

Dr inż. Andrzej Loska
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze, Polska
E-mail: Andrzej.Loska@polsl.pl

Scenariuszowe modelowanie eksploatacyjnego procesu decyzyjnego w sieciowych systemach technicznych

Słowa kluczowe: proces decyzyjny, metody scenariuszowe, polityka eksploatacyjna, sieciowe systemy techniczne, zarządzanie eksploatacją

Streszczenie: Artykuł podejmuje dyskusję nad wykorzystaniem metod modelowania wariantów przyszłości, w tym scenariuszy, dla potrzeb oceny i kształtowania procesu decyzyjnego dotyczącego eksploatacji w systemach technicznych. Przeprowadzona analiza wykazała dużą potrzebę eksploatatorów do wpływania na proces decyzyjny w aspekcie długoterminowym. W świetle powyższych założeń, a także w oparciu o wyniki dotychczasowych badań, opracowano procedurę budowy modeli scenariuszy eksploatacyjnych, którą następnie zweryfikowano w kontekście funkcjonowania wybranego sieciowego systemu technicznego - systemu wodociągowego.

1. Wprowadzenie

Przyszłość eksploatacyjna jest ściśle powiązana z przeszłością i teraźniejszością, przybierając kształt złożonych interakcji pomiędzy: decyzjami, a w konsekwencji działaniami użytkowymi i obsługowo-naprawczymi realizowanymi obecnie, a efektami i/lub skutkami mającymi miejsce w przyszłości. Inaczej mówiąc, wgląd w przyszłość eksploatacyjną jest możliwy poprzez dostrzeżenie zjawisk obecnych. Kluczowym problemem wydaje się możliwość kształtowania procesu decyzyjnego dotyczącego podejmowanych i realizowanych działań użytkowych i/lub obsługowo-naprawczych, który w tym artykule będzie określany jako eksploatacyjny proces decyzyjny. Proces taki skupia efekty modelowania polityki eksploatacyjnej, stanowiąc przedmiot jej oceny, zarówno w aspekcie wewnętrznym - na tle funkcjonowania sieciowego systemu technicznego, jak i w aspekcie zewnętrznym - w świetle wymagań i uwarunkowań otoczenia organizacji utrzymania ruchu.

Każda decyzja dotycząca przyszłych zachowań obiektów technicznych obarczona jest określoną niepewnością, która przekłada się na wielość i różnorodność możliwych do wyboru ścieżek postępowania eksploatacyjnego (użytkowego i/lub obsługowo-naprawczego) [14]. Niepewność ta jest tym większa im dłuższy jest horyzont czasowy zamierzonych efektów lub skutków podejmowanej decyzji. W tym kontekście, istotne stają się odpowiedzi na następujące pytania praktyczne [4, 22]:

1. Jak długo obiekt/system techniczny będzie spełniał swoje funkcje na założonym poziomie efektywności?
2. Kiedy konieczna będzie wymiana obiektu/systemu technicznego, aby w optymalny sposób wykorzystać potencjał eksploatacyjny obiektu przy założeniu minimalizacji kosztów?

3. Jakie decyzje należy podejmować dzisiaj, aby zapewnić utrzymanie maksymalnego potencjału eksploatacyjnego obiektu/systemu technicznego w przyszłości?

Odpowiedzi na powyższe pytania są możliwe w oparciu o budowane w sposób ilościowy modele procesów eksploatacyjnych, z uwzględnieniem zmienności cech analizowanego obiektu/systemu technicznego, jak również zmian warunków otoczenia, w którym funkcjonuje. Istotne jest także prowadzenie rzetelnej oceny przyszłych rezultatów realizowanych obecnie działań, w szczególności ilościowej analizy możliwych do wystąpienia problemów i potencjalnych efektów lub skutków podejmowanych decyzji [1, 3, 10, 17, 20].

Dla potrzeb kształtowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego, mogą być pomocne koncepcje i metody związane z modelowaniem i analizą wariantów przyszłości eksploatacyjnej. Pozwalają one na wykorzystanie wielowątkowego obrazu bieżącej rzeczywistości, przy równocześnie możliwym spojrzeniu znacznie wyprzedzającym czas bieżący. Efektem tego są scenariusze przyszłych zachowań obiektów technicznych oraz wytyczne dla funkcjonowania służb eksploatacyjnych skupionych w obrębie organizacji utrzymania ruchu przedsiębiorstwa.

W odpowiedzi na sformułowane powyżej uwarunkowania, został opracowany i przedstawiony w dalszej części artykułu, sposób scenariuszowego modelowania i oceny eksploatacyjnego procesu decyzyjnego.

2. Przegląd pojęć modelowania wariantów przyszłości w kontekście kształtowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego

Modelowanie wariantów przyszłości związane jest z przygotowywaniem założeń i obrazów dla potrzeb identyfikacji rozwoju zdarzeń, które mogą zaistnieć w okresie znacznie wyprzedzającym chwilę bieżącą. Ma to na celu optymalne przygotowanie i realizację procesu decyzyjnego, poprzez śledzenie jego ewentualnych przyszłych efektów lub skutków.

W badaniach nad metodami modelowania wariantów przyszłości, które prowadzone są od lat 50-tych XX wieku [12, 35] początkowo wyróżniano dwie przeciwstawne ogólne koncepcje. Zgodnie z nimi, przyszłe zachowanie obiektu technicznego może opierać się na prognozowaniu, którego efektem jest prognoza, lub na przewidywaniu, którego efektem jest wizja. W szczególności [24, 34, 37]:

- prognoza jest wynikiem modelowania matematycznego i ma w tej sytuacji charakter ilościowy - obliczeniowy,
- wizja jest wynikiem poszukiwania celów i wartości przyszłości, w postaci niemierzalnych powiązanych ze sobą opisów, faktów i stwierdzeń; dobra wizja jest prosta i zrozumiała, lecz nie do końca ilościowo określona.

Specyfika eksploatacyjnego procesu decyzyjnego realizowanego w warunkach przemysłowych, opierającego się zarówno na cechach ilościowych, jak i wielkościach wyrażanych w postaci opisowej (trudnomierzalnych), uzasadnia konieczność powiązania ilościowego charakteru prognoz z jakościowym i opisowym charakterem wizji. Narzędziem, które odpowiada tym wymaganiom jest scenariusz, który w tym przypadku może wypełniać lukę pomiędzy ww. koncepcjami, stanowiąc ich część wspólną.

W obszarze badań, jak również w aspekcie zastosowań praktycznych, scenariusz jest definiowany w wielu opracowaniach w sposób niejednolity. Wynika z jego interpretacji, w aspekcie celu i zakresu konkretnego przedsięwzięcia modelowania wariantów przyszłości. Definicje te, można sprowadzić do dwóch kategorii:

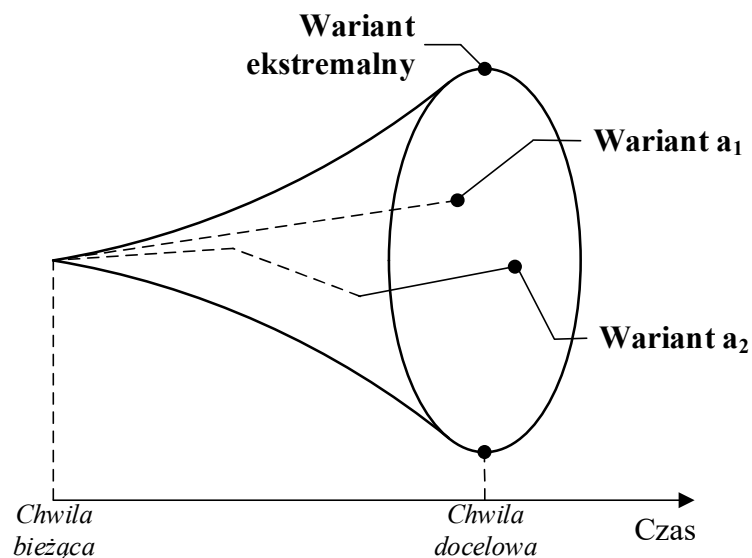
- scenariusz w ujęciu metodologicznym, jako sposób radzenia sobie z niepewnością decyzyjną, w oparciu o wewnętrznie spójny obraz przyszłości, reprezentowany przez zbiór opisów możliwych wariantów przyszłych zdarzeń lub sytuacji [9, 33],

- scenariusz w ujęciu narzędziowym, jako odpowiedź na wyniki prowadzonych prac badawczych i aplikacyjnych, w postaci zbioru metod i narzędzi, pozwalających na optymalizację procesu decyzyjnego w obrębie zagadnień zarządzania strategicznego [18, 32, 36].

Scenariusz jest narzędziem ułatwiającym przedstawianie przyszłości i pozwala odpowiedzieć na pytania:

- co może wyobraźalnie się wydarzyć, gdy ...?
- lub
- co mogłoby się wydarzyć, gdy...?

Opracowanie i skuteczne wykorzystanie scenariuszy, w ramach eksploatacyjnego procesu decyzyjnego, wymaga sięgnięcia zarówno do koncepcji prognozy, jak i wizji. Prognoza ma charakter krótkoterminowy i pozwala określić potencjalną zmianę stanu technicznego obiektu, co ułatwia formułowanie decyzji i realizowanie działań [5]. Wraz ze wzrostem odległości czasowych w przyszłość, konieczne są metody i narzędzia pozwalające ocenić możliwości i zagrożenia potencjalnych decyzji dotyczących eksploatowanego obiektu, jak również jego ekonomiczno-organizacyjnego otoczenia [2]. Pozwala to na przygotowanie się na nie jeden, ale na więcej obrazów przyszłości. Zobrazować to można za pomocą koncepcji tzw. lejka wariantów przyszłości (Rys. 1). Pokazuje on wielość i zróżnicowanie możliwych przebiegów dla osiągnięcia alternatywnych rezultatów opisujących efekty/skutki podjętych decyzji.



Rys. 1. Graficzna interpretacja koncepcji tzw. lejka wariantów przyszłości

Na wejściu procesu scenariuszowego powinien znajdować się jednoznaczny zbiór informacji wyznaczający główne cele całego przedsięwzięcia. Z kolei, wyjście z projektu scenariuszowego może wskazywać na konsekwencje (warianty) potencjalnego zaistnienia zdarzeń i sytuacji opisanych poszczególnymi scenariuszami, w sposób prosty i zrozumiały dla odbiorców.

Wyniki przeprowadzonych badań w zakresie możliwości i potrzeb wykorzystania metod modelowania wariantów przyszłości (w tym metod scenariuszowych) w kształtowaniu eksploatacyjnego procesu decyzyjnego, wykazały, że:

1. Scenariuszowe metody modelowania wariantów przyszłości, choć znane i stosowane w obszarze makro, czyli globalnego planowania strategicznego [7, 11, 27, 32, 33], nie zdobyły dotychczas większego uznania w ujęciu mikro, czyli funkcjonowania pojedynczych systemów w określonych warunkach organizacyjno-technicznych.

2. Zagadnienie wykorzystania scenariuszowych metod modelowania wariantów przyszłości, w rozwiązywaniu problemów eksploatacyjnych, występuje w literaturze incydentalnie. Są to pojedyncze opisy praktycznych zastosowań scenariuszy w postępowaniu awaryjnym [16], czy w pozyskiwaniu wiedzy diagnostycznej wybranej grupy maszyn [26].
3. W krajowych i zagranicznych publikacjach oraz innych opracowaniach istnieją odniesienia do metod i zagadnień cząstkowych, będących elementem proponowanego w tym artykule kompleksowego rozwiązania [18, 22, 28, 32].
4. Wykorzystanie metod scenariuszowych dla potrzeb kompleksowego modelowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego można uznać za zagadnienie nowe, niepublikowane zarówno w Polsce, jak i za granicą.
5. Zaproponowana metodyka i opracowane rozwiązania aplikacyjne mogą wypełnić istniejącą obecnie lukę, znajdując zastosowanie w kształtowaniu eksploatacyjnego procesu decyzyjnego przedsiębiorstw przemysłowych.

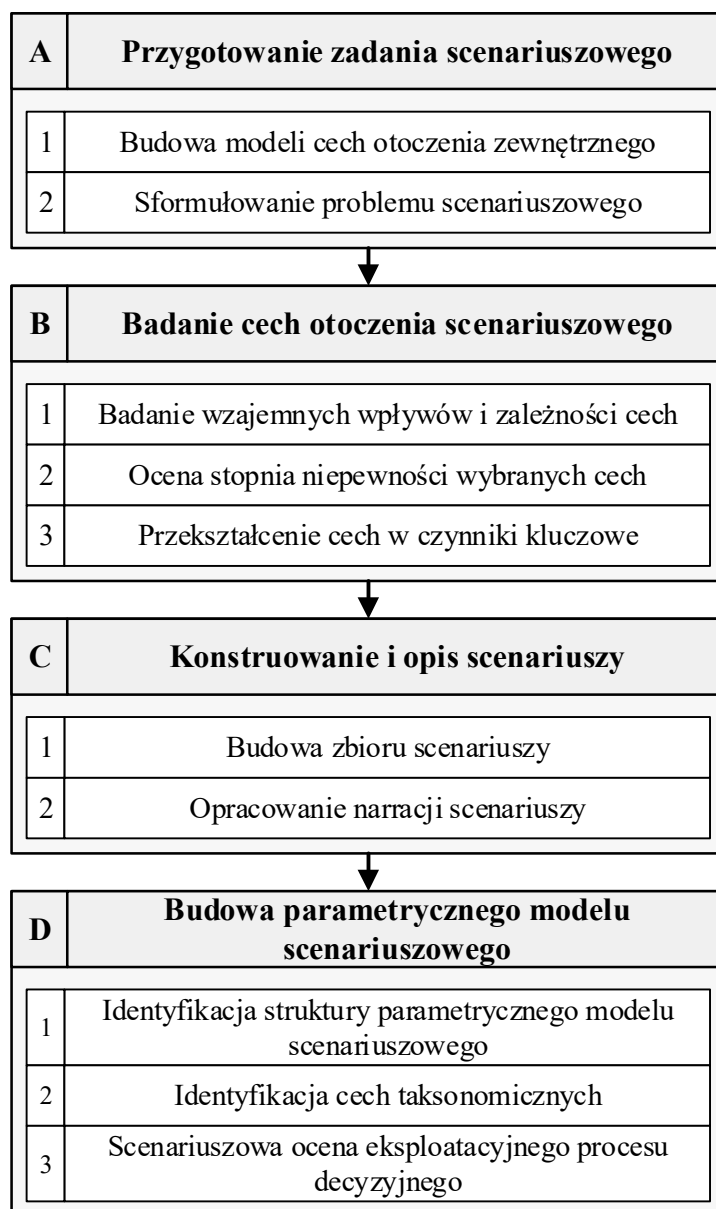
3. Metodyka scenariuszowego modelowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego

Przeprowadzona analiza możliwości opisu wariantów przyszłości, uzasadnia potrzebę budowy metodyki modelowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego z wykorzystaniem metod scenariuszowych.

Realizacja podjętych zadań badawczych polegała na opracowaniu modeli scenariuszy z wykorzystaniem dobranych metod i narzędzi, a następnie na przeprowadzeniu oceny ich przydatności w ramach wspomagania długoterminowego eksploatacyjnego procesu decyzyjnego. Treścią budowanych modeli i podstawą ich ilościowej weryfikacji był zbiór danych pochodzący z działalności organizacji utrzymania ruchu jednego z przedsiębiorstw zarządzających sieciowym systemem technicznym - systemem wodociągowym.

W pierwszej kolejności została opracowana procedura budowy modeli scenariuszy eksploatacyjnych (Rys. 2), która:

- była zgodna z ogólną logiką scenariuszową, reprezentowaną przez trzy kluczowe koncepcje: koncepcję logiki intuicyjnej [18, 34], koncepcję La Prospective [8, 9, 32], koncepcję TIA/CIA (Trend Impact Analysis/Cross Impact Analysis) [6],
- była adekwatna dla rozpatrywanego problemu identyfikacji i opisu obrazów przyszłości rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego [13, 19].



Rys. 2. Procedura budowy modeli scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej

Faza A procedury scenariuszowej, w pierwszej kolejności skupia się na identyfikacji zbioru czynników, opisujących wpływ otoczenia zewnętrznego i wewnętrznego na politykę eksploatacyjną, w sposób uwypuklający aspekty zbieżne i spójne z rozpatrywaną problematyką decyzyjną. W tym celu, zastosowany został model STEEPVL [27, 34]. Stanowił on podstawę uporządkowania czynników w ramach siedmiu kategorii: czynniki społeczne (ang. **S**ocial), czynniki technologiczno-narzędziowe (ang. **T**echnological), czynniki ekonomiczne (ang. **E**conomic), czynniki środowiskowe (ang. **E**cological), czynniki polityczne (ang. **P**olitical), czynniki wartości (ang. **V**alue), czynniki prawne (ang. **L**egal). Drugim etapem fazy A było sprecyzowanie głównego problemu scenariuszowego. Główny problem scenariuszowy wyrażany jest w postaci tzw. ogniskowanego pytania (ang. focal question) i stanowi punkt docelowy, do którego odnoszone są potencjalne efekty/skutki procedury scenariuszowej.

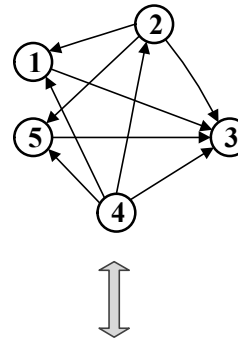
Faza B procedury scenariuszowej polegała na wyodrębnieniu czynników kluczowych, czyli takich które z jednej strony mają największe znaczenie dla sformułowanego głównego problemu scenariuszowego, a z drugiej charakteryzują się największym stopniem

niepewności, w odniesieniu do docelowego momentu czasowego. W tym celu, przeprowadzono identyfikację siły wzajemnych oddziaływań czynników otoczenia, w oparciu o liczbę ścieżek i pętli węzłów grafu zbudowanego na bazie przygotowanych macierzy wpływów i zależności (bezpośrednich i pośrednich) pomiędzy wyznaczonymi czynnikami. Dla potrzeb realizacji tego zadania wykorzystano metodę analizy strukturalnej [7, 18, 28], której przebieg przedstawiono schematycznie na Rys. 3.

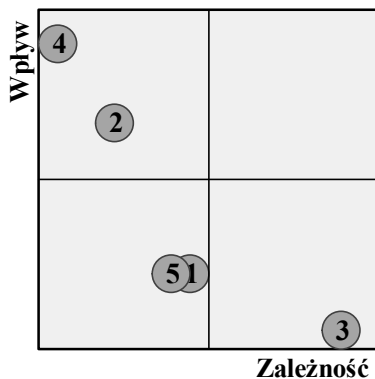
Macierz wpływów i zależności

od \ na	czynnik 1	czynnik 2	czynnik 3	czynnik 4	czynnik 5	Wpływ
czynnik 1	0	0	1	0	0	1
czynnik 2	1	0	1	0	1	3
czynnik 3	0	0	0	0	0	0
czynnik 4	1	1	1	0	1	4
czynnik 5	0	0	1	0	0	1
Zależność	2	1	4	0	2	

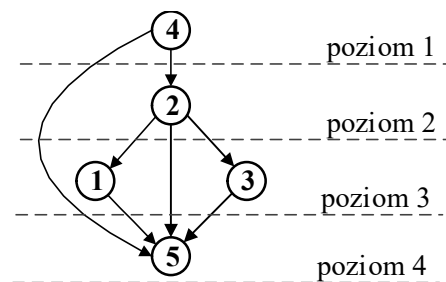
Graf nieuporządkowany



Mapa wpływów i zależności



Graf uporządkowany (hierarchiczny)



Rys. 3. Koncepcja analizy strukturalnej, w oparciu o metodologię La Prospective [8, 28]

W celu wyodrębnienia czynników, stanowiących podstawę konstrukcji scenariuszy, została zaproponowana procedura parametrycznego porównania czynników kluczowych, w kontekście oddziaływań wzajemnych i poziomu niepewności. Wynik takiego porównania, z uwzględnieniem trzech czynników kluczowych, opisano za pomocą macierzy wyrażającej sumaryczny wzajemny poziom przewagi scenariuszowej:

$$T_i = \begin{bmatrix} \dots & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & \dots & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & \dots \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie: c_{ij} - ocena przewagi siły oddziaływania/poziomu niepewności czynnika i nad czynnikiem j .

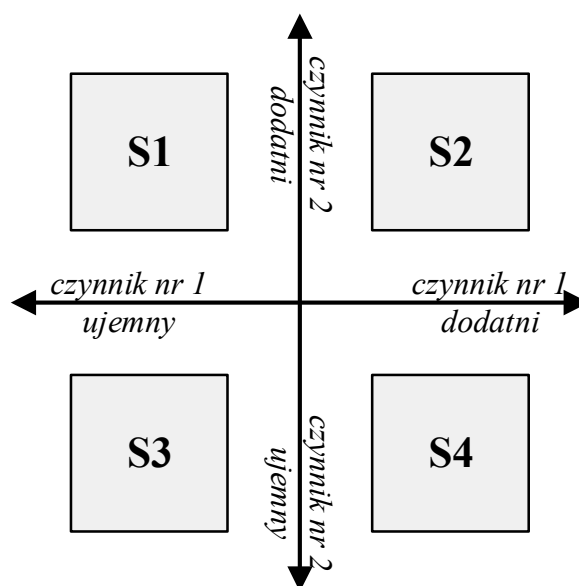
Możliwe wartości oceny przewagi siły oddziaływania/poziomu niepewności czynnika i nad czynnikiem j (c_{ij}) zestawiono w Tabela 1.

Tabela 1. Zbiór możliwych wartości oceny przewagi siły oddziaływania/poziomu niepewności czynnika i nad czynnikiem j (c_{ij})

Wartości c_{ij}	Interpretacja wartości c_{ij}
1	siła oddziaływania/poziom niepewności czynnika i , większa od siły oddziaływania/poziomu niepewności czynnika j
0,5	siła oddziaływania/poziom niepewności czynnika i , równa sile oddziaływania/poziomowi niepewności czynnika j
0	siła oddziaływania/poziom niepewności czynnika i , mniejsza od siły oddziaływania/poziomu niepewności czynnika j

Wynikiem końcowym fazy B był zbiór czynników kluczowych uporządkowanych ze względu na parametryczną ocenę wzajemnej przewagi scenariuszowej.

Faza C procedury scenariuszowej polegała na opracowaniu modeli scenariuszy. W tym celu, przeprowadzono identyfikację z góry określonej liczby scenariuszy (najczęściej czterech), na bazie ustalenia relacji pomiędzy dwoma lub trzema czynnikami kluczowymi, zidentyfikowanymi i sparametryzowanymi w fazie B procedury scenariuszowej (Rys. 4).



Rys. 4. Modelowy układ czterech scenariuszy [18, 32]

Zaproponowano wykorzystanie trzech form opisu scenariuszy, stanowiących kolejne kroki ich uszczegółowienia:

- opis symboliczny, stanowiący uporządkowany zbiór umownych wartości czynników, przypisanych do poszczególnych scenariuszy,
- opis schematyczny, stanowiący uporządkowany zbiór stwierdzeń, jako syntaktyczne rozwinięcie opisu symbolicznego dla poszczególnych scenariuszy,
- opis narracyjny, stanowiący uporządkowany zbiór treści, jako semantyczne rozwinięcie opisu schematycznego dla poszczególnych scenariuszy.

Faza D procedury scenariuszowej polegała na opracowaniu parametrycznego modelu scenariuszowego. Stanowiła ona ilościową interpretację modelu symbolicznego i modelu schematycznego, pozwalając na ocenę stopnia zgodności polityki eksploatacyjnej z opracowanymi scenariuszami.

Opracowanie parametrycznych modeli scenariuszowych rozpoczęło się od transformacji symbolicznej i schematycznej reprezentacji scenariuszy w opis parametryczny.

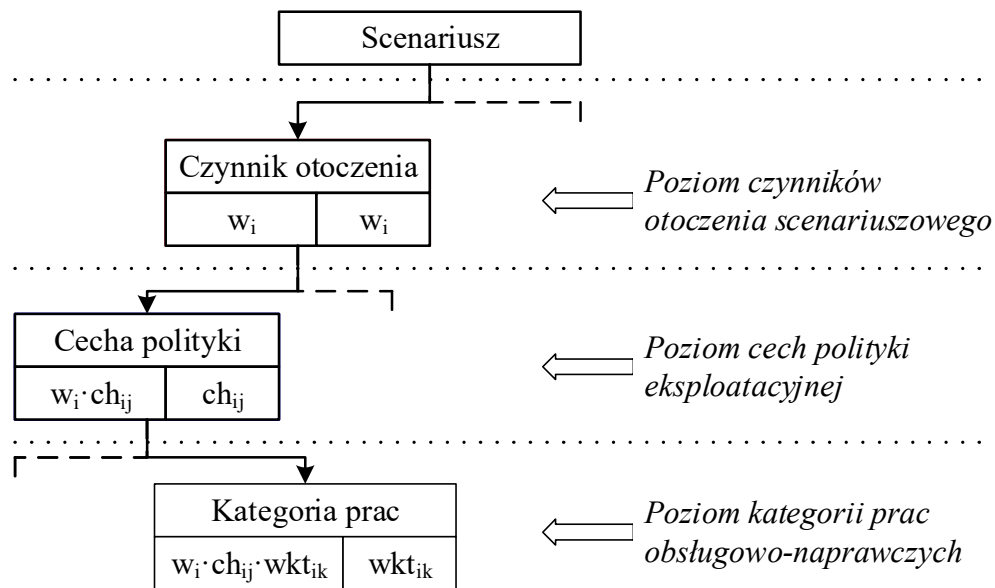
Polegało to na interpretacji i przekształceniu poszczególnych symboli i stwierdzeń w zbiór wag, a następnie ich uporządkowaniu (Tabela 2).

Tabela 2. Uogólniony zbiór składników wejściowych do parametrycznego modelu oceny scenariuszy eksploatacyjnych

Scenariusz S					
	Czynnik 1		...	Czynnik m	
Waga	w_1		...	w_m	
Cecha 1	ch_{11}		...	ch_{1m}	
...	
Cecha n	ch_{n1}		...	ch_{nm}	
Kategoria 1	kt_{11}	$wkt_{11} = \frac{kt_{11}}{\sum_{i=1}^p kt_{i1}} \quad (2)$...	kt_{1n}	$wkt_{1m} = \frac{kt_{1m}}{\sum_{i=1}^p kt_{im}} \quad (3)$
...	
Kategoria p	kt_{p1}	$wkt_{p1} = \frac{kt_{n1}}{\sum_{i=1}^p kt_{i1}} \quad (4)$...	kt_{pn}	$wkt_{pm} = \frac{kt_{mn}}{\sum_{i=1}^p kt_{im}} \quad (5)$

gdzie: w_i - wagi czynników kluczowych, których wartości zostały wyznaczone w fazie B procedury scenariuszowej, ch_{ij} - wagi cech kluczowych polityki eksploatacyjnej (koszty, czas, liczba prac eksploatacyjnych zrealizowanych we wzorcowym okresie [21]), których wartości z przedziału (0, 1) opisują poziom znaczenia cech na tle poszczególnych scenariuszowych czynników kluczowych, jako wynik oceny dokonywanej przez zespół scenariuszowy w odpowiedzi na pytanie: *Jaki jest poziom cechy kluczowej w świetle/na tle określonej wartości scenariuszowego czynnika kluczowego?*, kt_{ik} - wagi kategorii prac obsługowo-naprawczych (przeglądy, konserwacje, naprawy, remonty), których wartości z przedziału (0, 1) opisują poziom znaczenia każdej z kategorii na tle poszczególnych czynników kluczowych, jako wynik oceny dokonywanej przez zespół scenariuszowy, w odpowiedzi na pytanie: *Jaki jest poziom kategorii prac obsługowo-naprawczych w świetle/na tle określonej wartości scenariuszowego czynnika kluczowego?*

Wyznaczenie wartości współczynników, jako podstawa identyfikacji struktury prac obsługowo-naprawczych na tle cech kluczowych, wymagało syntezy poszczególnych grup wagowych w obrębie spójnego i reprezentatywnego modelu. Dla potrzeb takiej syntezy, wykorzystano hierarchiczny model dekompozycji celów, będący elementem metody wartościowania koncepcji zgodnej z [30]. W tym zakresie, zdefiniowano drzewo składników, uzyskując w ten sposób hierarchiczną strukturę wag (Rys. 5).



Rys. 5. Uogólniona postać drzewa składników dla potrzeb budowy parametrycznego modelu oceny scenariuszy eksploatacyjnych

Drzewo, przedstawione na Rys. 5, łączy hierarchicznie poszczególne wagi, w taki sposób, że wartości bezwzględne składników (wyznaczone w odniesieniu do najwyższego poziomu) są iloczynem wartości względnych wszystkich poprzedzających poziomów w obrębie danej ścieżki. Wynikiem tak skonstruowanego drzewa są syntetyczne wartości współczynników, pozwalające na określenie ilościowej struktury prac obsługowo-naprawczych, w ujęciu cech kluczowych polityki eksploatacyjnej. Wartości poszczególnych współczynników (w oparciu o kształt i zawartość drzewa), wyznacza się według wzoru (6).

$$R_{jk} = \left(\sum_{i=1}^m w_i \cdot ch_{ij} \cdot wkt_{ik} \right) \cdot Pw_j \quad (6)$$

gdzie: R_{jk} - wartość j -tej cechy kluczowej polityki eksploatacyjnej dla k -tej kategorii prac obsługowo-naprawczych, w_i - waga i -tego scenariuszowego czynnika otoczenia, ch_{ij} - waga j -tej cechy kluczowej w świetle i -tego scenariuszowego czynnika otoczenia, wkt_{ik} - waga k -tej kategorii prac obsługowo-naprawczych w świetle i -tego scenariuszowego czynnika otoczenia, Pw_j - wartość parametru wzorcowego j -tej cechy kluczowej.

Ogólną postać parametrycznej struktury prac obsługowo-naprawczych, w ujęciu poszczególnych cech kluczowych polityki eksploatacyjnej przedstawiono w Tabela 3.

Tabela 3. Uogólniony zbiór składników parametrycznego modelu oceny scenariuszy eksploatacyjnych

Scenariusz S			
	Cecha kluczowa 1	...	Cecha kluczowa n
Kategoria 1	R_{11}	...	R_{1n}
...
Kategoria p	R_{p1}	...	R_{pn}

Opracowana ilościowa struktura prac obsługowo-naprawczych, stanowiła podstawę do identyfikacji wartości miar taksonomicznych, które w konsekwencji zostały wykorzystane w procesie wariantowej oceny eksploatacyjnego procesu decyzyjnego. Opracowana przez autora, szczegółowa procedura wyznaczania taksonomicznych miar oceny polityki eksploatacyjnej, na bazie celowo dobranych metod i narzędzi [25, 31], została przedstawiona

w [21, 23]. W tym zakresie, wyznaczone zostały wartości miar syntetycznych i odległości geometrycznych cech kluczowych polityki eksploatacyjnej dla poszczególnych kategorii prac obsługowo-naprawczych, poprzez:

- normowanie cech w oparciu o procedurę standaryzacji:

$$z_{ij} = \frac{ch_{ij} - \overline{ch_j}}{S(ch_j)} \quad (7)$$

gdzie: z_{ij} – cecha unormowana, $\overline{ch_j}$ – wartość średnia klasy cech polityki eksploatacyjnej, $S(ch_j)$ – odchylenie standardowe klasy cech polityki eksploatacyjnej.

- wyznaczenie odległości geometrycznych kategorii prac obsługowo-naprawczych od obiektu wzorcowego, w oparciu o miarę euklidesową:

$$d_{i0} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_{0j})^2} \quad (8)$$

- wyznaczenie miar syntetycznych dla poszczególnych analizowanych kategorii prac obsługowo-naprawczych:

$$s_i = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0} \quad (9)$$

gdzie:

$$z_{0j} = \frac{\bar{z}_j}{S_j} \quad (10)$$

$$d_0 = \bar{d}_0 + 2 \cdot S(d_0), \quad \bar{d}_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n d_{i0}, \quad S(d_0) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (d_{i0} - \bar{d}_0)^2} \quad (11)$$

Wyznaczone miary określają taksonomiczny poziom oddalenia każdej z kategorii prac obsługowo-naprawczych od zdefiniowanego wzorca [23]. Stanowi to podstawę oceny ich udziału w polityce eksploatacyjnej.

4. Modele scenariuszy eksploatacyjnych badanego sieciowego systemu technicznego

Opracowana metodyka budowy scenariuszy eksploatacyjnych została poddana weryfikacji w kontekście funkcjonowania wybranego sieciowego systemu technicznego - eksploatowanego systemu wodociągowego¹. W tym celu, w oparciu o zbiory danych będących wynikiem działalności eksploatacyjnej służb utrzymania ruchu badanego przedsiębiorstwa, a także uwzględniając przeprowadzone warsztaty eksperckie, przyjęto następujące założenia:

- punktem początkowym dla opracowanych scenariuszy był rok 2013, co oznacza, że zadania przeprowadzone zostały w oparciu dane, opisujące politykę eksploatacyjną analizowanego systemu wodociągowego w 2013 roku,
- okres narracji scenariusza został ustalony na 20 lat, co oznacza, że proponowane w chwili obecnej efekty i/lub skutki podejmowanych decyzji mają szansę rozwijać się właśnie w tym okresie.

Zamierzonym i zrealizowanym efektem opracowanej procedury jest zestaw scenariuszy określony w sposób jakościowy (opisowy) i ilościowy (parametryczny).

Rezultatami realizacji fazy A opracowanej procedury scenariuszowej są:

¹ Ze względu na zakres informacji, które mogą stanowić wartość strategiczną, świadomie pomieto nazwę badanego przedsiębiorstwa, co w żaden sposób nie wpływa na wartość przeprowadzonych analiz.

- zbiór czynników otoczenia scenariuszowego uporządkowanych według modelu STEEPVL (Tabela 4),
- główny problem scenariuszowy, w postaci formuły zdania warunkowego, aktualnego w chwili końcowej założonego okresu obowiązywania opracowanych scenariuszy: **Jakie aspekty będą miały długoterminowy wpływ na kształt polityki eksploatacyjnej realizowanej w odniesieniu do systemu wodociągowego?**

Tabela 4. Wykaz czynników otoczenia scenariuszowego, jako wynik analizy z wykorzystaniem modelu STEEPVL

Kategorie	Czynniki otoczenia scenariuszowego
S: Cechy społeczne	<i>S-1</i> Poziom zapotrzebowania i zużycia wody w obszarze działalności przedsiębiorstwa. <i>S-2</i> Potencjał kadrowy przedsiębiorstwa. <i>S-3</i> Potencjał kadrowy organizacji utrzymania ruchu.
T: Cechy technologiczno-narzędziowe	<i>T-1</i> Poziom nowoczesności systemu wodociągowego. <i>T-2</i> Dostęp do innowacyjnych rozwiązań eksploatacyjnych dotyczących systemu wodociągowego. <i>T-3</i> Stopień wykorzystania innowacyjnych metod i narzędzi w eksploataowaniu systemu wodociągowego.
EC: Cechy ekonomiczne	<i>EC-1</i> Dynamika zmian ceny (kosztów) dostaw wody do odbiorców. <i>EC-2</i> Nakłady na rozwój i modernizację systemu wodociągowego. <i>EC-3</i> Nakłady na działalność organizacji utrzymania ruchu.
EL: Cechy środowiskowe	<i>EL-1</i> Oddziaływanie systemu wodociągowego na środowisko naturalne. <i>EL-2</i> Oddziaływanie prac eksploatacyjnych systemu wodociągowego na środowisko naturalne.
P: Cechy polityczne	<i>P-1</i> Polityka państwa i regionu w zakresie gospodarki wodnej. <i>P-2</i> Polityka przedsiębiorstwa dotycząca zapewnienia dostaw wody odbiorcom. <i>P-3</i> Znaczenie działalności obsługowo-naprawczej dla przedsiębiorstwa.
V: Cechy wartości	<i>V-1</i> Styl życia i wzorce konsumpcyjne społeczności lokalnej. <i>V-2</i> Poziom akceptacji uciążliwości prac obsługowo-naprawczych systemu wodociągowego przez społeczność lokalną.
L: Cechy prawne	<i>L-1</i> Regulacje prawne w zakresie dostaw wody do odbiorców. <i>L-2</i> Wymagania prawne i normalizacyjne w zakresie eksploatacji systemów wodociągowych.

Pierwszy krok fazy B procedury scenariuszowej, obejmujący analizę strukturalną, został zrealizowany przy wykorzystaniu programu MICMAC - jednego z elementów specjalistycznego pakietu oprogramowania opartego na algebraicznych zasadach logiki Boole'a, opracowanego przez M. Godeta i ekspertów z French Computer Innovation Institute 3IE. Przygotowane macierze wzajemnych bezpośrednich i pośrednich oddziaływań czynników otoczenia scenariuszowego analizowanego eksploatowanego systemu wodociągowego, przetworzono najpierw na postać grafów (Rys. 6), a następnie na mapy wpływów i zależności (Rys. 7).

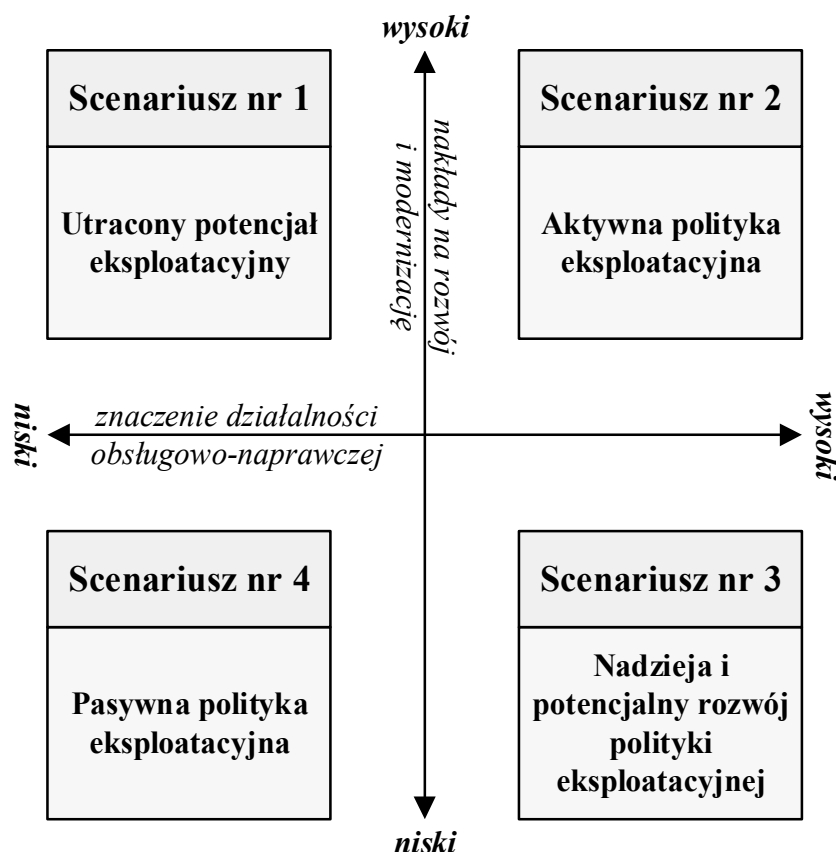
Proces parametrycznego porównania czynników kluczowych, w kontekście oddziaływań wzajemnych i poziomu niepewności, pozwolił na jednoznaczny wybór dwóch z nich. Stanowiły one podstawę konstruowania scenariuszy, tworząc kierunkowe osie rozdziału obszarów wpływu poszczególnych wariantów opisu przyszłości eksploatacyjnej (Tabela 5).

Tabela 5. Zbiór wartości siły oddziaływań/poziomu niepewności dla poszczególnych czynników kluczowych

Czynnik	<i>EC-2</i>	<i>P-3</i>	<i>T-3</i>
Wartość	6,5	4,5	4

Jako podstawę budowy scenariuszy, przyjęto czynniki kluczowe *EC-2* i *P-3*. Należy zauważyć, że skale różnic pomiędzy wartościami siły oddziaływań/poziomu niepewności, dla poszczególnych czynników, są niewielkie. Jednocześnie, różnica wartości pomiędzy wyróżnionymi a pozostałymi czynnikami², reprezentowana poprzez skalę odległości siły oddziaływań bezpośrednich i pośrednich (Rys. 7), jest na tyle duża, że uzasadnia przyjęcie do dalszej analizy wszystkich trzech wielkości. Zdecydowano, że ze względu na wagę czynnika *T-3* w wynikach dotychczas przeprowadzonych badań, powinien on stanowić merytoryczne uzupełnienie struktury i poszczególnych opisów.

Wynikiem fazy C procedury był układ czterech scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego, w postaci kombinacji skrajnych wartości analizowanych czynników kluczowych (Rys. 8).



Rys. 8. Układ scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

² Pozostałe czynniki to te, które nie zostały uwzględnione w procesie budowy scenariuszy, w wyniku realizacji analizy strukturalnej.

Opracowane scenariusze opisano i przedstawiono w postaci symbolicznej (Tabela 6), schematycznej (Tabela 7) i narracyjnej.

Tabela 6. Symboliczny opis scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

Czynnik kluczowy	Scenariusz 1	Scenariusz 2	Scenariusz 3	Scenariusz 4
<u>EC-2</u>	max	max	min	min
<u>P-3</u>	min	max	max	min
<u>T-3</u>	min	max	max/min	min

Tabela 7. Kontekstowy opis scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

Opis czynnika/ Nazwa scenariusza	Scenariusz 1	Scenariusz 2	Scenariusz 3	Scenariusz 4
	<i>Utracony potencjał eksploatacyjny:</i>	<i>Aktywna polityka eksploatacyjna:</i>	<i>Nadzieja i potencjalny rozwój:</i>	<i>Pasywna polityka eksploatacyjna:</i>
<u>EC-2</u> <i>Jaki jest poziom nakładów na rozwój i modernizację systemu wodociągowego?</i>	wysoki poziom finansowania rozwoju i modernizacji systemu wodociągowego	wysoki poziom finansowania rozwoju i modernizacji systemu wodociągowego	niski lub niewystarczający poziom finansowania rozwoju i modernizacji systemu wodociągowego	niski lub niewystarczający poziom finansowania rozwoju i modernizacji systemu wodociągowego
<u>P-3</u> <i>Jakie jest znaczenie działalności obsługowo-naprawczej w działalności przedsiębiorstwa?</i>	model ograniczonej roli organizacji utrzymania ruchu w działalności przedsiębiorstwa	model dużej roli organizacji utrzymania ruchu w działalności przedsiębiorstwa	model dużej roli organizacji utrzymania ruchu w działalności przedsiębiorstwa	model ograniczonej roli organizacji utrzymania ruchu w działalności przedsiębiorstwa
<u>T-3</u> <i>Jaki jest stopień wykorzystania innowacyjnych metod i narzędzi w eksploataowaniu systemu wodociągowego?</i>	brak potrzeby i możliwości poszukiwania i wdrażania innowacyjnych metod i narzędzi wspomagających działalność obsługowo-naprawczą	wysoka aktywność w poszukiwaniu i wdrażaniu innowacyjnych metod i narzędzi wspomagających działalność obsługowo-naprawczą	wysoka aktywność w poszukiwaniu innowacyjnych metod i narzędzi wspomagających działalność obsługowo-naprawczą, powiązana z ograniczonymi możliwościami ich wdrażania	brak potrzeby i możliwości poszukiwania i wdrażania innowacyjnych metod i narzędzi wspomagających działalność obsługowo-naprawczą

Faza D procedury scenariuszowej polegała na opracowaniu struktury prac obsługowo-naprawczych (Tabela 8), dla czterech scenariuszy, w kontekście cech kluczowych polityki eksploatacyjnej.

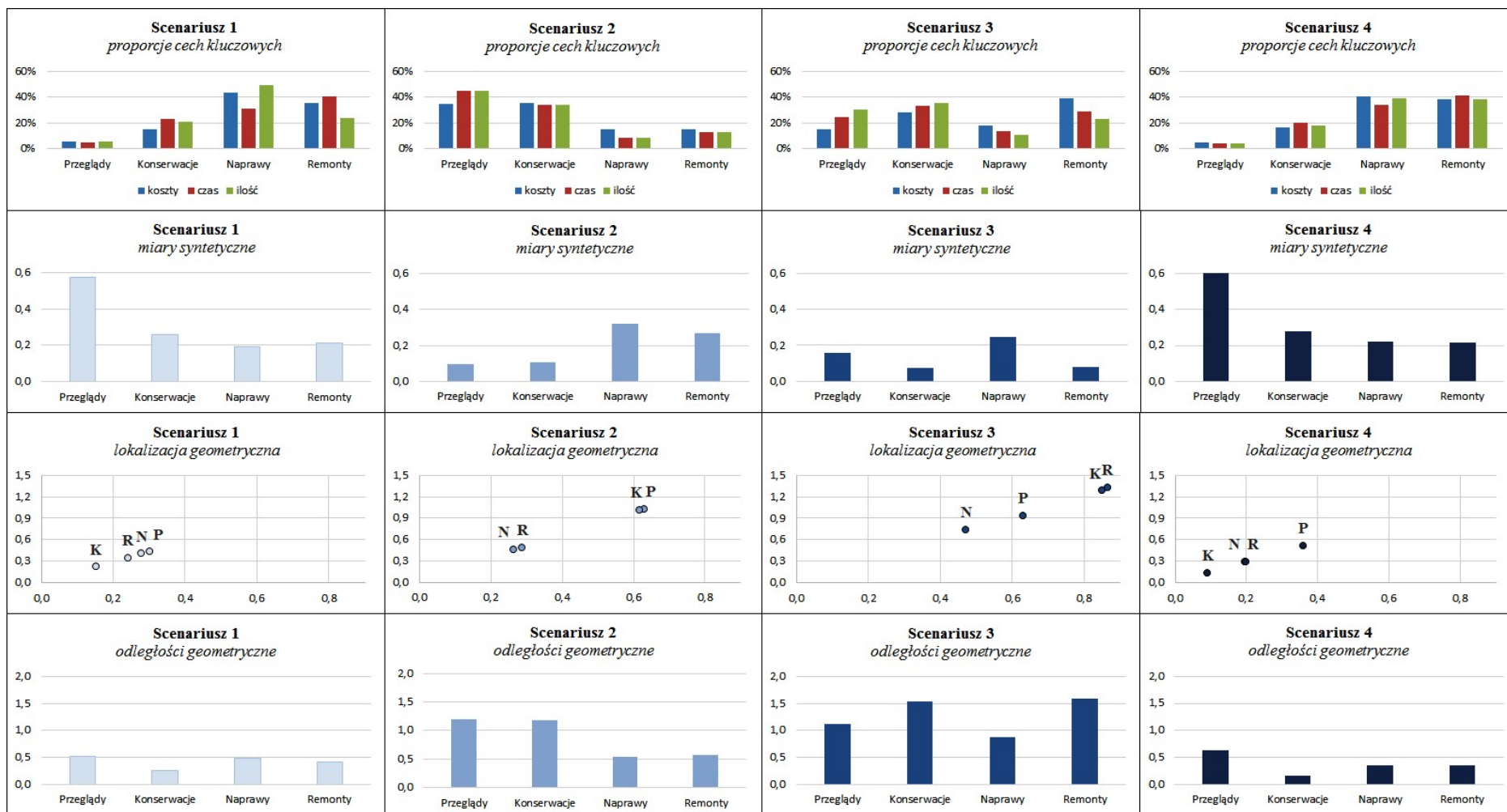
Tabela 8. Ilościowa struktura prac obsługowo-naprawczych dla scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

Scenariusz 1						
	Koszty [zł]		Czas [godz.]		Ilość	
Przeglądy	49 341,74	5,39%	2552	5,00%	84	5,58%
Konserwacje	140 826,33	15,39%	11700	22,94%	313	20,86%
Naprawy	398 179,27	43,52%	15994	31,36%	742	49,49%
Remonty	326 652,66	35,70%	20754	40,69%	361	24,07%
Suma	915 000,00	100,00%	51000	100,00%	1500	100,00%
Scenariusz 2						
	Koszty [zł]		Czas [godz.]		Ilość	
Przeglądy	113 891,40	34,51%	41219	45,05%	4122	45,05%
Konserwacje	117 420,81	35,58%	30984	33,86%	3098	33,86%
Naprawy	49 242,08	14,92%	7907	8,64%	791	8,64%
Remonty	49 445,70	14,98%	11389	12,45%	1139	12,45%
Suma	330 000,00	100,00%	91500	100,00%	9150	100,00%
Scenariusz 3						
	Koszty [zł]		Czas [godz.]		Ilość	
Przeglądy	134 157,51	14,66%	37070	24,71%	3552	30,23%
Konserwacje	257 967,03	28,19%	49451	32,97%	4171	35,50%
Naprawy	166 749,08	18,22%	20540	13,69%	1280	10,90%
Remonty	356 126,37	38,92%	42940	28,63%	2746	23,37%
Suma	915 000,00	100,00%	150000	100,00%	11750	100,00%
Scenariusz 4						
	Koszty [zł]		Czas [godz.]		Ilość	
Przeglądy	70 518,21	4,70%	4669	4,26%	171	4,16%
Konserwacje	246 708,68	16,45%	22289	20,35%	747	18,21%
Naprawy	609 943,98	40,66%	37171	33,95%	1610	39,27%
Remonty	572 829,13	38,19%	45371	41,43%	1573	38,36%
Suma	1 500 000,00	100,00%	109500	100,00%	4100	100,00%

Opracowane scenariuszowe modele parametryczne (ilościowa struktura prac obsługowo-naprawczych), stanowiły podstawę do identyfikacji wartości miar taksonomicznych (w oparciu o wzory (7) - (11)). Zostały one wykorzystane w procesie wariantowej oceny eksploatacyjnego procesu decyzyjnego. Uzyskane w ten sposób wartości miar syntetycznych i odległości geometrycznych zestawiono w Tabela 9. Natomiast graficzną wizualizację miar taksonomicznych dla poszczególnych scenariuszy, pokazano na Rys. 9.

Tabela 9. Wyniki obliczeń modeli taksonomicznych scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

Kategorie prac obsługowo-naprawczych	Scenariusz 1		Scenariusz 2		Scenariusz 3		Scenariusz 4	
	Miary syntetycz.	Odległ. geometr.	Miary syntetycz.	Odległ. geometr.	Miary syntetycz.	Odległ. geometr.	Miary syntetycz.	Odległ. geometr.
Przeglądy	0,5723	0,5221	0,0958	1,1984	0,1595	1,1261	0,6203	0,6284
Konserwacje	0,2583	0,2640	0,1050	1,1858	0,0759	1,5399	0,2774	0,1609
Naprawy	0,1929	0,4893	0,3200	0,5320	0,2460	0,8757	0,2200	0,3471
Remonty	0,2102	0,4199	0,2683	0,5673	0,0780	1,5834	0,2183	0,3503



Rys. 9. Graficzna prezentacja miar taksonomicznych scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

5. Wykorzystanie scenariuszy w kształtowaniu eksploatacyjnego procesu decyzyjnego

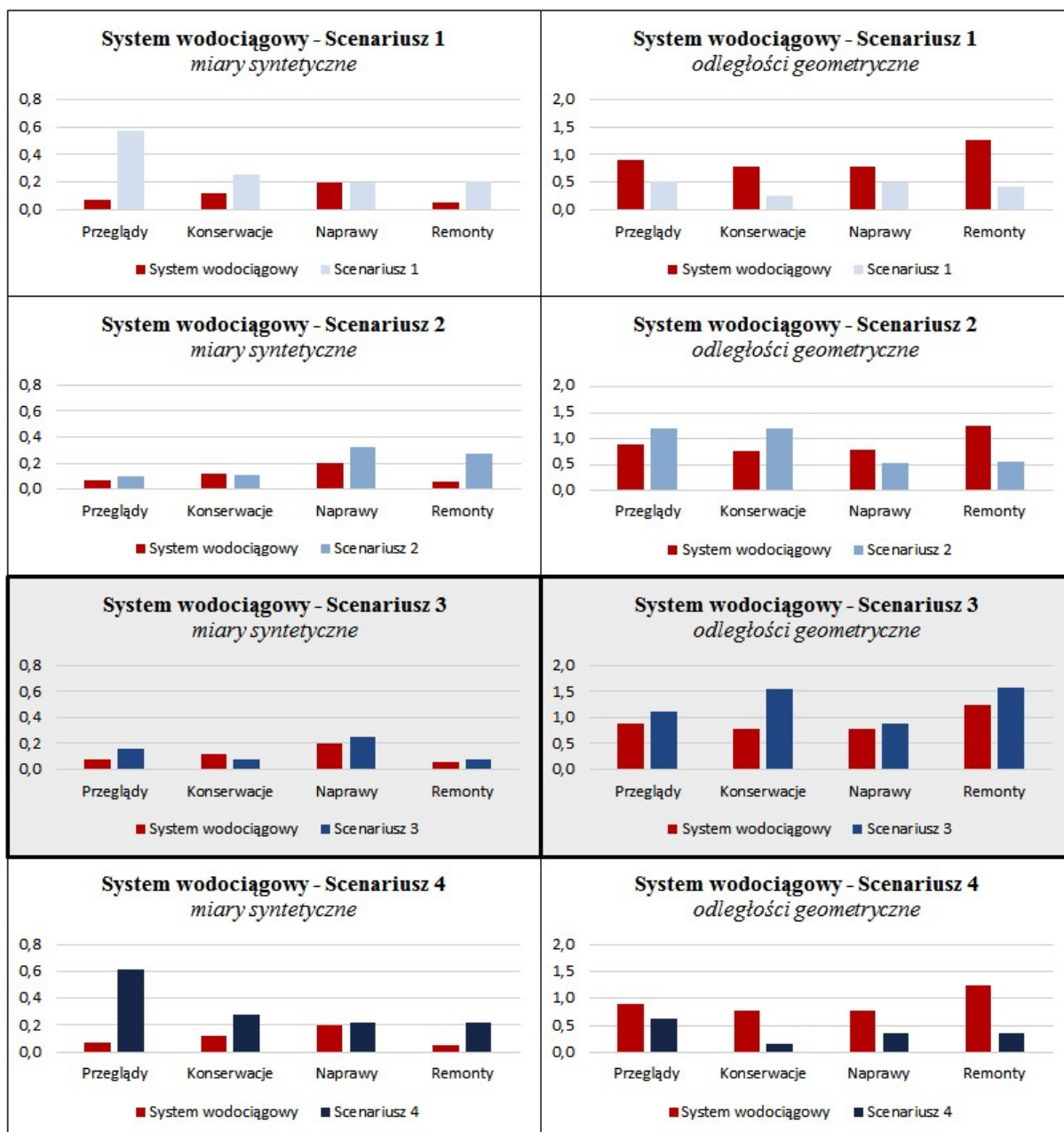
Dysponując zestawem opracowanych modeli taksonomicznych, możliwe do realizacji stają się:

- analityczna taksonomiczna procedura porównawcza polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego z modelami scenariuszy,
- ocena podobieństwa (zbieżności) polityki eksploatacyjnej z poszczególnymi scenariuszami,
- ocena realizacji eksploatacyjnego procesu decyzyjnego, w otoczeniu potencjalnych odmiennych wariantów przyszłości, reprezentowanych przez poszczególne scenariusze.

Powyższe zadania przeprowadzone zostały w oparciu o przygotowane modele taksonomiczne, opisujące politykę eksploatacyjną analizowanego systemu wodociągowego (w 2013 roku) i scenariusze rozwoju polityki eksploatacyjnej. Wyniki zestawiono w formie tabelarycznej w Tabeli 10 i w postaci graficznej na Rys. 10.

Tabela 10. Wynik analizy porównawczej taksonomicznych modeli oceny polityki eksploatacyjnej i scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

Kategorie prac obsługowo-naprawczych	System wodociągowy		Scenariusz 1		Scenariusz 2		Scenariusz 3		Scenariusz 4	
	Miara syntet.	Odległ. geom.	Miara syntet.	Odległ. geom.	Miara syntet.	Odległ. geom.	Miara syntet.	Odległ. geom.	Miara syntet.	Odległ. geom.
Przeglądy	0,0423	2,0279	0,5723	0,5221	0,0958	1,1984	0,1595	1,1261	0,6203	0,6284
Konserwacje	0,2147	1,0564	0,2583	0,2640	0,1050	1,1858	0,0759	1,5399	0,2774	0,1609
Naprawy	0,3241	0,8362	0,1929	0,4893	0,3200	0,5320	0,2460	0,8757	0,2200	0,3471
Remonty	0,2928	0,8631	0,2102	0,4199	0,2683	0,5673	0,0780	1,5834	0,2183	0,3503
Porównanie			0,7874	3,0882	0,1918	1,5590	0,5487	2,1451	0,8194	3,2969
Mediana			1,9378		0,8754		1,3469		2,0581	



Rys. 10. Graficzne porównanie wartości miar taksonomicznych modelu oceny polityki eksploatacyjnej i scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

Z zaprezentowanych wyników można wyciągnąć następujący wniosek: polityka eksploatacyjna analizowanego systemu wodociągowego realizowana w 2013 roku, wykazała największe taksonomiczne podobieństwo do scenariusza nr 3 - Nadzieja i potencjalny rozwój polityki eksploatacyjnej. Wskazują na to:

- najmniejsze wartości różnic wyznaczonych miar taksonomicznych dla analizowanej polityki eksploatacyjnej i wymienionego scenariusza,
- największa równomierność różnic wyznaczonych miar taksonomicznych dla wszystkich rozpatrywanych kategorii prac obsługowo-naprawczych,
- najmniejsza wartość mediany wypadkowej różnic wyznaczonych miar taksonomicznych.

Interpretacja uzyskanych wyników stanowi potwierdzenie zgodności opracowanych modeli z warunkami i okolicznościami prowadzonych przez autora obserwacji

przemysłowych, w organizacji utrzymania ruchu zarządzającej analizowanym systemem wodociągowym. W tym zakresie warto wymienić następujące uwarunkowania:

- system wodociągowy znajdował się w okresie po długoletniej eksploatacji, co uzasadnia konieczność realizacji polityki eksploatacyjnej zgodnej z bieżącymi potrzebami serwisowymi poszczególnych obiektów technicznych,
- wysoka kultura eksploatacyjna personelu powiązana z polityką poszukiwania rozwiązań wspomagających, stwarzają możliwość zwiększania udziału ilościowego i czasowego prewencyjnych prac obsługowo-naprawczych przy utrzymaniu kosztów na obecnym poziomie,
- brak planów modernizacji sieci w bliskim horyzoncie czasowym, powoduje niekorzystną tendencję do rutynizacji realizacji prac obsługowo-naprawczych.

Powyższa ocena ma charakter chwilowy, odnoszący się do określonego wycinka czasowego (2013 rok). Stanowi ona punkt początkowy możliwości i zasadności wprowadzania zmian w ramach eksploatacyjnego procesu decyzyjnego.

Oprócz zaprezentowanego sposobu interpretacji, scenariuszowe kształtowanie eksploatacyjnego procesu decyzyjnego może przebiegać w dwóch kierunkach:

1. Monitorowanie polityki eksploatacyjnej, polegające na cyklicznej ocenie polityki eksploatacyjnej w oparciu o opracowane modele taksonomiczne, a następnie interpretacji wyników w kolejnych, z góry zdefiniowanych, momentach czasowych. Pozwala to na ciągłą ocenę kierunku i poziomu zmian stopnia podobieństwa (zbieżności) polityki eksploatacyjnej do poszczególnych scenariuszy, a to z kolei, umożliwia korygowanie założeń i wytycznych eksploatacyjnego procesu decyzyjnego.
2. Symulacyjna ocena zmian eksploatacyjnego procesu decyzyjnego [15, 29], polegająca na analizie i interpretacji wpływu modyfikacji cech na zmianę poziomu podobieństwa (zbieżności) polityki eksploatacyjnej z poszczególnymi scenariuszami.

6. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań, wykazały możliwość oceny i kształtowania przyszłości eksploatacyjnej, w oparciu o wykorzystanie alternatywnych wielowątkowych zbiorów ciągłych w czasie lub dyskretnych obrazów rzeczywistości. Budowa scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego, uzupełniona ich taksonomiczną oceną wzajemną, potwierdziła potrzebę sprawowania długookresowego wieloaspektowego nadzoru nad eksploatacyjnym procesem decyzyjnym w warunkach przemysłowych. Opracowana metodyka scenariuszowego modelowania eksploatacyjnego, opierając się na zasobach zakładanych i przewidywanych danych o realizacji procesów eksploatacyjnych, przyjmuje w tym ujęciu nowy sposób podejścia do eksploatacyjnego procesu decyzyjnego.

Biorąc pod uwagę założenia, specyfikę, jak również ograniczenia metodologiczne i narzędziowe, należy stwierdzić, że:

- metody modelowania wariantów przyszłości mogą być podstawą do opisu równoważnych obrazów przyszłości eksploatacyjnej,
- opisy wariantów przyszłości eksploatacyjnej nie stanowią bezpośrednich procedur postępowania w realizacji zadań eksploatacyjnych,
- metody modelowania wariantów przyszłości cechuje wewnętrzny znaczny poziom niepewności decyzyjnej, dlatego opracowane obrazy (scenariusze) mają charakter dynamiczny zmieniający się w sposób dyskretny w miarę upływu czasu.

Próba dostosowania klasycznych sposobów modelowania wariantów przyszłości do wymagań eksploatacyjnego procesu decyzyjnego, wykazała różnice, które utrudniają zastosowanie istniejących typowych procedur scenariuszy eksploatacyjnych w kontekście

funkcjonowania sieciowych systemów technicznych. Różnice te zestawiono w Tabeli 11. Powoduje to konieczność budowy scenariuszowych rozwiązań zindywidualizowanych.

Tabela 11. Porównanie specyfiki metod modelowania scenariuszowego w zastosowaniach klasycznych i dla eksploatacyjnego procesu decyzyjnego w sieciowych systemach technicznych

Specyfika klasycznych metod modelowania scenariuszowego	Specyfika eksploatacyjnego procesu decyzyjnego w warunkach funkcjonowania sieciowych systemów technicznych
<ul style="list-style-type: none"> • jednostkowość prowadzonych procedur dotyczących problemów lub sytuacji, • złożoność, czasochłonność i konieczność dużego zaangażowania zasobów w budowę modeli, • wskazana wieloaspektowość i duża szczegółowość analizowanych czynników otoczenia. 	<ul style="list-style-type: none"> • ciągły powtarzalny cykliczny charakter realizacji, • wąski zakres czynników mających wpływ na eksploatacyjny proces decyzyjny w dłuższym horyzoncie czasowym.

Badania przedstawione w artykule ukierunkowane zostały na sieciowe systemy techniczne. Jednakże, przygotowane rozwiązania metodyczne, modelowe i aplikacyjne nie posiadają szczególnych ograniczeń co do kategorii systemu technicznego. Dlatego też, zdaniem autora, możliwa jest implementacja scenariuszowego kształtowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego w warunkach funkcjonowania instalacji przemysłowych czy maszyn i urządzeń produkcyjnych. Takie działania wymagają podjęcia dodatkowych prac nad:

- budową modeli obiektów, zdarzeń i procesów eksploatacyjnych i ich weryfikacją w odniesieniu do realizowanej polityki eksploatacyjnej,
- adaptacją zbiorów miar eksploatacyjnych, wykorzystywanych w warunkach przemysłowych, do wymagań i możliwości eksploatacyjnego procesu decyzyjnego,
- identyfikacją i interpretacją otoczenia wewnętrznego i zewnętrznego eksploatowanego przemysłowego systemu technicznego, z dodatkową selekcją tych czynników i cech, które mogą stanowić podstawę modelowania scenariuszowego.

7. Literatura

1. Antosz K, Stadnicka D. Evaluation measures of machine operation effectiveness in large enterprises: study results. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2015; 17 (1): 107–117.
2. Baran J, Janik A, Ryszko A, Szafraniec M. Making eco-innovation measurable - are we moving towards diversity or uniformity of tools and indicators? Albena: 2nd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts. SGEM2015; Book 2, Vol. 2: 787-798.
3. Brodny J, Stecuła K, Tutak M. Application of the TPM strategy to analyze the effectiveness of using a set of mining machines. Albena: 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM 2016; Book 1: Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining: 65-72.
4. Burduk A, Chlebus E. Evaluation of the risk in production systems with a parallel reliability structure. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2009; 42 (2): 84-95.

5. Cholewa W, Kaźmierczak J. Data processing and reasoning in technical diagnostics. Warszawa: WNT, 1995.
6. Glenn JC, Gordon J. Future Research Methodology, Version 3.0. 2009, The Millenium Project Publication, 2009.
7. Godet M, Roubelat M. Creating the future: The use and misuse of scenarios. Long Range Planning 1996; 42 (2): 164-171.
8. Godet M. Creating Futures. Scenario Planning as a Strategic Management Tool - second edition. Paris: Economica Ltd., 2006.
9. Godet M. The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. Technological Forecasting and Social Change 2000; 65 (1): 3-22.
10. Jasiulewicz-Kaczmarek M. Practical Aspects of OEE in Automotive Company - Case Study. Guilin: Proceedings of the 2016 International Conference on Management Science and Management Innovation; 2016; Book Series: AEBMR-Advances in Economics Business and Management Research: 213-218.
11. Kahane A. The Mount Fleur Scenarios: What will South Africa be like in the year 2002? Deeper News 1996; 7 (1): 1-22.
12. Kahn H, Wiener A.J. A Framework for Speculation on the Next Thirty-Three Years. New York: The Hudson Institute Inc., 1967.
13. Karwot J, Kaźmierczak J, Wyczółkowski R, Paszkowski W, Przystałka W. Smart water in smart city: a case study. Albena: 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM 2016; Book 3: Hydrology and water resources: 851-858.
14. Klir GJ, Folger TA. Fuzzy Sets, Uncertainty and Information. New York: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.
15. Kłós S, Patalas-Maliszewska J, Trebuna P. Improving manufacturing processes using simulation methods. Applied Computer Science 2016; 12 (4): 42-53.
16. Koradecka D. Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Warszawa: Centralny Instytut Ochrony Pracy, 1999.
17. Kosicka E, Kozłowski E, Mazurkiewicz D. The use of stationary tests for analysis of monitored residual processes. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2015; 17 (4): 604-609.
18. Lindgren M, Bandhold H. Scenario Planning. The Link Between Future and Strategy - second edition. New York: Palgrave Macmillan, 2009.
19. Loska A, Moczulski W, Wyczółkowski R, Dąbrowski A.: Integrated system of control and management of exploitation of water supply system. Diagnostyka. 2016; 17(1): 65-74.
20. Loska A. Exploitation assessment of selected technical objects using taxonomic methods. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2013; 15 (1): 1-8.
21. Loska A. Methodology of variant assessment of exploitation policy using numerical taxonomy tools. Management Systems in Production Engineering 2015; No 2(18), pp 98-104.
22. Loska A. Remarks about modelling of maintenance processes with the use of scenario techniques. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2012; 14 (2): 92-98.
23. Loska A. Variant assessment of exploitation policy of selected companies managing technical network systems. Management Systems in Production Engineering 2015; 3(19): 179-188.
24. Mazurkiewicz D. Maintenance of belt conveyors using an expert system based on fuzzy logic. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2015; 15 (2): 412-418.
25. Młodak A. Analiza taksonomiczna w statystyce regionalnej. Warszawa: Wydawnictwo Difin, 2006.

26. Moczulski W. Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn. Gliwice: Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1997.
27. Nazarko J, Kędzior Z. Uwarunkowania rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim. Wyniki analiz STEEPVL i SWOT. Białystok: Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, 2010.
28. Nazarko J, Wnorowski H, Kononiuk A. Analiza strukturalna czynników rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim. Białystok: Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, 2011.
29. Osak-Sidoruk M, Gola A, Świć A. A method for modelling the flow of objects to be machined in FMS using enterprise dynamics. *Applied Computer Science* 2016; 12 (2): 42-53.
30. Pahl G, Beitz W. Nauka konstruowania. Warszawa: WNT, 1984.
31. Panek T. Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej. Warszawa: Szkoła Główna Handlowa, 2009.
32. Ringland G. Scenario planning. Managing for the future. Chichester: John Willey & Sons, Ltd., 2006.
33. Schoemaker P. Scenario planning: A tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, 1995; 37 (2): 25-40.
34. Van der Heijden, K. Scenarios. The Art of Strategic Conversation. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.
35. Wack P. Scenarios: uncharted waters ahead. *Harvard Business Review* 1985: 73-89.
36. Wright G, van der Heijden K, Burt G, Bradfield R, Cairns G. Scenario planning interventions in organizations: An analysis of the causes of success and failure. *Futures* 2008; 40 (3): 218-236.
37. Wyczółkowski R.: Inteligentny system monitorowania sieci wodociągowych. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2008; 37 (1): 33-36.