

Andrzej LOSKA

SCENARIO MODELING EXPLOITATION DECISION-MAKING PROCESS IN TECHNICAL NETWORK SYSTEMS

SCENARIUSZOWE MODELOWANIE EKSPLOATACYJNEGO PROCESU DECYZYJNEGO W SIECIOWYCH SYSTEMACH TECHNICZNYCH*

The article shall discuss on the use of methods of modeling future variants, including scenarios, for assessment and shaping the decision-making process relating to exploitation of technical systems. The analysis showed a strong need the exploiters for influencing the decision-making process in long-term. In view of the above assumptions, and based on the results of the research, there was developed a procedure for building exploitation scenarios models, which was then verified in the context of functioning of the technical network system - water supply system.

Keywords: *decision-making process, scenario methods, exploitation policy, technical network systems, maintenance management.*

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.

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

1. Introduction

Exploitation future is closely linked to the past and present, assuming the shape of complex interactions between: decisions, and consequently the operating and maintenance activities, which are realized in the present, and the effects and/or consequences occurring in the future. In other words, an insight into exploitation future is possible by recognizing current events. The key problem seems to be the possibility of shaping the decision-making process, which, in this article, will be defined as the exploitation decision-making process. Such a process focuses effects of modeling exploitation policy, being the subject of its assessment, both internally - against functioning of the technical network system, and externally - in terms of requirements and conditions of the environment of the maintenance organization.

Every decision concerning the future behavior of technical objects is charged with some uncertainty, which in this approach is reflected in the volume and variety of possible paths of exploitation procedures to choose (operating and maintenance) [14]. This uncertainty is further increased by the long-time horizon of the intended effects or consequences of decision making. In this context, there are important the answers to the following practical questions [4, 22]:

1. How long will the technical object/system fulfill its functions at a given level of the performance/effectiveness?
2. When will occur a need to replace the technical object/system, in order to use the exploitation potential in an optimal way, assuming cost minimization criteria?
3. What decisions should be taken today to ensure maximum exploitation potential of the technical object/system in the future?

The answers to these questions are possible on the basis of developed, in quantitative way, models of exploitation processes, including

variability of the features of the analyzed technical object/system, as well as dynamic environmental conditions, in which it operates. It is also important reliable assessment of the future results of present activities, in particular, quantitative analysis of possible problems and potential effects or consequences of decisions taken [1, 3, 10, 17, 20].

For the purpose of shaping the exploitation decision-making process, there can be useful concepts and methods for modeling and analysing future variants. They enable the use of multi-threaded image of the current reality, with simultaneous possible look, which is far ahead of the current time. It results in scenarios of future behaviors of technical objects and guidelines for functioning technical staffs within the maintenance departments of the enterprises.

In response to the above formulated circumstances, later in this article, there was developed and presented the way of scenario modeling and assessment of the exploitation decision-making process.

2. Review of the concepts of modeling future variants in the context of shaping the exploitation decision-making process

Modeling the future variants is related to the preparation of assumptions and images, for identifying the development of events, which may occur in the period which may occur in the period much ahead of the current moment. This is to the optimal realization of the decision making process, by tracking its possible future effects or consequences.

In the studies on methods of modeling future variants, which are carried out since the fifties of the twentieth century [12, 35], initially there were distinguished two opposing general concepts. According to them, future operation of a technical object can be based on predict-

(*) Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny w elektronicznym wydaniu kwartalnika na stronie www.ein.org.pl

ing, which results in the prediction, or on the anticipation, the effect of which is a vision. In particular [24, 34, 37]:

- prediction is the effect of the mathematical modeling and is a quantitative - computation,
- vision is due to search for goals and values of the future, in the form of immeasurable interrelated descriptions, facts and statements; valid vision is simple and understandable, but not entirely quantified.

The specificity of the exploitation decision-making process realized in an industrial environment, which is based on the quantitative characteristics and the features expressed in the descriptive form, justifies the need to link the quantitative character of predictions with the qualitative and descriptive character of visions. A tool, that meets these requirements is a scenario, which in this case, can fill the gap between the aforementioned concepts, being their common part.

In the area of research, as well as in the context of practical applications, scenario is defined inconsistently. It results from its interpretation in the aspect of the purpose and scope of the specific project of modeling of future variants. These definitions can be summarized in two categories:

- scenario in the methodological term, as a way of dealing with the decision uncertainty, on the basis of an internally consistent image of the future, represented by a set of descriptions of possible variants of future events or situations [9, 33],
- scenario in the utility term, as a response to the results of research and application, as a set of methods and tools, enabling optimization of the decision-making process within the issues of strategic management [18, 32, 36].

The scenario is a tool that helps to present the future and allows us to answer the questions:

- what conceivable can happen, when ...?

or

- what could happen, when ...?

Development and effective use of scenarios within the exploitation decision-making process, requires reaching to the concept of the prediction and the vision. Prediction is short-term and allows you to determine the potential change of the technical conditions of the object, which facilitates the formulation of decisions and the realization of activities [5]. With the increase of the distance of time in the future, there are required methods and tools to assess the possibilities and risk of potential decisions relating to the exploited object, as well as its economic and organizational environment [2]. This enables to prepare on not one, but more future images. This can be demonstrated using the futures funnel concepts (Fig. 1). It displays the multiplicity and

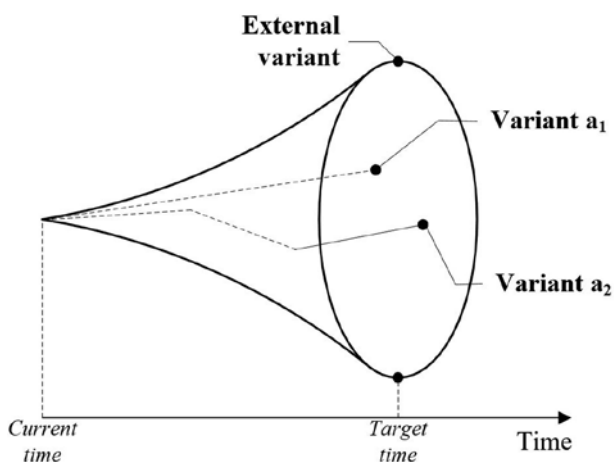


Fig. 1. The graphical interpretation of the concept of the so-called funnel of future variants

diversity of possible courses to achieve alternative results describing the effects/consequences of the decisions taken.

On the input of scenario process, there should be a clear set of information defining the main goals of the entire project. The output from the scenario project can indicate to the consequences (variants) of potential occurrence of events and circumstances, described by scenarios, in a simple and understandable way for users.

The results of the research on possibilities and needs of the use of methods of modeling future variants (including scenario methods), in shaping of the exploitation decision-making process, revealed that:

1. Scenario methods of modeling future variants, although known and used in the macro area - global strategic planning [7, 11, 27, 32, 33], not yet gained greater recognition in the micro area - the operation of individual systems under technical and organizational conditions.
2. The issue of the use of scenario methods of modeling future variants, appears in the bibliography incidentally in the context of solving exploitation problems. There are single descriptions of the practical applications of scenarios in the emergency tasks [16], or in acquiring diagnostic knowledge of the selected group of machines [26].
3. Domestic and foreign publications and other elaborations include the references to the selected methods and partial issues used in complex solution, proposed in this article [18, 22, 28, 32].
4. The use of scenario methods for the needs of complex modeling of the exploitation decision-making process can be considered a new issue, not published in Poland and abroad.
5. Proposed methodology and application solutions (tools), can fill the gap in shaping the exploitation decision-making process of industrial enterprises.

3. Methodology of scenario modeling of the exploitation decision-making process

The analysis of the possibilities of the future variants description, justifies the need to develop a methodology for modeling the exploitation decision-making process with the use of scenario methods.

The realization of the undertaken research tasks was to develop scenario models with the use of selected methods and tools, and then to assess their suitability within the framework of supporting the long-term exploitation decision-making process. The content of the developed models and the basis of their quantitative verification was a set of data obtained from the activities of the maintenance organization of the company managing the network technical system - the water supply system.

Firstly, there was developed procedure for constructing models of the exploitation scenarios (Fig. 2), which:

- was coherent to the general scenario logic represented by three key concepts: the intuitive logic concept [18, 34], La Prospective concept [8, 9, 32], TIA/CIA concept (Trend Impact Analysis/Cross Impact Analysis) [6],
- was adequate for the considered problem of the identification and description of the future images for development of the exploitation policy of the analyzed water supply system [13, 19].

The A phase of the scenario procedure, first focus on the identification of a set of factors, describing the impact of the external and internal environment on the exploitation policy, in a way that underlines aspects of convergent and consistent with the considered issues of decision-making. For this purpose, STEEPVL model was applied [27, 34]. It provided the basis for structuring factors under the seven categories: Social, Technological, Economic, Ecological, Political, Value, Legal. The second stage of the A phase was to specify the main scenario problem. The main scenario problem is expressed in the form

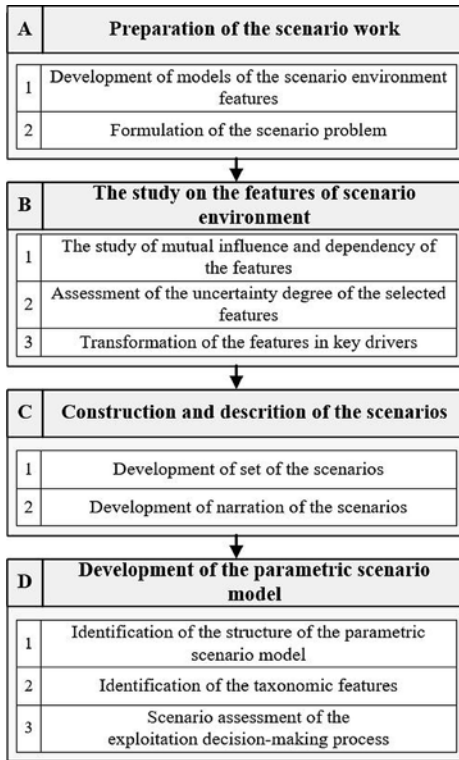


Fig. 2. The procedure for constructing scenario models of the development of the exploitation policy

of the so-called focal question and is the target, to which are referred potential effects/consequences of the scenario procedure.

The B phase of the scenario procedure was to extract key factors, which, such that, on the one hand, they were the most important for the formulated main problem, and on the other they had the highest degree of uncertainty, in relation to the target time point. To do this, there were identified the level of mutual interactions between key factors, by determining the number of tracks and loops of nodes, built on the basis of the prepared matrix of impacts and relationships (direct and indirect) between the factors. For the needs of carrying out this task, there was used the structural analysis method [7, 18, 28], which is schematically shown in Fig. 3.

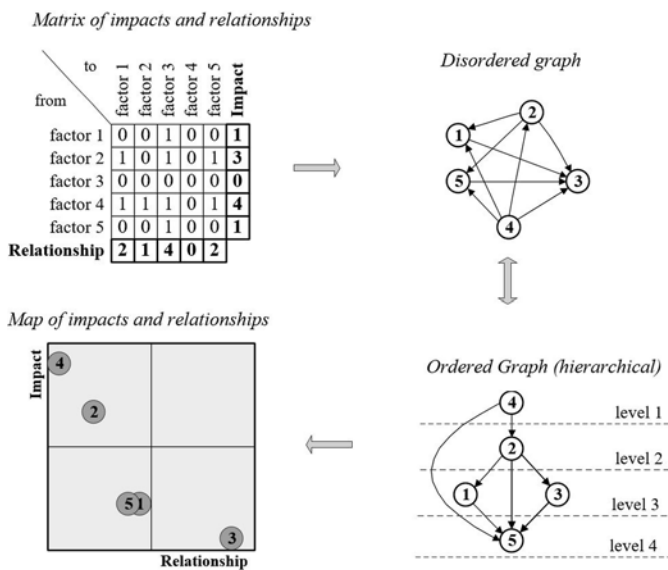


Fig. 3. The concept of the structural analysis, based on La Prospective methodology [8, 28]

In order to distinguish the factors as a basis of the scenarios construction, there was proposed the procedure of parametric comparison of the key factors, in the context of the mutual interactions and the level of uncertainty. The result of this comparison, for three key factors, was described by the matrix expressing the summary mutual level of the scenario advantage:

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

where: c_{ij} - the assessment of the advantage of the impact/uncertainty of i factor over j factor.

The possible values of the assessment of the advantage of the impact/uncertainty of i factor over j factor (c_{ij}) are shown in Table 1.

The final result of the B phase was the set of key factors ordered using the procedure of the parametric assessment of the mutual scenario advantage.

The C phase of the scenario procedure was to develop the scenario models. For this purpose, the identification of a predetermined number of scenarios was performed (usually four), on the basis of a relationship between two or three key factors, as defined in the B phase of the scenario procedure (Fig. 4).

There was proposed the use of three forms of the scenario description as the next steps of their detailing:

- symbolic description, as an ordered set of agreed values of factors, assigned to the scenarios,
- schematic description, as an ordered set of statements, which was syntactic development of a symbolic description for the scenarios,
- narrative description, as an ordered set of content, which was a semantic extend of the schematic description for the scenarios.

Table 1. The set of possible values for the assessment of the advantage of the impact/uncertainty of i factor over j factor (c_{ij})

Values c_{ij}	Interpretation of c_{ij} values
1	impact/uncertainty of i factor, greater than impact/uncertainty of j factor
0,5	impact/uncertainty of i factor, equal to impact/uncertainty of j factor
0	impact/uncertainty of i factor, lower than impact/uncertainty of j factor

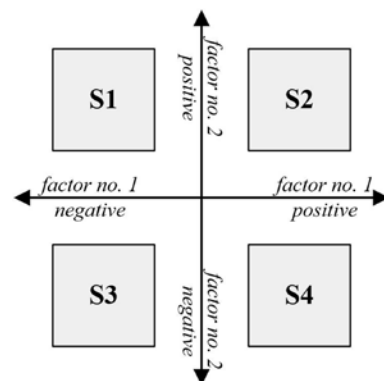


Fig. 4. The modeled layout of four scenarios [18, 32]

The D phase of the scenario procedure was to develop a parametric scenario model. It was a quantitative interpretation of the symbolic model and the schematic model, enabling the assessment of the compliance level of the exploitation policy with the developed scenarios.

Table 2. A generalized set of input components to the parametric model for the assessment of the exploitation scenarios

Scenario S					
	Factor 1		...	Factor m	
Weight	w_1		...	w_m	
Feature 1	ch_{11}		...	ch_{1m}	
...	
Feature n	ch_{n1}		...	ch_{nm}	
Category 1	kt_{11}	$wkt_{11} = \frac{kt_{11}}{\sum_{i=1}^p kt_{i1}} \quad (2)$	...	kt_{1n}	$wkt_{1m} = \frac{kt_{1m}}{\sum_{i=1}^p kt_{im}} \quad (3)$
Category p	kt_{p1}	$wkt_{pm} = \frac{kt_{mn}}{\sum_{i=1}^p kt_{im}} \quad (4)$	...	kt_{nn}	$wkt_{pm} = \frac{kt_{mn}}{\sum_{i=1}^p kt_{im}} \quad (5)$

Development of the parametric scenario models began with the transformation of the symbolic and the schematic representation in the description representation. This consisted in the interpretation and transformation of the symbols and statements at the set weights and then ordering them (Table 2).

where: w_i - weights of the key factors, whose values were determined in the B phase of the scenario procedure, ch_{ij} - weights of the key features of the exploitation policy (cost, time, quantity of exploitation tasks completed in a reference period [21]), whose values from the range (0,1) describe the level of significance of the features against the scenario key factors, as a result of the assessment carried out by a scenario team in response to the question: *What is the level of the key features in view/against a particular value of a scenario key factor?*, kt_{ik} - weights of the categories of the maintenance works (inspections, maintenances, repairs, overhauls), whose values from the range (0,1) describe the level of importance of each category against the individual key factors, as a result of the assessment carried out by a scenario team in response to the question: *What is the level of a maintenance category in view/against a particular value of a scenario key factor?*

Determination of the coefficients, as the basis for identifying the maintenance works structure against the key features, required a synthesis of various weight groups within a coherent and representative model. For the purposes of such synthesis, there was used a hierarchical model of objectives decomposition, which is a component of the method of the concepts valuation [30]. In this respect, the components tree was defined, obtaining the hierarchical weight structure (Fig. 5).

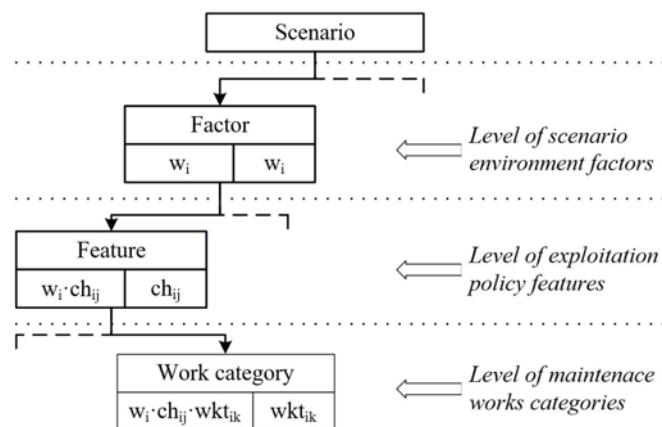


Fig. 5. The generalized form of the components tree for the parametric model of the assessment of the exploitation scenarios

The tree shown in Fig. 5, combines the weights hierarchically, in such a way, that the absolute values of the components (determined with reference to the highest level) are the product of the relative values of all the previous levels within a given path. The result of so constructed tree are the synthetic values of coefficients, necessary to determine the quantitative structure of the maintenance works, in the context of the key features of the exploitation policy. The values of coefficients (based upon the shape and content of the tree) are determined according to the (6).

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

where: R_{jk} - the value of j-th key feature of the exploitation policy for k-th category of the maintenance works, w_i - the weight of the i-th scenario environment factor, ch_{ij} - the weight of the j-th key feature in the context of the i-th sce-

Table 3. The generalized set of components for the parametric model of the exploitation policy assessment

Scenario S			
	Key feature 1	...	Key feature n
Category 1	R11	...	R1n
...
Category p	Rp1	...	Rpn

nario environment factor, wkt_{ik} - the weight of k-th category of the maintenance works in the context of the i-th scenario environment factor, Pw_j - the value of pattern parameter of j-th key features.

General form of the parametric structure of the maintenance works, in the context of the particular key features of the exploitation policy, was shown in Table 3.

Table 3. The generalized set of components for the parametric model of the exploitation policy assessment

Scenario S			
	Key feature 1	...	Key feature n
Category 1	R_{11}	...	R_{1n}
...
Category p	R_{p1}	...	R_{pn}

Developed quantitative structure of the maintenance works, was the foundation for the identification of the values of the taxonomic measures, which, in consequence, were used in the variant assessment of the exploitation decision-making process. In [21, 23] there was presented, elaborated by the author, the detailed procedure for determination of the taxonomic measures of the exploitation policy assessment, on the basis of purposely selected methods and tools [25, 31]. In this regard, there were determined synthetic measures and geometric distance values of the key features of the exploitation policy for particular categories of the maintenance works, by:

- normalization of the features based on the standardization procedure:

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

where: z_{ij} - the normalized feature, $\overline{ch_j}$ - the average value of the class of the exploitation policy features, $S(ch_j)$ - the standard deviation of the class of the exploitation policy features.

- determination of the geometric distance from the particular categories of the maintenance works to the pattern object, based on the Euclidean measure:

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

- determination of the synthetic measures for the particular categories of the maintenance works:

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

where:

$$z_{0j} = \frac{\overline{z_j}}{S_j} \quad (10)$$

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

Determined characteristics describe the taxonomic level of distance of the maintenance works categories from the pattern [23]. This is the basis for the assessment of their contribution within the exploitation policy.

4. The exploitation scenario models of the analyzed technical network system

The developed methodology of construction of the exploitation scenarios was verified in the context of functioning of the technical network system - exploited water supply system¹. For this purpose, based on the data sets resulting from the activities of the maintenance department of the analyzed enterprise, and also taking into account the expert workshops, the following assumptions was formulated:

- the starting point for the scenarios was the year 2013, which means, that the tasks were carried out based on the data describ-

ing the exploitation policy of the analyzed water supply system in 2013,

- the period of the scenario narrative was set for 20 years, which means, that proposed at the present time, effects and/or consequences of decisions have a chance to develop during this period.

The intended and realized result of the developed procedure should be a set of scenarios specified in qualitative (descriptive) and quantitative (parametric).

The results of the implementation of the A phase of the developed scenario procedure, was:

- a set of the environmental scenario factors arranged by the STEEPVL model (Table 4),
- the main scenario problem, as a conditional formula, actual at the final moment of the assumed period of the developed scenarios: **What aspects will have long-term impact on the shape of the exploitation policy realized in relation to the water supply system?**

The first stage of the B phase of the scenario procedure, including the structural analysis, was carried out with the use of the MICMAC program - one of the components of the specialized software package based on the principle of algebraic logic Boole'a, developed by M. Godet and experts from the French Computer Innovation Institute 3IE. Prepared matrices of mutual direct and indirect impacts of the environmental scenario factors of the analyzed exploited water supply system, were first processed to the form of graphs (Fig. 6), and then to the maps of the impacts and relationships (Fig. 7).

The structural analysis allowed to extract the three factors, located in the typical area of the key factors (with the highest level of the direct and indirect interactions):

Table 4. The list of the scenario environmental factors, as a result of the analysis using the STEEPVL model

Categories	Scenario environment factors
S: Social factors	S-1 Level of request and consumption of water in the activity area of the enterprise. S-2 Staff potential of the enterprise. S-3 Staff potential of the maintenance department of the enterprise.
T: Technological factors	T-1 Level of modernity of the water supply system. T-2 Access to innovative exploitation solutions on the water supply system. T-3 Level of the use of innovative methods and tools in the exploitation of the water supply
EC: Economic factors	EC-1 Dynamics of changes in the price (cost) of water supply to consumers. EC-2 Expenditures for development and modernization of the water supply system. EC-3 Expenditures for activities of the maintenance department.
EL: Ecological factors	EL-1 Influence of the water supply system on the environment. EL-2 Impact of exploitation activities for the water supply system on the environment.
P: Political factors	P-1 State and region policy in the field of water management. P-2 Enterprise policy for ensuring supply of water to customers. P-3 Importance of the maintenance activity for the enterprise.
V: Value factors	V-1 Life style and consumption patterns of the local community. V-2 Level of acceptance of maintenance works of the water supply system by the local community.
L: Legal factors	L-1 Legislation in the supply of water to consumers. L-2 Legal requirements and standards for the exploitation of the water supply system.

¹ Due to the information range, which may be a strategic value, deliberately omitted the name of the analyzed company, which does not affect the value of research.

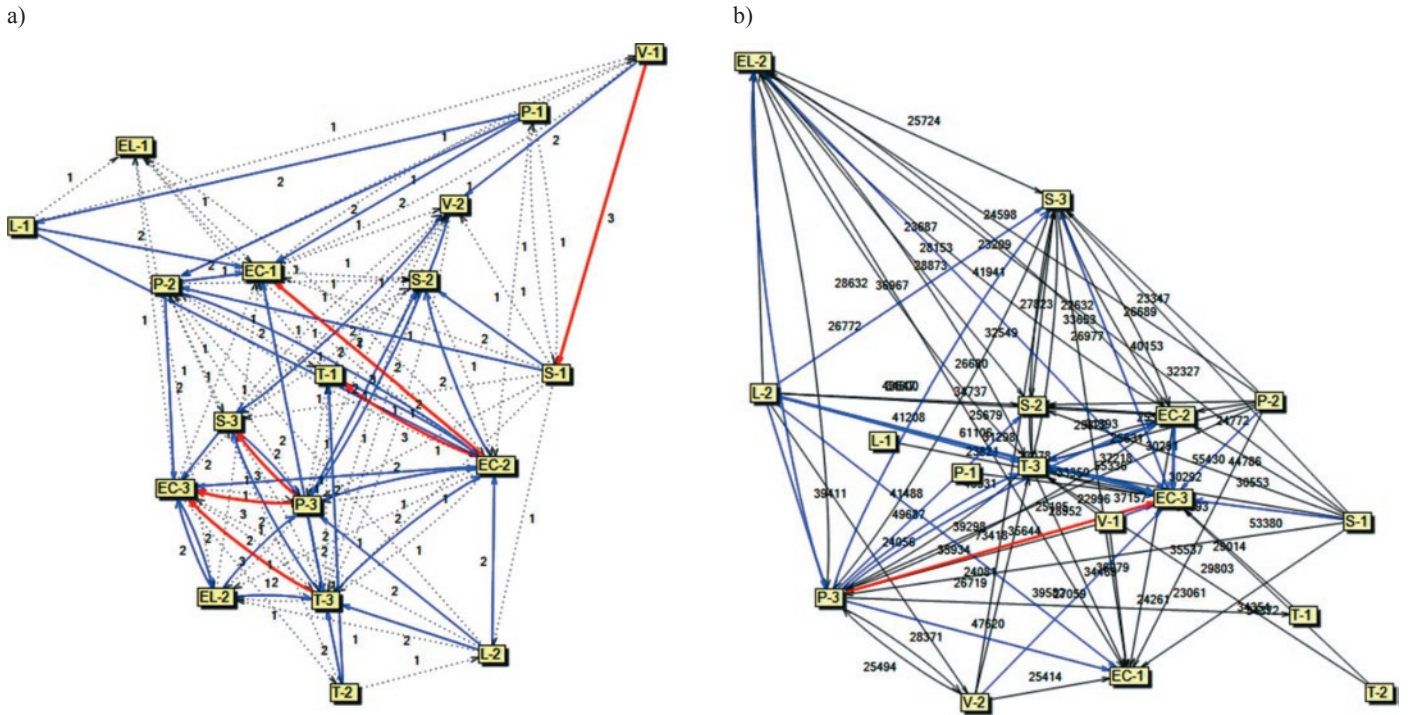


Fig. 6. The graphs of mutual interactions of the scenario environmental features of the analyzed exploited water supply system: a. the graph of direct interactions, b. the graph of indirect interactions

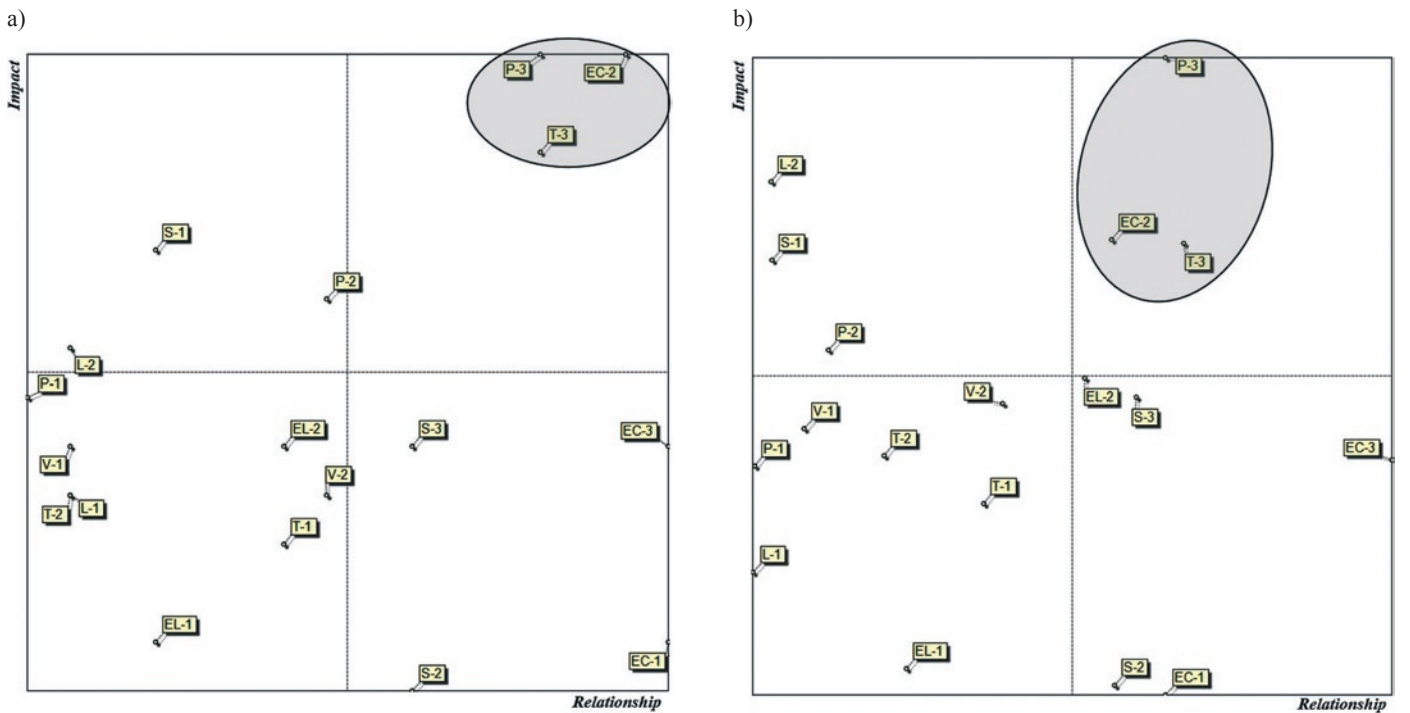


Fig. 7. The maps of mutual interactions of the scenario environmental features of the analyzed exploited water supply system: the map of direct interactions, b. the map of indirect interactions

- EC-2 Expenditures for development and modernization of the water supply system
- P-3 Importance of the maintenance activity for the enterprise
- T-3 Level of the use of innovative methods and tools in the exploitation of the water supply system

The process of parametric comparison of the key factors, in the context of mutual interactions and the uncertainty level, led to the unambiguous selection of two of them. They were the foundation for construction of the scenarios, determining the directional axes of dis-

tribution of influences areas of the particular exploitation future variants (Table 5).

As a basis for scenarios, there was taken the key factors: EC-2 i P-3. It should be noted, that the differences between the interaction/uncertainty values, for the key factors are low. Simultaneously, the

Table 5. The values of interaction/uncertainty for the key factors

Factor	EC-2	P-3	T-3
Value	6,5	4,5	4

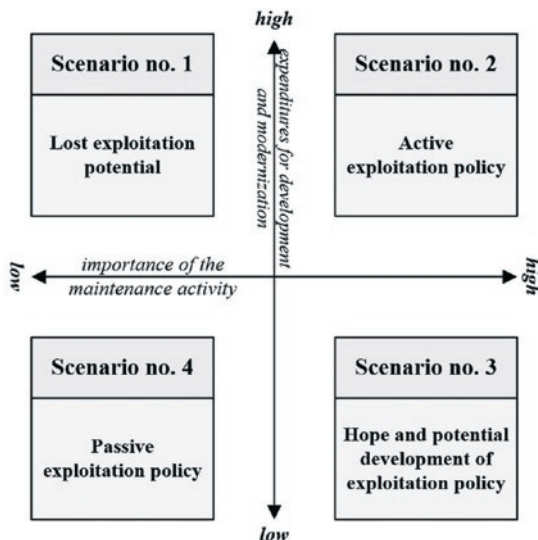


Fig. 8. The layout of the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system

values difference between distinguished factors, and other factors², represented by the distance scale of interactions of the direct and indirect influences (Fig. 7), is large enough, that justifies the inclusion of all three factors in the further analysis. There was decided that, due to the importance of T-3 factor in the results of previous studies, it should complement the structure and particular descriptions.

The result of the C phase of the procedure was the layout of four scenarios for development of the exploitation policy of the analyzed water supply system, as a combination of the extreme values of the analyzed key factors (Fig. 8).

The developed scenarios were described and shown in the symbolic form (Table 6), in the schematic form (Table 7) and in the narrative form.

The D phase of the scenario procedure consisted in the development of the structure of the maintenance works (Table 8), for four scenarios, in the context of the key features of the exploitation policy.

The developed parametric models of the scenarios (the quantitative structure of the maintenance works), were the basis for the identification of the values of the taxonomic measures (based on the formulas (7)–(11)). They were used to the variant assessment of the exploitation decision-making process. Achieved values of synthetic

Table 7. The context (schematic) description of the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system

Factor description/ Scenario name	Scenario no. 1	Scenario no. 2	Scenario no. 3	Scenario no. 4
	<i>Lost exploitation potential:</i>	<i>Active exploitation policy:</i>	<i>Hope and potential development of exploitation policy:</i>	<i>Passive exploitation policy:</i>
EC-2 <i>What is expenditures for development and modernization of the water supply system?</i>	high level of financing for development and modernization of water supply system	high level of financing for development and modernization of water supply system	low or insufficient level of financing for development and modernization of water supply system	low or insufficient level of financing for development and modernization of water supply system
P-3 <i>What is importance of the maintenance activity for the enterprise?</i>	model of limited role of maintenance department in enterprise	model of high role of maintenance department in the enterprise	model of high role of maintenance department in the enterprise	model of limited role of maintenance department in enterprise
T-3 <i>What is level of the use of innovative methods and tools in the exploitation of the water supply system?</i>	no need and ability to explore and implement innovative maintenance methods and tools	high activity in exploring and implementing innovative maintenance methods and tools	high activity in exploring and implementing innovative maintenance methods and tools	no need and ability to explore and implement innovative maintenance methods and tools

² Other factors are those that were not included in the building scenarios process, as a result of structural analysis.

Table 6. The symbolic description of the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system

Key factor	Scenario no. 1	Scenario no. 2	Scenario no. 3	Scenario no. 4
EC-2	max	max	min	min
P-3	min	max	max	min
T-3	min	max	max/min	min

measures and geometric distances were summarized in Table 9. Graphical visualization of the taxonomic measures for each scenario, is shown in Fig. 9.

5. The use of scenarios in shaping the exploitation decision-making process

With a set of the scenario models of the developed taxonomic models, feasible become:

- the analytical taxonomic comparative procedure of the exploitation policy of the analyzed water supply system with the scenario models,
- the assessment of the similarity (convergence) of the exploitation policy with the particular scenarios,
- the assessment of the implementation of the exploitation decision-making process, in the context of potential different future variants, represented by the the scenarios.

These tasks were carried out on the basis of prepared taxonomic models, describing the exploitation policy of the analyzed water supply system (in 2013) and the scenarios for the development of the exploitation policy. The results were summarized in tabular form in Table 10 and graphically in Fig. 10.

The presented results can be drawn the following conclusion: the exploitation policy of the analyzed water supply system realized in 2013, showed the highest taxonomic similarity to the scenario. 3 – Hope and potential development of exploitation policy. This is confirmed by:

- the smallest values of the differences of the determined taxonomic measures for the analyzed exploitation policy and the indicated scenario,

Table 8. The quantitative structure of the maintenance works for the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system

Scenarij no. 1						
	Costs [PLN]		Time [hours]		Quantity	
Inspections	49 341,74	5,39%	2552	5,00%	84	5,58%
Maintenances	140 826,33	15,39%	11700	22,94%	313	20,86%
Repairs	398 179,27	43,52%	15994	31,36%	742	49,49%
Overhauls	326 652,66	35,70%	20754	40,69%	361	24,07%
Total	915 000,00	100,00%	51000	100,00%	1500	100,00%
Scenarij no. 2						
	Costs [PLN]		Time [hours]		Quantity	
Inspections	113 891,40	34,51%	41219	45,05%	4122	45,05%
Maintenances	117 420,81	35,58%	30984	33,86%	3098	33,86%
Repairs	49 242,08	14,92%	7907	8,64%	791	8,64%
Overhauls	49 445,70	14,98%	11389	12,45%	1139	12,45%
Total	330 000,00	100,00%	91500	100,00%	9150	100,00%
Scenarij no. 3						
	Costs [PLN]		Time [hours]		Quantity	
Inspections	134 157,51	14,66%	37070	24,71%	3552	30,23%
Maintenances	257 967,03	28,19%	49451	32,97%	4171	35,50%
Repairs	166 749,08	18,22%	20540	13,69%	1280	10,90%
Overhauls	356 126,37	38,92%	42940	28,63%	2746	23,37%
Total	915 000,00	100,00%	150000	100,00%	11750	100,00%
Scenarij no. 4						
	Costs [PLN]		Time [hours]		Quantity	
Inspections	70 518,21	4,70%	4669	4,26%	171	4,16%
Maintenances	246 708,68	16,45%	22289	20,35%	747	18,21%
Repairs	609 943,98	40,66%	37171	33,95%	1610	39,27%
Overhauls	572 829,13	38,19%	45371	41,43%	1573	38,36%
Total	1 500 000,00	100,00%	109500	100,00%	4100	100,00%

Table 9. The calculation results of the taxonomic models within the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system

Categories of maintenance works	Scenarij no. 1		Scenarij no. 2		Scenarij no. 3		Scenarij no. 4	
	Synthetic measure	Geometr. distance	Synthetic measure	Geometr. distance	Synthetic measure	Geometr. distance	Synthetic measure	Geometr. distance
Inspections	0,5723	0,5221	0,0958	1,1984	0,1595	1,1261	0,6203	0,6284
Maintenances	0,2583	0,2640	0,1050	1,1858	0,0759	1,5399	0,2774	0,1609
Repairs	0,1929	0,4893	0,3200	0,5320	0,2460	0,8757	0,2200	0,3471
Overhauls	0,2102	0,4199	0,2683	0,5673	0,0780	1,5834	0,2183	0,3503

- the largest uniformity of the differences of the determined taxonomic measures for all considered categories of the maintenance works,
- the smallest median value for the differences of the determined taxonomic measures.

Interpretation of the results confirms the compliance of developed models with the conditions and circumstances of the industrial observation, made by the author, within the maintenance department, that manages the analyzed water supply system. In this regard, it is worth mentioning the following considerations:

- the water supply system was in a period after years of use, which justifies the need to realize the exploitation policy in line with current service requirements of individual technical objects,
- high level of the exploitation culture of the maintenance staff, associated with the policy of searching for support solutions, provide an opportunity for increase the share of quantity and time of preventive maintenance, while keeping costs at the current level,

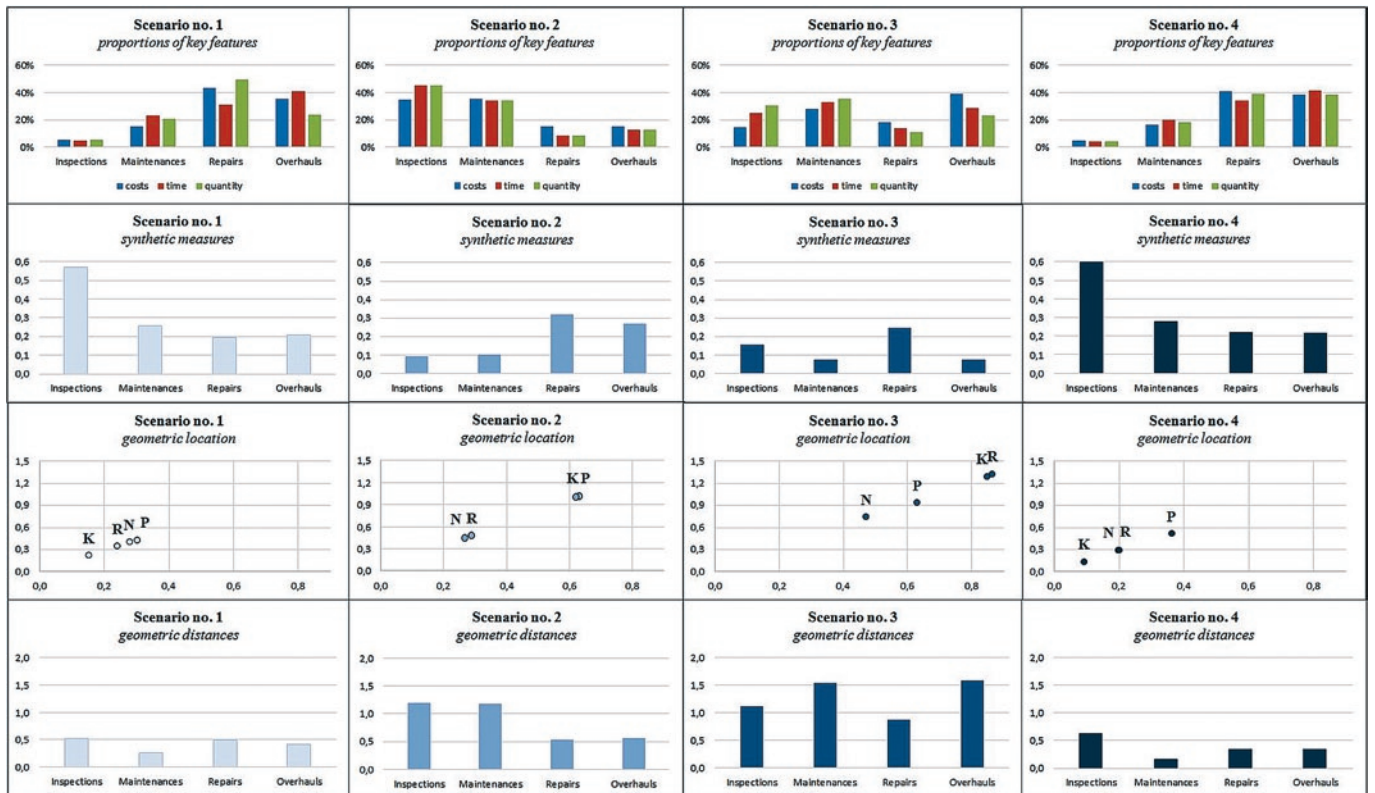


Fig. 9. The graphical presentation of the taxonomic measures of the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system



Fig. 10. The graphical comparison of the taxonomic models of the exploitation policy assessment and the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system

- the lack of modernization plans of the network in the near term, causes a negative trend for routinization of the maintenance works.

The assessment is temporary, relating to a certain period of time (2013). It is a starting point of the possibilities and advisabilities of introducing changes within the exploitation decision-making process.

In addition to the presented interpretation, scenario shaping of the exploitation decision-making process can proceed in two directions:

1. Monitoring of the exploitation policy, involving the cyclic assessment of the exploitation policy based on the taxonomic models, and then interpretation of the results in the following, predefined, time points. This allows for continuous assessment of direction and level of changes of the similarity (convergence) of the exploitation policy to the particular scenarios, and this in turn, enables to correct principles and guidelines of the exploitation decision-making process.
2. Simulation assessment of changes of the exploitation decision-making process [15, 29], consisting in the analysis and interpretation of impact of the features modification on change of the similarity level (convergence) of the exploitation policy with the particular scenarios.

6. Conclusions

The results of the research demonstrated the possibility of the assessment and shaping of exploitation future, based on the use of alternative multi-threaded collections of continuous-time or discrete images of reality. Building the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system, which was complemented mutual taxonomic assessment, confirmed the need of long-term multifaceted supervision of the exploitation decision making process in industrial environment. The developed methodology of scenario exploitation modeling, adopts a new approach to the exploitation decision-making process, based on resources of assumed and anticipated data on the realization of the exploitation processes.

However, taking into account the objectives, specificity as well as methodological and utilities constraints, it should be noted that:

Table 10. The result of a comparative analysis of the taxonomic models of the exploitation policy assessment and the scenarios for the development of the exploitation policy of the analyzed water supply system

Categories of maintenance works	Water supply system		Scenario no. 1		Scenario no. 2		Scenario no. 3		Scenario no. 4	
	Synth. meas.	Geom. dist.	Synth. meas.	Geom. dist.	Synth. meas.	Geom. dist.	Synth. meas.	Geom. dist.	Synth. meas.	Geom. dist.
Inspections	0,0423	2,0279	0,5723	0,5221	0,0958	1,1984	0,1595	1,1261	0,6203	0,6284
Maintenances	0,2147	1,0564	0,2583	0,2640	0,1050	1,1858	0,0759	1,5399	0,2774	0,1609
Repairs	0,3241	0,8362	0,1929	0,4893	0,3200	0,5320	0,2460	0,8757	0,2200	0,3471
Overhauls	0,2928	0,8631	0,2102	0,4199	0,2683	0,5673	0,0780	1,5834	0,2183	0,3503
Comparison			0,7874	3,0882	0,1918	1,5590	0,5487	2,1451	0,8194	3,2969
Median			1,9378		0,8754		1,3469		2,0581	

Table 11. The comparison of the specificity of the scenario modeling methods for the classical applications and for the exploitation decision-making process in technical network systems

Specificity of classical methods of scenario modeling	Specificity of the exploitation decision-making process in the context of the functioning of technical network systems
<ul style="list-style-type: none"> • individuality of procedures for problems or situations, • complexity, time-consuming and the necessity of a large commitment of resources in the development of the models, • identified multifaceted and high detail of analyzed environmental factors. 	<ul style="list-style-type: none"> • continuous repetitive cyclical nature of realization, • a narrow range of factors influencing the exploitation decision-making process in the long term.

- the modeling methods of future variants can be the basis for the description of equivalent images of exploitation future,
- descriptions of the exploitation future variants are not direct procedures to be followed in the realization of exploitation tasks,
- the modeling methods of future variants is characterized by internal significant level of the decision uncertainty, therefore developed images (scenarios) are dynamic, changing discretely during the time.

An attempt to adapt the classic ways of modeling future variants to the requirements of the exploitation decision-making process, shown the differences, which impede the use of existing typical procedures of the exploitation scenarios within the context of functioning technical network systems. These differences were summarized in Table 11. This causes the need to develop customized scenario solutions.

The research presented in the article was targeted to the technical network systems. However, the prepared methodical, modelled and

application solutions does not have any specific restriction by category of a technical system. According to the author, it is possible to implement the scenario shaping the exploitation decision-making process in the context of functioning of industrial installations or production machines and devices. This requires additional work on:

- the development of objects, events and exploitation processes models and their verification in relation to the exploitation policy,
- the adaptation of a set of the exploitation measures used in industrial environment, to the requirements and possibilities of the exploitation decision making process,
- the identification and interpretation of internal and external environment for the exploited industrial (production) technical system, with an additional selection of factors and features, that can be the basis for the scenario modeling.

References

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, <https://doi.org/10.17531/ein.2015.1.15>.
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, Stecula 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, [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(96\)00004-0](https://doi.org/10.1016/0024-6301(96)00004-0).
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, [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00120-1).
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, <https://doi.org/10.2991/msmi-16.2016.51>.
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. Kłos 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, <https://doi.org/10.17531/ein.2015.4.17>.
 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; 2 (18): 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, <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.12.009>.
 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 Wiley & 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, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2007.08.019>.
 37. Wyczółkowski R.: Intelligentny system monitorowania sieci wodociągowych. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2008; 37 (1): 33-36.

Andrzej LOSKA

Silesian University of Technology
Faculty of Organisation and Management
Institute of Production Engineering
ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, Poland
E-mail: Andrzej.Loska@polsl.pl

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 przygotowaniem 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:

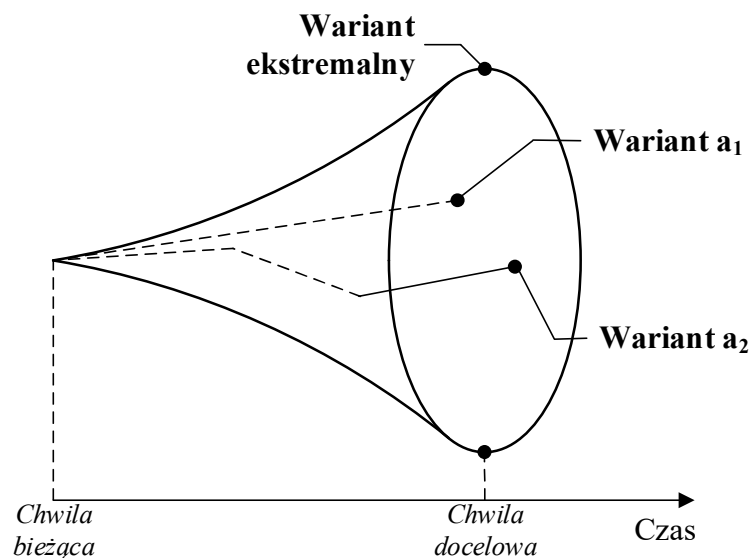
- scenariusz w ujęciu metodologicznym, jako sposób radzenia sobie z niepewnością decyzyjną, w oparciu o wewnętrznie spójny obraz przyszłości, reprezentowany przez zbiór opisów możliwych wariantów przyszłych zdarzeń lub sytuacji [9, 33],

- 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.

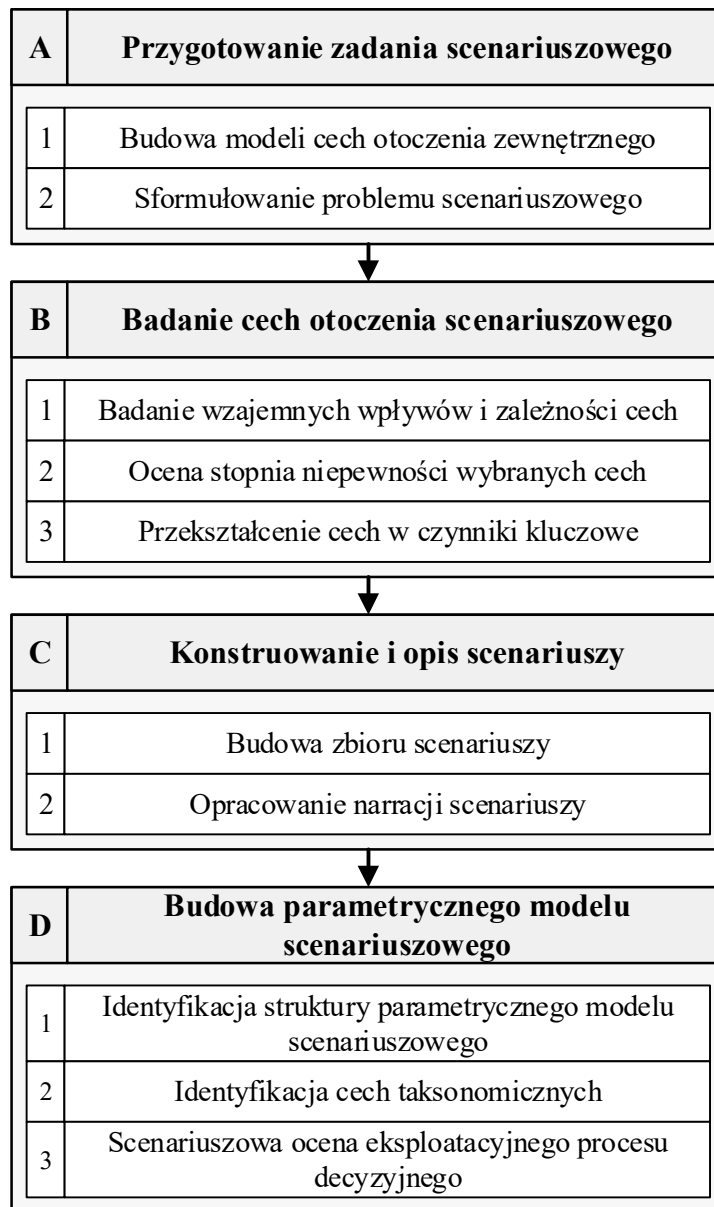
3. Metodyka scenariuszowego modelowania eksploatacyjnego procesu decyzyjnego

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.

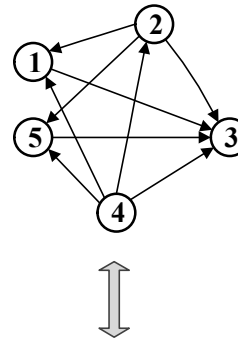
Faza B procedury scenariuszowej polegała na wyodrębnieniu czynników kluczowych, czyli takich które z jednej strony mają największe znaczenie dla sformułowanego głównego problemu scenariuszowego, a z drugiej charakteryzują się największym stopniem

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.

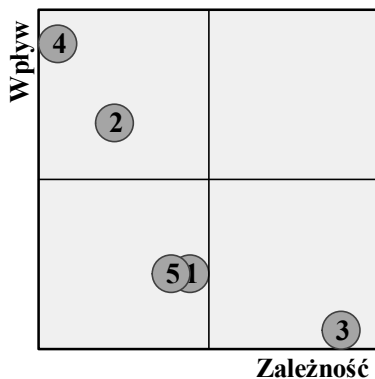
Macierz wpływów i zależności

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	

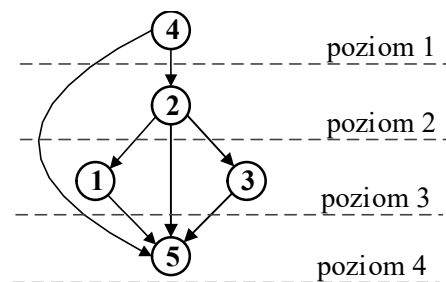
Graf nieuporządkowany



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 .

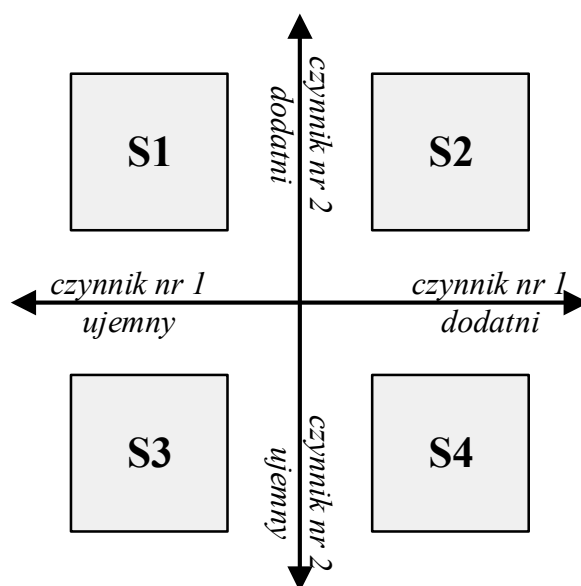
Możliwe wartości oceny przewagi siły oddziaływania/poziomu niepewności czynnika i nad czynnikiem j (c_{ij}) zestawiono w Tabela 1.

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.

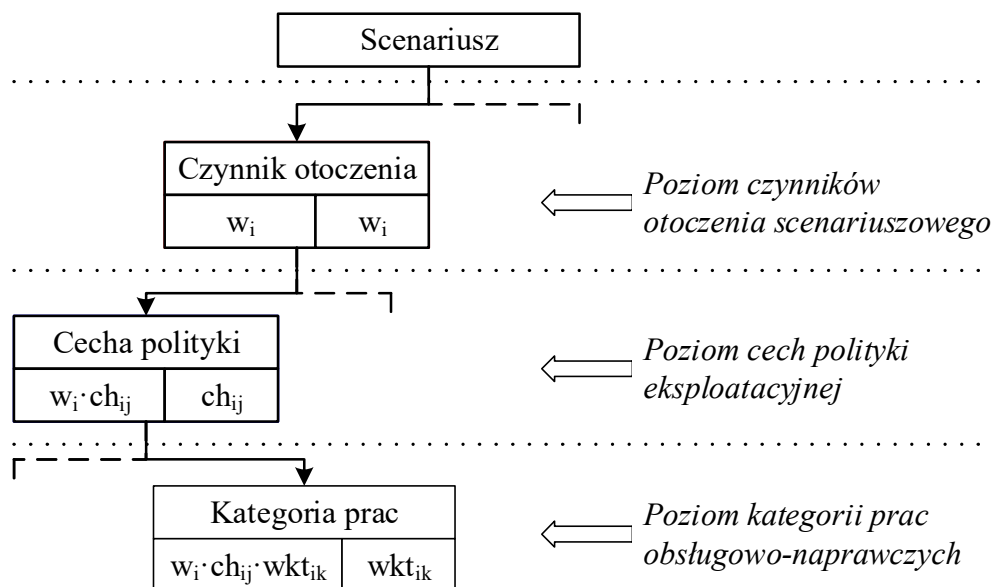
Polegało to na interpretacji i przekształceniu poszczególnych symboli i stwierdzeń w zbiór wag, a następnie ich uporządkowaniu (Tabela 2).

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 Tabeli 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 pomięto 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
<u>S</u>: 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.
<u>T</u>: 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.
<u>EC</u>: 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.
<u>EL</u>: Cechy środowiskowe	<i>EL-1</i> Oddziaływanie systemu wodociągowego na środowisko naturalne. <i>EL-2</i> Oddziaływanie prac eksploatacyjnych systemu wodociągowego na środowisko naturalne.
<u>P</u>: 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.
<u>V</u>: 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.
<u>L</u>: 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).

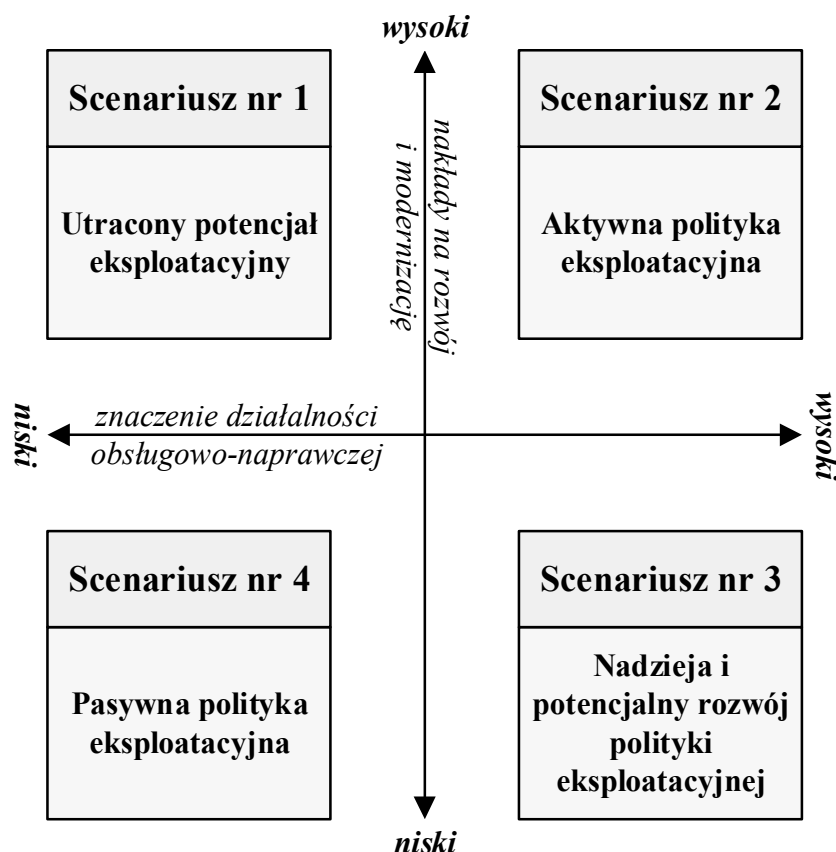
Proces parametrycznego porównania czynników kluczowych, w kontekście oddziaływań wzajemnych i poziomu niepewności, pozwolił na jednoznaczny wybór dwóch z nich. Stanowiły one podstawę konstruowania scenariuszy, tworząc kierunkowe osie rozdziału obszarów wpływu poszczególnych wariantów opisu przyszłości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

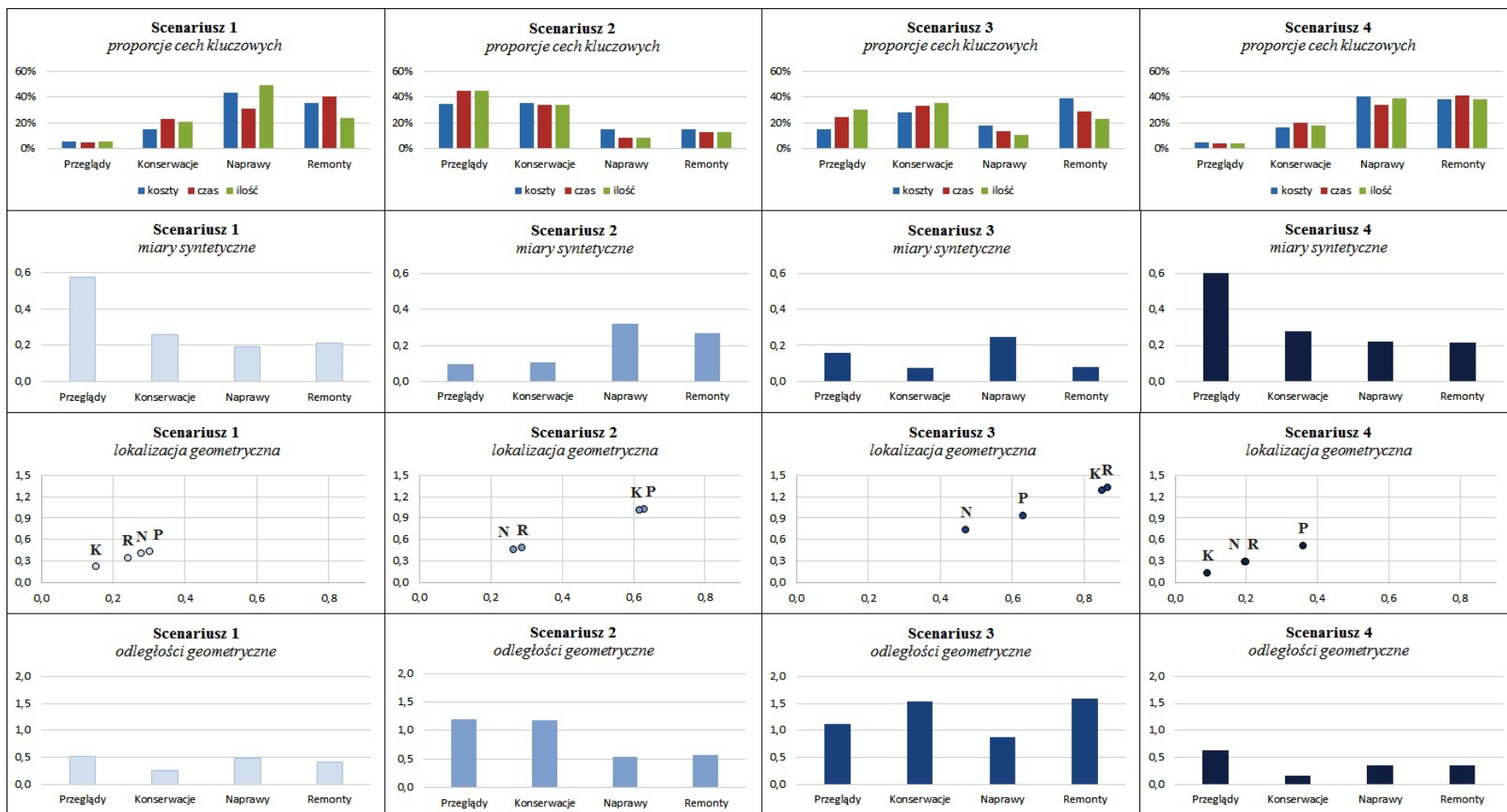
Tabela 8. Ilościowa struktura prac obsługowo-naprawczych dla scenariuszy rozwoju polityki eksploatacyjnej analizowanego systemu wodociągowego

Scenariusz 1						
	Koszty [zł]		Czas [godz.]		Ilość	
Przeeglądy	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	
Przeeglądy	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	
Przeeglądy	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	
Przeeglądy	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.
Przeeglądy	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

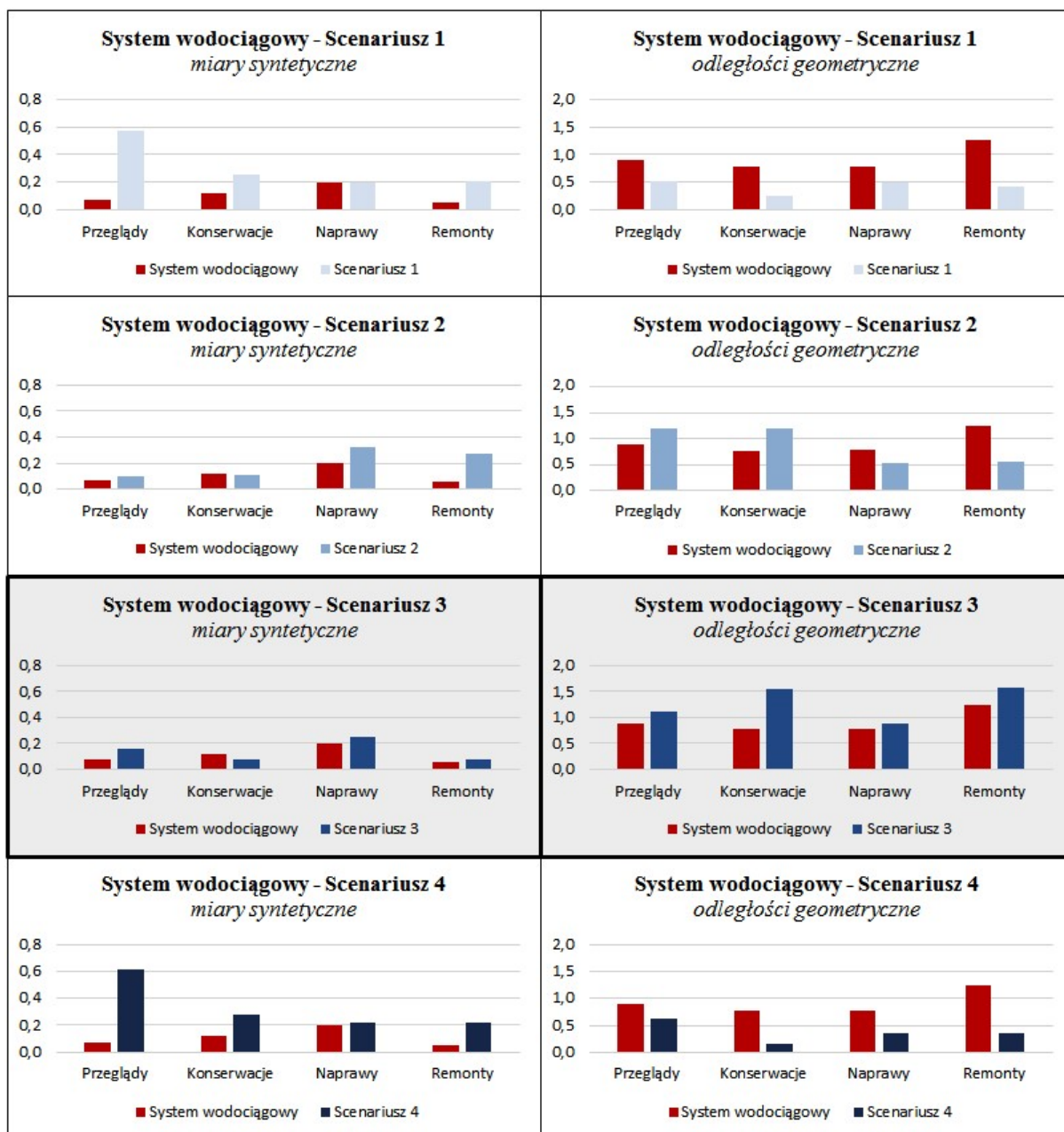
Dysponując zestawem opracowanych modeli taksonomicznych, możliwe do realizacji stają się:

- 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 Tabela 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.