UNIWERSYTET SZCZECIŃSKI
INSTYTUT ZARZĄDZANIA

Jakub Maciej Dowejko

Autoreferat

ZARZĄDZANIE ROZWOJEM OPERATORÓW SYSTEMU DYSTRYBUCYJNEGO W KONTEKŚCIE NIEZAWODNOŚCI SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Promotor:

dr hab. Wojciech Drożdż, prof. US

Recenzenci:

prof. dr hab. Szymon Cyfert
dr hab. Sławomir Jankiewicz, prof. WSB
dr hab. inż. Marta Starostka-Patyk, prof. PCz

Szczecin 2022

Spis treści

I. UZASADNIENIE WYBORU TEMATU 3

II. HIPOTEZA BADAWCZA ORAZ CELE PRACY 6

III. STRUKTURA PRACY 7

IV. ŹRÓDŁA I METODY BADAWCZE 8

V. CHARAKTERYSTYKA I WYNIKI PRZEPROWADZONYCH BADAŃ 8

VI. WNIOSKI KOŃCOWE 21

I. Uzasadnienie wyboru tematu

Każde przedsiębiorstwo funkcjonujące na rynku powinno mieć ściśle określone cele, które są realne do osiągnięcia. Wskazane kryteria, wymuszają wykorzystanie odpowiednich zasobów oraz obranie odpowiedniej strategii do efektywnego ich wykorzystania w celu jak najszybszego osiągnięcia oczekiwanego rezultatu. Zwinne zarządzanie nowoczesnym przedsiębiorstwem (Agile management), to podejście do organizacji pracy w celu zapewnienia nowych produktów lub usług w sposób elastyczny i w interaktywnej formie. W odróżnieniu od standardowego zarządzania, koncepcja Agile manifestuje cztery główne wartości tj. komunikacja z otoczeniem zewnętrznym jako priorytet w stosunku do standardowych procedur i narzędzi, koncentracja na dostarczeniu działających rozwiązań, współpraca z klientami oraz bycie otwartym na zmiany zakresu zamiast ich ograniczanie[1]. W myśl koncepcji, nowoczesne zarządzanie to reagowanie na różne sytuacje powstające w bliższym oraz dalszym otoczeniu przedsiębiorstwa. Dlatego odpowiednie zarządzanie i kierownictwo może przynieść znaczne korzyści, ale z drugiej strony nierozważne kroki mogą doprowadzić do bankructwa.

Powyższe zagadnienia są szczególnie istotne dla sektorów o dużym znaczeniu gospodarczym. Takim sektorem, jest branża energetyczna w której funkcjonują Operatorzy Systemu Dystrybucyjnego (OSD) czyli przedsiębiorstwa zajmujące się dystrybucją energii elektrycznej, odpowiedzialne za ruch sieciowy w systemie dystrybucyjnym, bieżące i długookresowe bezpieczeństwo funkcjonowania tego systemu, eksploatację, konserwację i remonty sieci dystrybucyjnej oraz jej niezbędną rozbudowę, w tym połączeń z innymi systemami elektroenergetycznymi[2]. Terminem OSD, określa się również osobę fizyczną lub prawną odpowiedzialną za działalność operacyjną i zapewnienie utrzymania, a w razie potrzeby, również za rozwój systemu dystrybucyjnego, połączenia z innymi systemami i za zapewnienie długookresowej zdolności systemu do pokrycia uzasadnionego zapotrzebowania na dystrybucję energii elektrycznej[3].

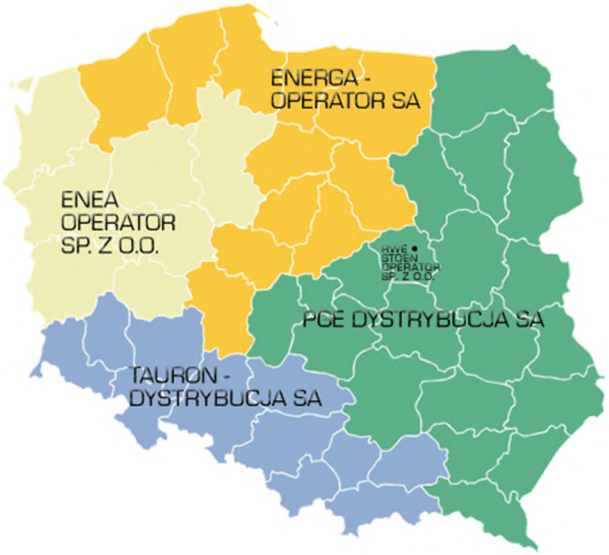
Obecnie energetyka w znacznym stopniu wpływa na jakość życia ludzi, a jej oddziaływanie można zaobserwować w różnych sferach rozwoju społeczno-gospodarczego. Natomiast z punktu widzenia państwa, jest ona sektorem w znacznej mierze zależnym od wielu czynników takich jak stan gospodarki kraju, krajowe i europejskie regulacje prawne,

---

[1] Home | Scrum Guides, www.scrumguides.org [dostęp na dzień 2020-07-31].
[2] Ustawa z dnia 4 marca 2005 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne oraz ustawy — Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2005 r. nr 62, poz. 552).
[3] Dyrektywa Unii Europejskiej 2003/54/EC.

dostępność energetycznych surowców naturalnych czy sytuacja na rynkach towarowych. Wszystkie te składowe mają w ujęciu strategicznym znaczący wpływ na poziom bezpieczeństwa państwa. Zarządzanie zasobami, systemem energetycznym oraz prowadzenie z użytkownikami tego systemu rozliczeń wynikających z niezbilansowania energii elektrycznej dostarczonej do systemu dystrybucyjnego i pobranej z tego systemu; zakup energii elektrycznej w celu pokrywania strat powstałych w sieci dystrybucyjnej podczas dystrybucji energii elektrycznej tą siecią oraz stosowanie przejrzystych i niedyskryminacyjnych procedur rynkowych przy zakupie tej energii stanowią podstawę dla poprawnego działania całego systemu w ujęciu zachowania niezawodności dostaw energii elektrycznej oraz stałej poprawy jakości dostawy energii do odbiorców. W dobie nowych wyzwań stawianych przed OSD, wzmożone wydatki inwestycyjne sięgają kilkunastu miliardów złotych. Dlatego tak ważna jest odpowiednia analiza dotychczasowych inwestycji oraz wyznaczenie aktualnych trendów i wizji dla przyszłości sektora energetycznego, z uwzględnieniem wszelkich zasobów będących w dyspozycji OSD.

W Polsce funkcjonuje czterech OSD o największym znaczeniu (Rysunek 1), do których zalicza się: Tauron Dystrybucja, PGE Dystrybucja, Energa Operator, Enea Operator. Podmioty te, oprócz pełnienia tej samej funkcji w sektorze, posiadają odmienną, indywidualną strategię rozwoju. Dzięki przeprowadzonej analizie oraz wskazaniu cech wspólnych, zaprezentowane rozwiązania będą miały uniwersalne zastosowanie dla wszystkich podmiotów.



Rysunek 1. Najwięksi Operatorzy Systemu Dystrybucyjnego energii oraz obszar ich działania w Polsce

Źródło: https://rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,201,tr,69,0,0,0,0,0,osd.html (stan na dzień 01.11.2019 r.).

Podstawowym zadaniem OSD, jest zarządzanie elektroenergetyczną siecią dystrybucyjną. Sieć taką, definiuje się jako zbiór urządzeń powiązanych funkcjonalnie i połączonych elektrycznie, służący do przesyłania, przetwarzania i rozdzielania energii elektrycznej na określonym obszarze. Termin elektroenergetyczne sieci dystrybucyjne obejmuje sieci rozdzielcze służące do przesyłania i rozdzielania (dystrybucji) energii elektrycznej przy wykorzystaniu napięć nie wyższych niż 110 kV. Sieci te są najbardziej rozpowszechnionymi systemami, spośród wszystkich systemów energetycznych (ciepłownicze, gazownicze, naftowe). Ponadto w przypadku wielu odbiorców energia elektryczna jest jedynym systemowym nośnikiem energii. Wszelkie zakłócenia w pracy elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych mogą powodować przerwy w zasilaniu odbiorców lub pogarszanie jakości dostarczanej energii. Skutkiem takiego stanu rzeczy są straty gospodarcze (ekonomiczne) nie tylko u odbiorców, ale także u dystrybutorów energii. Niewłaściwe parametry jakościowe energii elektrycznej stwarzają różnorodne ograniczenia w działalności oraz egzystencji odbiorców.

Biorąc pod uwagę kryterium zasięgu i przeznaczenia transport przesyłowy oraz jego infrastrukturę można podzielić na trzy kategorie[4]:

- transport dalekosiężny (często międzynarodowy),
- transport dystrybucyjny o znaczeniu lokalnym (rzadziej regionalnym),
- transport przewodowy – służący głównie do przesyłania energii elektrycznej i informacji.

Obejmuje on linie przesyłowe energii elektrycznej (również instalacje energetyczne) oraz linie służące do łączności i komunikacji.

W literaturze polskiej do oceny niezawodności stosuje się najczęściej takie wskaźniki, jak: średnia intensywność awarii, średni czas trwania awarii, współczynnik zawodności oraz średni roczny czas trwania awarii, a także średnia wartość niedostarczonej do odbiorców energii. W międzynarodowych dokumentach normalizacyjnych oraz w opracowaniach naukowych wykorzystywane są odmienne wskaźniki. Jednak do najczęściej stosowanych należą[5]:

- **SAIFI** (*System Average Interruption Frequency Index*) – systemowy wskaźnik średniej liczby (częstości) przerw na odbiorcę, zdefiniowany jako iloraz liczby wszystkich

[4] K. Ficoń, *Logistyka techniczna. Infrastruktura logistyczna*, Wydawnictwo BEL Studio, Warszawa 2009, s. 74.

[5] R. Nadolski *Analiza niezawodności eksploatacyjnej elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych.* Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2013 s. 43.

przerw nieplanowanych w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci. Jeżeli nie ustalono inaczej, SAIFI nie obejmuje krótkich przerw o czasie trwania poniżej 3 minut (lub 1 minuty w zależności od przyjętej konwencji).

- **SAIDI** (*System Average Interruption Duration Index*) – systemowy wskaźnik średniego (przeciętnego) czasu trwania przerw w roku, wyznaczony jako suma czasu trwania wszystkich przerw w roku (w minutach), podzielona przez liczbę odbiorców przyłączonych do sieci.

Efektem pracy jest klasyfikacja działalności OSD będącymi podstawowymi podmiotami sektora energetycznego ze wskazaniem instrumentów, których wykorzystanie prowadzi do osiągnięcia najlepszych oczekiwanych rezultatów.

II. Hipoteza badawcza oraz cele pracy

W pracy zastosowano hipotezę główną o brzmieniu ,,cztery największe przedsiębiorstwa sektora energetycznego pełniące funkcję OSD w Polsce, prowadzą indywidualną politykę zarządzania zasobami przedsiębiorstwa oraz strategię inwestycyjną.” Ponadto, celem głównym pracy było wskazanie najważniejszych obszarów zarządzania zasobami OSD z punktu widzenia niezawodności sieci elektroenergetycznej oraz kierunków inwestowania. Dodatkowo, zdefiniowano również cele pomocnicze które zaprezentowano poniżej:

1. Opracowanie charakterystyki potencjałów rozwojowych Operatorów Systemu Dystrybucyjnego oraz zasobów którymi dysponują.
2. Określenie rang dla Operatorów Systemu Dystrybucyjnego z uwagi na dotychczasowe wykorzystanie potencjału (zasobów oraz inwestycji).
3. Dokonanie analizy struktury kierunków inwestycyjnych.
4. Dokonanie analizy struktur organizacyjnych.
5. Wskazanie głównych czynników zewnętrznych, mających wpływ na funkcjonowanie Operatorów Systemy Dystrybucyjnego w Polsce.

Podmiotowy zakres dysertacji doktorskiej obejmował działalność czterech największych OSD w Polsce, do których zalicza się: Tauron Dystrybucja, PGE Dystrybucja, Energa Operator, Enea Operator. Natomiast zakres przedmiotowy dotyczył zarządzania OSD, niezawodności sieci elektroenergetycznych oraz wydatków inwestycyjnych. Dysertacja została opracowana na podstawie jednostek gospodarczych funkcjonujących na terenie kraju, z odniesieniami do Unii Europejskiej, a ramy czasowe opracowanej dysertacji obejmują lata 2008 -2018.

III. Struktura pracy

Rozprawa składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów, zakończenia, bibliografii oraz spisu tabel i rysunków.

Spis treści

WSTĘP

ROZDZIAŁ I ZARZADZANIE PRZEDSIĘBIORSTWEM ENERGETYCZNYM W ASPEKCIE JEGO ZASOBÓW

1.1 ISTOTA PRZEDSIĘBIORSTWA I JEGO ZASOBÓW
1.2. ZARZĄDZANIE PRZEDSIĘBIORSTWEM JAKO SUBDYSCYPLINA ZARZĄDZANIA
1.3 PRZEDSIĘBIORSTWO ENERGETYCZNE JAKO SKŁADOWA SYSTEMU ENERGETYCZNEGO

ROZDZIAŁ II INFRASTRUKTURA PRZESYŁOWA I CZYNNIKI JEJ NIEZAWODNOŚCI

2.1 INFRASTRUKTURA PRZESYŁOWA JAKO SPECYFICZNA CZĘŚĆ INFRASTRUKTURY
2.2 SKŁADOWE INFRASTRUKTURY SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ I SYSTEMY ICH ZARZĄDZANIA
2.3 NIEZAWODNOŚĆ SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ - MIARY I DETERMINANTY

ROZDZIAŁ III CHARAKTERYSTYKA ZASOBÓW JAKO POTENCJAŁU OPERATORÓW SYSTEMU DYSTRYBUCYJNEGO W POLSCE

3.1 ANALIZA WYBRANYCH ZASOBÓW NAJWIĘKSZYCH OPERATORÓW SYSTEMU DYSTRYBUCYJNEGO
3.2 POSTULOWANE KIERUNKI WZMACNIANIA POTENCJAŁU ZASOBÓW POLSKICH OPERATORÓW SYSTEMU DYSTRYBUCYJNEGO
3.3 KONCEPCJA NOWEGO ZARZĄDZANIA PRZEDSIĘBIORSTWEM ENERGETYCZNYM, PEŁNIĄCYM FUNKCJĘ OSD W KONTEKŚCIE NIEZAWODNOŚCI SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH

ROZDZIAŁ IV STRATEGICZNE KIERUNKI INWESTYCYJNE OSD

4.1 PROCESY INWESTYCYJNE I ANALIZA RYZYKA W OPERATORACH SYSTEMÓW DYSTRYBUCJI
4.2 ANALIZA INWESTYCJI SIECIOWYCH NAJWIĘKSZYCH POLSKICH OSD W POLSCE
4.3 ANALIZA INWESTYCJI NIE SIECIOWYCH NAJWIĘKSZYCH OSD W POLSCE

ROZDZIAŁ V PREFEROWANE ROZWIĄZANIA ZARZĄDZANIA I WSKAZANIE POSTULOWANYCH KIERUNKÓW ROZWOJU

5.1 METODOLOGIA BADAWCZA
5.2 WIELOKRYTERIALNY RANKING OPERATORÓW SYSTEMÓW DYSTRYBUCJI
5.3 PERSPEKTYWY INWESTOWANIA POLSKICH OPERATORÓW SYSTEMU DYSTRYBUCYJNEGO

PODSUMOWANIE

W rozdziale pierwszym przedstawiono istotę funkcjonowania przedsiębiorstw na rynkach gospodarczych oraz kwestie związane z odpowiednim zarządzaniem, niezbędnym do stałego rozwoju tych podmiotów. Ponadto, zaprezentowano również przedsiębiorstwo energetyczne jako składową systemu energetycznego.

Rozdział drugi, to opis kluczowego dla gospodarki infrastruktury energetycznej oraz szeregu czynników jej niezawodności. Dokonano umiejscowienia infrastruktury przesyłowej w zbiorach infrastruktury oraz wskazano jej składowe, wraz z systemami ich zarządzania. W dalszej części rozdziału, opisano również istotę niezawodności sieci energetycznej oraz miary i determinanty tego stanu.

W rozdziale trzecim, zaprezentowano zasoby OSD, które na co dzień determinują funkcjonowanie tych podmiotów w sektorze. Ponadto, opisano postulowane kierunki wzmacniania tego potencjału oraz swoistą koncepcję zarządzania nowoczesnym przedsiębiorstwem energetycznym, pełniącym funkcję Operator Systemu Dystrybucyjnego.

Rozdział czwarty porusza tematykę związaną ze strategicznymi kierunkami inwestycyjnymi w OSD. Przedstawiono dwa kluczowe aspekty, tj. inwestycje sieciowe oraz nie sieciowe.

W piątym rozdziale przedstawiono wielokryterialny ranking największych OSD w Polsce. W dalszej części rozdziału, opisano również perspektywy ich dalszego rozwoju i inwestycji niezbędnych do integracji technologii na sieci przyszłości. W dobie nowych wyzwań stawianych przed Operatorami Systemów Dystrybucyjnych wzmożone wydatki inwestycyjne sięgają kilkunastu miliardów złotych. Dlatego tak ważna jest odpowiednia analiza dotychczasowych inwestycji oraz wyznaczenie aktualnych trendów i wizji dla przyszłości sektora energetycznego, z uwzględnieniem wszelkich zasobów będących w dyspozycji OSD.

IV. Źródła i metody badawcze

Analiza literatury przedmiotu

- zarys teoretyczny podstaw podjętego tematu

Badania porównawcze

- analiza założonego celu ze stanem rzeczywistym

Metody matematyczno-statystyczne

analiza danych pochodzących ze źródeł pierwotnych i wtórnych.

Analiza logiczna

- w celu przedstawienia wyników, interpretacji problemu badawczego oraz znalezienia rozwiązania drogą indukcji i dedukcji

Badania własne

Rysunek 2. Źródła i metody badawcze. Źródło: Opracowanie własne

V. Charakterystyka i wyniki przeprowadzonych badań

W świecie, którego złożoność gwałtownie rośnie, podejmowanie najlepszej decyzji staje się coraz bardziej wymagającym zadaniem dla menedżerów przedsiębiorstw, organizacji

rządowych i wielu innych decydentów. W ostatnich latach szło to ramię w ramię z rozwojem tak zwanych metodologii analizy decyzji. Mianowicie, decydenci są bardziej niechętni podejmowaniu intuicyjnych decyzji opartych na uczuciach i przeczuciach, a zamiast tego wolą używać narzędzi analitycznych i ilościowych oraz opierać i analizować swoje decyzje na solidnych podstawach.

We współczesnej literaturze przedmiotu pojawiają się informacje na temat funkcjonowania rynku energii oraz jej obrotu w Polsce. Powszechnie dostępne są opinie, na temat całego sektora energetycznego, ale ze względu na bardzo specyficzną dziedzinę, nie znajduje się swoistego zestawienia OSD pod względem różnorodnych cech oraz w aktualnych zasobach nie istnieją propozycję ich klasyfikacji oraz rankingów względem siebie. Dlatego po analizie zasobów OSD w badanym okresie, Autor wykorzystuje metodykę badawczą oraz przedstawia propozycję takiego opracowania. Poniższa analiza jest odzwierciedleniem wielokryterialnym i składa się z kilku etapów. Pierwszym z nich jest weryfikacja problemu badawczego, a więc strukturalizacja problemu. W tym przypadku określa się cel wspomagania decyzji oraz dokonuje dekompozycji problemu decyzyjnego w postaci hierarchicznej. W literaturze przedmiotu wskazuje się następujące poziomy hierarchii: cel główny, kryteria szczegółowe oraz warianty decyzyjne (alternatywy).

Rysunek 3. Drzewo hierarchiczne metodologii badawczej. Źródło: Opracowanie własne.

Wiele metod wywodzących się z matematyki stosowanej i badań operacyjnych okazało się przydatnych, aby pomóc decydentom w podejmowaniu świadomych decyzji, a wśród tych metod są również takie, jak Proces Hierarchii Analitycznej (AHP ang. *Analytic Hierarchy Process*), który staje się użytecznym narzędziem do analizy decyzji. Metoda analitycznego procesu hierarchizacji jest jedną z propozycji rozwiązań w zakresie konstrukcji i zastosowania wielokryterialnych systemów oceny. Metoda ta, powstała w latach 70. ubiegłego wieku w Stanach Zjednoczonych[6]. Mówiąc ogólnie, AHP to teoria i metodologia pomiaru względnego. W pomiarze względnym przedmiotem zainteresowania nie jest dokładny pomiar niektórych wielkości, ale raczej proporcje między nimi[7].

W wyniku przeprowadzenia tegoż etapu powstaje tzw. drzewo hierarchiczne. Następnie wyznaczono wektor preferencji globalnych oraz lokalnych. Z tym etapem wiążą się zagadnienia w zakresie: budowy macierzy porównań parami, wyznaczanie wektora wag oraz ocena spójności macierzy porównań parami. W literaturze przedmiotu wymienia się fundamentalną skalę Saaty'ego, jako najpopularniejszą formę pozyskiwania ocen[8]:

Tabela 1. 9-cio stopniowa skala Saaty'ego

Wskaźnik istotności	Definicja	Objaśnienie
1	Jednakowa istotność	Dwa elementy jednakowo wnoszą wkład dla osiągnięcia celu
2	Słaba	Jeden element ma nieco większe znaczenie niż drugi
3	Umiarkowana przewaga	Osąd i doświadczenie nieznacznie preferują jeden czynnik nad drugim
4	Więcej niż umiarkowana	Jeden element ma istotnie większe znaczenie niż drugi
5	Silna przewaga	Osąd i doświadczenie preferują jeden czynnik nad drugim

[6] A. Stabryła, *Praktyka projektowania systemów organizacyjnych przedsiębiorstwa*, wyd. Mfiles.pl Kraków 2015 s. 104.
[7] M. Brunelli, *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*, wyd. Springer, 2014 s. 5.
[8] T.L. Saaty; *Mathematical models for decision suport*; wyd. Springer, Berlin, Heidelberg; 1988 r.; s. 109-121.

6	Więcej niż silna	Osąd i doświadczenie znacząco preferują jeden czynnik nad drugim
7	Bardzo silna przewaga	Jeden czynnik jest bardzo silnie preferowany nad drugim; praktyka potwierdza tą przewagę
8	Więcej niż bardzo silna	Przewaga jednego czynnika nad drugim jest prawie całkowita, jednak istnieje choć jeden obszary w którym to zjawisko nie zachodzi
9	Absolutna przewaga	Przewaga jednego czynnika nad drugim jest absolutna; potwierdzona w najwyższym stopniu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie T.L. Saaty; Mathematical models for decision support

Liczba macierzy porównań parami, jakie należy utworzyć dla rozpatrywanego problemu oraz wymiary tych macierzy są uzależnione od struktury drzewa hierarchicznego. Ogólnie można założyć, iż należy utworzyć macierze porównań parami:

- dla poziomów od 2 do *k*, przy czym ilość macierzy dla poziomu *k* (*k*=2, ..., *K*), równa się liczbie elementów poziomu *k-1*, a ich wymiar jest równy liczbie elementów na tym poziomie,
- dla porównania wszystkich elementów poziomu niższego względem kolejnych elementów poziomu wyższego.

Po utworzeniu macierzy porównań parami należy przystąpić do wyznaczenia wektora wag (priorytetów). Ponadto, metody wielokryterialne wspomagania decyzji na podstawie powyższych informacji tworzą ranking rozważanych wariantów decyzyjnych w świetle przyjętych kryteriów, poprzez liniowe uporządkowanie od wariantu końcowego (najwyższa pozycja w rankingu) do najsłabszego (najniższa pozycja rankingu). W klasycznych wersjach metod wielokryterialnych wagi kryteriów oraz elementy macierzy decyzyjnej są wyrażane za pomocą liczb rzeczywistych. Jednak złożoność dokonywanych wyborów, a z drugiej strony ich masowość (duża ilość decyzji, wybory mogą następować jeden po drugim) powoduje, że szczegółowa analiza i precyzyjna ocena sytuacji decyzyjnej może okazać się bardzo trudna[9]. Wiele codziennych zadań w badaniach operacyjnych wiąże się z rozwiązywaniem

[9] D. Kacprzak, *Rozmyta metoda SAW z wagami uzyskanymi za pomocą rozmytej entropii*, przegląd statystyczny Tom LXV, Zeszyt 1, 2018 s. 23.

skomplikowanych problemów optymalizacyjnych. Dlatego na potrzeby opracowania, posiłkowano się również metodą Entropii, której zastosowanie miało doprowadzić do uporządkowania zmiennych użytych do modelowania. Pojęcie entropii jest starą koncepcją. Jej pierwsze wprowadzenie do termodynamiki przez Clausiusa sięga połowy XIX wieku. Później Boltzmann wyprowadził wyrażenie entropii w mechanice statystycznej.

Entropia jest jednak również koncepcją nowoczesną. Tworząc teorię informacji w 1948, Shannon znalazł unikalną wielkość *H*, która mierzyła niepewność źródła informacji. Ze względu na podobieństwo formy matematycznej i znaczenia fizycznego, wielkość *H* jest również nazywana Entropią, podobnie jak wielkość *S* w termodynamice i mechanice statystycznej[10].

Ostatnią składową w doborze metodologii jaką zastosowano, jest współczynnik korelacji Karla Pearsona, który mierzy ilościowo stopień skorelowania dwóch zmiennych *x* i *y*. Dla zbioru *n* par wartości *x* i *y*[11]. Innymi słowy, współczynnik ten określa poziom zależności liniowej między zmiennymi losowymi.

Poniżej zestawiono problematykę dotyczącą podjęcia oceny i klasyfikacji funkcjonowania OSD w Polsce, na podstawie przyjętych kryteriów (cech) badawczych.

A. Obliczenie wektora uporządkowania wariantów i ich interpretacja

Otrzymane wartości funkcji użyteczności szereguje się w ramach niniejszego etapu w wektor uporządkowania wariantów. Ewentualna analiza wrażliwości służy zbadaniu jaki wpływ będą miały zmiany czynników wpływających na spełnienie celu nadrzędnego.

Przeprowadzono modelowanie oparte na wielokryterialnych czynnikach determinujących funkcjonowanie OSD w kraju. Wykorzystując opisane powyżej metody badawcze, początkowo zaproponowano założenia dotyczące podziału parametrów w tabeli 33.

Tabela 2 Parametry badawcze

Cecha	Nazwa	Wskaźnik	Kategoria
C1	długość linii NN napowietrzne	-1	T
C2	długość linii NN kablowe	1	T
C3	długość linii NN razem	-1	T
C4	długość linii WN napowietrzne	-1	T

[10] N. Wu, *The Maximum Entropy Method*, wyd. Springer, s. 10.
[11] J.K. Szarma, *Business Statistics*, wyd. Taj Press, 2009, s. 273.

C5	długość linii WN kablowe	1	T
C6	długość linii WN razem	1	T
C7	długość linii SN napowietrzne	-1	T
C8	długość linii SN kablowe	1	T
C9	długość linii SN razem	1	T
C10	długośc linii nn napowietrzne	-1	T
C11	długośc linii nn kablowe	1	T
C12	długośc linii nn razem	1	T
C13	liczba przyłączy	1	T
C14	długość przyłączy	1	T
C15	liczba stacji NN	1	T
C16	liczba stacji WN	1	T
C17	liczba stacji SN	1	T
C18	liczba transformatorów NN	1	T
C19	liczba transformatorów WN	1	T
C20	liczba transformatorów SN	1	T
C21	moc transformatorów NN	1	T
C22	moc transformatorów WN	1	T
C23	moc transformatorów SN	1	T
C24	liczba odbiorców przyłączonych do sieci	1	E
C25	Wolumen dystrybuowanej energii [MWh]	1	E
C26	liczba przyłączonych prosumentów	1	S
C27	liczba przyłączonych instalacji OZE	1	S
C28	moc przyłączonych instalacji OZE	1	S
C29	kwota inwestycji wydana na przyłaczenie nowych odiorców	-1	E
C30	kwota na przyłączenie nowych źródel	-1	E
C31	kwota inwestycji na odtwarzanie majątku sieciowego	1	E
C32	pozostałe nakłady	1	E
C33	Kwota inwestycji traktowanych jako inwestycje w innowacje [mln zł]	1	E

C34	SAIDI na WN,SN i nn (nieplanowane+katastrofalne) [min/odb]	-1	T
C35	SAIDI na WN,SN i nn (planowane) [min/odb]	-1	T
C36	SAIFI na WN, SN i nn (nieplanowane+katastrofalne) [szt/odb]	-1	T
C37	SAIFI na WN, SN i nn (planowane) [szt/odb]	-1	T

Źródło: Opracowanie własne.

T – techniczne

E – ekonomiczne

S – sustainability

-1 –minimalizowanie wskaźnika

1 – maksymalizowanie wskaźnika

Dokonano korelacji rankingów pomiędzy poszczególnymi metodami wyznaczania wag (AHP i Entropia), wyrażone również współczynnikiem korelacji Pearsona dla dwóch zbiorów danych. W pierwszym przypadku metoda uwzględniała wszystkich OSD w Polsce, natomiast drugie ujęcie przedstawia tą korelację z wykluczeniem operatora Innogy – ze względu na specyfikę jego obszaru działania (wyłącznie Miasto Warszawa).

Ustalenie wag kryteriów: początkowo ustalono wagi głównych kryteriów eksperckich metodą AHP, a następnie utworzono macierz porównań (w parach) dla trzech wymiarów oceny.

Główne kryteria:

G1 - T – techniczne,

G2 - E – ekonomiczne,

G3 - S – sustainability.

Tabela 3. Przedefiniowana macierz wag kryteriów z wykorzystaniem metody AHP.

	T	E	S
T	1	1/4	6
E	4	1	8
S	1/6	1/8	1

Źródło: Opracowanie własne.

Zgodnie z powyższą macierzą, najwyższą wagę osiąga główne kryterium G2 (ekonomiczne), kolejno niższą ma G1 – techniczne, a najniższą G3 – sustainability

A1 – Enea Operator,

A2 – Energa Operator,

A3 – PGE Dystrybucja,

A4 – innogy Stoen Operator,

A5 – Tauron Dystrybucja.

Tabela 4. Zestawienie wartości funkcji użyteczności AHP, dla OSD w Polsce.

Ai	Name	2016	2017	2018	2019	2020
A1	ENEA Operator	0.1250	0.1330	0.1509	0.1202	0.1139
A2	ENERGA-Operator	0.1540	0.1504	0.1375	0.1378	0.1420
A3	PGE Dystrybucja	0.2070	0.2346	0.2235	0.2323	0.1802
A4	innogy Stoen Operator	0.2394	0.2391	0.2426	0.2625	0.3100
A5	TAURON-Dystrybucja	0.2654	0.2337	0.2362	0.2472	0.2540

Źródło: Opracowanie własne

Dla powyższych wyników, opracowano rankingi (klasyfikację):

Tabela 5 Ranking OSD.

Ai	Name	2016	2017	2018	2019	2020
A1	ENEA Operator	5	5	4	5	5
A2	ENERGA-Operator	4	4	5	4	4
A3	PGE Dystrybucja	3	2	3	3	3
A4	innogy Stoen Operator	2	1	1	1	1
A5	TAURON-Dystrybucja	1	3	2	2	2

Źródło: Opracowanie własne.

Z powyższej klasyfikacji, można zaobserwować, iż Stoen Operator jest liderem w latach 2017-2020 i tylko w roku 2016 jego klasyfikacja wynosiła drugie miejsce względem pozostałych OSD. Pozycję lidera Stoen zawierza jednak swoistej specjalizacji działania. Udział spółki w 2006 roku, w rynku dystrybucji energii wynosił niespełna 5,6%.

Tabela 6 Zestawienie wartości funkcji użyteczności AHP, dla OSD w Polsce – z wykluczeniem Innogy Stoen.

Ai	2016	2017	2018	2019	2020
A1	0.2031	0.2163	0.2110	0.1787	0.1823
A2	0.2147	0.2162	0.2247	0.2073	0.2223
A3	0.2585	0.2780	0.2686	0.2814	0.2454
A5	0.3144	0.2803	0.2865	0.3233	0.3408

Źródło: Opracowanie własne.

Odpowiednio, dla powyższych wyników opracowano klasyfikację:

Tabela 7. Ranking OSD – z wykluczeniem Innogy Stoen.

Ai	2016	2017	2018	2019	2020
A1	4	3	4	4	4
A2	3	4	3	3	3
A3	2	2	2	2	2
A5	1	1	1	1	1

Źródło: Opracowanie własne

W powyższym przypadku, zdecydowanym liderem jest Tauron Dystrybucja, a miejsce za nim zajmuje spółka PGE. Ciekawym rezultatem są pozycje Energii oraz Enei, które to w każdym kolejnym roku wymieniają się klasyfikacją na odpowiednio trzecim oraz czwartym miejscu. A więc ich udział w rynku wydaje się być na bardzo podobnym poziomie. Energa Operator obejmuje obszary mn. in. nad morzem bałtyckim, i aglomeracją o dużym znaczeniu w jej obszarze jest trójmiasto (Gdańsk, Gdynia i Sopot), a więc punkt o dużym znaczeniu gospodarczym kraju, jednak w ostatnich czasach o zmieniającym się charakterze, z hubu przemysłowego tj. funkcjonującego portu morskiego na hub usługowy. Ponadto, jest to również kierunek atrakcyjny turystycznie, który również wymaga dużego zaopatrzenie w energię elektryczną (wysoka sezonowość).

Następnym krokiem było wyznaczenie wag za pomocą metody Entropii:

Ci	Weights
C1	0.0921
C2	0.1686
C3	0.0921
C4	0.0051
C5	0.0126
C6	0.0052
C7	0.0090
C8	0.0054
C9	0.0066
C10	0.0149
C11	0.0027
C12	0.0093

C13	0.0141
C14	0.0236
C15	0.1686
C16	0.0049
C17	0.0060
C18	0.1002
C19	0.0050
C20	0.0066
C21	0.0938
C22	0.0078
C23	0.0040
C24	0.0064

C25	0.0083
C26	0.0077
C27	0.0076
C28	0.0058
C29	0.0044
C30	0.0255
C31	0.0029
C32	0.0062
C33	0.0434
C34	0.0077
C35	0.0070
C36	0.0044
C37	0.0046

Kolejno, dla wszystkich alternatyw zbioru, przeprowadzono ocenę AHP, dla której wartości funkcji użyteczności przedstawiono w tabelach:

Tabela 8. Wyniki modelowania dla wszystkich alternatyw zbioru.

Ai	2016	2017	2018	2019	2020
A1	0.0667	0.0623	0.0701	0.0618	0.0558
A2	0.0890	0.0813	0.0801	0.0806	0.0730
A3	0.2508	0.1718	0.2339	0.2422	0.2139
A4	0.2414	0.2297	0.2420	0.4075	0.4400
A5	0.2119	0.3204	0.2324	0.2079	0.2173

Źródło: Opracowanie własne.

Utworzono odpowiednią klasyfikację:

Tabela 9. Ranking OSD II z wykorzystaniem metody Entropii.

Ai	2016	2017	2018	2019	2020
A1	5	5	5	5	5
A2	4	4	4	4	4
A3	1	3	2	2	3
A4	2	2	1	1	1
A5	3	1	3	3	2

Źródło: Opracowanie własne.

Następnie przeprowadzono badanie, dla zestawu alternatyw wykluczając innogy Stoen Operator.

Tabela 10. Wyniki modelowania dla zbioru – z wyłączeniem Innogy Stoen.

Ai	2016	2017	2018	2019	2020
A1	0.0616	0.0552	0.0551	0.0501	0.0545
A2	0.0662	0.0581	0.0640	0.0581	0.0659
A3	0.4237	0.2203	0.4142	0.4319	0.4141
A5	0.2814	0.5048	0.2972	0.2886	0.2968

Źródło: Opracowanie własne.

oraz odpowiednio, utworzono rankingi:

Tabela 11. Ranking OSD z wykorzystaniem metody Entropii. – z wykluczeniem Innogy Stoen

Ai	2016	2017	2018	2019	2020
A1	4	4	4	4	4
A2	3	3	3	3	3

A3	1	2	1	1	1
A5	2	1	2	2	2

Źródło: Opracowanie własne.

W wyniku przeprowadzonych badań oraz proponowanych korelacji rankingów wyznaczonych z wagami wyznaczonymi metodą AHP (eksperckie) i z wagami obiektywnymi (Entropia). Korelacja zmierzona przy pomocy współczynnika korelacji Pearsona przedstawiono w tabelach

Tabela 12. Korelacja Pearsona dla wskazanych współczynników – dla pełnego zestawu danych.

	2016	2017	2018	2019	2020
Corr coeff	0.6	0.7	0.8	0.9	1

Źródło: Opracowanie własne.

oraz

Tabela 13. Korelacja Pearsona dla wskazanych współczynników – z wyłączeniem Innogy Stoen.

	2016	2017	2018	2019	2020
Corr coeff	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Źródło: Opracowanie własne.

Rezultaty powyższej korelacji należy interpretować jako silną zależność pomiędzy jednostkami w całym rynku energetycznym, jednakże badanie przeprowadzone zostało dla podmiotów o bardzo specjalistycznej działalności podstawowej oraz wszystkie podmioty wykazują ugruntowaną pozycję w sektorze. Ponadto, w obszarze dystrybucji energii, występuje podział geograficzny całego kraju, co w naturalny sposób determinuje pewne aspekty funkcjonowania wybranych OSD. Do czynników które w badanym okresie mogą wpływać na proponowaną klasyfikację, zalicza się takie uwarunkowania jak bieżąca sytuacja makroekonomiczna w kraju, ceny energii czy praw majątkowych oraz uprawnień do emisji CO_2, popyt na energię, a także determinanty prawne. Analiza obejmowała okres pięciu lat tj. 2016-2020. Zdefiniowanie wag w dużym stopniu warunkuje powyższe wyniki oraz rankingi.

Ustalenie kryteriów było procesem złożonym, wymagającym określonej wiedzy eksperckiej. Ponadto, należy uwzględnić naturalne determinanty które działają na OSD, które to stanowią podstawowe elementy ich funkcjonowania tj. np. obszar działania wybranego OSD w kraju. Wykorzystano również metodę wag Entropii, aby dokładniej przedstawić proponowane kryteria. Wskaźniki korelacji osiągnęły wysokie wartości, co potwierdza rzetelność przedstawionych wyników oraz całkowitej procedury badawczej. Dostrzega się również dalszą potrzebę (analizę porównawczą) z większą ilością obiektywnych technik definiujących początkowe wagi, dla wybranych kryteriów, lub zawężenie badanych kryteriów w celu dostrzeżenia potencjalnej szansy, na rozwój wybranego OSD lub zdefiniowania procesów, zagrażających poprawnemu funkcjonowaniu operatorów systemów dystrybucyjnych.

VI. Wnioski końcowe

Sektor energetyczny odgrywa kluczową rolę zarówno dla bezpieczeństwa krajowego jak również dla funkcjonowania pozostałych gałęzi gospodarczych w kraju. Ponadto, jest on w dużym stopniu regulowany pomimo wielu dynamicznych zmian. Transformacja energetyczna która dokonuje się w bieżących latach, będzie determinować funkcjonowanie pozostałych sektorach gospodarczych w jeszcze większym stopniu niż miało to miejsce jeszcze kilkanaście lat temu. W dysertacji dokonano dogłębnej analizy funkcjonowania OSD na rynku energii oraz w sektorze. Wypełniono lukę badawczą, zestawiając korelację wielokryterialnych parametrów funkcjonowania tych podmiotów w Polsce, na przestrzeni analizowanych lat. Należy jednak pamiętać, iż pewne determinanty wywodzą się z naturalnego monopolu geograficznego w którym funkcjonują te przedsiębiorstwa.

Ponadto, na rynku energii pojawiają się nowe podmioty po stronie popytu, które w znaczący sposób wpływają na działanie przedsiębiorstw takich jak OSD, a jednocześnie wpływają na niezawodność sieci energetycznych. Ten dynamicznie zmieniający się krajobraz sektora, stwarza nowe wyzwania operacyjne dla funkcjonowania systemu elektroenergetycznego zarówno na poziomie masowym, jak i dystrybucyjnym. Nowa rola OSD w zmieniającym się rynku energii, może stawić czoła tym wyzwaniom, jednocześnie kreując przestrzeń dla przyszłej, w pełni zintegrowanej sieci smart, która w przyszłości będzie podstawą kompleksowego funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, w której to różni interesariusze będą implementować nowe rozwiązania i czerpać z nich potencjalne korzyści. Takie rozwiązania pozwolą na monitorowanie bardzo wielu parametrów sieciowych oraz pozwolą na wymianę informacji w czasie rzeczywistym, niezbędnych do stałego podnoszenia poziomu niezawodności sieci energetycznych. Ponadto, inteligentne sieci są kluczową

innowacją w zakresie systemów elektroenergetycznych, które mogą sprawić, by dzisiejsza infrastruktura mogła sobie radzić z wyzwaniami niezawodnego i wydajnego systemu dostawy energii elektrycznej (z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii).

Procedura badawcza przeprowadzona w ramach rozprawy doktorskiej przebiegła zgodnie z nakreślonym planem. Cel pracy tj. wskazanie pożądanych kierunków zarządzania rozwojem Operatorów Systemu Dystrybucyjnego w Polsce, w kontekście zwiększenia niezawodności ich sieci elektroenergetycznej został osiągnięty. Wyznaczono również pomocnicze cele badawcze, do których należało opracowanie charakterystyki potencjałów rozwojowych OSD oraz analiza zasobów którymi dysponują, określenie rang OSD w Polsce, dokonanie analizy kierunków inwestycyjnych oraz struktur organizacyjnych, jak również wskazanie głównych czynników otoczenia zewnętrznego, mających wpływ na funkcjonowanie tych podmiotów w kraju. Sformułowane wnioski stały się niezbędnym materiałem do opracowania klasyfikacji OSD w Polsce. Aby wykonać zadanie, które zostało zapisane w postaci celu głównego, Autor dokonał dogłębnego przeglądu materiałów źródłowych pochodzących z przedsiębiorstw pełniących funkcję OSD w Polsce oraz literatury krajowej i zagranicznej. Rezultaty tej korelacji należy interpretować jako silną zależność pomiędzy jednostkami w całym rynku energetycznym, jednakże badanie przeprowadzone zostało dla podmiotów o bardzo specjalistycznej działalności podstawowej. Co więcej, wszystkie podmioty wykazują ugruntowaną pozycję w sektorze. Ponadto, w obszarze dystrybucji energii, występuje podział geograficzny całego kraju, co w naturalny sposób determinuje pewne aspekty funkcjonowania wybranych OSD. Do czynników, które w badanym okresie mogą wpływać na proponowaną klasyfikację, zalicza się takie uwarunkowania jak bieżąca sytuacja makroekonomiczna w kraju, ceny energii czy praw majątkowych oraz uprawnienia do emisji CO_2, popyt na energię, a także determinanty prawne. Zdefiniowanie wag w dużym stopniu warunkuje powyższe wyniki oraz rankingi. Ustalenie kryteriów było procesem złożonym, wymagającym określonej wiedzy eksperckiej. Ponadto, należy uwzględnić naturalne determinanty które działają na OSD, które to stanowią podstawowe elementy ich funkcjonowania tj. np. obszar działania wybranego OSD w kraju. Wykorzystano również metodę wag Entropii, aby dokładniej przedstawić proponowane kryteria. Wskaźniki korelacji osiągnęły wysokie wartości, co potwierdza rzetelność przedstawionych wyników oraz całkowitej procedury badawczej. Dostrzega się również dalszą potrzebę (analizę porównawczą) z większą ilością obiektywnych technik definiujących początkowe wagi, dla wybranych kryteriów, lub zawężenie badanych kryteriów w celu dostrzeżenia potencjalnej szansy, na rozwój wybranego OSD lub zdefiniowania procesów, zagrażających poprawnemu

funkcjonowaniu operatorów systemów dystrybucyjnych. Sformułowana hipoteza badawcza mówiąca o tym, że największe OSD w Polsce prowadzą indywidualną politykę zarządzania rozwojem, dążąc do niezawodności sieci elektroenergetycznej została potwierdzona. Dostrzega się jednak obszary wspólne związane z inwestycjami sieciowymi.

Należy zatem dokonać dalszej analizy pod kątem zarządzania ryzykiem w wybranych OSD, których podstawowa działalność w każdym segmencie narażona jest na ryzyka, a ich materializacja może w istotny, niekorzystny sposób wpłynąć na ciągłość działania poszczególnych jednostek, ich sytuację finansową oraz zdolność do realizacji wytyczonych celów strategicznych. Świadomość tych zagrożeń wymaga utrzymania, wykorzystania i ciągłego udoskonalania sformalizowanego i zintegrowanego systemu zarządzania ryzykiem (ERM).

Ponadto, w dysertacji zaproponowano szereg rozwiązań które mogą mieć istotne znaczenie względem przyszłego funkcjonowania OSD oraz zaproponowano różne formy poprawy jakości działania poszczególnych obszarów Operatorów. Jest to jednak proces długi i wymaga odpowiednich nakładów finansowych, potencjalnie większych niż do tej pory OSD przeznaczali na rozwój swoich zasobów. Szczególnie inwestycje te mogą być znaczne, w początkowych etapach badań nad rozwojem technologii oraz w pierwszych fazach jej wdrożenia i integracji na sieci. Proces ten wydaje się być jednak nieunikniony i pozwoli otworzyć się OSD, na nowe ścieżki rozwoju swoich usług.

Aby dokonać pełnej analizy zagadnienia, wykorzystano wybrane metody badawcze, do których należały:

1. Analiza literatury przedmiotu – zarys teoretyczny podstaw podjętego tematu.
2. Badania porównawcze – analiza założonego celu ze stanem rzeczywistym.
3. Analiza przypadków – szczegółowe rozważania wybranych sytuacji w związku z badanym zjawiskiem.
4. Metody matematyczno-statystyczne – analiza danych pochodzących ze źródeł pierwotnych i wtórnych.
5. Analiza logiczna – w celu przedstawienia wyników, interpretacji problemu badawczego oraz znalezienia rozwiązania drogą indukcji i dedukcji.
6. Badania własne – próba opracowania własnej, modelowej koncepcji zarządzania dla wskazanego przypadku.

Podjęcie tej tematyki badawczej podyktowane było nie tylko faktem, iż sektor energetyczny jest kluczowym sektorem w gospodarce i warunkuje funkcjonowanie pozostałych gałęzi w gospodarce krajowej, ale także próbą stworzenia rankingu największych OSD w Polsce.

Problematyka perspektyw zarządzania i rozwoju OSD jest tematyką aktualną. Do tej pory w literaturze przedmiotu zagadnienia związane ze stworzeniem rankingu Operatorów Systemu Dystrybucyjnego, w kontekście realizowanych przez te przedsiębiorstwa strategii rozwojowych, wciąż wydawało się być zagadnieniem marginalizowanym i jednocześnie trudnym do określenia – dlatego też poniższe opracowanie ma za zadanie wypełnienie luki badawczej w tym zakresie.

Aktualnie, połączenie wiedzy z zakresu zarządzania systemami elektroenergetycznymi oraz informatyki jest kluczem dla rozwoju nowych kompetencji w nowej dziedzinie edukacji. Rozwój techniczny w obszarze przyszłych sieci dystrybucyjnych obejmuje pewne aspekty interdyscyplinarne i wymaga współpracy różnych kierunków studiów np. energetyka, informatyka, ekonomia, prawo i inne nauki społeczne, dlatego tak ważne jest odpowiednie zarządzanie inwestycjami strategicznymi, mającymi na celu dalszy rozwój podmiotów jakimi są OSD w sektorze energetycznym. Rozprawa doktorska stanowi próbę rozwiązania ważnego oraz aktualnego problemu, z którymi spotykają się wszystkie przedsiębiorstwa w sektorze energetycznym pełniące funkcję OSD w Polsce.

Przygotowana dysertacja stanowi także próbę połączenia podsumowania wiedzy teoretycznej z rozwiązaniami praktycznymi. Postulowane w pracy rozwiązania problemu badawczego odnoszą się do ważnych aspektów funkcjonowania sektora energetycznego oraz zachowania bezpieczeństwa energetycznego kraju. W ramach rozprawy wskazano, że intensywnie realizowane inwestycje, w ostatnim okresie w polskich OSD stanowią wyzwanie w perspektywie ewolucji sektora energetycznego.

W rozprawie starano się przedstawić oryginalne i praktyczne podejście do analizy skuteczności realizacji inwestycji sieci elektroenergetycznych oraz nie sieciowych w strukturach OSD, co przekłada się na stałą poprawę parametrów niezawodności sieci. Przyjęte podejście do badań umożliwiło weryfikację hipotezy i przedstawienie perspektyw rozwoju OSD w Polsce. Autor rozprawy zdaje sobie sprawę z niepełności i niedoskonałości przeprowadzonych badań, wskazując jednocześnie że, przyszłe badania w tym zakresie mogłyby być rozszerzone o korelacje funkcjonowania polskich i europejskich OSD, styczność tych podmiotów z prosumentami, szczególnie w aspekcie rozwoju OZE.