

**WARIANTOWA OCENA POLITYKI EKSPLOATACYJNEJ WYBRANYCH  
PRZEDSIĘBIORSTW ZARZĄDZAJĄCYCH SIECIOWYMI SYSTEMAMI  
TECHNICZNYMI**

*Andrzej LOSKA  
Politechnika Śląska*

**Streszczenie:** Artykuł przedstawia praktyczne uwarunkowania realizacji taksonomicznej metody oceny polityki eksploatacyjnej opracowanej przez autora i opisanej w artykule pt. „Metodyka wariantowej oceny polityki eksploatacyjnej z wykorzystaniem narzędzi taksonomii numerycznej” (Management Systems in Production Engineering nr 2(18)/2015). W pierwszej części artykułu, w oparciu o wyniki dotychczasowych badań, zweryfikowano opracowaną metodykę w oparciu o dane eksploatacyjne trzech przedsiębiorstw zarządzających sieciowymi systemami technicznymi (system wodociągowy, system kanalizacyjny, system ciepłowniczy). Druga część artykułu obejmuje interpretację uzyskanych wyników taksonomicznej oceny polityki eksploatacyjnej, a także wskazania dotyczące możliwych procedur postępowania w badanych przedsiębiorstwach w zakresie realizacji prac obsługowo-naprawczych.

**Słowa kluczowe:** polityka eksploatacyjna, taksonomia numeryczna, sieciowe systemy techniczne, zarządzanie eksploatacją i utrzymaniem ruchu

**WPROWADZENIE**

Zaprezentowane w artykule wyniki, stanowią kontynuację prowadzonych przez autora badań nad sposobami oceny funkcjonowania służb technicznych w przedsiębiorstwach przemysłowych i usługowych. Punktem wyjścia jest w tym przypadku opracowany sposób oceny polityki eksploatacyjnej, który został opisany w [21]. W tym zakresie:

- a) zdefiniowano zakres pojęcia polityka eksploatacyjna jako zbiór cech i ich odwzorowania dla potrzeb kolejnych realizacji sytuacji decyzyjnych w ramach eksploatacyjnego procesu decyzyjnego,
- b) przyjęto i uzasadniono, że w miarę pełny opis polityki eksploatacyjnej ma charakter wieloaspektowy i może zostać zrealizowany na drodze budowy modeli obrazujących relacje pomiędzy technicznymi, organizacyjnymi i ekonomicznymi aspektami działania poszczególnych systemów technicznych i funkcjonowania służb utrzymania ruchu,
- c) przyjęto i uzasadniono, że ilościowa ocena polityki eksploatacyjnej powinna być prowadzona w oparciu o wielowymiarowy zbiór wartości wynikający z realizacji prac obsługowo-naprawczych określonych kategorii, w świetle kluczowych cech opisujących najważniejsze aspekty funkcjonowania służb utrzymania ruchu,
- d) opracowano sposób ilościowej oceny polityki eksploatacyjnej, który zakłada taksonomiczne przekształcenie wartości kluczowych cech opisujących w sposób rozproszony poszczególne fragmenty realizowanych procesów eksploatacyjnych, w zmienną syntetyczną,

- e) przyjęto i uzasadniono, że uzyskaną zmienną syntetyczną można interpretować jako swoistą wypadkową oceny polityki eksploatacyjnej w zakresie rozpatrywanych zdarzeń i procesów eksploatacyjnych,
- f) opracowany sposób oceny polityki eksploatacyjnej pozwala na prowadzenie wariantowej analizy porównawczej mającej przełożenie na eksploatacyjny proces decyzyjny.

Opracowany i opisany w [21] wieloaspektowy sposób oceny polityki eksploatacyjnej został, w dalszej części tego artykułu, poddany weryfikacji w warunkach funkcjonowania trzech odrębnych sieciowych systemów technicznych: systemu wodociągowego, systemu kanalizacyjnego i systemu ciepłowniczego. Zamieszczone w artykule wyniki są jednym z kluczowych elementów i fragmentów badań autora nad metodyką modelowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego z zastosowaniem metod scenariuszowych.

### **SPECYFIKA EKSPLOATACYJNA SIECIOWYCH SYSTEMÓW TECHNICZNYCH**

Sieciowe systemy techniczne wchodzą w skład infrastruktury stanowiącej podstawę funkcjonowania sektorów inżynieryjnych przedsiębiorstw przemysłowych i gospodarki komunalnej [4, 9]. Do sieciowych systemów technicznych, będących przedmiotem eksploatacyjnych badań ujętych w tym artykule, należą: system wodociągowy, system kanalizacyjny i system ciepłowniczy [10, 11, 26].

Przebieg i realizacja procesów eksploatacyjnych w sieciowych systemach technicznych są przedmiotem wielu prac i publikacji naukowych, obejmujących zarówno techniczne aspekty ich budowy [10, 26, 5, 35, 11, 1], jak również procedury obsługowo-naprawcze [6, 24, 25, 7, 8, 9, 3]. Należy również wskazać na podejmowane próby budowy i weryfikacji modeli ekonomicznych opisujących szeroko rozumianą opłacalność prowadzenia użytkowania sieciowych systemów technicznych, a także celowość i możliwość ich odnowy [12, 27, 31, 28]. Szczególnie istotnymi obszarami publikowanych prac badawczych jest bezwykopowa wczesna identyfikacja nieszczelności sieci i uszkodzeń jej uzbrojenia, jak również statystyczna analiza zużycia (ocena niezawodności), w aspekcie materiałowym, czy w świetle oddziaływań zewnętrznych [13, 18, 22, 30, 32, 33]. W rezultacie przeprowadzonej szczegółowej analizy literaturowej, zauważono:

- dotychczasowe zdecydowanie większe zainteresowanie badawcze procesami eksploatacyjnymi w fazie przedzdarzeniowej (m.in. identyfikacja, lokalizacja i ocena przyczyn występowania uszkodzeń), niż w fazie pozdarzeniowej (m.in. procedury prowadzenia prac obsługowo-naprawczych, organizacja i optymalizacja zasobów obsługowo-naprawczych),
- ocena efektów eksploatacyjnego procesu decyzyjnego charakteryzuje się unikalnością dla poszczególnych rozpatrywanych tutaj klas systemów technicznych, co skutkuje dużą różnorodnością miar, budowanych w sposób indywidualny i interpretowanych w ramach różnych układów odniesienia.

Typowe modelowe sposoby opisu polityki eksploatacyjnej (m.in. model obszarów i zadań realizacji funkcji zarządczych [2, 14], model Business Centered Maintenance – BCM [16, 20], model Total Productive Maintenance – TPM [23, 29], czy model grafowy [17, 34]) są charakterystyczne dla produkcyjnych systemów technicznych. Specyfika eksploatacji sieciowych systemów technicznych [13, 15, 18], powoduje konieczność uwzględnienia

ograniczeń zarówno w budowie modeli polityki eksploatacyjnej, jak i w sytuacji wyboru cech stanowiących podstawę oceny jej efektywności. W tym przypadku, kluczowym rozpatrywanym tutaj problemem jest trudnodostępność obsługowo-naprawcza sieciowych systemów technicznych, ograniczająca możliwości pozyskiwania tych wartości cech, które w ujęciu wyżej wymienionych modeli stanowią trzon oceny. Stąd, prezentowane w tym artykule podejście, opiera się na założeniu o:

- występowaniu wspólnych cech sieciowych systemów technicznych różnych kategorii, warunkujących możliwość kształtowania polityki eksploatacyjnej według podobnych zasad techniczno-organizacyjno-ekonomicznych,
- występowaniu specyfiki eksploatacyjnej sieciowych systemów technicznych, powodującej konieczność uwzględnienia ograniczeń wpływających zarówno na zakres koniecznych do uwzględnienia cech, jak i na możliwość ich systematycznego pozyskiwania.

Analiza zbiorów danych i informacji pozyskanych przez autora w obszarze zarządzania eksploatacją badanych sieciowych systemów technicznych potwierdziła, że wystarczający zestaw cech kluczowych, pozwalający na zdefiniowanie ilościowego obrazu polityki eksploatacyjnej, w warunkach specyfiki sieciowego systemu technicznego, obejmuje: koszty, czas i ilość realizowanych prac obsługowo-naprawczych.

## TAKSONOMICZNA OCENA POLITYKI EKSPLOATACYJNEJ ANALIZOWANYCH SIECIOWYCH SYSTEMÓW TECHNICZNYCH

W oparciu o opracowany sposób oceny polityki eksploatacyjnej [21], przeprowadzono taksonomiczną ocenę funkcjonowania organizacji utrzymania ruchu wybranych trzech przedsiębiorstw zarządzających sieciowymi systemami technicznymi, w tym: systemem wodociągowym, systemem kanalizacyjnym i systemem ciepłowniczym<sup>1</sup>.

Uwzględniając specyfikę i uwarunkowania funkcjonowania sieciowych systemów technicznych założono, że budowa modelu taksonomicznego zostanie oparta na czterech kategoriach prac obsługowo-naprawczych i trzech cechach kluczowych polityki eksploatacyjnej, których interpretację przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

**Kategorie prac obsługowo-naprawczych i cech kluczowych polityki eksploatacyjnej, dla potrzeb budowy taksonomicznego modelu oceny polityki eksploatacyjnej**

Kategorie prac obsługowo-naprawczych	Cechy kluczowe polityki eksploatacyjnej
<p><b>Przeglądy,</b> mające na celu kontrolę oraz ocenę stopnia zużycia lub uszkodzenia fragmentów sieci, uzbrojenia lub obiektów i urządzeń inżynierskich.</p> <p><b>Konserwacje,</b> których zadaniem jest utrzymywanie działania sieciowego systemu technicznego.</p> <p><b>Naprawy,</b> których celem jest usunięcie skutków zdarzenia niezamierzonego.</p> <p><b>Remonty,</b> których zadaniem jest powrotne doprowadzenie obiektu do stanu zdatności funkcjonalnej (odtworzenie początkowego potencjału eksploatacyjnego).</p>	<p><b>Koszty</b> zrealizowanych prac obsługowo-naprawczych interpretowane w sferze ekonomicznej i wyrażające poziom wykorzystania zasobów, przede wszystkim materialnych, uzupełnione wartością pracochłonności realizacji wszystkich prac tego typu w analizowanym okresie.</p> <p><b>Czas realizacji prac obsługowo-naprawczych</b> interpretowany w sferze technicznej i wyrażające poziom pracochłonności realizacji wszystkich prac określonego typu w analizowanym okresie.</p> <p><b>Ilość zrealizowanych prac obsługowo-naprawczych</b> interpretowana w sferze organizacyjnej i wyrażająca potencjał zasobowy organizacji utrzymania ruchu.</p>

<sup>1</sup> Ze względu na zakres informacji, które mogą stanowić wartość strategiczną, autor świadomie pominął nazwy badanych przedsiębiorstw, co w żaden sposób nie wpływa na wartość przeprowadzonych analiz.

Uwzględniając treści zawarte tabeli 1, schemat uporządkowania wielkości wejściowych taksonomicznego modelu oceny polityki eksploatacyjnej, w odniesieniu do eksploatowanych sieciowych systemów technicznych, przyjmuje postać zestawioną w tabeli 2.

**Tabela 2.**  
**Zbiór wielkości wejściowych modelu oceny polityki eksploatacyjnej sieciowych systemów technicznych**

		Koszty	Czas	Ilość
	W/B	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>
Przeglądy	b <sub>1</sub>	ch <sub>11</sub>	ch <sub>12</sub>	ch <sub>13</sub>
Konserwacje	b <sub>2</sub>	ch <sub>21</sub>	ch <sub>22</sub>	ch <sub>23</sub>
Naprawy	b <sub>3</sub>	ch <sub>31</sub>	ch <sub>32</sub>	ch <sub>33</sub>
Remonty	b <sub>4</sub>	ch <sub>41</sub>	ch <sub>42</sub>	ch <sub>43</sub>

W dalszych pracach nad taksonomiczną oceną polityki eksploatacyjnej wybranych sieciowych systemów technicznych, przyjęto jednolitą procedurę postępowania badawczego, składającą się z następujących kroków:

- a. identyfikacja źródeł danych i miejsc ich powstawania, odrębnie dla każdego sieciowego systemu technicznego, dla potrzeb uporządkowania wartości analizowanych cech,
- b. przeprowadzenie taksonomicznej oceny polityki eksploatacyjnej, zgodnie z procedurą opisaną w [21],
- c. dokonanie interpretacji uzyskanych wyników, zarówno w ujęciu indywidualnym, jak i w układzie porównawczym w odniesieniu do pozostałych analizowanych sieciowych systemów technicznych.

Przeprowadzone rozpoznanie uwarunkowań funkcjonowania organizacji utrzymania ruchu w badanych przedsiębiorstwach, wykazało duże zróżnicowanie w zakresie sposobów pozyskiwania, gromadzenia i przetwarzania danych o realizowanych pracach obsługowo-naprawczych, które można sprowadzić do następujących wniosków i spostrzeżeń:

1. Zakres gromadzonych danych. W tym aspekcie zauważono:
  - pełną powtarzalność atrybutów pozwalających na identyfikację trzech głównych cech, czyli kosztów, czasu realizacji i ilości prac obsługowo-naprawczych, w strukturze pozyskiwanych danych w odniesieniu do wszystkich badanych sieciowych systemów technicznych,
  - dużą swobodę interpretacyjną kategorii prac obsługowo-naprawczych, która przejawiała się w znacznych różnicach porządkowania zadań o podobnej specyfice i zakresie realizacji (np. praca dotycząca udrażniania kanału kanalizacyjnego w jednym przypadku była konserwacją, w innym zaś naprawą),
  - czytelny i jednoznaczny podział gromadzonych danych na obszary lokalizacyjne, takie jak strefy czy dzielnice.
2. Sposoby pozyskiwania danych o przebiegu i wynikach realizacji prac obsługowo-naprawczych. Aspekt ten wynikał z organizacyjnych i technicznych różnic w zakresie przebiegu prac obsługowo-naprawczych, ze szczególnym naciskiem na etap dokumentowania. Zauważono praktykę dwóch odmiennych sposobów

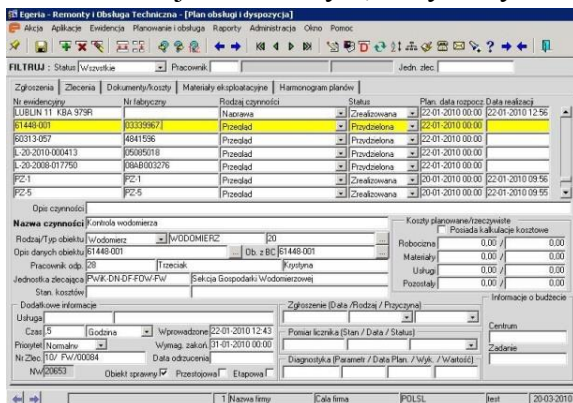
postępowania, które mają potencjalny wpływ na zakres i jakość pozyskiwanych danych, a mianowicie:

- a. nadążne (bieżące) pozyskiwanie danych z poszczególnych etapów i/lub kroków realizacji prac obsługowo-naprawczych,
- b. powykonawcze (końcowe) pozyskiwanie danych ze wszystkich etapów i/lub kroków zrealizowanych prac obsługowo-naprawczych.

Można zauważyć, że każdy z wymienionych sposobów posiada swoje zalety, które należy interpretować indywidualnie, w kategoriach dostępnego potencjału organizacji utrzymania ruchu (m.in. możliwości kadrowych, sprzętowych i informacyjno-informacyjnych). Warto również wskazać na pewne zagrożenia, które w przypadku wariantu „a” – mogą w określonych warunkach niedoboru potencjału ludzkiego, prowadzić do obniżenia efektywności realizacji prac obsługowo-naprawczych, a w przypadku wariantu „b” – istnieje ryzyko świadomego lub nieświadomego pominięcia lub nadinterpretacji faktów i zdarzeń, które miały miejsce.

3. Techniki gromadzenia danych. W analizowanych przedsiębiorstwach zidentyfikowano dwie odmienne techniki wykorzystywane do gromadzenia danych i informacji o zrealizowanych pracach obsługowo-naprawczych:

- technikę komputerową, w postaci sieciowego systemu informatycznego opartego na bazie danych, stanowiącą podstawę gromadzenia danych i informacji z realizacji prac obsługowo-naprawczych, a jednocześnie wytyczającego i kontrolującego procedury ich pozyskiwania,
- technikę tradycyjną, w postaci kartotek prac obsługowo-naprawczych czy ksiąg raportowych, uzupełnionych o zestawienia opracowywane w układzie jednostkowym, z wykorzystaniem arkuszy kalkulacyjnych czy edytorów tekstu.



Karta pracy			
Plan	Miesięczna karta pracy	nr 2	Pracownicy - stanowiska: warstwiak WP
ZC-1 Remonty	za miesiąc	Kwiecień 2013	
			liczna ilość godzin
			784
<b>LOKALIZACJA ROBÓT, OPIS ROBÓT</b>			Sumaryczna ilość godzin EBC
			Stanowiska kosztów
Lp.			
1	Wymiana zaworu DN 150 przyłącze od ul. Kujawskiej (zdjęcie pokrywy studzienki, wymiana zaworu, montaż pokrywy)	30	538-16-118-197
2	Wykonanie odpowietrzania pompy przevalowej nr 1 oraz wymian oleju	35	538-16-117-173
3	Przebieżenie nadciżgu głównego ładmodagu nawigacyjnego WR ( przygotowanie materiału likwidacja starego nadciżgu montaż nowego oraz wykonanie ruchu pr. obrotowego)	112	538-13-255-120
4	Wymiana zaworów odnawiających pompę podgrzewacza powietrza WR nr 1	8	538-11-251-012
5	Wymiana zaworów odnawiających pompę podgrzewacza powietrza WR nr 4 oraz wykonanie odłączenia od strony izolatora	16	538-11-254-058
6	Wykonanie wpięcia instalacji osuszacza do wody grzałnej DEMI ( zakalkulowano prace ), oraz wykonano piankowania połączeń precyzyjnych od budynku stacji sortowania do osuszacza	60	538-14-797-307
7	Wykonanie odwodnienia rurociągu zasilającego WR nr 1	8	538-11-251-010
8	Remont oddziałka WR nr 1 strona lewa i prawa (piankowanie ślizgowy, rolki, wymiana taśmy zgrzewalowej prawa strona)	70	538-14-256-133

**Rys. 1. Przykłady technik gromadzenia danych dla potrzeb taksonomicznej oceny polityki eksploatacyjnej:**

- a. technika komputerowa - moduł remontowy systemu klasy ERP,
- b. technika tradycyjna - miesięczna karta pracy

Przykłady dwóch technik gromadzenia danych, dla potrzeb budowy taksonomicznych modeli oceny polityki eksploatacyjnej, pokazano na rys. 1, natomiast syntetyczne zestawienie kluczowych aspektów pozyskiwania, gromadzenia i przetwarzania danych o realizowanych pracach obsługowo-naprawczych, w odniesieniu do analizowanych sieciowych systemów technicznych, zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3.

Zestawienie kluczowych aspektów pozyskiwania, gromadzenia i przetwarzania danych o realizowanych pracach obsługowo-naprawczych w odniesieniu do analizowanych sieciowych systemów technicznych

Aspekt	System wodociągowy	System kanalizacyjny	System ciepłowniczy
Zakres gromadzonych danych	bardzo wysoka spójność i jednoznaczność danych i informacji podział obszaru działalności obsługowo-naprawczej na strefy ciśnień konsekwentne stosowanie czterech kategorii prac obsługowo-naprawczych <sup>27</sup>	średnia spójność i jednoznaczność danych i informacji podział obszaru działalności obsługowo-naprawczej na dzienne niekonsekwentne stosowanie czterech kategorii prac obsługowo-naprawczych	nierównomierność strukturalna zakresu danych i informacji podział obszaru działalności obsługowo-naprawczej na strefy konsekwentne stosowanie czterech kategorii prac obsługowo-naprawczych
Sposoby pozyskiwania danych o realizacji prac obsługowo-naprawczych	przeglądy, konserwacje i naprawy powykonawcze remonty - nadążne	powykonawcze	powykonawcze
Techniki gromadzenia danych	baza danych modułu „remontowego” systemu klasy ERP	technika tradycyjna – naprawy, remonty technika komputerowa – przeglądy, konserwacje	technika tradycyjna – sieć ciepłownicza wraz z uzbrojeniem technika komputerowa - ciepłownia

Przeprowadzona analiza danych i informacji z realizacji prac obsługowo-naprawczych, wykazała konieczność uporządkowania wartości kluczowych cech dla potrzeb taksonomicznej oceny polityki eksploatacyjnej. W tym celu, w odniesieniu do wszystkich trzech analizowanych sieciowych systemów technicznych:

- przyjęto trzy cechy kluczowe, w szczególności: koszty, czas i ilość prac obsługowo-naprawczych,
- przyjęto cztery kategorie prac obsługowo-naprawczych (przeglądy, konserwacje, naprawy, remonty) i przyporządkowano do nich prace pod względem zakresu, zakładanego przebiegu i spodziewanych efektów realizacji,
- przyjęto 1 rok, jako jednolity zakres czasowy pozyskanych danych do analizy, spójny z pełnym cyklem obsługowo-naprawczym dla prac przeglądowych i konserwacyjnych,
- wyeliminowano lub skorygowano błędne zapisy pozyskanych danych, które mogłyby, w sposób nieprawidłowy, znacząco wpływać na wyniki prowadzonych analiz.

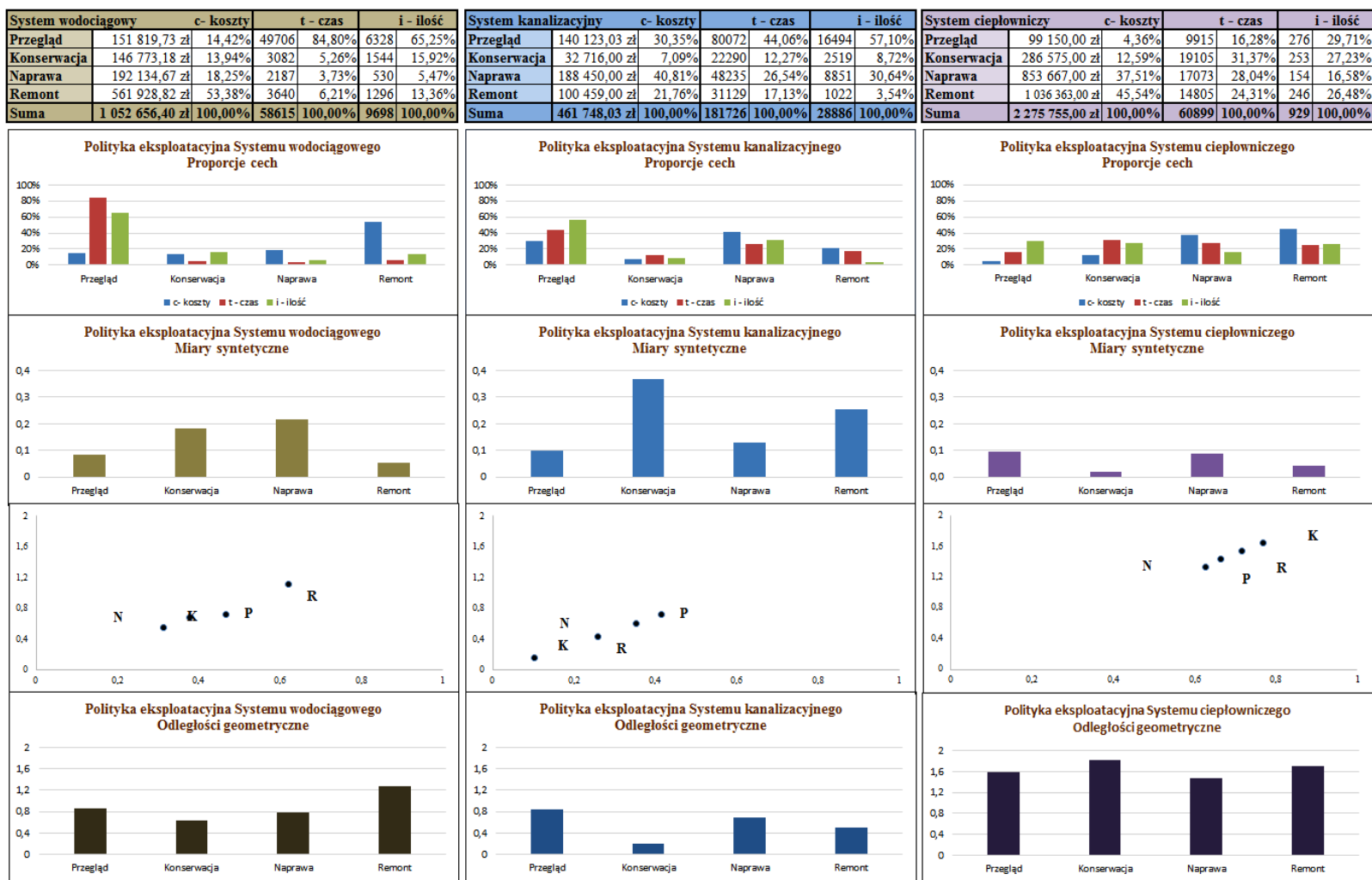
W dalszej kolejności, w oparciu o przygotowane zbiory danych pochodzące z rocznej realizacji prac obsługowo-naprawczych (za rok 2013), przeprowadzono obliczenia, z wykorzystaniem modelu taksonomicznego, zaproponowanego i opisanego w [21]. Wyniki obliczeń w postaci wartości miar syntetycznych i bezwzględnych odległości geometrycznych, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych, zestawiono w tabeli 4.

Tabela 1.

**Zestawienie wartości miar taksonomicznych oceny polityki eksploatacyjnej  
dla analizowanych sieciowych systemów technicznych**

Kategorie prac obsługowo-naprawczych	System wodociągowy		System kanalizacyjny		System ciepłowniczy	
	Miary syntetyczne	Odległości geometryczne	Miary syntetyczne	Odległości geometryczne	Miary syntetyczne	Odległości geometryczne
Przeglądy	0,0853	0,8569	0,0866	0,9988	0,0962	1,5849
Konserwacje	0,1814	0,6246	0,3340	0,3298	0,0222	1,8227
Naprawy	0,2166	0,7810	0,1224	0,8207	0,0903	1,4773
Remonty	0,0531	1,2738	0,2472	0,5803	0,0423	1,7000

Wyniki oceny polityki eksploatacyjnej, w oparciu o zbudowany model taksonomiczny, dla trzech analizowanych sieciowych systemów technicznych, przedstawiono w układzie zbiorczym na rys. 2 (tabelarycznie i graficznie).



**Rys. 2. Tabelaryczno-graficzne zestawienie wartości miar taksonomicznego modelu oceny polityki eksploatacyjnej dla trzech analizowanych sieciowych systemów technicznych**



## MODELE WZORCOWE (WARIANTY) OCENY POLITYKI EKSPLOATACYJNEJ

Interpretacja uzyskanych i zestawionych graficznie wyników taksonomicznej oceny polityki eksploatacyjnej, dla analizowanych sieciowych systemów technicznych, obejmuje:

- ocenę struktury cech w układzie procentowym, w podziale na poszczególne kategorie prac obsługowo-naprawczych,
- ocenę wartości wyznaczonych miar syntetycznych, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych,
- ocenę lokalizacji geometrycznej miar syntetycznych, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych, zarówno w ujęciu bezwzględny – odległości poszczególnych kategorii od początku układu współrzędnych, jak i w ujęciu względnym – odległości wzajemnych pomiędzy poszczególnymi kategoriami,
- ocenę geometrycznych odległości wartości miar syntetycznych od punktu początku układu współrzędnych, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych.

Prowadzenie analizy według powyższych wytycznych jest możliwe w ujęciu porównawczym, z wykorzystaniem definiowalnych wzorców (wariantów) opisujących w sposób ilościowy (taksonomicznie) politykę eksploatacyjną. Proces budowy modeli wzorcowych obejmował:

- a. zdefiniowanie założeń i parametrów wstępnych, wspólnie dla potrzeb wszystkich trzech analizowanych sieciowych systemów technicznych,
- b. budowa i weryfikacja wzorcowych struktur prac obsługowo-naprawczych, indywidualnie dla potrzeb każdego z analizowanych sieciowych systemów technicznych,
- c. synteza danych i budowa zbiorczych struktur prac obsługowo-naprawczych, wspólnych i jednolitych dla wszystkich analizowanych sieciowych systemów technicznych,
- d. budowa pakietu taksonomicznych wzorcowych modeli strategii eksploatacyjnych, opracowanego na bazie struktury prac obsługowo-naprawczych, wspólnie dla wszystkich analizowanych sieciowych systemów technicznych.

Proces budowy modeli wzorcowych, prowadzony w oparciu o analizę danych historycznych i ocenę ekspercką, uwzględnił założenia zestawione w tabeli 5.

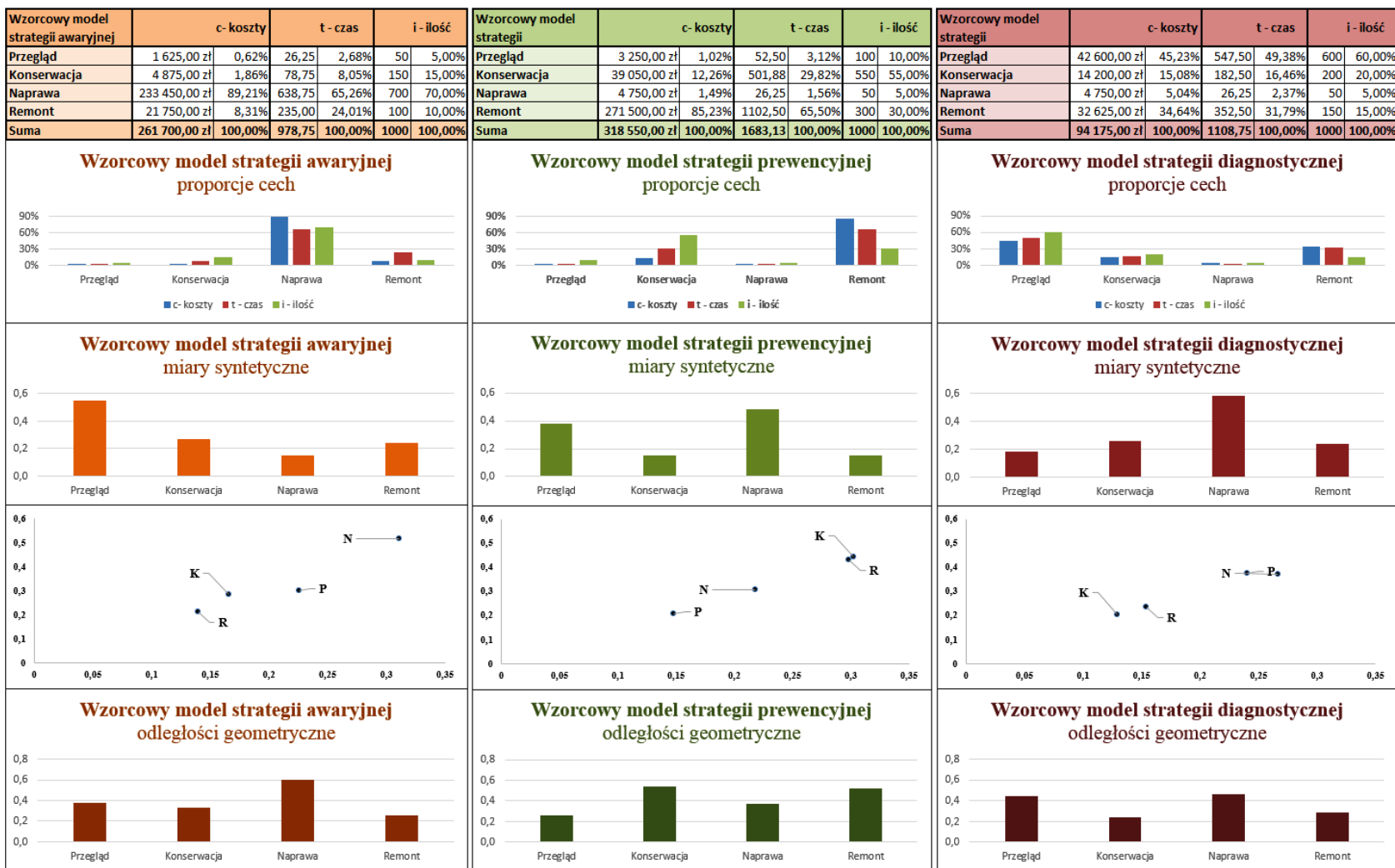
Tabela 5.

<b>Założenia i kryteria budowy wzorców oceny polityki eksploatacyjnej</b>	
<b>Parametry wstępne</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• wartości cech (kosztów, czasu i ilości), dla 1000 prac obsługowo-naprawczych,</li><li>• 5 klas złożoności prac obsługowo-naprawczych,</li><li>• 4 kategorie prac obsługowo-naprawczych (przeglądy, konserwacje, naprawy, remonty).</li></ul>
<b>Zamierzony efekt - Pakiet wzorców</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>wzorcowy model strategii awaryjnej</i> - „oczekiwanie na zdarzenie” bez podejmowania wcześniejszych działań zapobiegawczych lub wyprzedzających,</li><li>• <i>wzorcowy model strategii prewencyjnej</i> - wyprzedzanie powstawania zdarzeń niezamierzonych, z uwzględnieniem statystycznych kryteriów niezawodnościowych,</li><li>• <i>wzorcowy model strategii diagnostycznej</i> - warunkowa realizacja koniecznych prac obsługowo-naprawczych, w oparciu o wyniki bieżącej oceny stanu technicznego obiektów.</li></ul>
<b>Wewnętrzna konstrukcja budowanych wzorców</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• dominujący wpływ tych kategorii prac, które w danym wzorcu polityki eksploatacyjnej odgrywają znaczącą rolę,</li><li>• mniej znaczący lub nieistotny wpływ tych kategorii prac, które w danym wzorcu polityki eksploatacyjnej, z definicji, występują w niewielkiej ilości i w niewielkim zakresie.</li></ul>

Tabela 6.

**Taksonomiczna struktura prac obsługowo-naprawczych dla potrzeb budowy wzorcowych modeli strategii eksploatacyjnej analizowanych sieciowych systemów technicznych**

<b>Wzorcowy model strategii awaryjnej</b>	<b>Przeglądy</b> waga: 0,05			<b>Konserwacje</b> waga: 0,15			<b>Naprawy</b> waga: 0,7			<b>Remonty</b> waga: 0,1						
<b>Całkowita ilość prac 1000</b>	Ilość 50	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 150	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 700	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 100	Koszty (zł)	Czas (godz.)				
Poziom złożoności prac: 1	0,5	25	500,00	6,25	0,5	75	1500,00	18,75	0,05	35	700,00	8,75	0,5	50	2500,00	75,00
Poziom złożoności prac: 2	0,2	10	250,00	5,00	0,2	30	750,00	15,00	0,1	70	1750,00	35,00	0,2	20	3000,00	40,00
Poziom złożoności prac: 3	0,15	8	375,00	7,50	0,15	23	1125,00	22,50	0,15	105	21000,00	105,00	0,15	15	3750,00	60,00
Poziom złożoności prac: 4	0,1	5	250,00	5,00	0,1	15	750,00	15,00	0,2	140	35000,00	140,00	0,1	10	5000,00	40,00
Poziom złożoności prac: 5	0,05	3	250,00	2,50	0,05	8	750,00	7,50	0,5	350	175000,00	350,00	0,05	5	7500,00	20,00
<b>Suma</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>1625,00</b>	<b>26,25</b>	<b>1</b>	<b>150</b>	<b>4875,00</b>	<b>78,75</b>	<b>1</b>	<b>700</b>	<b>233450,00</b>	<b>638,75</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>21750,00</b>	<b>235,00</b>
<b>Wzorcowy model strategii prewencyjnej</b>	<b>Przeglądy</b> waga: 0,1			<b>Konserwacje</b> waga: 0,55			<b>Naprawy</b> waga: 0,05			<b>Remonty</b> waga: 0,3						
<b>Całkowita ilość prac 1000</b>	Ilość 100	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 550	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 50	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 300	Koszty (zł)	Czas (godz.)				
Poziom złożoności prac: 1	0,5	50	1000,00	12,50	0,05	28	550,00	6,88	0,5	25	500,00	6,25	0,05	15	750,00	22,50
Poziom złożoności prac: 2	0,2	20	500,00	10,00	0,1	55	1375,00	27,50	0,2	10	250,00	5,00	0,1	30	4500,00	60,00
Poziom złożoności prac: 3	0,15	15	750,00	15,00	0,15	83	4125,00	82,50	0,15	8	1500,00	7,50	0,15	45	11250,00	180,00
Poziom złożoności prac: 4	0,1	10	500,00	10,00	0,2	110	5500,00	110,00	0,1	5	1250,00	5,00	0,2	60	30000,00	240,00
Poziom złożoności prac: 5	0,05	5	500,00	5,00	0,5	275	27500,00	275,00	0,05	3	1250,00	2,50	0,5	150	225000,00	600,00
<b>Suma</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>3250,00</b>	<b>52,50</b>	<b>1</b>	<b>550</b>	<b>39050,00</b>	<b>501,88</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>4750,00</b>	<b>26,25</b>	<b>1</b>	<b>300</b>	<b>271500,00</b>	<b>1102,50</b>
<b>Wzorcowy model strategii diagnostycznej</b>	<b>Przeglądy</b> waga: 0,6			<b>Konserwacje</b> waga: 0,2			<b>Naprawy</b> waga: 0,05			<b>Remonty</b> waga: 0,15						
<b>Całkowita ilość prac 1000</b>	Ilość 600	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 200	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 50	Koszty (zł)	Czas (godz.)	Ilość 150	Koszty (zł)	Czas (godz.)				
Poziom złożoności prac: 1	0,05	30	600,00	7,50	0,05	10	200,00	2,50	0,5	25	500,00	6,25	0,5	75	3750,00	112,50
Poziom złożoności prac: 2	0,1	60	1500,00	30,00	0,1	20	500,00	10,00	0,2	10	250,00	5,00	0,2	30	4500,00	60,00
Poziom złożoności prac: 3	0,15	90	4500,00	90,00	0,15	30	1500,00	30,00	0,15	8	1500,00	7,50	0,15	23	5625,00	90,00
Poziom złożoności prac: 4	0,2	120	6000,00	120,00	0,2	40	2000,00	40,00	0,1	5	1250,00	5,00	0,1	15	7500,00	60,00
Poziom złożoności prac: 5	0,5	300	30000,00	300,00	0,5	100	10000,00	100,00	0,05	3	1250,00	2,50	0,05	8	11250,00	30,00
<b>Suma</b>	<b>1</b>	<b>600</b>	<b>42600,00</b>	<b>547,50</b>	<b>1</b>	<b>200</b>	<b>14200,00</b>	<b>182,50</b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>4750,00</b>	<b>26,25</b>	<b>1</b>	<b>150</b>	<b>32625,00</b>	<b>352,50</b>



Rys. 3. Tabelaryczno-graficzna prezentacja miar taksonomicznych wzorcowych modeli strategii eksploatacyjnej dla potrzeb analizowanych sieciowych systemów technicznych

Na podstawie tak przygotowanych założeń, a także w oparciu o przeprowadzone obliczenia zgodnie z [21], przygotowano:

- a. strukturę prac obsługowo-naprawczych modeli wzorcowych, którą zestawiono w tabeli 6,
- b. zbiór taksonomicznych modeli wzorcowych, który zestawiono w sposób tabelaryczny i graficzny na rys. 3.

## **INTERPRETACJA WYNIKÓW WARIANTOWEJ OCENY POLITYKI EKSPLOATACYJNEJ ANALIZOWANYCH SIECIOWYCH SYSTEMÓW TECHNICZNYCH**

Ocena polityki eksploatacyjnej w obrębie badanych sieciowych systemów technicznych wykazała duże zróżnicowanie struktury podejmowanych i realizowanych prac obsługowo-naprawczych (rys. 2), w szczególności:

1. Polityka eksploatacyjna, prowadzona w odniesieniu do analizowanego systemu wodociągowego, charakteryzuje się:
  - brakiem wyraźnej bezwzględnej dominacji taksonomicznej którejkolwiek z kategorii prac obsługowo-naprawczych,
  - najbardziej znaczącą pozycją prac remontowych (najmniejsza wartość miary syntetycznej, przy największej wartości odległości geometrycznej - wypadkowej odległości od początku układu współrzędnych),
  - dużą ilością i czasochłonnością prac diagnostycznych (przeглядów), przy nieznaczącej ich wartości ekonomicznej, czego obrazem są średnie bezwzględne wartości miary syntetycznej i odległości geometrycznej,
  - średnim rozproszeniem (wzajemnymi odległościami geometrycznymi) poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych, co przekłada się na zaznaczoną, ale niezbyt wyraźną względną dominację prac remontowych w badanej zbiorowości.

W myśl powyższej interpretacji należy stwierdzić, że polityka eksploatacyjna prowadzona w odniesieniu do analizowanego systemu wodociągowego ma charakter prewencyjny typu diagnostycznego, z uwzględnieniem w procesie decyzyjnym, prac korekcyjnych warunkowanych kryterialną oceną stanu technicznego (na co wskazuje znacząca ilość i czas przeglądów, przy niewielkich kosztach tych prac).

2. Polityka eksploatacyjna, prowadzona w odniesieniu do analizowanego systemu kanalizacyjnego, charakteryzuje się:
  - dość wyraźną bezwzględną dominacją taksonomiczną dwóch kategorii prac obsługowo-naprawczych, to znaczy przeglądów i napraw,
  - niewielkim (najmniejszym w analizowanym przypadku) znaczeniem taksonomicznym prac konserwacyjnych,
  - podobnym – średnim rozproszeniem kategorii prac obsługowo-naprawczych, przy mniejszym oddaleniu całego skupienia od początku układu współrzędnych.

W ujęciu taksonomicznym, występuje trudność w jednoznacznej interpretacji polityki eksploatacyjnej prowadzonej w odniesieniu do analizowanego systemu kanalizacyjnego. Po pierwsze, występuje dość wyraźne i porównywalne znaczenie dwóch kategorii prac

obsługowo-naprawczych, tj. przeglądów i napraw, które z metodologicznego punktu widzenia mają charakter przeciwny. Po drugie, niewielkie rozproszenie skupienia przy niewielkim jego oddaleniu od początku układu współrzędnych wskazuje na prawidłowe, zrównoważone i eksploatacyjnie uzasadnione uporządkowanie prac wewnątrz poszczególnych kategorii.

Powyższe argumenty sugerują przyjęcie powyższego układu obsługowo-naprawczego jako sytuacji przejściowej, z dużą potrzebą, a także możliwością optymalizacji.

3. Polityka eksploatacyjna, prowadzona w odniesieniu do analizowanego systemu ciepłowniczego, charakteryzuje się:

- brakiem wyraźnej bezwzględnej dominacji taksonomicznej którejkolwiek z kategorii prac obsługowo-naprawczych,
- większym taksonomicznym znaczeniem pary prac konserwacyjnych i remontowych, z jednoczesnym mniejszym znaczeniem pary prac przeglądowych i naprawczych,
- mało wyraźną taksonomiczną dominacją względną którejkolwiek z kategorii prac obsługowo-naprawczych (tj. niewielkie rozproszenie), przy dużym oddaleniu skupienia od początku układu współrzędnych.

Polityka eksploatacyjna prowadzona w odniesieniu do analizowanego systemu ciepłowniczego ma charakter prewencyjny - typu normatywnego. Wskazuje na to zrównoważony układ wszystkich typów prac obsługowo-naprawczych, a także taksonomiczna przewaga prac (konserwacje i remonty), których częstość i zakres opiera się głównie na wytycznych badań niezawodnościowych.

Syntetyzując wyniki przeprowadzonych badań, należy zauważyć, że żaden z analizowanych przypadków nie wskazuje na dominującą kategorię prac obsługowo-naprawczych, która w sposób jednoznaczny mogłaby stanowić o charakterze polityki eksploatacyjnej. Wyniki przeprowadzonych obliczeń, a przede wszystkim ich wizualizacja (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**) pokazują duże zróżnicowanie wartości badanych cech (koszty, czas, ilość prac obsługowo-naprawczych), co utrudnia lub uniemożliwia jednoznaczne określenie specyfiki polityki eksploatacyjnej. W związku z tym, konieczne jest odniesienie kluczowych wartości cech (czas, koszty i ilość zrealizowanych prac obsługowo-naprawczych) analizowanych sieciowych systemów technicznych do odpowiadających im analogicznych cech wzorcowych modeli strategii eksploatacyjnej (rys. 3) i tym samym przeprowadzenie procedury porównawczej, zgodnie z (1) [[21]]:

$$\begin{aligned}
 Ps_{min} &= \min_{1 \leq j \leq 3} \left| \sum_{i=1}^4 (Ss_i - Sw_{ij}) \right| \\
 Pd_{min} &= \min_{1 \leq j \leq 3} \left| \sum_{i=1}^4 (Ds_i - Dw_{ij}) \right|
 \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie:

$Ps_{min}$  wynik porównania oceny polityki eksploatacyjnej systemu technicznego z oceną wzorcowego modelu strategii eksploatacyjnej w zakresie miar syntetycznych, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych,

$Pd_{min}$  wynik porównania oceny polityki eksploatacyjnej systemu technicznego z oceną wzorcowego modelu strategii eksploatacyjnej, w zakresie odległości geometrycznych, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych,

$Ss_i$  wartość miary syntetycznej oceny polityki eksploatacyjnej systemu technicznego, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych,

$Sw_i$  wartość miary syntetycznej oceny wzorcowego modelu strategii eksploatacyjnej, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych,

$Ds_i$  wartość odległości geometrycznej oceny polityki eksploatacyjnej, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych,

$Dw_i$  wartość odległości geometrycznej oceny wzorcowego modelu strategii eksploatacyjnej, dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych.

Analizowane modele polityki eksploatacyjnej sieciowych systemów technicznych przyjmują specyfikę i charakter modeli wzorcowych o największym podobieństwie taksonomicznym, czyli w sytuacji występowania najmniejszych wypadkowych wartości bezwzględnych różnic, dla odpowiednich miar syntetycznych i odległości geometrycznych. Wyniki przeprowadzonych obliczeń zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7.

Porównanie wartości wypadkowych taksonomicznej oceny polityki eksploatacyjnej analizowanych sieciowych systemów technicznych na tle wzorców pozycjonujących

Sieciowy System Techniczny	Wzorcowy model strategii awaryjnej		Wzorcowy model strategii prewencyjnej		Wzorcowy model strategii diagnostycznej	
	$Ps_{min}$	$Pd_{min}$	$Ps_{min}$	$Pd_{min}$	$Ps_{min}$	$Pd_{min}$
System wodociągowy	0,7989	1,9709	<b>0,6944</b>	<b>1,8440</b>	0,7275	2,1056
System kanalizacyjny	<b>0,5545</b>	<b>1,1652</b>	0,9385	1,4516	0,6473	1,2987
System ciepłowniczy	0,9374	5,0194	<b>0,9194</b>	<b>4,8924</b>	1,0128	5,1540

Wykonane obliczenia i przeprowadzona analiza porównawcza w aspekcie kluczowych cech polityki eksploatacyjnej potwierdziły (tabela 7):

- taksonomiczne podobieństwo polityki eksploatacyjnej systemu wodociągowego do wzorcowego modelu strategii prewencyjnej,
- taksonomiczne podobieństwo modelu polityki eksploatacyjnej systemu kanalizacyjnego do wzorcowego modelu strategii awaryjnej,
- taksonomiczne podobieństwo polityki eksploatacyjnej systemu ciepłowniczego do wzorcowego modelu strategii prewencyjnej.

Należy także zauważyć, że analizowane sieciowe systemy techniczne odbiegają taksonomicznie od modeli wzorcowych (w niektórych sytuacjach w sposób znaczny) (rys. 4).

Z jednej strony uzasadnia to sformułowany wcześniej wniosek o braku jednoznacznych wytycznych, co do wyraźnego charakteru polityki eksploatacyjnej analizowanych sieciowych systemów technicznych, z drugiej zaś, wskazuje na dużą potencjalną przestrzeń do ewentualnej modyfikacji. Zdaniem autora, modyfikacja taka powinna przebiegać zarówno wewnątrz, jak i pomiędzy poszczególnymi kategoriami prac obsługowo-naprawczych, a jej efektem może być minimalizacja poszczególnych różnic.



Rys. 4. Graficzne porównanie taksonomicznych modeli polityki eksploatacyjnej analizowanych sieciowych systemów technicznych na tle modeli wzorcowych

## WNIOSKI

Badania weryfikacyjne w zakresie praktycznej możliwości wykorzystania opracowanej metodyki taksonomicznego modelowania i oceny polityki eksploatacyjnej, przeprowadzone w warunkach funkcjonowania wybranych sieciowych systemów technicznych, potwierdzają potrzebę prowadzenia oceny zarówno w układzie wariantowym - porównawczym, jak i w ujęciu okna czasowego.

Pozytywne wyniki uzyskane podczas realizacji opisanych tutaj prac skłaniają do kontynuacji badań w tych obszarach, które zdaniem autora wymagają doprecyzowania lub dalszego rozwoju, zarówno w ujęciu modelowym, jak i aplikacyjnym. Zdaniem autora, badania te powinny zmierzać do sprecyzowania zakresu stosowalności i poziomu skuteczności opracowanej metodyki w sensie jej uniwersalności. W tym celu, w oparciu o budowane modele oceny polityki eksploatacyjnej, konieczne jest przeprowadzenie analitycznej i eksperckiej interpretacji wyników obliczeń taksonomicznych, dla możliwie dużej ilości przedsiębiorstw zarządzających sieciowymi systemami technicznymi. Pozwoli to na modyfikację/weryfikację opracowanej metodyki z uwzględnieniem oceny/zwiększenia jego precyzji w świetle stawianych i rozwiązywanych eksploatacyjnych problemów decyzyjnych.

## LITERATURA

- [1] B. Babiarz, W. Szymański. Ogrzewnictwo. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2010.
- [2] J. Campbell, A. Jardine. Asset Management Excellence. Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [3] M. Dąbrowski. Innowacyjny sposób wykorzystania modeli GIS dla potrzeb zarządzania eksploatacją systemu zaopatrzenia w wodę. *Mechanik*, 7/2014, s. 363 - 372.
- [4] S. Denczew. Organizacja i zarządzanie infrastrukturą komunalną w ujęciu systemowym. Warszawa: Szkoła Główna Służby Pożarniczej, 2006.
- [5] S. Denczew. Podstawy modelowania systemów eksploatacji wodociągów i kanalizacji. Lublin: Komitet Inżynierii Środowiska PAN, 2006.
- [6] P. Dohnalik, A. Jędrzejewski. Efektywna eksploatacja wodociągów. Kraków: LEMtech Consulting Publishers, 2004.
- [7] M.O. Engelhardt, P.J. Skipworth, D.A. Savic, A.J. Saul, G.A. Walters. Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective. *Urban Water* 2/2000, pp. 153-170.
- [8] R.A. Fenner. Approaches to sewer maintenance: a review. *Urban Water* 4/2010, pp. 343-356.
- [9] J.F.G. Fernandez, A.C. Marquez. Framework for implementation of maintenance management in distribution network providers. *Reliability Engineering and System Safety* 94/2009, pp. 1639-1649.
- [10] T. Gabryszewski. Wodociągi. Warszawa: Wydawnictwo Arkady, 1983.
- [11] J. Górecki. Sieci ciepłe. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1997.
- [12] H. Hotłoś. Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2007.
- [13] H. Hotłoś. Warunki i ocena niezawodności działania sieci wodociągowych i kanalizacyjnych na terenach górniczych. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2011.
- [14] J. Kaźmierczak. Eksploatacja systemów technicznych. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2000.
- [15] J. Kaźmierczak, A. Loska, M. Dąbrowski. Use of geospatial information for supporting maintenance management in a technical network system. Belgrad: Proceedings of 21th European Congress on Maintenance and Asset Management "Euromaintenance 2012", 2012, pp. 287-297.
- [16] A. Kelly. Strategic Maintenance Planning. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006.
- [17] J. Konieczny. Sterowanie eksploatacją urządzeń. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1975.
- [18] M. Kwietniewski, J. Rak. Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Warszawa: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, 2010.
- [19] A. Loska. Remarks about modelling of maintenance processes with the use of scenario techniques. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2012; 14 (2): 92-98.
- [20] A. Loska. Wybrane aspekty komputerowego wspomaganie zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu. Monografia. Opole-Zabrze: Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2012.
- [21] A. Loska. Methodology of variant assessment of exploitation policy using numerical taxonomy tools. *Management Systems in Production Engineering* 2015; No 2(18), pp. 98-104.



- [22] K.W. Muhlbauer. Zarządzanie ryzykiem w eksploatacji rurociągów. Warszawa: Wydawnictwo Fluid Systems, 2013.
- [23] S. Nakajima. Introduction to TPM. Total Productive Maintenance. Portland: Productivity Press, 1988.
- [24] M.B. Nantka. Ogrzewnictwo i ciepłownictwo. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.
- [25] M.J. Parcher. Wastewater collection system maintenance. Basel: Technomic Publishing Company Inc., 1998.
- [26] M. Roman. Wodociągi i kanalizacja. Podstawy projektowania i eksploatacja. Warszawa: Wydawnictwo Arkady, 1991.
- [27] P.A. Scarf, H.M. Harry. A framework for maintenance and replacement of a network structured system. International Journal of Production Economics, 69/2001, pp. 278-296.
- [28] J. Studziński. Kompleksowe zarządzanie miejską siecią wodociągową. Wodociągi - Kanalizacja, 12/2011, s. 36-39.
- [29] T. Suzuki. TPM in Process Industries. Portland: Productivity Press, 1994.
- [30] J. Szybka, R. Pilch, Z. Broniec. Tarnowski J. Ocena ryzyka eksploatacji ciepłociągu. Problemy Eksploatacji, 1(50)/2011, s. 175-183.
- [31] A. Wood, B.J. Lence. Using Water Main Break Data to Improve Asset Management for Small and Medium Utilities: District of Maple Ridge, B.C. Journal of Infrastructure Systems, 2(15)/2009, s. 111-119.
- [32] R. Wyczółkowski. Inteligentny system monitorowania sieci wodociągowych. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2008; 1 (37): 33-36.
- [33] R. Wyczółkowski, G. Matysiak. Rozwój inteligentnego systemu monitorowania rozdzielczej sieci wodociągowej. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2009; 2 (42): 71-75.
- [34] B. Żółtowski, S. Niziński. Modelowanie procesów eksploatacji. Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, 2010.
- [35] A.W. Żuchowicki, Y.A. Feofanov. Współczesne metody budowy i renowacji sieci wodociągowych i kanalizacyjnych. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2006.