Polsce dostawcy energii dzielą odbiorców na sześć grup przyłączeniowych [45], dla których określono m.in. dopuszczalny, łączny czas trwania wyłączeń awaryjnych w ciągu roku. Podział ten, dokonany głównie z punktu widzenia szeroko rozumianych warunków dostawy i rozliczeń za energię elektryczną, nie określa jednak w sposób wystarczający warunków niezawodności zasilania.

Wspomniany kompromis, to wybór pomiędzy kosztami zainstalowania odpowiednich urządzeń rezerwowego zasilania a ryzykiem poniesienia konsekwencji przerw w zasilaniu energią elektryczną.

## 5. Badania parametrów niezawodnościowych wybranych urządzeń

Znaczna większość przerw w zasilaniu odbiorców ma swoje źródło w wadliwym funkcjonowaniu sieci elektroenergetycznych. Zakłócenia w pracy elektrowni są w dużym stopniu neutralizowane przez istnienie rezerw mocy wytwórczej w systemie elektroenergetycznym. Informacje o zakłóceniach i wyłączeniach elementów sieci elektroenergetycznej są zbierane i przetwarzane w spółce dystrybucyjnej. W ten sposób powstają statystyki awaryjności, które zwykle obejmują wyłączenia awaryjne i planowe. Ocena niezawodności sieci jest dokonywana z wykorzystaniem danych statystycznych dotyczących uszkodzeń elementów sieci [39, 41].

**Częstość uszkodzeń** jest to prawdopodobieństwo uszkodzenia się obiektu w jednostce czasu w chwili  $t$ :

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{s(\tau) = \bar{S}; t < \tau \leq t + \Delta t\}}{\Delta t} \quad (5.1)$$

inaczej

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = F'(t) = -R'(t) \quad (5.2)$$

zależność empiryczna:

$$f\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n_0 \Delta t} = \frac{\Delta n}{n_0 \Delta t} \quad (5.3)$$

gdzie:  $n_0$  – liczebność początkowa próbki;  $n(t)$  – liczebność próbki w czasie  $t$ ;  
 $n(t + \Delta t)$  – liczebność próbki w chwili  $(t + \Delta t)$

Rozpoznanie pełnych własności niezawodnościowych obiektu nienaprawialnego lub podlegającego odnowie wymaga znajomości rozkładu trwałości  $F(t)$  lub funkcji niezawodności  $R(t)$ , funkcji trwałości i rozkładu odnowy oraz danych procesu stochastycznego opisującego pracę obiektu np. intensywności uszkodzeń.

W praktyce uzyskanie tylu informacji jest bardzo pracochłonne dlatego do obliczeń i przybliżonych analiz wykorzystuje się przede wszystkim średnią intensywność uszkodzeń  $\lambda_{sr}$  oraz średni czas naprawy (odnowy)  $t_a$ .

**Intensywność uszkodzeń** jest to prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektu w jednostce czasu w chwili  $t$ , pod warunkiem, że obiekt nie uszkodził się do chwili  $t$  :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{s(\tau) = \bar{S}; t < \tau \leq t + \Delta t \mid s(t) = s\}}{t} \quad (5.4)$$

Inaczej

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t) \Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{F'(t)}{1 - F(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)} \quad (5.5)$$

zależność empiryczna:

$$\lambda\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) t} = \frac{\Delta n}{n\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t} \quad (5.6)$$

Podane definicje dotyczą zarówno obiektów bez odnowy jak i odnową.

Badanie parametrów niezawodnościowych jest możliwe jedynie metodami statystycznymi, ze względu na działanie czynników zakłócających różnego pochodzenia. Badania można ograniczyć do rozpatrywania prostego modelu dwustanowego, gdzie urządzenie jest „zdatne” do realizacji zadań programowych, bądź jest „niezdatne” z powodu uszkodzenia. Czas niezdatności jest czasem naprawy bądź wymiany uszkodzonego elementu lub całego urządzenia. Model dwustanowy jest dużym uproszczeniem - w praktyce występują uszkodzenia nie wymagające natychmiastowego wyłączenia urządzenia.

W praktyce wskaźniki uszkodzeń określa się na podstawie liczby awarii w analizowanym okresie czasu oraz długości linii, liczby stacji, lub innych elementów sieci:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^N n_{ai}}{\sum_{i=1}^N L_{ui}} \quad (5.7)$$

gdzie:

$L_{ui}$  – liczebność zbioru urządzeń danej grupy (długość linii w km, liczba transformatorów lub innych urządzeń w szt.) eksploatowanych w  $i$ -tym roku,

$n_{ai}$  – liczba awarii (zakłóceń) w danej grupie urządzeń w  $i$ -tym roku,

$N$  – liczba lat objętych statystyką awaryjności.

Przeciętny czas trwania pojedynczej awarii określa się na podstawie liczby awarii w dłuższym okresie czasu oraz łącznego czasu trwania awarii w tym okresie:

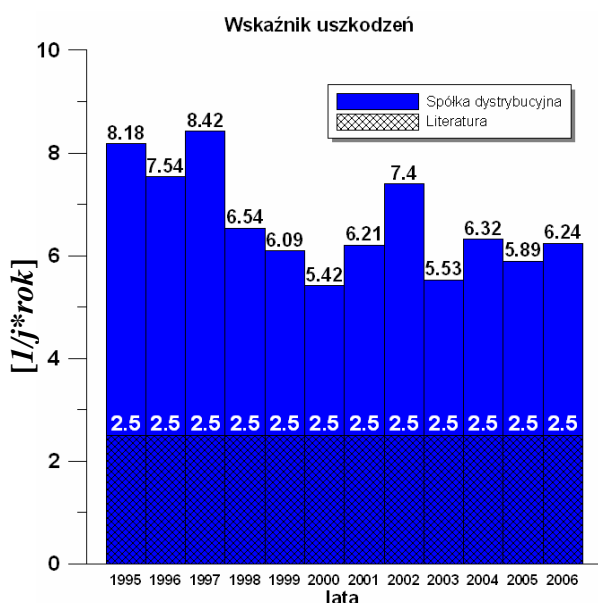
$$t_a = \frac{\sum_{i=1}^N T_{ai}}{\sum_{i=1}^N n_{ai}} \quad [\text{h/awarię}] \quad (5.8)$$

gdzie:  $T_{ai}$  – łączny czas trwania awarii w danej grupie urządzeń w  $i$ -tym roku [h].

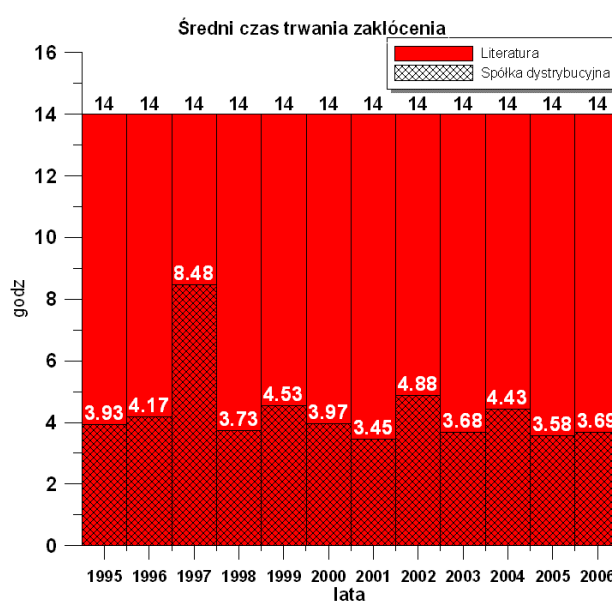
Wartości wskaźników uszkodzeń oraz przeciętne czasy trwania awarii można przyjąć również z literatury. W tabeli 3 oraz na rysunkach 5.1 i 5.2 przedstawiono częstość uszkodzeń oraz średni czas trwania zakłócenia wg literatury [45] oraz obliczone na podstawie rzeczywistych danych ze spółki dystrybucyjnej.

Tab. 3. Porównanie wskaźników literaturowych [45, 91] z rzeczywistymi danymi [Źródło: opracowanie własne]

Element	Jednostka $j$	Częstość uszkodzeń $d = \frac{1}{j \cdot \text{rok}}$		Średni czas trwania przerwy w zasilaniu $t_a$ [h]	
		Literatura [45]	Spółka dystrybucyjna [2006]	Literatura [45]	Spółka dystrybucyjna [2006]
Linia napowietrzna 15 kV	100 km.	2,5	<b>6,24</b>	14	<b>3,69</b>
Linia kablowa 15 kV	100 km.	22	<b>12,58</b>	12	<b>2,17</b>
Transformator 110/15kV	100 szt.	6	<b>0,58</b>	12	<b>5,85</b>



Rys. 5.1. Wskaźnik uszkodzeń w liniach napowietrznych SN [40]



Rys. 5.2. Średni czas trwania zakłócenia w liniach napowietrznych SN [40]

Znając częstość uszkodzeń  $d$  oraz średni czas trwania przerwy w zasilaniu  $t_a$  można wyznaczyć oczekiwany roczny czas przerwy w zasilaniu:

$$T_s = t_a d \quad (5.9)$$

stąd współczynnik zawodności (awaryjności) wynosi:

$$q = \frac{t_a d}{T} \quad (5.10)$$

Przerwy w zasilaniu energią elektryczną są przyczyną występowania strat u odbiorców, zwanych kosztami nieciągłości zasilania (zawodności). Wartość tych kosztów zależy od rodzaju odbiorcy i jego wielkości, a w przypadku zakładu przemysłowego od zastosowanej technologii i fazy procesu technologicznego, w której powstała przerwa w zasilaniu. Koszty te zależą również od czasu trwania przerwy w zasilaniu. W obliczeniach sieci elektroenergetycznych roczne koszty nieciągłości zasilania oblicza się z zależności [45]:

$$K_Q = \delta A k_Q \quad (5.11)$$

$\delta A$  - roczna nie dostarczona energia odbiorcom na skutek przerw w zasilaniu, przy czym  $A$  jest energią pobraną przez odbiorców w ciągu roku,  
 $k_Q$  - strata spowodowana przerwami w zasilaniu, przypadająca na jednostkę niedostarczonej energii elektrycznej, zwaną również gospodarczym równoważnikiem niedostarczonej energii (zł/KWh).

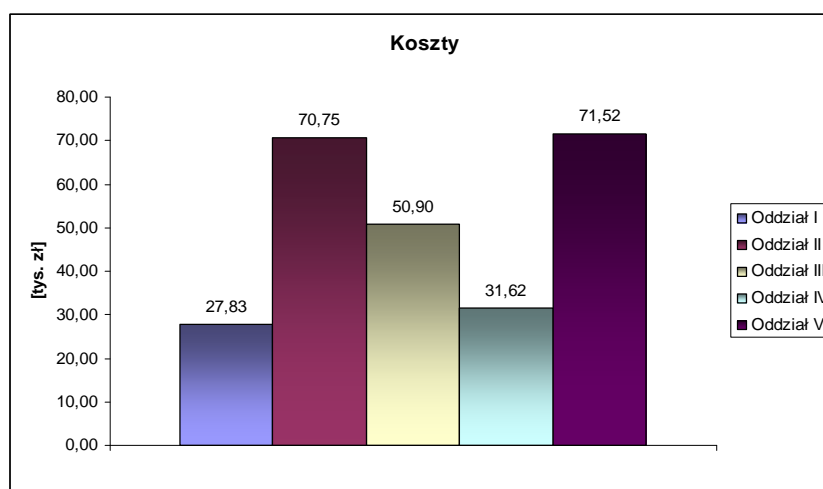
Ilość niedostarczonej energii elektrycznej w ciągu roku do odbiorców w badanej spółce dystrybucyjnej, na wskutek przerw w zasilaniu przedstawia tabela 4.

Tab. 4. Ilość niedostarczonej energii w ciągu roku [Źródło: opracowanie własne]

	Sieć WN		Sieć SN		Sieć nN	
	Awaryjna	Planowana	Awaryjna	Planowana	Awaryjna	Planowana
<b>2003</b>	<b>82,12</b>	<b>brak danych</b>	<b>276</b>	<b>147</b>	<b>47</b>	<b>75</b>
<b>2004</b>	<b>102,13</b>	<b>brak danych</b>	<b>457,3</b>	<b>160,2</b>	<b>88,8</b>	<b>39,1</b>
<b>2005</b>	<b>95,45</b>	<b>brak danych</b>	<b>313</b>	<b>116,6</b>	<b>52,3</b>	<b>41,3</b>
<b>2006</b>	<b>54,68</b>	<b>brak danych</b>	<b>275,9</b>	<b>192,7</b>	<b>37,6</b>	<b>47,8</b>

Ilości energii podano w MWh.

Jest to jeden z podstawowych wskaźników charakteryzujących działanie i zaawansowanie techniczne spółki, który ma wpływ na wyniki ekonomiczne. Związek między ilością niedostarczonej energii a ogólnym wynikiem finansowym spółek będzie w najbliższej przyszłości coraz bardziej widoczny. Koszty ponoszone przez badaną spółkę za niedotrzymanie odpowiednich parametrów jakościowych energii elektrycznej z podziałem na poszczególne oddziały przedstawia rysunek 5.3.



Rys. 5.3. Koszty ponoszone ze niedotrzymanie parametrów jakościowych energii elektrycznej w roku 2006 [Źródło: opracowanie własne]

## 6. Prognozowanie – wiadomości ogólne

Przewidywanie to wnioskowanie o zdarzeniach nieznanych na podstawie zdarzeń znanych. Prognozowanie to racjonalne, naukowe przewidywanie przyszłych zdarzeń. Przez prognozę rozumie się sąd, który posiada następujące właściwości: sformułowany jest z wykorzystaniem dorobku nauki, odnosi się do określonej przyszłości, jest weryfikowalny empirycznie, jest niepewny ale akceptowalny.

Wnioskowanie w przyszłość na podstawie modelu ekonometrycznego nazywa się predykcją. Konkretny wynik, który otrzymuje się na drodze zastosowanego wnioskowania statystycznego nazywa się prognozą [103].

Ocena dopuszczalności prognoz powiązana jest z poziomem wartości dopuszczalnej wiarygodności. Zlecający określając ten poziom powinien brać pod uwagę możliwość renegocjacji wymagań jakościowych, w tym także możliwość skrócenia horyzontu prognozy. Weryfikacja prognoz jest równoznaczna z określeniem trafności prognoz przy wykorzystaniu błędów prognoz ex post w przypadku zmiennych prognozowanych opisanych ilościowo lub w wyniku porównania prognozy stanu zmiennej jakościowej ze stanem zrealizowanym. Nie ulega wątpliwości, że ze względu na rodzaj sporządzanej prognozy, jej cel oraz charakter przewidywanego zjawiska znajdują zastosowanie różne metody prognostyczne.

### 6.1. Prognozowanie na podstawie szeregów czasowych

W prognozowaniu zjawisk gospodarczych szczególne znaczenie mają metody oparte na analizie i modelowaniu szeregów czasowych.

Cechą charakterystyczną szeregów czasowych są jego składowe. Wyróżnia się dwie składowe: składową systematyczną, będącą efektem oddziaływań stałego zestawu czynników na zmienną prognozowaną oraz składową przypadkową - zwaną często składnikiem losowym lub wahaniami przypadkowymi [17, 97].

Modelem szeregu czasowego służącym do określenia przyszłej wartości zmiennej prognozowanej  $Y$  w momencie (okresie) prognozowania  $t$  tj.  $y_t^*$  jest model formalny, którego zmiennymi objaśniającymi (wyjścia) mogą być tylko zmienne czasowe oraz przyszłe wartości lub prognozy zmiennej  $Y$  (Rys. 6.1).



Rys. 6.1. System prognozowania [17]

Model szeregu czasowego przedstawia zatem prognozowany system, którym może być gospodarka narodowa, wielkość (wartość) sprzedaży przedsiębiorstwa, awaryjność urzędów, dochody rodziny itp. jako czarną skrzynkę. Model w tym ujęciu służy jedynie do wyznaczenia przyszłych wartości zmiennej prognozowanej bez określania determinujących je czynników.

Prognozowanie może dotyczyć różnych przedziałów czasowych, od minut, godzin lub dób (prognozowanie krótkoterminowe) do lat (predykcja długoterminowa). Czas prognozy zależy od zakresu badanych wielkości oraz celu, jakim mają służyć uzyskane rezultaty.

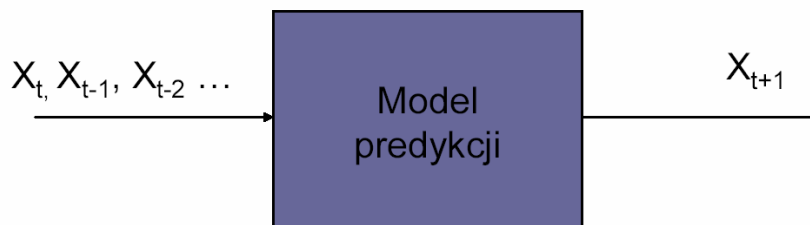
### 6.2. Prognoza czasowych przebiegów sygnałów (Time Series Signals Prediction)

Prognoza czasowych przebiegów sygnałów jest oparta na ich wcześniejszych wartościach (Rys. 6.2). Dlatego też niezbędne jest zebranie i analiza zgromadzonych danych. Podczas analizy tych danych w sposób obiektywny niezbędne jest posiadanie



danych zawierających maksymalną ilość informacji oraz adekwatną liczbę pomiarów danych wejściowych. Przyszłe wartości przebiegów czasowych  $x(t)$  mogą być przedstawione jako funkcja minionych wartości  $x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-\varphi)$

$$x(t + \tau) = f(x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-\varphi)) \quad (6.1)$$



Rys. 6.2. Prognoza czasowych przebiegów sygnału [Źródło: opracowanie własne ]

### 6.3. Rozmyte systemy decyzyjne

Systemy rozmyte operują na zbiorach rozmytych zamiast na liczbach, co umożliwia uogólnienie informacji. Schemat takiego modelowania polega na przetworzeniu zmiennych ilościowych na pojęcia lingwistyczne, następnie modelowaniu systemu na podstawie bazy reguł, która może odzwierciedlać naszą wiedzę o systemie, a na koniec przetworzeniu wyjść z powrotem na zmienne ilościowe. W ten sposób taki model układu za pomocą wnioskowania określa wyjście systemu na jeden krok wprzód. Tak jak w przypadku sieci neuronowej, system techniki rozmytej jest systemem nieliniowego odzwierciedlenia wektora wejściowego na wyjście skalarne [106], ale w tym przypadku możliwe jest przetwarzanie wartości numerycznych i zmiennych lingwistycznych. Generalnie, opis systemu można zbudować za pomocą reguł postaci „jeśli ... to ...”, które mogą pochodzić z kilku źródeł: wiedzy eksperckiej, modelowania jakościowego lub algorytmów automatycznego pozyskiwania wiedzy. Przesłanki (poprzedniki) składają się z koniunkcji i/lub alternatyw wyrażeń lingwistycznych typu „x jest A”, gdzie x jest zmienną, a A jej wartością lingwistyczną. Lingwistyczne „jest” oznacza przynależność do danego zbioru rozmytego opisanego etykietą „A”. Konkluzje (następniki) są zazwyczaj pojedynczym wyrażeniem typu „y jest B”.

#### 6.3.1. ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)

Szybki postęp techniki przyniósł ze sobą dynamiczny rozwój nowych metod analizy i przetwarzania danych. Bardzo popularne stały się metody bazujące na inteligentnych systemach decyzyjnych. Sieci neuronowe, którym początkowo poświęcono wiele uwagi, okazały się narzędziem niewystarczającym do skutecznego przetwarzania informacji. Okazało się, że skuteczniejsze efekty działania tzw. sztucznej inteligencji, uzyskuje się poprzez zastosowanie wnioskowania bliższego ludzkiej naturze i skali nominalnej. Takie możliwości daje zastosowanie wnioskowania rozmytego w połączeniu z systemem decyzyjnym opartym na sieci neuronowej.

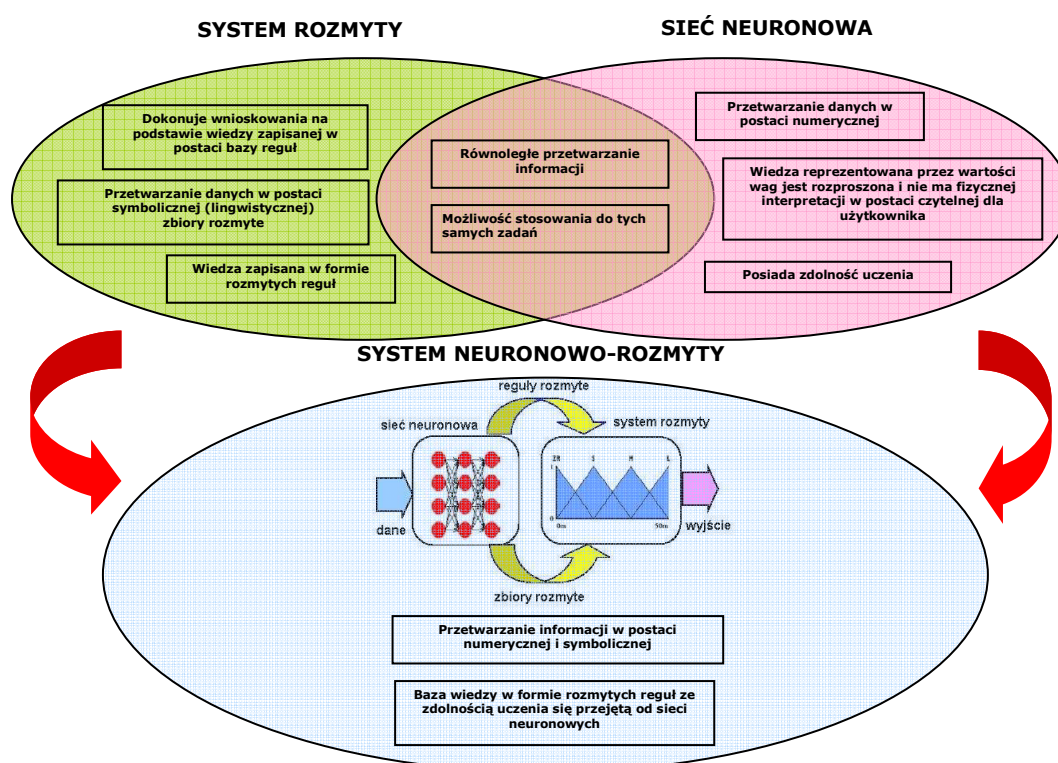
Rozmyte systemy wnioskujące operują na zbiorach rozmytych, dlatego konkretna wartość sygnału wejściowego systemu rozmytego podlega operacji rozmywania (fuzyfikacji) [20, 83]. W bloku wnioskowania, który na wejściu ma zbiór rozmyty, na wyjściu otrzymujemy  $N$  zbiorów rozmytych, które w bloku wyostrzania zostają poddane defuzyfikacji, zwanej wyostrzaniem. Systemy neuronowo-rozmyte korzystają z własności zarówno systemów rozmytych, jak i sieci neuronowych (Rys. 6.3), które charakteryzują się między innymi równoległym przetwarzaniem informacji oraz możliwością stosowania do tych samych zadań [16, 20, 42, 70, 71, 78, 104].

Metody umożliwiające optymalny dobór kształtu funkcji przynależności oraz bazy reguł są w fazie poznawczej, dlatego bardzo często określenie funkcji przynależności oraz

określenie bazy reguł rozmytych są realizowane na drodze eksperymentalnej. Poniżej zaprezentowane zostaną wyniki badań prognozowania wskaźników niezawodnościowych przy użyciu rozmytego systemu wnioskującego typu Takagi-Sugeno, w którym baza reguł ma charakter rozmyty jedynie w części **IF**, natomiast w części **THEN** występują zależności funkcyjne [83]:

$$R^{(k)} : IF (x_1 \text{ jest } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ jest } A_2^k \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ jest } A_n^k) \\ THEN y_k = f^{(k)}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (6.2)$$

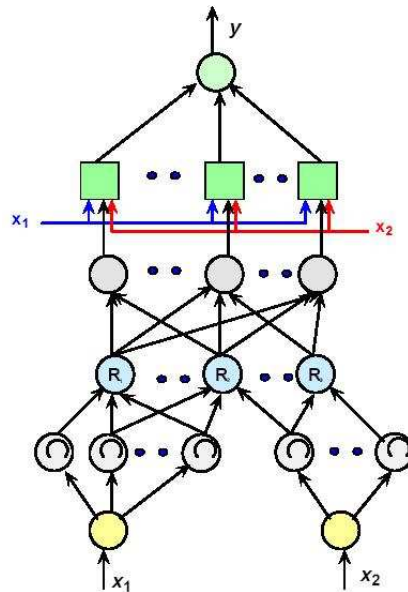
W badaniach dotyczących prognozy wskaźników niezawodnościowych wykorzystano Adaptacyjny System Wnioskowania Rozmyto-Neuronowy (ANFIS – Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), który stanowi model systemu rozmytego z wnioskowaniem typu Takagi-Sugeno.



Rys. 6.3. Własności systemów neuronowo-rozmytych [Źródło: opracowanie własne]

Metoda ta oparta jest na bazie reguł specjalnego formatu, który odznacza się następnikami typu funkcyjnego używanymi w miejsce następników rozmytych jak w modelu lingwistycznym. Zawarcie ilościowej wiedzy w części następników reguły nie wymaga stosowania metod defuzyfikacji w celu obliczenia numerycznej wartości wyjścia [33].

System ANFIS stanowi pięciowarstwową strukturę pokazaną na rysunku 6.4. Pierwsza ukryta warstwa jest stworzona do fuzyfikacji zmiennych wejściowych. Druga warstwa stosuje operatory T-norm w celu przeliczenia reguły. Trzecia ukryta warstwa normalizuje reguły, które poprzedzają czwartą warstwę, w której parametry i reguły zostają określone. Warstwa wyjściowa przetwarza całościowe dane wejściowe jako suma wszystkich sygnałów przychodzących [83]. Jako system rozmyty przedstawiony w postaci struktur warstwowych przypominających sieci neuronowe wykorzystuje metody uczenia stosowane w sieciach neuronowych.



Rys. 6.4. Adaptacyjny system wnioskowania neuronowo-rozmytego (ANFIS)

Sygnał wyjściowy rozmytego systemu wnioskującego Takagi-Sugeno jest znormalizowaną sumą ważoną poszczególnych wyjść  $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_N$ , [83] tzn.:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N w^k \bar{y}_k}{\sum_{k=1}^N w^k} \quad (6.3)$$

ANFIS wykorzystuje metodę wstecznej propagacji błędów w celu określenia parametrów a także estymacji kwadratowej do określenia pewnych parametrów. Krok w procedurze uczenia składa się z dwóch części. W części pierwszej następuje propagacja parametrów wejściowych oraz określane są konsekwentne parametry przy użyciu iteracyjnych metod kwadratowych. Odbywa się to tak długo, aż stworzony zostanie zestaw parametrów przypasowanych do danego cyklu, budujących zestaw treningowy. W drugiej części zestawu danych są ponownie propagowane, a propagacja wsteczna jest używana do modyfikowania parametrów określanych czasowo tak długo aż zostaną one jak najbardziej dopasowane. Taka procedura poddawana jest wtedy iteracji.

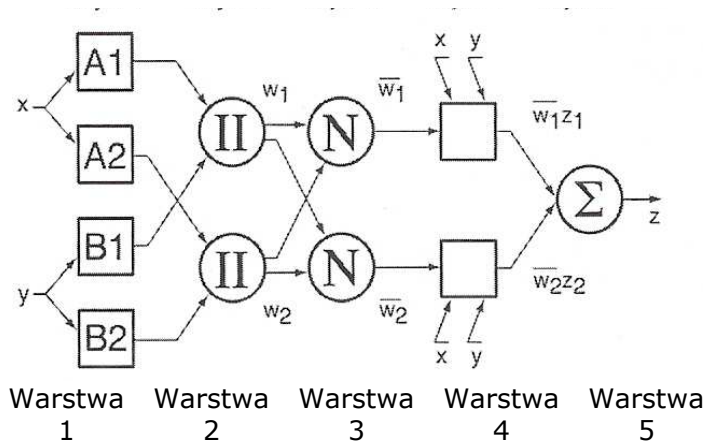
#### 6.4. Wyniki prognoz awaryjności urządzeń elektroenergetycznych

Badania przeprowadzono przy użyciu uniwersalnego środowiska obliczeniowego MATLAB (ang. **Matrix Laboratory**), który jest powszechnie stosowanym narzędziem przez naukowców, inżynierów i techników na całym świecie. Obliczenia i symulacje dokonano przy pomocy pakietu Simulink - biblioteki pakietu MATLAB.

W trakcie badań dokonano predykcji awaryjności poszczególnych urządzeń elektroenergetycznych, która dotyczyła między innymi przyczyn uszkodzeń spowodowanych warunkami atmosferycznymi, wadami fabrycznymi, zużyciem materiału i innymi przyczynami. W tym celu dobrano strukturę modelu rozmytego oraz skonstruowano wstępną bazę reguł. Dalszy etap prac polegał na estymacji wartości parametrów modelu rozmytego (położenie funkcji przynależności, parametry kształtu funkcji), będącymi wagami wielowarstwowej sieci neuronowej reprezentującej model rozmyty. Wykorzystano możliwość uczenia i adaptacji sieci neuronowej za pomocą algorytmu wstecznej propagacji błędów [11]. Do celów modelowania rozmytego wykorzystano metodę wnioskowania rozmytego TSK (Takagi-Sugeno-Kanga), która charakteryzuje się następnikami reguł typu funkcyjnego:

$$R^{(k)}: \text{Jeżeli } (x_1 \text{ jest } A_1^k) \text{ i } (x_2 \text{ jest } A_2^k) \dots \text{ i } (x_n \text{ jest } A_n^k) \\ \text{to } y_k = c_0^k + c_1^k * x_1 + c_2^k * x_2 + \dots + c_n^k * x_n \quad (6.4)$$

Taki opis relacji między wejściem a wyjściem daje możliwość przedstawienia modelu rozmytego w postaci sieci neuronowej i zastosowania skutecznych metod uczenia na podstawie obserwacji danych wejściowych i wyjściowych.



Rys. 6.5. Architektura sieci neuronowej przykładowego modelu rozmytego TSK

W warstwie 1, każdy węzeł generuje stopień przynależności (*membership grades*) do części poprzedzającej wówczas:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - r_i}{p_i} \right|^{2q_i}}, \quad i=1,2 \quad (6.5)$$

gdzie  $\{p_i, q_i, r_i\}$  jest zbiorem parametrów które zmieniają funkcję członkowską.

Warstwa 2 jest realizacją bloku wnioskowania, wyznaczającą stopnie aktywności reguł  $w_i$ :

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), \quad i=1,2 \quad (6.6)$$

Każdy węzeł warstwy 3, N, oblicza stosunek i-tej reguły (*firing strength*):

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i=1,2 \quad (6.7)$$

Każdy węzeł w warstwie 4 oblicza udział i-tej reguły w całkowitym wyjściu:

$$O_i^4 = \bar{w}_i z_i = \bar{w}_i (a_i x + b_i y + c_i), \quad i=1,2 \quad (6.8)$$

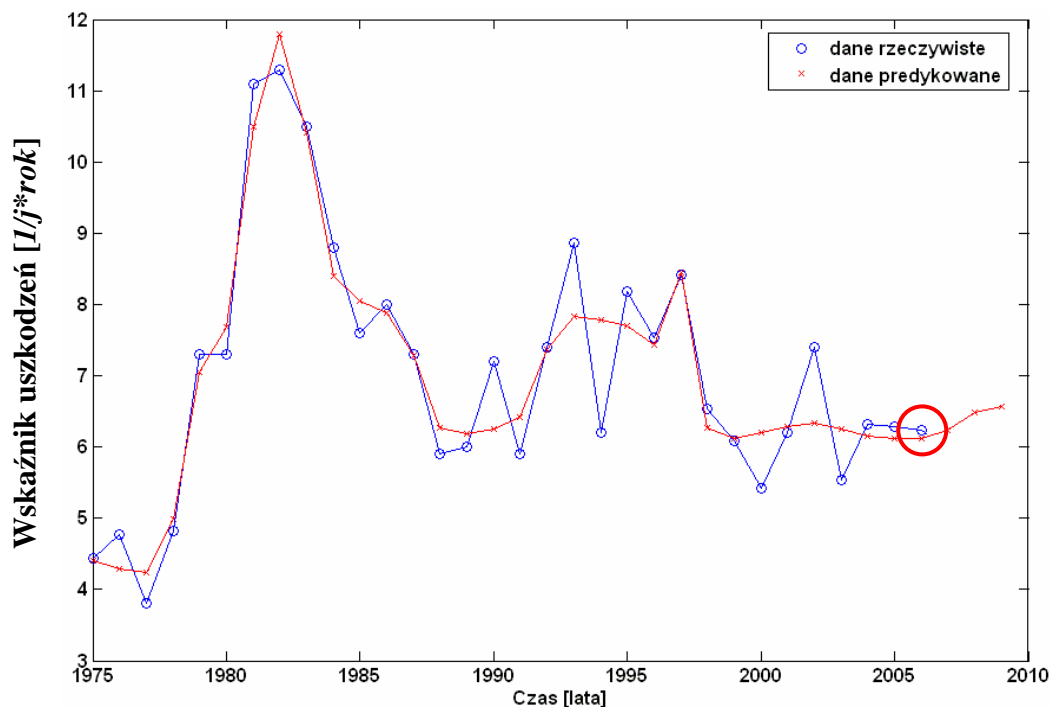
gdzie:  $\{a_i, b_i, c_i\}$  jest zbiorem parametrów.

Pojedynczy węzeł w warstwie 5 oblicza całkowite wyjście jako sumę udziałów z każdej reguły.

$$O_i^5 \sum_i \bar{w}_i z_i = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i} \quad (6.9)$$

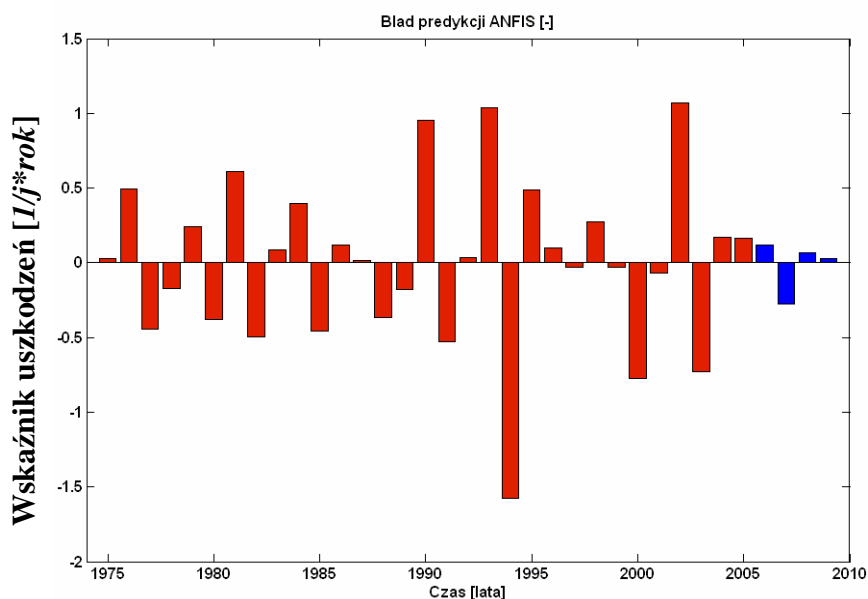
Na podstawie danych, które poddane zostały szczegółowym analizom, zaprognozowano wskaźniki uszkodzeń poszczególnych urządzeń elektroenergetycznych. Horyzont prognozy obejmował okres trzech lat i dotyczył między innymi wskaźnika uszkodzeń linii napowietrznej SN, linii kablowej SN oraz transformatorów SN/nN (Rys. 6.6 – 6.8).

Na podstawie zebranego materiału statystycznego, w roku 2006 autor dokonał weryfikacji prognozy (czerwone kółko na rysunku 6.6). Okazało się, że zaprognozowane wskaźniki uszkodzeń, niewiele różnią się od rzeczywistych danych (Rys. 6.6 – 6.8). Średni względny błąd prognozy wyniósł kilka procent, co potwierdza słuszność badań oraz dowodzi postawionej tezy.



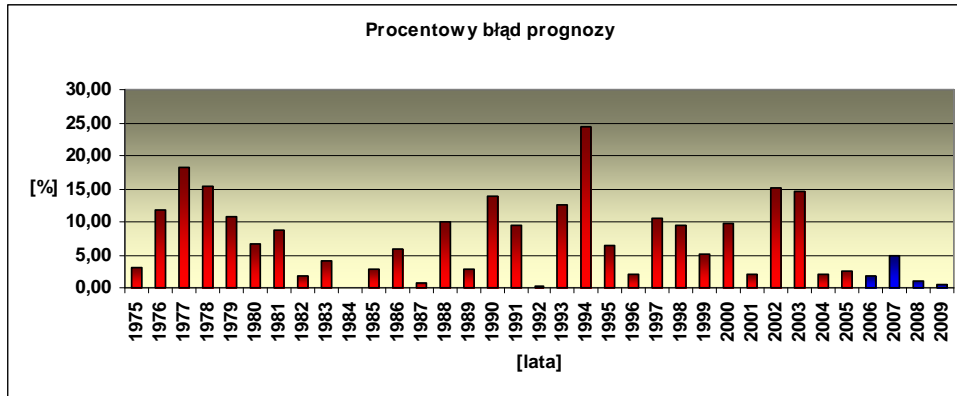
Rys. 6.6. Prognoza wskaźnika intensywności uszkodzeń w linii napowietrznej SN

Bezwzględny błąd prognozy, został wyznaczony na podstawie zaprognozowanych danych (Rys. 6.7).



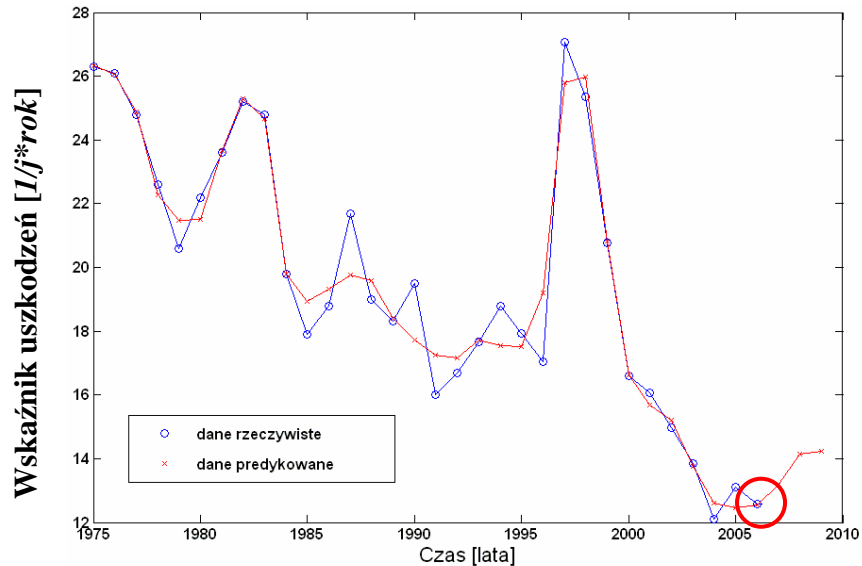
Rys. 6.7. Odchylenie prognozy od wartości rzeczywistej

Wyznaczony procentowy błąd prognozy przedstawiony został na rysunku 6.8, gdzie kolorem niebieskim oznaczono błędy prognozy na kolejne trzy lata, które wyniosły kilka procent.

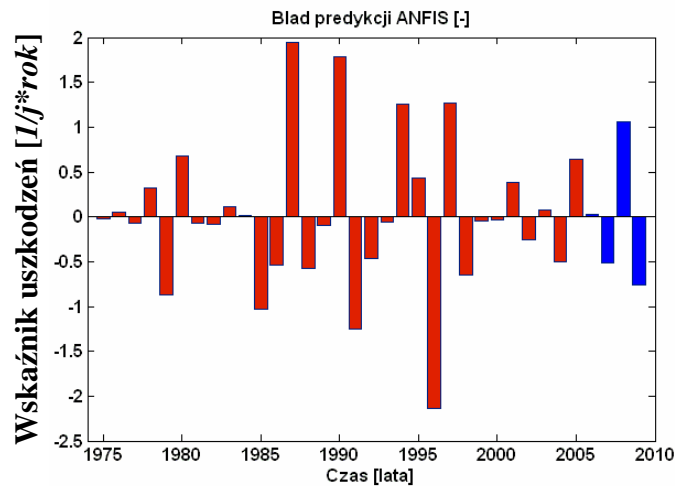


Rys. 6.8. Procentowy błąd prognozy wskaźnika intensywności linii napowietrznej SN

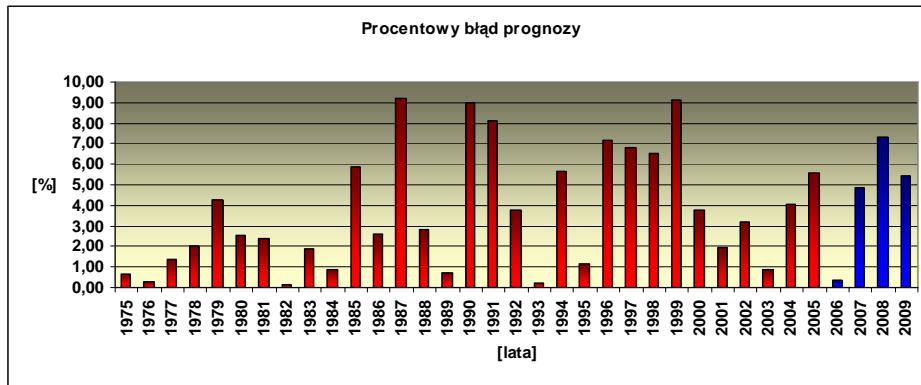
Podobnie dokonano analizy wskaźnika uszkodzeń linii kablowych SN oraz wskaźnika uszkodzeń transformatorów SN/nn (Rys.6.9 – 6.14)



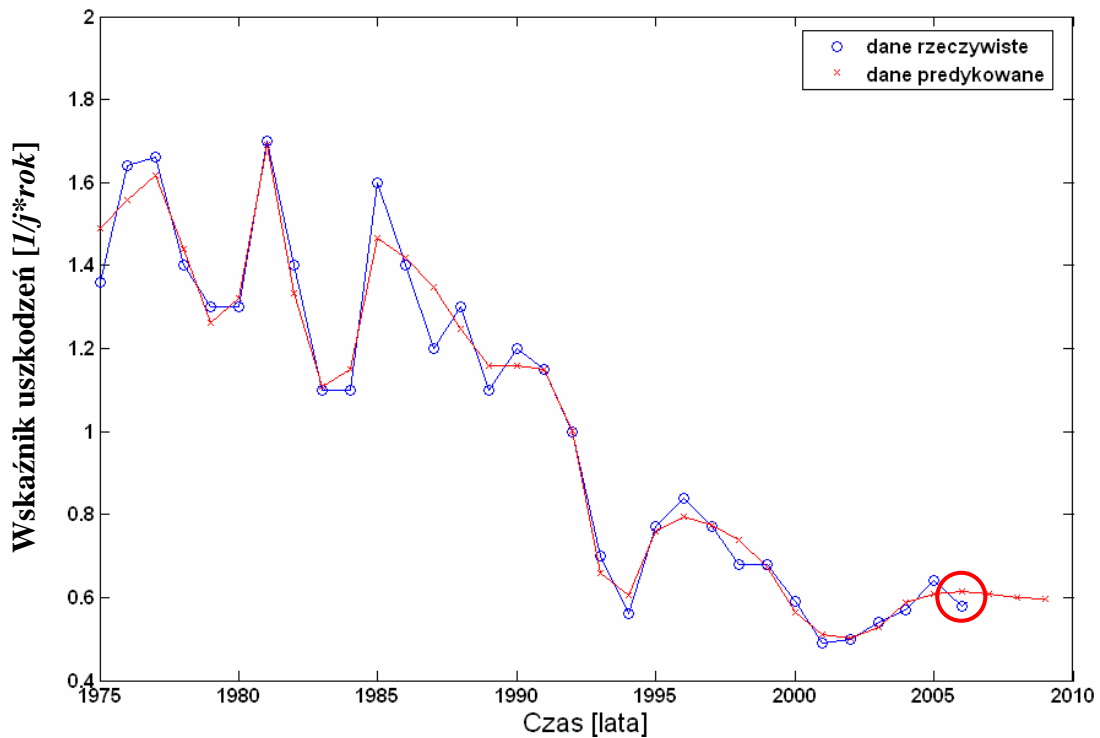
Rys. 6.9. Prognoza wskaźnika uszkodzeń w linii kablowej SN



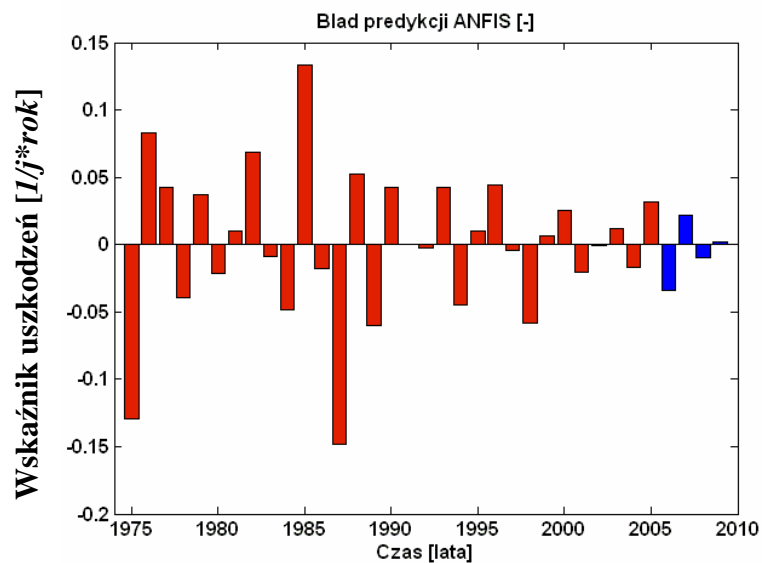
Rys. 6.10. Odchylenie prognozy od wartości rzeczywistej



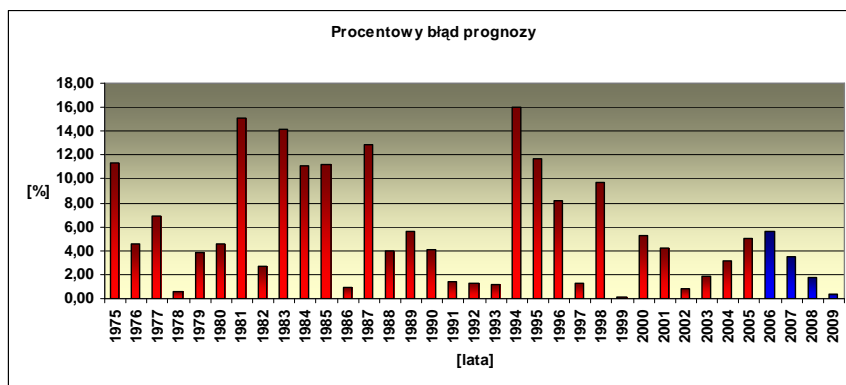
Rys. 6.11. Procentowy błąd prognozy wskaźnika uszkodzeń linii kablowej SN



Rys. 6.12. Prognoza wskaźnika uszkodzeń transformatorów SN/nn



Rys. 6.13. Odchylenie prognozy od wartości rzeczywistej



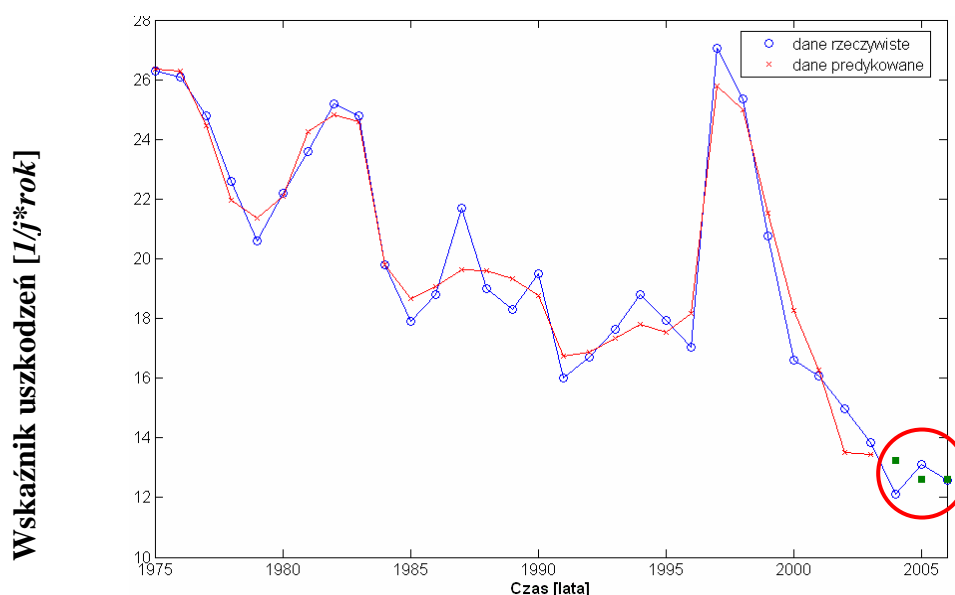
Rys. 6.14. Procentowy błąd prognozy wskaźnika transformatorów SN/nn

Na rysunkach 6.6, 6.9 i 6.12 przedstawiono wykresy, na których umieszczone są dwa przebiegi: wskaźnik uszkodzeń obliczony na podstawie rzeczywistych danych statystycznych z ostatnich 30 lat, oraz wskaźnik zaprognozowany przez system.

Z wykresów wynika, że wskaźnik literaturowy [45] zdecydowanie różni się od rzeczywistych danych, natomiast prognozowany wskaźnik obarczony jest błędem na poziomie kilku procent (Rys. 6.8, 6.11, 6.14). Często stosowanym sposobem oceny dokładności jest metoda (ex post), która porównuje wyniki prognozy z rzeczywistymi danymi. Średni kwadratowy błąd prognozy, który określa trafność prognoz ilościowych [17], informuje o przeciętnych odchyleniach prognoz od wartości rzeczywistych w przedziale empirycznej weryfikacji prognoz.

Analizując wyniki badań można stwierdzić, iż po dokładniejszej analizie przyczyn awarii, można zaprognozować wskaźniki niezawodnościowe wybranych urządzeń elektroenergetycznych z dopuszczalnym błędem na poziomie kilku procent. Można zatem zaryzykować stwierdzenie, iż możliwe jest przewidywanie (prognozowanie) wskaźników niezawodności, które są niezbędne przy analizie finansowej firmy.

Autor w swych badaniach założył, że błąd prognozy, który nie przekroczy 10%, jest dopuszczalnym błędem określającym trafność prognozy. Przedstawiona metoda umożliwi prognozę wskaźników niezawodności na kolejne 2-3 lata z dopuszczalnym błędem. W badaniach zauważono, że im dłuższy horyzont prognozy, tym większy błąd określający jej trafność. Aby dokładnie określić trafność wybranej metody, autor prognozował również wskaźniki, które potem mógł zweryfikować przy pomocy rzeczywistych danych. Prognoza ta dotyczyła okresu 2004-2006 (rys. 6.15).

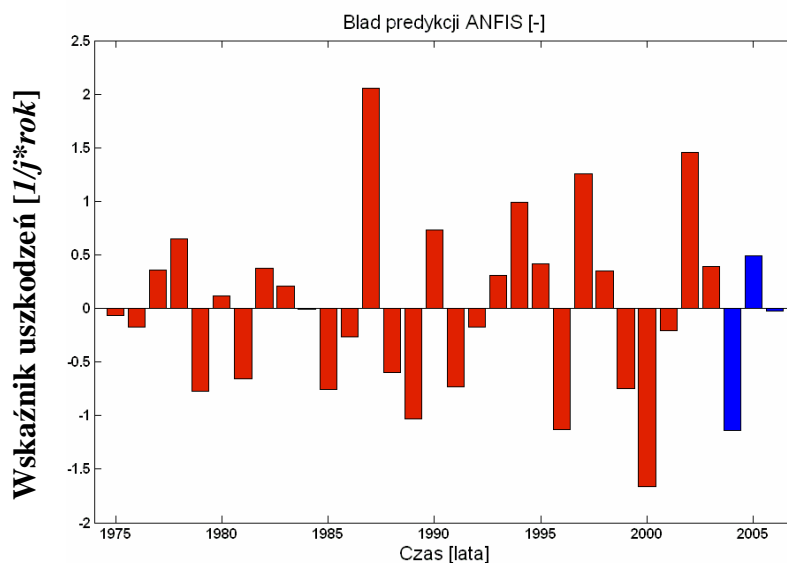


Rys. 6.15. Prognoza wskaźnika na lata 2004-2006

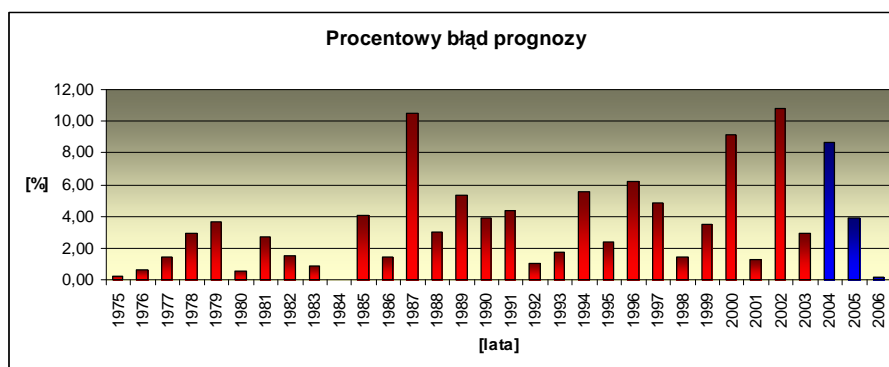


Zaprognozowane wartości wskaźników przedstawione zostały na wykresie w postaci zielonych kwadratów.

Wyniki prognozy potwierdzają słuszność wybranej metody, ponieważ błędy prognozy mieściły się w granicach błędu dopuszczalnego (rys. 6.16, 6.17).



Rys. 6.16. Odchylenie prognozy od wartości rzeczywistej



Rys. 6.17. Procentowy błąd prognozy wskaźnika uszkodzeń linii kablowej SN

Zaprezentowaną metodę wykorzystano do prognozy wskaźników niezawodności linii napowietrznych SN, linii kablowych SN oraz transformatorów SN/nn. Autor posłużył się wartościami wskaźników niezawodności, które zostały wyznaczone na podstawie danych jednej ze spółek dystrybucyjnych.

## 7. Analiza kosztów

Wielkość wyniku finansowego zależy od dwóch najważniejszych elementów tj:

- przychodów ze sprzedaży,
- kosztów ich uzyskania.

Koszty odgrywają ważną rolę na każdym etapie prowadzenia działalności gospodarczej, aby prawidłowo przeprowadzać proces zarządzania dokonuje się systematycznych analiz kosztów.

Analizy te mają na celu dostarczenie firmie szczegółowych informacji o kształtowaniu się kosztów w różnych przekrojach klasyfikacyjnych [25].

Klasyfikacji kosztów dokonuje się według:

- rodzaju działalności,
- wytwarzanych wyrobów i usług,
- funkcji jakie realizuje się w danej firmie np.: zarządzanie, zaopatrzenie, produkcja itp.,
- reagowanie na zmiany wielkości produkcji.

Najważniejszą funkcją analizy kosztów jest wyłonienie i ocena czynników mających wpływ na poziom, strukturę i dynamikę kosztów. Badanie kosztów umożliwia efektywne gospodarowanie, a także racjonalne wykorzystywanie czynników produkcji.

Można dokonywać analizy kosztów **w układzie rodzajowym** oraz **w układzie kalkulacyjnym**.

W układzie rodzajowym wyróżnia się:

- koszty zużycia materiałów i energii,
- amortyzację,
- koszty usług obcych,
- podatki i opłaty,
- wynagrodzenia,
- ubezpieczenia społeczne i inne świadczenia,
- pozostałe koszty rodzajowe.

**Koszty w układzie rodzajowym** dzieli się na:

- **materialne:** zużycie materiałów, energii, usług obcych oraz inne koszty materialne,
- **niematerialne:** wynagrodzenia i ubezpieczenia społeczne, a także inne koszty niematerialne.

Analiza całkowitych kosztów w układzie rodzajowym ma na celu:

- porównanie dynamiki całkowitych kosztów z dynamiką produkcji oraz dynamiką poszczególnych rodzajów kosztów,
- porównanie kosztów rzeczywiście poniesionych w badanym okresie do planowanych oraz poniesionych w poprzednich okresach,
- ocena struktury kosztów całkowitych planowanych oraz już poniesionych,
- określenie czynników wpływających na zmianę w poziomie i strukturze kosztów.

**W kalkulacyjnym układzie kosztów** występują koszty:

- **bezpośrednie:** materiałów bezpośrednich, płac bezpośrednich oraz inne koszty,
- **pośrednie:** koszty wydziałowe, zarządu, oraz koszty sprzedaży.

Suma kosztów bezpośrednich i kosztów wydziałowych stanowi koszt wytworzenia. Budowa układu kalkulacyjnego kosztów pozwala dosyć łatwo ustalić wielkość uzyskanej obniżki kosztów, lub przekroczenia w poszczególnych składnikach kosztów, przez zastosowanie reguły proporcjonalnego wzrostu kosztów bezpośrednich i mniej proporcjonalnego wzrostu kosztów pośrednich w stosunku do wzrostu sprzedaży.

Zmiany kosztów następujące pod wpływem zmian wielkości produkcji można podzielić na:

- **koszty stałe** – zależne od czasu,
- **koszty zmienne** – zależne od zmian wielkości produkcji.

Podziału tych kosztów dokonuje się za pomocą różnych metod np.:

- metody księgowej,

- metody matematycznej,
- metody statystycznej.

#### **Koszty stałe dzieli się na :**

- **koszty absolutnie stałe** – suma kosztów określonego rodzaju nie ulega zmianom, koszty niezależne od skali produkcji,
- **koszty skokowo stałe** - koszty zachowują stały poziom do osiągnięcia określonych rozmiarów produkcji , następnie wielkość tych kosztów wzrasta i utrzymuje się na stałym poziomie przez pewien czas, mimo wzrostu produkcji.

W odróżnieniu do kosztów stałych, koszty zmienne reagują na zmiany wielkości produkcji.

Wyrównamy następujące koszty zmienne:

- **koszty zmienne proporcjonalnie** ( płace akordowe, koszty zużycia energii, materiałów podstawowych),
- **koszty zmienne degresywne** (koszty utrzymania sprawności maszyn i urządzeń , koszty zakupu dużych partii materiałów ),
- **koszty zmienne progresywne** ( wynagrodzenia za godziny nadliczbowe, dodatki za pracę nocną ),
- **koszty zmienne regresywne** mające bardziej teoretyczne niż praktyczne znaczenie.

Porównując poszczególne rodzaje kosztów należy stwierdzić, że istnieją również **koszty mieszane**, które charakteryzują się tym, że obok zależności od wielkości produkcji wykazują jednoczesną zależność od czasu.

Wyróżnia się dwa rodzaje kosztów:

- koszty mieszane, których podstawą są koszty stałe (np. koszty opłat telefonicznych)
- koszty mieszane o stałym średnim przyroście ( np. opłaty licencyjne, płace z dodatkami za prace w godzinach nadliczbowych).

Rozwój gospodarczy spowodował, że udział kosztów stałych w kosztach ogółem systematycznie rośnie, przede wszystkim w wyniku zastępowania siły roboczej maszynami oraz skracania się ekonomicznego czasu użytkowania parku maszynowego, jego amortyzacja na skutek rozwoju i dostępności coraz lepszej i nowoczesnej technologii wytwarzania oraz wzrostu częstotliwości zmian asortymentu z uwagi na dokonujący się postęp techniczny.

### **7.1. Analiza obniżki kosztów w przedsiębiorstwie**

Ważnym elementem analizy kosztów jest ocena możliwości obniżki kosztów i układów z nią związanych. Najprostszym sposobem oceny stopnia obniżki kosztów własnych sprzedaży jest ustalenie wskaźnika i kwot obniżki kosztów na podstawie wskaźników operacyjności.

Wskaźnik operacyjności jest ogólnym wskaźnikiem charakteryzującym obciążenie przychodów ze sprzedaży kosztami:

$$\text{wskaźnik operacyjności} = \frac{\text{koszty własne}}{\text{przychody netto ze sprzedaży produktów, towarów i materiałów}} \cdot 100\%$$

Koszty własne sprzedaży obejmują:

- koszty wytworzenia sprzedanych produktów,
- wartość sprzedanych towarów i materiałów,
- koszty sprzedaży,
- koszty ogólnego zarządu.

Wskaźnik operacyjności obrazuje zdolność do kontroli i obniżki kosztów. Wskaźnik ten mieści się w granicach 50-90%. Powyżej 90% oznacza trudności przedsiębiorstwa związane z pokryciem kosztów ujętych w pozostałych kosztach operacyjnych oraz kosztów finansowych. Wskaźnik niższy niż 50% świadczy o wysokiej zyskowności działalności gospodarczej prowadzonej przez przedsiębiorstwo. Istotnych informacji dostarcza porównanie poziomu wskaźnika operacyjności w kolejnych latach funkcjonowania firmy.

Wskaźnik odchylenia względnego kosztów własnych  $W\Delta K$  oblicza się za pomocą następującego wzoru:

$$W\Delta K = \frac{WO_1 - WO_0}{WO_0} \cdot 100\% \quad (7.1)$$

gdzie:  $W\Delta K$  – odchylenie względne kosztów;  $WO_0$  – wskaźnik operacyjności w roku poprzednim;  $WO_1$  – wskaźnik operacyjności w roku badanym.

Znając wskaźnik obniżki kosztów, można obliczyć sumę obniżki (zwyżki) kosztów. Podstawą obliczeń jest wzór:

$$\Delta K' = \frac{K_1 \cdot W\Delta K}{100 + W\Delta K} \quad (7.2)$$

gdzie:  $\Delta K'$  – suma obniżki (zwyżki) kosztów;  $K_1$  – całkowite koszty własne w roku badanym;  $W\Delta K$  – wskaźnik obniżki kosztów

Wskaźnik operacyjności kosztów własnych w badanej spółce dystrybucyjnej w 2005 r. wyniósł **97,16%**, natomiast w roku poprzednim **98,9%**. Koszty spółki w 2005 r. wyniosły **3 174 572 802,90 zł**.

Wskaźnik odchylenia względnego w 2005 r. wyniósł:

$$W\Delta K = \frac{97,16 - 98,9}{98,9} \cdot 100\% = -1,76\%$$

Kwota względnej obniżki kosztów wynosiła:

$$\Delta K' = \frac{3\,083\,592\,648,21 \cdot (-1,76)}{100 + (-1,76)} = -543\,775,19 \text{ zł}$$

Koszty własne sprzedaży w spółce dystrybucyjnej zmniejszyły się względem zmian wielkości produkcji o 543 775,19 zł.

Rachunek zysków i strat za okres od 01.01.2005 r. do 31.12.2005 r. w badanym Koncernie Energetycznym wykazał zysk netto w kwocie 55 806 465,35 złotych. Szczegółowy opis przychodów i kosztów poniesionych przez spółkę w roku 2005 przedstawia tabela 5.

Tab.5. Rachunek zysków i strat (wariant kalkulacyjny)

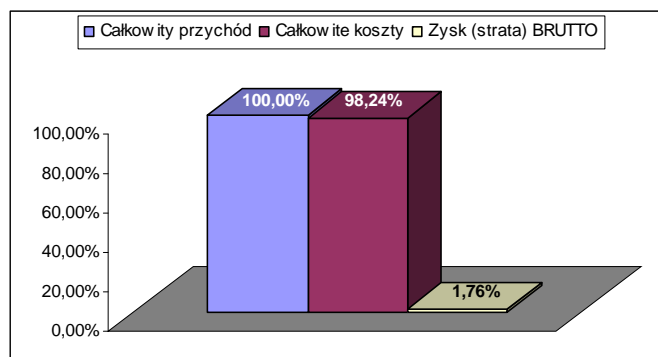
Lp	2005	[PLN]
1	<b>Przychody netto ze sprzedaży produktów, towarów i materiałów</b>	<b>3 173 763 488,87</b>
2	<b>Koszty sprzedanych produktów, towarów i materiałów</b>	2 954 215 944,10
3	<b>Zysk (strata) brutto ze sprzedaży</b>	219 547 544,77
4	<b>Koszty sprzedaży</b>	40 448 405,83
5	<b>Koszty ogólnego zarządu</b>	88 928 298,28
6	<b>Zysk /strata ze sprzedaży</b>	90 170 840,66
7	<b>Pozostałe przychody operacyjne</b>	38 116 456,81
8	<b>Pozostałe koszty operacyjne</b>	77 623 090,45
9	<b>Zysk (strata) z działalności operacyjnej</b>	50 664 207,02
10	<b>Przychody finansowe</b>	19 604 188,64
11	<b>Koszty finansowe</b>	13 357 064,24
12	<b>Zysk (strata) z działalności gospodarczej</b>	56 911 331,42
13	<b>Wyniki zdarzeń nadzwyczajnych</b>	0,00
14	<b>Zysk (strata) brutto</b>	<b>56 911 331,42</b>
15	<b>Podatek dochodowy</b>	-817 188,63
16	<b>Pozostałe obowiązkowe zmniejszenia zysku (zwiększenia straty)</b>	1 922 054,70
17	<b>ZYSK/STRATA NETTO</b>	<b>55 806 465,35</b>

Przy całkowitych kosztach, które były na poziomie powyżej 98% zysk spółki w 2005 roku przedstawiał się następująco:

Tab. 6. Procentowy udział kosztów uzyskania przychodu

2005	[PLN]	%
<b>Całkowity przychód</b>	3 231 484 134,32	100,00%
<b>Całkowite koszty</b>	3 174 572 802,90	<b>98,24%</b>
<b>Zysk (strata) brutto</b>	56 911 331,42	<b>1,76%</b>

Przy tak dużych kosztach całkowitych zysk brutto był na poziomie 1,76%.



Rys. 7.1. Całkowite wartości przychodu, kosztów i zysku w spółce dystrybucyjnej [Źródło: opracowanie własne]

Na wysokość kosztów całkowitych mają wpływ następujące koszty pośrednie:

- koszty sprzedanych produktów, towarów i materiałów,
- koszty ogólnego zarządu,

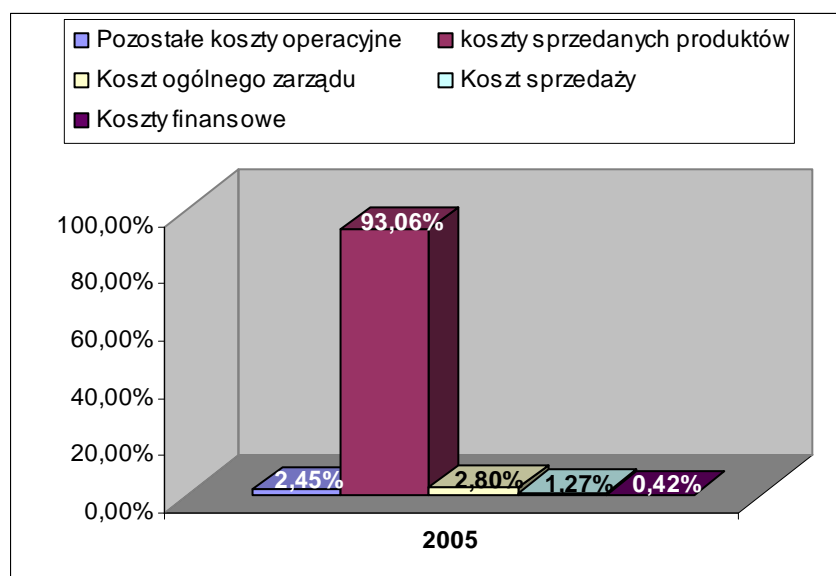
- koszty sprzedaży,
- koszty finansowe.

Procentowy udział kosztów pośrednich na koszt całkowity przedstawia tabela 7.

Tab.7. Podział całkowitych kosztów na koszty pośrednie

<b>Pozostałe koszty operacyjne</b>	2,45%	77 623 090,45 zł
<b>Koszty sprzedanych produktów, towarów i materiałów</b>	93,06%	2 954 215 944,10 zł
<b>Koszt ogólnego zarządu</b>	2,80%	88 928 298,28 zł
<b>Koszt sprzedaży</b>	1,27%	40 448 405,83 zł
<b>Koszty finansowe</b>	0,42%	13 357 064,24 zł
<b>Koszty całkowite</b>	100,00%	3 174 572 802,90 zł

Z powyższych danych wynika, że największy udział w całkowitych kosztach mają koszty sprzedanych produktów, towarów i materiałów, które wynoszą 93,06% kosztów całkowitych.



Rys. 7.2. Procentowy udział kosztów pośrednich [Źródło: opracowanie własne]

W skład kosztów związanych z działalnością operacyjną wchodzi koszty sprzedanych produktów, towarów i materiałów oraz pozostałe koszty operacyjne. Stanowią one ponad 95% całkowitych kosztów. Obniżenie tych kosztów powoduje znaczny wzrost zysku:

**Koszty działalności operacyjnej wynoszą:** 3 031 839 034,55 zł czyli **95,50%**

Obniżenie kosztów operacyjnych o **1%** czyli o **30 318 390,35 zł**

powoduje obniżenie całkowitych kosztów o **0,96%**

2005	[PLN]	%
<b>Całkowity przychód</b>	3 231 484 134,32	100,00%
<b>Całkowite koszty</b>	3 144 254 412,55	<b>97,30%</b>
<b>Zysk (strata) brutto</b>	87 229 721,77	<b>2,70%</b>

Obniżenie kosztów operacyjnych powoduje wzrost zysku o **53,27 %**

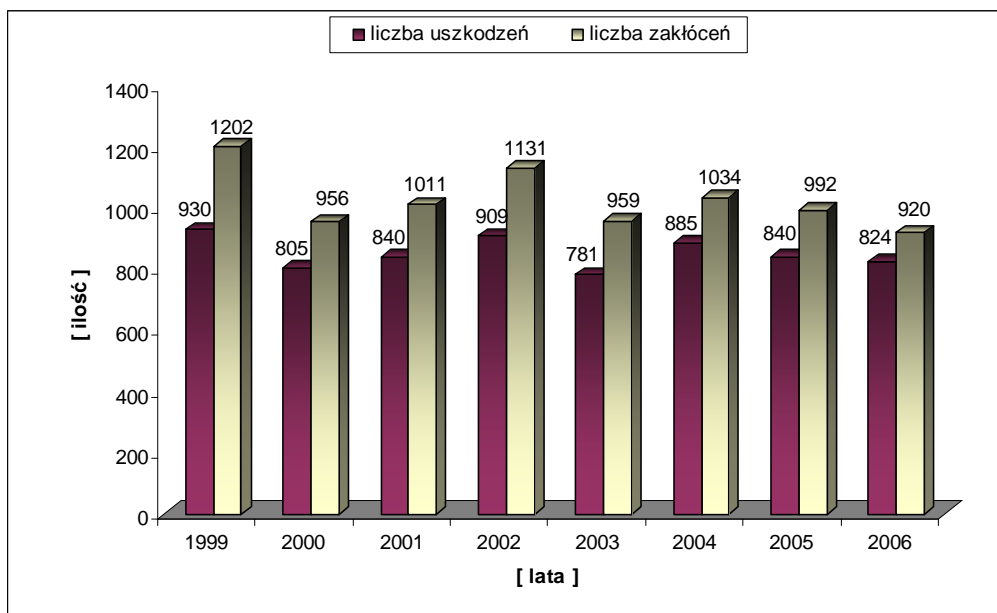
co stanowi **30 318 390,35 zł** zysku więcej.

## 7.2. Model kalkulacji wyniku finansowego spółki dystrybucyjnej

Koszty utrzymania niezawodności sieci dystrybucyjnej, zawarte są w podstawowej działalności operacyjnej przedsiębiorstwa. Działalność ta polega na realizacji usług dystrybucyjnych energii elektrycznej do odbiorców.

Kluczowym czynnikiem utrzymania niezawodności na wymaganym poziomie jest polityka inwestycyjna spółki. Przy pomocy metod ekonomicznych opisanych w rozdziale 11 rozprawy doktorskiej, oblicza się koszty, które są podstawą analizy opłacalności przedsięwzięć elektroenergetycznych. Metody te są jednym z elementów projektów przedinwestycyjnych, które służą poznaniu problematyki technicznej, ekonomicznej i finansowej inwestycji. Na podstawie tych obliczeń, określa się celowość podejmowanych decyzji [85].

Częstość awarii (Rys.7.3) oraz konsekwencje uszkodzeń są niezbędnymi danymi określającymi niezawodność dostarczania energii elektrycznej.



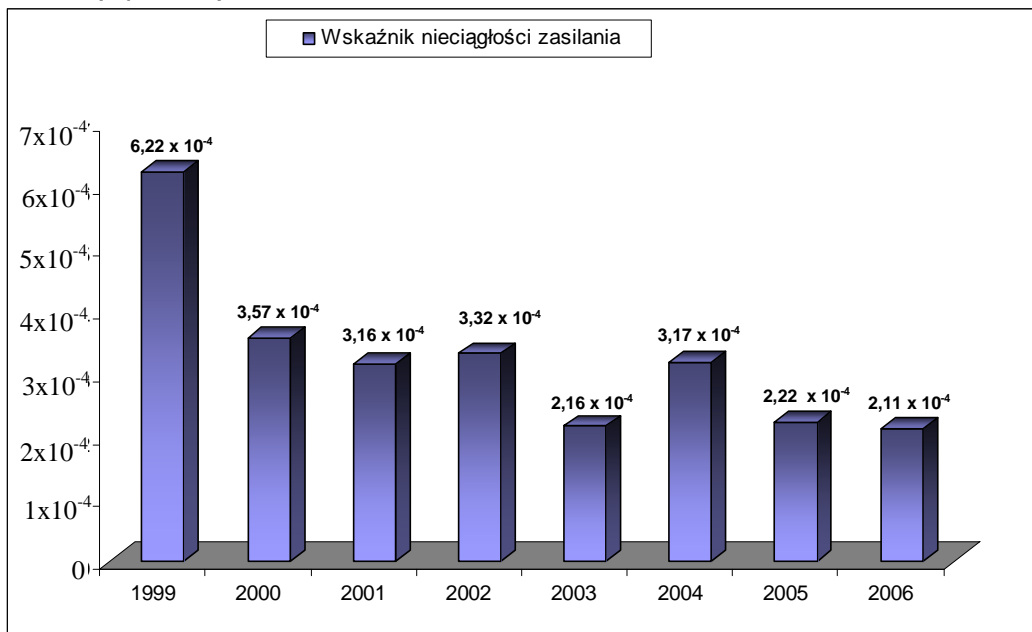
Rys. 7.3. Liczba uszkodzeń i zakłóceń w spółce dystrybucyjnej [Źródło: opracowanie własne]

Następnie określa się wpływ awarii na ryzyko niedostarczenia energii, a zatem koszty wyłączeń planowych i awaryjnych. Prognozując wskaźniki uszkodzeń poszczególnych elementów sieci elektroenergetycznych, w pewnym stopniu określa się jej niezawodność pracy. Koszty nieciągłości zasilania powstałe w wyniku przerw w zasilaniu, to jeden z podstawowych wskaźników technicznej „kondycji” spółki. Związek pomiędzy ilością niedostarczonej energii a ogólnym wynikiem finansowym jest coraz bardziej widoczny. Odbiorca typu zakład przemysłowy z powodu nieciągłości zasilania ponosi straty, które dotyczą przede wszystkim kosztów związanych ze zmniejszeniem produkcji.

Niezawodność pracy sieci rozdzielczej w dużej mierze zależą od następujących wskaźników :

- liczba zakłóceń/uszkodzeń,
- średni czas trwania zakłócenia,
- średni czas trwania remontu,
- średni czas wymiany transformatora.

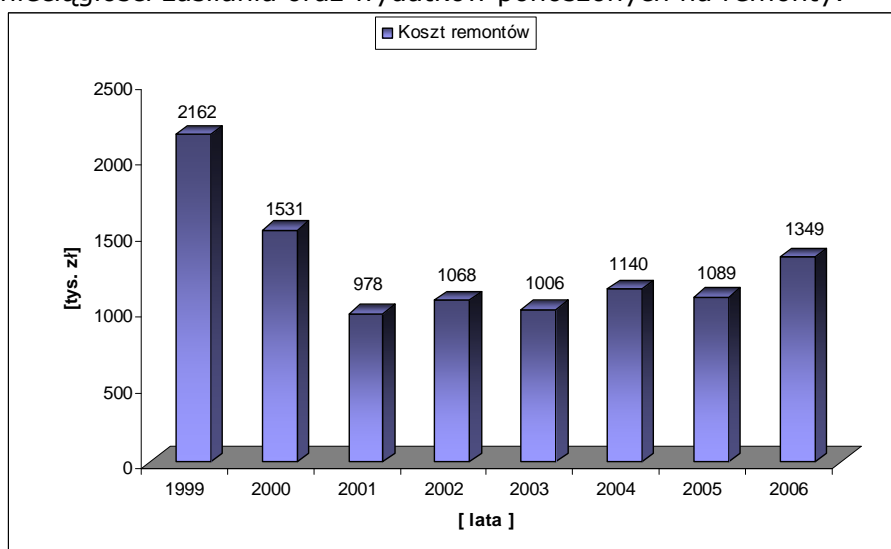
Powyższe wskaźniki mają bezpośredni wpływ na wynik finansowy spółki. Przerwy w zasilaniu czy to planowe czy też awaryjne, określają nieciągłość zasilania odbiorców w danym roku (Rys. 7.4).



Rys. 7.4. Wskaźnik nieciągłości zasilania w badanej spółce dystrybucyjnej w latach 1999 - 2006 [Źródło: opracowanie własne]

Awarie, które wymagają naprawy/remontu powodują koszty (Rys. 7.5), które bezpośrednio kształtują wynik finansowy spółki dystrybucyjnej.

Analizując wskaźnik nieciągłości zasilania (Rys. 7.4) z kosztami remontów w latach 1999 - 2006 (Rys. 7.5), można zauważyć następującą zależność: większa kwota przeznaczona na remonty w danym roku, powoduje spadek wartości wskaźnika nieciągłości zasilania w roku następnym. Natomiast, mniejszy koszt remontów w danym roku, powoduje wzrost wskaźnika w roku następnym, co ma widoczny wpływ na wynik finansowy spółki dystrybucyjnej. Podwyższona wartość wskaźnika oraz kosztu remontów w roku 1999, spowodowana była skutkami powodzi jaka miała miejsce na terenie badanej spółki dystrybucyjnej. Wielokrotnie zwiększona liczba awarii, jak również dużo większe przerwy w zasilaniu energią elektryczną, spowodowały wzrost, zarówno wskaźnika nieciągłości zasilania oraz wydatków ponoszonych na remonty.

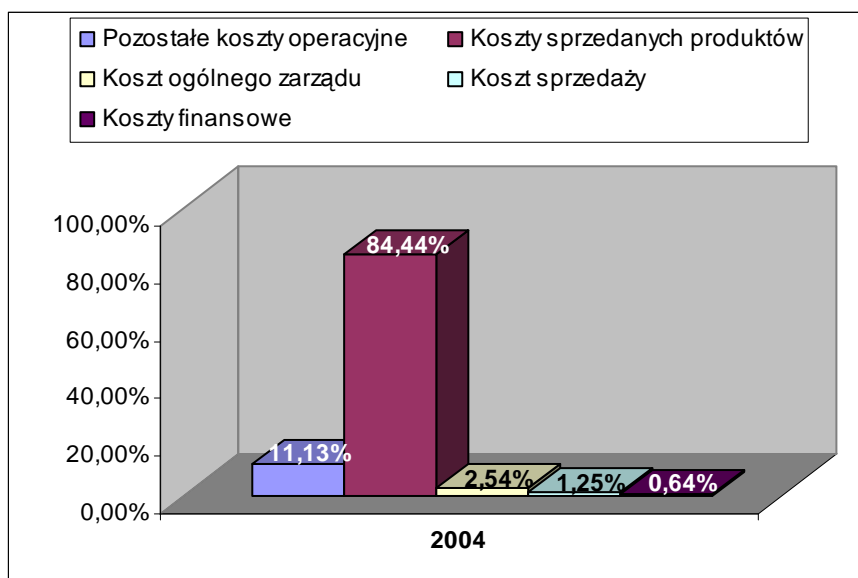


Rys. 7.5. Koszt remontów w poszczególnych latach [Źródło: opracowanie własne]

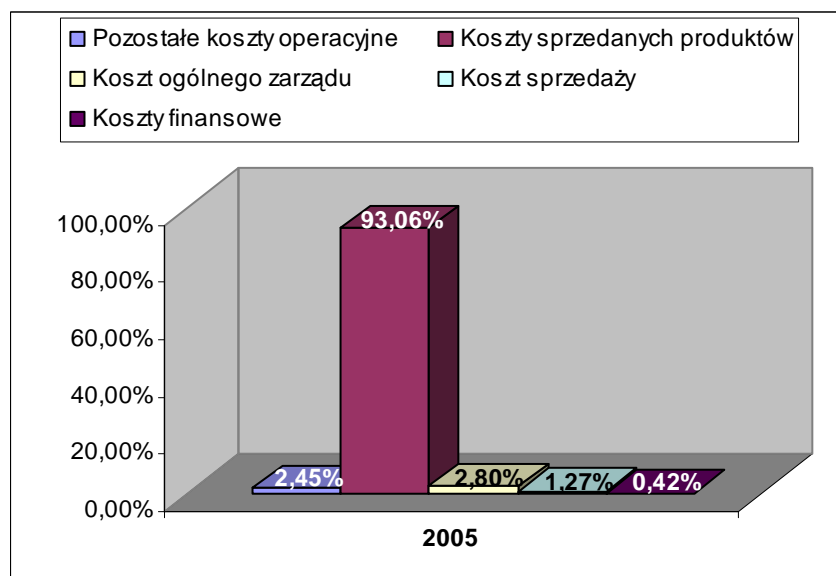


Prognozując podstawowe wskaźniki niezawodności, takie jak wskaźnik uszkodzeń urządzeń elektroenergetycznych przewiduje się tym samym koszty, jakie spółka poniesie na likwidację szkód spowodowanych awarią. Na rysunkach 7.6 i 7.7 przedstawiono poszczególne koszty uzyskania przychodu, ponoszone przez badaną spółkę dystrybucyjną w latach 2004 – 2005. Z tych wykresów widać, że największy procent kosztów stanowią koszty sprzedanych produktów, towarów i materiałów. Pozostałe koszty operacyjne w roku 2004 były na poziomie 11,13 %, natomiast w roku 2005 wynosiły 2,45%. Wskaźnik nieciągłości zasilania wynosił odpowiednio  $3,17 \times 10^{-4}$  w roku 2004, oraz  $2,22 \times 10^{-4}$  w roku 2005, natomiast zysk brutto spółki w roku 2004 wyniósł 1,05%, a w roku 2005 - 1,76%, co świadczy o bezpośrednim wpływie wartości pozostałych kosztów operacyjnych na końcowy wynik finansowy spółki.

Zaprognozowane wartości wskaźników niezawodnościowych, umożliwiają decydentowi podjęcie decyzji o podziale środków na remonty, inwestycje czy eksploatację, które to oparte są na danych operacyjnych i niezawodnościowych sieci (wskaźniki niezawodności). Ponieważ podjęcie decyzji wiąże się z ryzykiem, dlatego wiedza na temat przewidywanych wskaźników wydaje się być niezbędna przy przygotowaniu corocznych planów remontowych, inwestycyjnych i eksploatacyjnych.



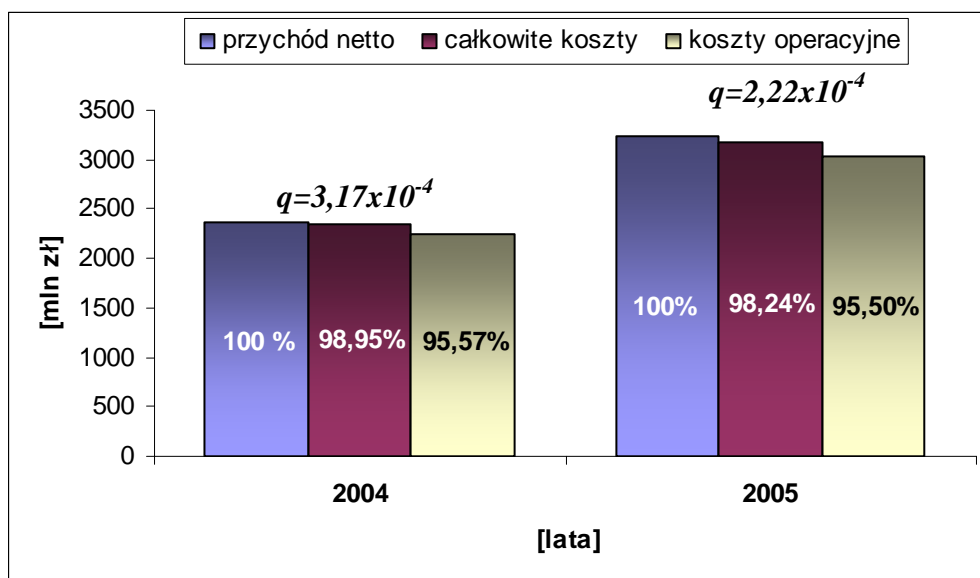
Rys. 7.6. Procentowy podział kosztów spółki w roku 2004 [Źródło: opracowanie własne]



Rys. 7.7. Procentowy podział kosztów spółki w roku 2005 [Źródło: opracowanie własne]

Wskaźnik nieciągłości zasilania, który określa stosunek energii niedostarczonej z powodu zakłóceń oraz energii niedostarczonej z powodu prac planowych do energii sprzedanej, określa w pewnym stopniu poziom niezawodności dostaw energii do odbiorców, a tym samym koszty uzyskania przychodu.

Porównując wynik finansowy spółki za lata 2004 – 2005 (Rys. 7.8) widać, że koszty uzyskania przychodu, a tym samym przychód netto oraz całkowity wynik finansowy spółki dystrybucyjnej, zależy od wartości wskaźnika nieciągłości zasilania  $q$ .



Rys. 7.8. Wpływ wskaźnika nieciągłości zasilania na wynik finansowy [Źródło: opracowanie własne]

Zaprognozowane wskaźniki określają poziom niezawodności pracy sieci rozdzielczej, która ma bezpośredni wpływ na wynik finansowy spółki dystrybucyjnej. Można zatem stwierdzić, iż możliwe jest przewidywanie kosztów ponoszonych przez spółkę dystrybucyjną na utrzymanie wymaganego poziomu niezawodności zasilania, co udowadnia postawioną tezę pracy.

## 8. Podsumowanie

Przedstawione w pracy analizy awaryjności urządzeń elektroenergetycznych, poparte obliczeniami parametrów niezawodnościowych oraz sposoby diagnostyki urządzeń pozwoliły wyróżnić najważniejsze przyczyny uszkodzeń oraz ocenić wpływ profilaktyki na niezawodność urządzeń.

Na podstawie danych (okres 30 lat) stwierdzono, że najbardziej awaryjną grupą urządzeń elektroenergetycznych SN zainstalowanych w sieciach dystrybucyjnych są linie kablowe, w których najbardziej awaryjnymi okazały się kable o napięciu 15 kV w izolacji polietylenowej. Drugą grupą urządzeń pod względem awaryjności są linie napowietrzne z awaryjnymi izolatorami typu LSP. W grupie transformatorów, która charakteryzuje się znacznie niższym wskaźnikiem uszkodzeń, najwięcej uszkodzeń spowodowanych było starzeniem lub zmęczeniem materiału.

Na wielkość i rozmiar uszkodzeń miała wpływ zła jakość produkowanych urządzeń i ich elementów, wynikająca z wad konstrukcyjnych, niewłaściwych materiałów i nieprawidłowego montażu. Niemniej ważną przyczynę stanowi „wiek” urządzeń i rozwijające się w związku z tym procesy starzeniowe. Na awaryjność mają również wpływ takie przyczyny jak zła eksploatacja (np. brak kontroli nad urządzeniem, pomyłki łączeniowe), wpływ czynników atmosferycznych, nieprzestrzeganie obowiązujących przepisów, działanie osób postronnych itd. Uszkodzenia wywołane złą jakością często są przypadkowe i niezależne od czasu eksploatacji urządzenia. Wpływają na deformacje charakterystycznych przebiegów funkcji niezawodnościowych.

Diagnostyka urządzeń złej jakości lub urządzeń niewłaściwie zamontowanych jest mało efektywna, jednak eliminuje uszkodzenia wywołane innymi przyczynami. Niezbędna jest produkcja aparatury i osprzętu o wysokiej jakości a zwłaszcza kabli, izolatorów, odgromników, transformatorów, bezpieczników itd. Cała ta procedura ma na celu obniżenie awaryjności sieci, ograniczenia przerw w dostawie energii oraz uniknięcia budowy kosztownych połączeń rezerwujących niepewne elementy sieci. Wobec powyższego powinny być zmodyfikowane i zastrzone badania odbiorcze u wytwórcy, ale prowadzone nie przez własne służby kontroli jakości lecz przez niezależne instytucje, najlepiej z zewnątrz.

Strategią firmy produkującej urządzenia jest przede wszystkim produkcja na jak najwyższym poziomie i wyeliminowanie czynników mogących mieć niekorzystny wpływ na efekty produkcji. Dla ograniczenia do minimum przyczyn wadliwego montażu należy w większym stopniu wykorzystywać możliwości egzekwowania od wykonawców prawidłowej pracy, jak również ograniczyć maksymalnie niewłaściwą eksploatację lub nieznamość obowiązujących przepisów. Można to uzyskać poprzez prowadzenie w szerokim zakresie szkoleń i podnoszenie kwalifikacji osób bezpośrednio związanych z montażem.

Wyznaczone parametry oraz funkcje niezawodnościowe (intensywność uszkodzeń) potwierdzają wysoką awaryjność linii kablowych 15 kV, a także duży wpływ uszkodzeń izolatorów liniowych LSP oraz odgromników typu GZa na pracę sieci średnich napięć. Obliczenia średniego czasu odnowy pozwalają wyróżnić grupy urządzeń, których naprawa jest najbardziej czasochłonna; należą do nich linie kablowe oraz aparatura rozdzielcza.

Dane o niezawodności elementów systemu elektroenergetycznego są potrzebne do racjonalnego prowadzenia jego eksploatacji, do planowania jego rozwoju a także przy zawieraniu umów kupna/sprzedaży energii elektrycznej i jej przesyłu [6].

Źródłem danych do obliczeń niezawodnościowych powinny być badania statystyczne awaryjności. Badania takie są prowadzone w Polsce już od lat pięćdziesiątych XX wieku jako statystyka awaryjności.

Statystyka rozwijała się i w zakresie sieci NN nie wymaga wielkich zmian i uzupełnień. Natomiast dla sieci niższych napięć sytuacja przedstawia się nieco inaczej. Brak jest dostatecznych danych dotyczących awaryjności sieci średniego i niskiego napięcia, dlatego wciąż jeszcze korzysta się z pierwotnych materiałów źródłowych [45] do uzyskania niektórych wskaźników potrzebnych do obliczeń niezawodnościowych. Statystyka awaryjności dostarcza danych niezbędnych do oceny eksploatowanych sieci elektroenergetycznych oraz do prognostycznych analiz niezawodnościowych niezbędnych do planowania rozwoju sieci.

Dla systemu dystrybucyjnego, obliczanymi wskaźnikami niezawodności są zwykle: oczekiwana liczba zakłóceń (przerw w zasilaniu), średni czas trwania zakłócenia, roczna niedyspozycyjność (wskaźnik nieciągłości zasilania) węzła odbiorczego. Dodatkowo oblicza się oczekiwaną wartość odłączanej mocy lub niedostarczonej energii.

Celem i założeniem niniejszej pracy było przede wszystkim opracowanie metody prognozowania wskaźników niezawodności, jak również przeprowadzenie oceny kosztów ponoszonych przez spółkę dystrybucyjną na utrzymanie wymaganego poziomu niezawodności. Wobec powyższego opracowano model kalkulacji wyniku finansowego w spółce dystrybucyjnej oraz dokonano prognozy kosztów ponoszonych przez spółkę na likwidację awarii i wzrost niezawodności pracy sieci.

Metoda prognozy wskaźników niezawodności z wykorzystaniem systemu rozmytego, oparta została na badaniach i danych pochodzących z lat 1975 – 2006, udostępnionych przez rzeczywiste przedsiębiorstwo dystrybucyjne.

Za pomocą opracowanej metody dokonano obliczeń wskaźników niezawodności takich jak wskaźnik uszkodzeń linii napowietrznych i kablowych SN, wskaźnik uszkodzeń transformatorów. Wyznaczone błędy prognozy nie przekroczyły 10%, co świadczy o trafności prognozy na okres 2-3 letni.

Uzyskane i zebrane dotychczas dane mogą stanowić narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji dotyczących:

- podziału środków na plan eksploatacyjny, remontowy i inwestycyjny w spółce dystrybucyjnej,
- ilości środków, które należy przeznaczyć na usuwanie skutków awarii,

- analizy krytycznych sytuacji (awarie sieci dystrybucyjnej, zmiany cen energii elektrycznej, zmiany zapotrzebowania na energię elektryczną, itp.),
- analizy finansowej spółki,
- alokacji kosztów oraz wyboru algorytmu podziału środków centralnych na rejony energetyczne.

Zebrane i przeanalizowane dane statystyczne, będą niezbędnym materiałem empirycznym w pracach, związanych z analizą niezawodnościową pracy sieci rozdzielczej, zarówno na etapie jej projektowania jak również w eksploatacji sieci dystrybucyjnych. Ponadto będą miały szerokie zastosowanie w prognozie kosztów jakie Koncern Energetyczny poniesie w przyszłości na usuwanie powstałych awarii oraz ich skutków.

#### **Dorobek naukowy autora rozprawy obejmuje:**

- zestawienie literatury światowej i krajowej z zakresu niezawodności systemów elektroenergetycznych,
- zebranie danych statystycznych dotyczących awaryjności eksploatacyjnej różnego rodzaju urządzeń elektroenergetycznych, które pozwalają ocenić ich niezawodność oraz przyczyny powstawania uszkodzeń,
- określenie najważniejszych przyczyn występowania awarii urządzeń,
- oszacowanie wartości następujących wskaźników niezawodności pracy wybranych urządzeń sieci SN:
  - liczby uszkodzeń/zakłóceń linii napowietrznych,
  - liczby uszkodzeń/zakłóceń linii kablowych,
  - liczby uszkodzeń transformatorów SN/nn,
  - intensywności uszkodzeń linii napowietrznej,
  - intensywności uszkodzeń linii kablowej,
  - nieciągłości zasilania,
  - kosztów remontów linii napowietrznych i kablowych.
- opracowanie metody prognozowania z kilkuletnim wyprzedzeniem czasowym wartości następujących wskaźników niezawodności:
  - wskaźnik intensywności uszkodzeń linii napowietrznych SN,
  - wskaźnik intensywności uszkodzeń linii kablowych SN,
  - wskaźnik intensywności uszkodzeń transformatorów SN/nn,
  - wskaźnik nieciągłości zasilania.
- autorskie zastosowanie adaptacyjnego systemu neuronowo – rozmytego ANFIS do prognozy wskaźników niezawodnościowych,
- przeprowadzenie obliczeń prognostycznych dla wymienionych wyżej wskaźników niezawodnościowych,
- oszacowanie błędów wykonanych prognoz,
- analiza finansowa przedsiębiorstwa dystrybucyjnego,
- oszacowanie kosztów ponoszonych przez spółkę dystrybucyjną na utrzymanie wymaganego poziomu niezawodności i ich zależności od analizowanych wskaźników niezawodności.

Dokonana analiza awaryjności urządzeń elektroenergetycznych SN będzie niezbędna w badaniach dotyczących niezawodności sieci rozdzielczej. Kierunki tych badań, powinny skupić się na szczegółowej analizie awaryjności elementów sieci elektroenergetycznych, a w szczególności na przyczynach tych awarii.

Ponadto dalsze prace dotyczyć będą:

- uwzględnienia innych czynników w procesie uczenia sieci – np. wzrostu liczby urządzeń czy wielkości zapotrzebowania na energię itp.,
- analizy danych statystycznych, pochodzących z innych spółek dystrybucyjnych,
- przeprowadzenia obliczeń prognoz dla innych spółek dystrybucyjnych,
- analizy kosztów utrzymania niezawodności w sytuacjach kryzysowych (powódzie, pożary, susze itp.).

Wyniki tych badań, pozwolą na bardziej dokładniejszą analizę finansową spółki, oraz prognozę kosztów utrzymania niezawodności w przyszłości.

## Wybrane pozycje literaturowe

- [1] Adair J.: *Podjęmowanie decyzji*, Studio Emka, Warszawa 2001.
- [2] Agogino A., Tseng M.-L., Jai P.: Integrating neural networks with influence diagrams for power plant monitoring and diagnostics. INNS Summer Workshop Neural Network Computing for the Electric Power Industry. (Sobajic D.J., Ed.), Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, Publ., 1993.
- [3] Allan R.N., Billinton R., Breipohl A.M., Grigg C.H.: Bibliography on the Application of Probability Methods in Power System Reliability Evaluation 1992-1996. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No 1, 1999.
- [4] Allan R.N., Billinton R.: Power System Reliability and its Assessment. Part 3: Distribution Systems and Economic Considerations. IEE Power Engineering Journal, Vol. 7, Aug. 1993.
- [5] Backes J., Koglin H.-J., Klein L.: A Flexible Tool for Planning Transmission and Distribution Networks with Special Regard to Uncertain Reliability Criteria. 12th Power System Computation Conference, Dresden, August 1996.
- [6] Bargiel J., Goc W., Paska J., Sowa P.: Dane do obliczeń niezawodnościowych – możliwości uzyskania. Materiały konferencyjne XI Konferencji Naukowo-Technicznej REE 2005 „Bezpieczeństwo Energetyczne Polski w strukturze Unii Europejskiej”, Kazimierz Dolny, 25-27 kwietnia, 2005.
- [7] Berenji H. R., Khedkar P.: Learning and tuning fuzzy logic controllers through reinforcements, IEEE Transaction on Neural Networks , vol. 3, no. 5, September 1992.
- [8] Bhuiyan J.R.: User Manuale for COMPASS Version 1994.
- [9] Billinton R.: System Reliability Performance Assessment. 6th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems – PMAPS'2000. Funchal, Madeira – Portugal, Sept. 25-28, 2000.
- [10] Billinton R.: Canadian Experience in the Collection of Transmission and Distribution Component Unavailability Data. 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems – PMAPS 2004 (under auspices of IEEE), Aimes – Iowa, USA, Sept. 12-16, 2004.
- [11] Bilski J., Świąć A.: Metoda wstecznej propagacji błędów i jej modyfikacje. Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000 - sieci neuronowe, tom VI, Akademicka Oficyna Wydawnicza. Warszawa 2000
- [12] Bonfert J.P.: Using neural networks in nuclear power plants for state diagnosis. Prep. IFAC Symp. Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes. SAFEPROCESS '94, Espoo, Finland, 1994.
- [13] Borowczyk B.: Wskazówki ustalania obciążeń elektrycznych odbiorców komunalno – bytowych w miejskich sieciach osiedlowych, Energoprojekt, Poznań, 1989.
- [14] Bubnicki Z.: Wstęp do systemów ekspertowych, PWN, Warszawa 1990.
- [15] Chao C.T., Chen Y.J., Teng C.C.: Simplification of fuzzy-neural systems using similarity analysis, IEEE Transaction on Systems , Man and Cybernetics - Part B, vol. 26, No. 2, 1996.
- [16] Cichocki C.: Neural Networks for optimization and signal procesing. Willey, 1993.
- [17] Ditman P.: Metody prognozowania sprzedaży w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Akademi Ekonomicznej, Wrocław 1998.
- [18] Djukanovic M., Bekut D., Sobajic D.J., Pao Y.H.: Neural Network based calculation of short-circuit currents in three-phase systems. Electric Power Rescarch, 24, 1992.
- [19] Dobrzańska I.: Prognozowanie w elektroenergetyce - zagadnienia wybrane. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa 2002.
- [20] Duch W., Korbicz J., Rutkowski L., Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 2000.
- [21] Filipowicz J., Siemianowski J.: Metody prognozowania zapotrzebowania energii elektrycznej i obciążeń systemu elektroenergetycznego. Archiwum energetyki nr 2, 1977.
- [22] Fox E.W., Monforte F.A., McMenamin J.S.: An application of neural networks to hourly load foracasting. The Nineteenth Symposium on Forecasting ISF'99. Washington, International Institute of Forecasting , 1999.
- [23] Fukuyama Y., Ueki Y., Kaneko K.: Development of an Expert Systems for Analyzing Faults In Power Systems Based on Waveform Recognition by Artificial Neural Networks. Electrical Engineering in Japan, Vol. 112, No 3, 1992.
- [24] Furuhashi T., Hasegawa T., Horikawa S., Uchikawa Y.: An adaptive fuzzy controller using fuzzy neural networks, Fifth IFSAWorld Congress, 1993.
- [25] Gawlak A., Szkutnik J.: Koszty własne sprzedaży energii elektrycznej, Energia, nr 8, 1997.
- [26] Harris C.J., Moore C.G., Brown M.: Intelligent Control: Aspects of fuzzy logic and neural nets, Singapore: World Scientific 1993.
- [27] Hayashi I., Nomura H., Yamasaki H., Wakami N.: Construction of fuzzy inference rules by NDF and NDFL, International Journal of Intelligent Systems, vol. 8, No. 4, 1993.
- [28] Hayashi Y., Buckley J., Czogała E.: Fuzzy neural network with fuzzy signals and weights, International Journal of Intelligent Systems, vol. 8, 1993.
- [29] Horikawa S., Furuhashi T., Uchikawa Y., Tagawa T.: A study on fuzzy modeling using fuzzy neural networks, IFES'91.
- [30] Horikawa S., Furuhashi T., Uchikawa Y.: On fuzzy modeling using fuzzy neural networks with the back-propagation algorithm, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 3, no. 5, September 1992.
- [31] Jang J. S. R.: ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference systems, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol 23, no. 3, 1993.
- [32] Jang J. S.R., T. Sun, Neuro-fuzzy modeling and control , Proceedings of the IEEE, vol. 83, no. 3, 1995.
- [33] Kholi A., Savoji M.H., Non-Linear Prediction of Speech Using ANFIS: Comparison With Neural Nets. Electrical and Computer Engineering Faculty Shahid Beheshti University Evin Square Tehran 1983963113 Iran (2002).
- [34] Kanoh H., Kaneta M., Kanemaru K.: Fault Location for Transmission Lines Using Inference Model Neural Network. Electrical Engineering in Japan, Vol 111, No 7, 1991.

- [35]Kaszowska B., Kopterski W.: Inteligentny system decyzyjny do prognozowania wskaźników niezawodnościowych sieci średniego napięcia, VI Krajowa Konferencja Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe Wrocław 2006.
- [36]Kazuo N., Miho K.: Methods to Build Neural Networks for Evaluation of State Variable Patterns. Electrical Engineering in Japan, Vol 111, No 5, 1991.
- [37]Klajn A., Markiewicz H.: Jakość energii i niezawodność zasilania w instalacjach elektrycznych. Podręcznik INPE dla elektryków z.14. Warszawa 2007.
- [38]Kolcum M., Benc R., Szathmary P.: A neural network short-term load forecasting model for the Slovak Power System. Mat. IV Konferencji Naukowej PE'98. Częstochowa 1998.
- [39]Kopterski W., Niekrawiec D.:Reliability of devices and elements of electric power system as well as methods of its diagnostics in power enterprise III Międzynarodowa Konferencja "Europejski Rynek Energii Elektrycznej Wyzwania Zjednoczenia" EEM-06 Warszawa, 2006.
- [40]Kopterski W., Niekrawiec D.: The Significance of supply continuity and prediction of power appliance failure, IV Międzynarodowa Konferencja "Europejski Rynek Energii Elektrycznej Wyzwania Zjednoczenia" EEM-07 Kraków 2007.
- [41]Kopterski W.: Ocena awaryjności urządzeń elektroenergetycznych w sieci rozdzielczej, Materiały Konferencyjne XIII Konferencji Naukowo-Technicznej Rynek Energii Elektrycznej: Rynek energii w perspektywie konsolidacji REE'07, Kazimierz Dolny.
- [42]Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W. (red.): Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. WNT, Warszawa, 2002.
- [43]Korbicz J., Obuchowicz A., Uciński D. : Sztuczne sieci neuronowe - Podstawy i zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994.
- [44]Kosko B.: Neural Networks and Fuzzy Systems, Englewood Cliffs: Prentice Hall 1992.
- [45]Kujaszczyk S., Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze, tom I i II, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004
- [46]Kujaszczyk S.: Nowoczesne metody obliczeń elektroenergetycznych sieci rozdzielczych. Warszawa, WNT, 1984.
- [47]Kujaszczyk S., Brociek M., Flisowski Z., Gryko J., Nazarko J., Zdun Z.: Elektroenergetyczne układy przesyłowe, WNT, 1997.
- [48]Laurenco P.M., Laurenco C.R.S.H., Riberio G.F., da Silva V.N.A.L.: Short-term load forecasting using fuzzy logic and calendar of events, The Nineteenth Symposium on Forecasting ISF'99, Washington, International Institute of Forecasting, 1999.
- [49]Lee K. M., Kwang D. H., Wang H. L.: A fuzzy neural network model for fuzzy inference and rule tuning , International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, vol. 2, no. 3, 1994.
- [50]Lee K. M., Kwak D. H., Lee-Kwang H.: Fuzzy inference neural network for fuzzy model tuning, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B, vol. 26, No. 4, 1996.
- [51]Lee K. M., Kwak D. H., Lee-Kwang H.: Tuning of fuzzy models by fuzzy neural networks, Fuzzy Sets and Systems, vol. 76, 1995.
- [52]Lin C. T., Lee G. C. S.: Neural-network-based fuzzy logic control and decision system, IEEE Transactions on Computers, vol. 40, no. 12, December, 1991.
- [53]Lin C. T., Lee G. C. S.: Real-time supervised structure/parameter learning for fuzzy neural network, Proc. IEEE Conf. Fuzzy Syst., San Diego, CA, March 1992.
- [54]Lin C. T., Lee G. C. S.: Reinforcement structure/parameter learning for neural-network-based fuzzy logic control systems, IEEE Transactions on Computers, vol. 12, February 1994.
- [55]Lin C. T., Lee G. C. S.: Supervised and unsupervised learning with fuzzy similarity for neural network-based fuzzy logic control systems, in: Fuzzy Sets, Neural Networks and Soft Computing, R. R. Yager, L. A Zadeh (Eds), Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
- [56]Lotfi A., Tsoi A.C.: Learning fuzzy inference systems using and adaptive membership function scheme, IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics-Part B, vol. 26, 1996.
- [57]Łyp J.: Przegląd technik prognostycznych używanych w prognozowaniu obciążeń systemów elektroenergetycznych, Mat. V Konferencji Naukowej PE2000, Częstochowa 2000.
- [58]Makino K., Shimada T.: Daily peak electric load forecasting using an artificial neural network an improvement method for reducing the forecasting errors. Electrical Engineering in Japan, Vol. 115, January 1995.
- [59]Malko J., Mikołajczak H., Skorupski W.: Sztuczne sieci neuronowe jako narzędzie prognozowania zapotrzebowania mocy w systemie elektroenergetycznym, Mat. III Konferencji Naukowej PE'96, Częstochowa 1996.
- [60]Malko J.: Planowanie systemów elektroenergetycznych. PWN, Warszawa 1976
- [61]Malko J., Weron A.: Rynek energii elektrycznej, Mechanizmy funkcjonowania, CIRE, 2001.
- [62]Mariani E., Murthy S.S.: Present practices In load forecasting. Advanced load dispath for Power systems. Springer 1997.
- [63]Markiewicz H., Klajn A.: Metody i sposoby zapewniające pożądaną niezawodność zasilania energią elektryczną. Niezawodność zasilania urządzeń elektrycznych. Europejski program Leonardo da Vinci. Kraków 2003.
- [64]Marzecki J.: Miejskie sieci elektroenergetyczne. WPW, Warszawa 1996.
- [65]Marzecki J.: Metody ekonomiczne stosowane do analizy optymalizacji sieci rozdzielczych. Przegląd Elektrotechniczny 9/2006.
- [66]Meagher P.: Probabilistic methods In forecasting hourly loads . Report TR-1011902 Research project WO5975. Final Report., EPRI 1993.
- [67]Michalski D., Krysta B., Lełątko P.: Zarządzanie ryzykiem na rynku energii elektrycznej, IDWE, Warszawa, 2004.
- [68]Miedziński E.: Straty energii w urządzeniach elektrycznych. WNT, Warszawa 1965.

- [69]Nie J., Linkens D.: Fuzzy-Neural Control, New York: Prentice Hall 1995.
- [70]Osowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [71]Osowski S.: Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym. WNT, Warszawa 1996.
- [72]Osowski S.: Sieci neuronowe, WPW Warszawa, 1994.
- [73]Park G. Y., Seong P.H.: Towards increasing the learning speed of gradient descent method in fuzzy systems, Fuzzy Sets and Systems, vol. 77, 1996.
- [74]Paska J.: Niezawodność systemów elektroenergetycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [75]Paska J.: Metodyka oceny i niezawodności systemu elektroenergetycznego na poziomie hierarchicznym HL II (z uwzględnieniem sieci przesyłowej). Sprawozdanie merytoryczne z grantu KBN Nr 8 T10B 045 14, Warszawa, grudzień 1999
- [76]Paska J.: Metodyka oceny niezawodności wytwarzania i przesyłu w warunkach rynku energii elektrycznej. Rynek energii Nr 3, 2000.
- [77]Paska J. i zespół: System wspomagania analiz niezawodnościowych pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Praca dla PSE S.A. – Departament Strategii i Rozwoju. Warszawa, wrzesień 2002.
- [78]Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
- [79]Piotrowski P., Woźnicki P.: Możliwości zastosowania techniki sieci neuronowych do analizy zwarć w sieciach elektroenergetycznych. Materiały konferencyjne APE'97, Gdańsk, 1997.
- [80]Prognoza zapotrzebowania energii i jej pokrycia do 2020 r. Bariery i uwarunkowania ekonomiczne. Instytut Energetyki. Warszawa 1985
- [81]Radośniński E.: Systemy informatyczne w dynamicznej analizie decyzyjnej, PWN, Warszawa, 2001.
- [82]Rozporządzenie Min. Gospodarki i Pracy z dnia 20 grudnia 2004 r w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci. Dz. Ustaw nr 2, poz 6 z dnia 6 stycznia 2005.
- [83]Rutkowska D.: Inteligentne systemy obliczeniowe. Algorytmy genetyczne i sieci neuronowe w systemach rozmytych. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ. Warszawa 1997.
- [84]Rutkowska D.: Fast learning of neural networks using a genetic algorithm, Proceedings of the Second Conference Neural Networks and Their Applications, Szczyrk , April, 1996.
- [85]Rymarczyk M.: Decyzje, symulacje, sieci neuronowe, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Bankowej, Poznań, 1997.
- [86]Shann J.J., Fu H.C., A fuzzy neural network for rule acquiring on fuzzy control systems, Fuzzy Sets and Systems, vol. 71, 1995.
- [87]Sierpińska M., Jachna T.: Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2004.
- [88]Siwek K., Osowski S.: Self organizing neural network for short term forecasting in power system. Proc. Of the International Conference Engineering Benefits from Neural Networks EANN'98, Gibraltar, 10-12 June 1998.
- [89]Sobieszkański S.: Metodyka obliczeń ekonomicznych optymalizacyjnych w badaniach sieci rozdzielczych. Energetyka nr 2. 1977.
- [90]Souza R.C., Laurenco P.M.: A neural-fuzzy load forecasting model, The Nineteenth Symposium on Forecasting ISF'99, Washington, International Institute of Forecasting, 1999.
- [91]Sozański J.: Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego. WNT, Warszawa 1990.
- [92]Srinivasan D., Tan S.S., Chang C.S., Chan E.K.: Practical implementation of a hybrid fuzzy neural network for one-day-ahead load forecasting. IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution, Vol. 145, Issue 6, 1998.
- [93]Stacewicz P.: Zastosowania sieci neuronowych do wnioskowań rozmytych, Prace Instytutu Podstaw Informatyki PAN, Warszawa, lipiec 1995.
- [94]Szalbierz Z.: Spółki dystrybucyjne na rynku energii elektrycznej. Zmiana struktur rynku i procesów zarządzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław , 2002.
- [95]Szalbierz Z.: Strategia przedsiębiorstw sektora elektroenergetyki a sektora rynku energii, Rynek energii, nr 4, 1999.
- [96]Szkutnik J., Witek A.: Analiza kosztowa sprzedaży energii elektrycznej w przedsiębiorstwie dystrybucyjnym. Przegląd Elektrotechniczny nr 9/2006.
- [97]Szydłowski H.: Teoria pomiarów – praca zbiorowa. PWN Warszawa 1978.
- [98]Takagi H., Hayashi I.: NN-driven fuzzy reasoning, International Journal of Approximate Reasoning, vol. 5, 1991.
- [99]Transmission Reliability Evaluation for Large-Scale Systems (TRELSS). User's Reference Manual for Version 4.0. Research Project 3833-1. EPRI, Sept. 1997.
- [100] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 roku – Prawo energetyczne stan prawny na dzień 4 sierpnia 2007.
- [101] Wang L.X.: Adaptive Fuzzy Systems and Control, PTR Prentice Hall, 1994.
- [102] Wu H.C., Lu C.N.: Automatic fuzzy model identification for short-term load forecast, IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146, Issue 5, 1999.
- [103] Zeliaś A.: Teoria prognozy. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa 1979.
- [104] Żurada J., Barski M., Jędruch W.: Sztuczne sieci neuronowe. PWN, Warszawa 1996.
- [105] Żydanowicz J.: Automatyka zabezpieczeniowa w elektroenergetyce, Warszawa WNT, 1992.

## Normy

- [106] PN-EN 50160:2002. Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych

## Dorobek naukowy autora

### Wykaz publikacji:

- [1] Kopterski W.: "E-learning przez Internet na przykładzie międzynarodowego projektu w ramach programu Leonardo da Vinci" Międzynarodowa Konferencja Naukowa „e-Learning – wyzwanie dla nowoczesnej edukacji Warszawa 2005.
- [2] Kaszowska B, Kopterski W., Tomaszewski M: „Issues of failure frequency of fan electric Power system In Power enterprises 8th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation EPQU'05, Cracow 2005
- [3] Kopterski W., Niekrawiec D.: "Reliability of devices and elements of electric power system as well as methods of its diagnostics in power enterprise" III Międzynarodowa Konferencja "Europejski Rynek Energii Elektrycznej Wyzwania Zjednoczenia" EEM-06 Warszawa 2006, s. 209-215.
- [4] Kopterski W., Majer M.: „Badanie efektywności równoległych realizacji przykładowych algorytmów algebry liniowej w systemach klastrowych” XI Konferencja Naukowa Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice ZKWE'2006, Poznań, s.31-32
- [5] Kopterski W.: „Wykorzystanie systemów rozmyto-neuronowych do prognozowania w elektroenergetyce” Przegląd Elektrotechniczny 9/2006, s.23-25.
- [6] Kopterski W., Zmarzły D.: „Koszty utrzymania niezawodności urządzeń elektroenergetycznych w spółce dystrybucyjnej” Przegląd Elektrotechniczny 9/2006, s. 108-110.
- [7] Kaszowska B., Kopterski W.: „Inteligentny system decyzyjny do prognozowania wskaźników niezawodnościowych sieci średniego napięcia” VI Krajowa Konferencja Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe Wrocław 2006, s.239-248.
- [8] Kaszowska B., Kopterski W.: „Inteligentny system decyzyjny do prognozowania wskaźników niezawodnościowych sieci średniego napięcia” Elektryka z.57 nr 317/2006.
- [9] Kopterski W.: „Analiza awaryjności urządzeń elektroenergetycznych przy wykorzystaniu logiki rozmytej” XII Konferencja Naukowa Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice ZKWE'2007, Poznań
- [10] Kopterski W.: „Ocena kosztów utrzymania niezawodności pracy sieci rozdzielczej w spółce dystrybucyjnej” XII Konferencja Naukowa Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice ZKWE'2007, Poznań
- [11] Kopterski W.: „Ocena awaryjności urządzeń elektroenergetycznych w sieci rozdzielczej” Materiały Konferencyjne XIII Konferencji Naukowo-Technicznej Rynek Energii Elektrycznej: Rynek energii w perspektywie konsolidacji REE'07, Kazimierz Dolny, s.301-308
- [12] Kopterski W., Niekrawiec D.: "The Significance of supply continuity and prediction of power appliance failure" IV Międzynarodowa Konferencja "Europejski Rynek Energii Elektrycznej Wyzwania Zjednoczenia" EEM-07 Kraków 2007,
- [13] Kopterski W.: „Metody ekonomiczne stosowane do oceny kosztów utrzymania niezawodności pracy w sieci rozdzielczej” I Środowiskowe Warsztaty Doktorantów Politechniki Opolskiej, Jarnołtówek 14-16 maj, 2007.
- [14] Kopterski W.: „Prognozy awaryjności poszczególnych urządzeń elektroenergetycznych sieci rozdzielczej przy wykorzystaniu logiki rozmytej” Wiadomości Elektrotechniczne 9/2007,
- [15] Kopterski W.: „The cost of keeping reliability of electrical devices In Power enterprise” 9<sup>th</sup> International Conference Electrical Power Quality and Utilisation October 9-11, 2007, Barcelona, Spain
- [16] Kopterski W.: "Ocena kosztów utrzymania niezawodności pracy sieci rozdzielczej w spółce dystrybucyjnej" XIV Konferencja Naukowo-Techniczna Rynek Energii Elektrycznej REE'08 Przesłanki nowej polityki energetycznej – paliwa, technologie, zarządzanie. Kazimierz Dolny, 7-10 maja 2008 r., s.169-174

### Prace naukowo badawcze:

Udział w realizacji pracy pt. *Efektywność użytkowania energii w Europie (Energy Efficiency for Europe)* zleconej przez Komisję Europejską w ramach programu Leonardo da Vinci, nr umowy A/01/B/F/88-124.132.