

MODELOWANIE OCENY POLITYKI EKSPLOATACYJNEJ SIECIOWEGO SYSTEMU TECHNICZNEGO W OPARCIU O METODY TAKSONOMII NUMERYCZNEJ

Andrzej LOSKA, Marcin DĄBROWSKI

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję metody wartościowania polityki eksploatacyjnej. W pierwszej części, w oparciu o przeprowadzoną analizę literaturową oraz badania własne, zrealizowane w wybranych sieciowych systemach technicznych, dokonano charakterystyki modeli, które mogą stanowić podstawę identyfikacji cech opisujących politykę eksploatacyjną. W drugiej części artykułu jako wynik przeprowadzonego rozpoznania, opracowano i przedstawiono autorski sposób oceny polityki eksploatacyjnej, bazujący na metodach taksonomicznych, którego możliwości działania przedyskutowano na podstawie obliczeń przeprowadzonych na danych wzorcowych.

Słowa kluczowe: polityka eksploatacyjna, zarządzanie utrzymaniem ruchu, modelowanie procesów eksploatacyjnych

1. Wprowadzenie

Głównym celem organizacji utrzymania ruchu jest osiągnięcie, przy minimalnych kosztach całkowitych, zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa w zakresie wydajności, efektywności i jakości [12]. Cele szczegółowe organizacji utrzymania ruchu wynikają bezpośrednio z jej celu głównego i są ukierunkowane na eksploatowane obiekty techniczne oraz na czynniki około eksploatacyjne - zasoby. Sprowadzają się one do maksymalizacji wielkości wyjściowych, zapewnienia standardów bezpieczeństwa i przewidywanego "czasu życia" urządzeń oraz minimalizacji zużycia energii, surowców i części zamiennych [17].

Polityka eksploatacyjna, która jest realizowana na rzecz przedsiębiorstwa przez służby techniczne (najczęściej uporządkowane w ramach organizacji utrzymania ruchu), obejmuje zbiór wytycznych ukierunkowanych na możliwość uzyskania tych celów w określonym czasie, zawiera także miary, procedury i narzędzia służące do oceny stopnia ich osiągnięcia.

W tym obszarze, kluczowym i dotychczas nie rozwiązany problem badawczy jest możliwość i skuteczność kształtowania, a przede wszystkim oceny polityki eksploatacyjnej w świetle jednoznacznych kryteriów ilościowych. W szczególności, chodzi o identyfikację potencjalnych efektów podejmowanych decyzji w dłuższym horyzoncie czasowym, która w praktyce przebiega najczęściej według metodologii „rozumowania w przód” [25]. Zakłada ona budowanie polityki eksploatacyjnej na typowych wytycznych z zakresu zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu, z ogólnym przeświadczeniem o skuteczności wprowadzanych rozwiązań, w oparciu o wcześniejsze doświadczenia praktyczne (np. według zasady „jeżeli w innych przypadkach model decyzyjny się sprawdził, to powinien się sprawdzić także teraz”).

Powyższa sytuacja jest charakterystyczna w odniesieniu do złożonych sieciowych systemów technicznych, których specyfika eksploatacyjna różni się od typowych układów

produkcyjnych. Budowa i ocena polityki eksploatacyjnej, wymaga w tym przypadku, uwzględnienia zdecydowanie większej liczby czynników, a przede wszystkim ograniczeń, m.in. w zakresie dostępności obiektów dla potrzeb prowadzenia prac obsługowych i naprawczych.

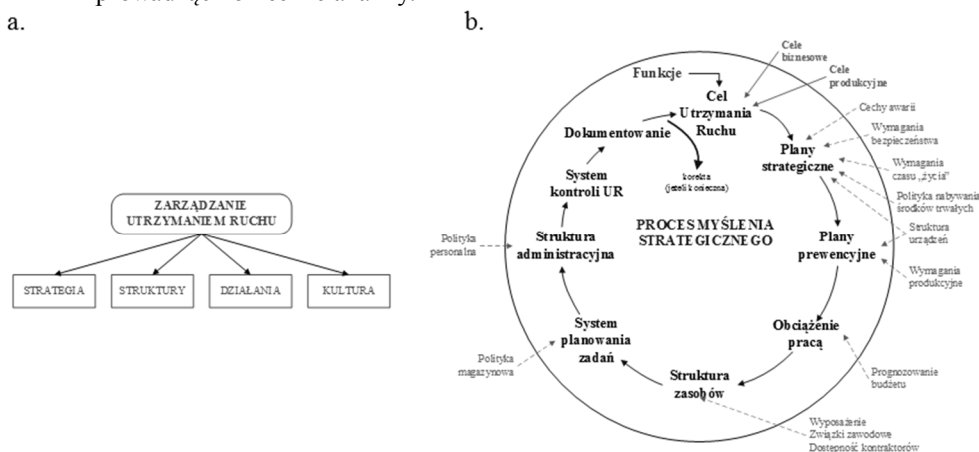
Prowadzone od kilku lat, przez autorów tego artykułu, badania przemysłowe uzupełnione szeroko zakrojoną analizą literaturową, wykazały niedostatek skutecznych, prostych i uniwersalnych rozwiązań i pozwoliły na opracowanie modelu oceny polityki eksploatacyjnej w warunkach funkcjonowania sieciowych systemów technicznych.

Artykuł jest wynikiem realizacji części badań w ramach projektu badawczego, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki nr 5636/B/T02/2011/40, pt.: „Wykorzystanie metod scenariuszowych w modelowaniu procesów eksploatacyjnych”.

2. Modele analizy polityki eksploatacyjnej

Dla potrzeb analizy i oceny wieloaspektowej polityki eksploatacyjnej, budowane są modele obrazujące zależności pomiędzy technicznymi organizacyjnymi i ekonomicznymi aspektami funkcjonowania organizacji utrzymania ruchu. Do najważniejszych modeli tego typu zalicza się [11,12, 16, 17]:

- model obszarów i zadań związanych z realizacją funkcji zarządczych (rys. 1a), w myśl którego przyjmuje się, że identyfikacja i opis polityki eksploatacyjnej obejmuje kolejno zdefiniowanie i analizę: strategii eksploatacyjnych obiektów, struktur przedmiotowych (obiektów technicznych) i podmiotowych (organizacyjno-decyzyjnych i informacyjnych), działań służb technicznych i kultury organizacji utrzymania ruchu,
- model Business Centered Maintenance (rys. 1b), w myśl którego identyfikacja i opis polityki eksploatacyjnej powinny być prowadzone wewnątrz koła Procesu Myślenia Strategicznego, w ramach którego rozpoczynając od celu działalności eksploatacyjnej, przechodzi się przez aspekty strategiczne, aspekty organizacyjne aż do aspektów kontrolnych, gromadząc w tym czasie dane i informacje oraz prowadząc konieczne analizy.



Rys. 1. Modele umożliwiające identyfikację i ocenę polityki eksploatacyjnej [11, 12, 16, 17]: a. model obszarów i zadań związanych z realizacją funkcji zarządczych, b. model BCM

Pomimo odmiennych sposobów dojścia do zamierzonego efektu, jakim jest spójny opis polityki eksploatacyjnej, warto zwrócić uwagę na pierwszorzędne i pierwotne znaczenie strategii eksploatacyjnej w omawianych działaniach analitycznych. W obydwu przypadkach, strategia eksploatacyjna, stanowiąca najważniejszy element polityki eksploatacyjnej, polega na ustaleniu sposobów prowadzenia użytkowania i obsługi obiektów oraz relacji między nimi w świetle przyjętych kryteriów [38]. Strategie w zarządzaniu utrzymaniem ruchu należy traktować w dwóch aspektach [17]:

- w postaci procesu decyzyjnego odnoszonego do eksploataowania poszczególnych (indywidualnych) obiektów technicznych - w tym przypadku mówimy o bazowych strategiach eksploatacyjnych,
- w postaci procesu decyzyjnego odnoszonego do kompleksowego funkcjonowania organizacji utrzymania ruchu - wtedy mówimy o złożonych strategiach eksploatacyjnych (filozofiach eksploatacyjnych).

W pierwszym przypadku, strategia jest kluczowym, ale jednym z elementów polityki eksploatacyjnej, stąd zdefiniowany tutaj zestaw wytycznych i założeń musi być uzupełniony o uporządkowany zbiór wykonawców oraz zasobów eksploatacyjnych, koniecznych do realizacji prac obsługowych i naprawczych, zgodnie z modelami przedstawionymi na rys. 1. Typowy zestaw obejmuje najczęściej zbiór uzupełniających się, w obrębie analizowanego systemu technicznego, strategii [15, 27,38]: według uszkodzeń (BM –ang. Breakdown Maintenance), według ilości wykonanej pracy (PM - ang. Preventive Maintenance) i według stanu technicznego (PDM - ang. Predictive Maintenance). Obserwuje się, że zarządzanie eksploatacją zdecydowanej większości złożonych systemów technicznych, oparte jest jednocześnie na wszystkich trzech strategiach odnoszonych do poszczególnych obiektów, z jednoczesnym założeniem o dominującym znaczeniu jednej z nich, wpływającej na charakter i specyfikę polityki eksploatacyjnej.

Drugie podejście polega na wyborze lub opracowaniu sposobu funkcjonowania organizacji utrzymania ruchu z kompleksowym uwzględnieniem kryteriów decyzyjnych wynikających z występujących zdarzeń eksploatacyjnych, specyfikę wymaganych struktur organizacyjnych służb utrzymania ruchu, a także zbiór możliwych do realizacji typów prac obsługowych i naprawczych. Do złożonych strategii eksploatacyjnych, najczęściej obecnie stosowanych w przedsiębiorstwach przemysłowych, zalicza się: TPM (ang. Total Productive Maintenance) [26, 35] i RCM (ang. Reliability Centered Maintenance) [33, 24].

3. Przegląd sposobów oceny polityki eksploatacyjnej

Matematyczny sposób oceny polityki eksploatacyjnej można budować w oparciu o wzajemną zależność dwóch kluczowych wielkości eksploatacyjnych [13]:

- potencjał eksploatacyjny, jako miarę zdolności systemu eksploatacji do realizacji działań użytkowych (operacyjnych),
- użyteczność eksploatacyjną, jako miarę jakości sterowania eksploatacją stanowiącą różnicę pomiędzy dochodem eksploatacyjnym, a poniesionym nakładem¹.

Na tej podstawie, wśród wielu koncepcji modeli oceny procesów eksploatacji

¹ Dochód eksploatacyjny i nakład eksploatacyjny należy tutaj rozumieć w sposób uogólniony, nie odnoszący się tylko do wymiaru ekonomicznego (może to być miara czasu, miara ilości wykonanych cykli, miara produktywności).

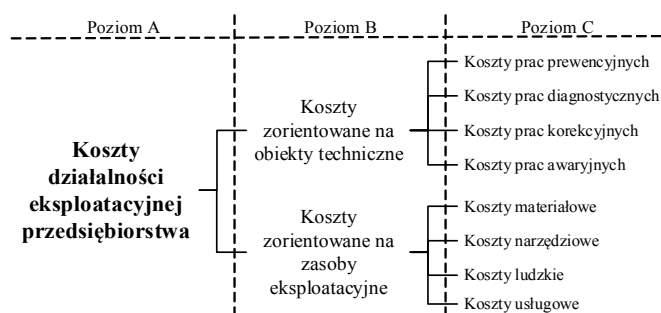
i pośrednio modeli oceny polityki eksploatacyjnej, opisywanych w wielu pozycjach literaturowych, zarówno w formie katalogowej, m.in. w: [30, 31, 34, 32, 37], a także w postaci prób zastosowania w praktyce [1, 3, 16, 17, 28], zwraca się uwagę na kilka rozwiązań:

1. Miary techniczne, wyrażające w sposób bezpośredni udział obiektu technicznego w działalności eksploatacyjnej. Wartości obliczanych w tym obszarze wskaźników są warunkowane czasem przebywania obiektu w określonej klasie stanu, a co za tym idzie stanowią one podstawę oceny decyzji i działań techniczno-organizacyjnych służb utrzymania ruchu przedsiębiorstwa. Matematyczny wymiar technicznych miar oceny decyzji eksploatacyjnych zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Matematyczna interpretacja eksploatacyjnych miar technicznych (opracowanie własne w oparciu o [31, 27])

Średni czas pomiędzy zdarzeniami - MTBF (MTBF – <u>Mean Time Between Failures</u>)	Średni czas reakcji na zdarzenie - MTTR (MTTR – <u>Mean Time To Repair</u>)	Średni czas naprawy – MFOT (MFOT – <u>Mean Force Outage Time</u>)
$MTBF = \frac{\sum T_D - \sum T_P}{Z + 1}$ (1)	$MTTR = \frac{\sum T_R}{Z + 1}$ (2)	$MFOT = \frac{\sum T_N}{Z + 1}$ (3)
T _D – czas działania (operacyjny) T _P – czas postoju/przestoju Z – ilość zdarzeń eksploatacyjnych w czasie	T _R – czas reakcji na naprawę Z – ilość zdarzeń eksploatacyjnych w czasie	T _N – czas realizacji naprawy Z – ilość zdarzeń eksploatacyjnych w czasie

2. Miary ekonomiczne, wyrażające w sposób pośredni udział obiektu technicznego w działalności eksploatacyjnej. Miary przynależne do tej kategorii pozwalają na wyznaczanie kosztów funkcjonowania obiektów technicznych w określonym otoczeniu organizacyjnym, co w połączeniu z analizą zmienności tych wartości w czasie, przekłada się na ocenę podejmowanych decyzji w zakresie prowadzonej działalności eksploatacyjnej. Przykładową strukturę hierarchiczną, pozwalającą na lokalizację i interpretację ekonomicznych miar decyzyjnych działalności eksploatacyjnej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowa hierarchiczna struktura możliwych kosztów działalności eksploatacyjnej (opracowanie własne)

Przykładowe miary ekonomiczne przyporządkowane do wymienionych kategorii zestawiono w tab. 2.

Tab. 2. Matematyczna interpretacja eksploatacyjnych miar ekonomicznych (opracowanie własne w oparciu o [31, 34])

Poziom A	Poziom B	Poziom C
Wskaźnik kosztów działań odnoszony do ilości świadczonej produkcji (4)	Wskaźnik kosztów odnowienia obiektu technicznego (5)	Wskaźnik udziału kosztów personelu w sumarycznych kosztach eksploatacji (6)
$E_{A1} = \frac{\text{koszt eksploatacji}}{\text{ilość produkcji}}$	$E_{B1} = \frac{\text{koszt eksploatacji}}{\text{wartość odtw. obiektu}}$	$E_{C1} = \frac{\text{koszt personelu}}{\text{koszt eksploatacji}}$
Wskaźnik realizacji budżetu eksploatacji (7)	Wskaźnik kosztów zasobów eksploatacyjnych odnoszony do ilości świadczonej produkcji (8)	Wskaźnik udziału kosztów czynności prewencyjnych w sumarycznych kosztach eksploatacji (9)
$E_{A2} = \frac{\text{koszt eksploatacji}}{\text{wartość budżetu}}$	$E_{B2} = \frac{\text{koszt zasobów ekspl.}}{\text{ilość produkcji}}$	$E_{C2} = \frac{\text{koszt prewencji}}{\text{koszt eksploatacji}}$

3. Miary zagregowane, wyrażające najczęściej w sposób kompleksowy i zagregowany, wartości kluczowych cech eksploatacyjnych. Modele matematyczne mają w tym przypadku charakter wartości wypadkowej miar prostych opisujących wybrany aspekt eksploatacji obiektów technicznych. Przykładem takiej miary jest wskaźnik OEE (ang. Overall Equipment Effectiveness) [26, 35, 32], wyrażający całkowitą efektywność eksploatacji za pomocą trzech głównych czynników (tab. 3).

Tab. 3. Matematyczna interpretacja eksploatacyjnych miar zagregowanych [26, 35, 32]

Dostępność	Efektywność działań	Jakość
$D = \frac{t_d - t_p}{t_d}$ (10)	$E = \frac{t_c \cdot n}{t_o}$ (11)	$J = \frac{n - d}{n}$ (12)
t_d - czas dostępny t_p - czas postoju	t_c - teoretyczny czas cyklu n - ilość przetworzona t_o - operacyjny czas działania	n - ilość przetworzona d - ilość defektów
OEE = D · E · J		

4. Sposób oceny polityki eksploatacyjnej w oparciu o metody taksonomii numerycznej

Wnioski, wynikające z analizy literaturowej oraz badań przemysłowych, stanowią punkt wyjścia do opracowania ilościowego sposobu wartościowania polityki eksploatacyjnej w oparciu o rozpoznane i zdefiniowane uwarunkowania i ograniczenia teoretyczne (modelowe), jak również obserwacje i doświadczenia praktyczne (przemysłowe).

Przeprowadzone przez autorów badania, pokazały dużą różnorodność możliwości oceny elementów składających się na politykę eksploatacyjną. Przy złożonych warunkach organizacyjno-technicznych systemów eksploatacji oraz niezbyt szczegółowo sprecyzowanych potencjalnych oczekiwaniach kadry zarządzającej, różnorodność miar, może prowadzić do:

- niejednoznaczności interpretacyjnej miar, w zakresie wpływu poszczególnych czynników (elementów) na szeroko rozumianą efektywność eksploatacji obiektów,

- nieuzasadnionego merytorycznie uwypuklenia wybranych aspektów kosztem pozostałych, w świetle polityki eksploatacyjnej przedsiębiorstwa.

Inaczej mówiąc, w odniesieniu do każdego wskaźnika eksploatacyjnego musi występować uzasadniona konieczność jego wyznaczenia, a także istotne jest miejsce i waga każdej z miar rozpatrywanych w aspekcie technicznym, organizacyjnym lub ekonomicznym.

Podczas prowadzonych badań, autorzy zauważyli, że funkcjonowanie obiektów w zdefiniowanych warunkach organizacyjno-technicznych, wymusza konieczność identyfikacji danych i informacji o realizacji poszczególnych procesów eksploatacyjnych. W związku z tym, ocena polityki eksploatacyjnej może być przeprowadzona w oparciu o wielowymiarowy zbiór wartości wynikający z realizacji prac obsługowych i naprawczych w świetle trzech ilościowych sumarycznych aspektów:

- czasu realizacji prac obsługowych i naprawczych, interpretowanego w sferze technicznej i wyrażającego z jednej strony poziom dostępności (nieodostępności) obiektów technicznych dla prac użytkowych, a z drugiej wyznaczający poziom zaangażowania personelu obsługowo-naprawczego,
- ilości zrealizowanych prac obsługowych i naprawczych, interpretowanej w sferze organizacyjnej i wyrażającej potencjał zasobowy organizacji utrzymania ruchu,
- kosztów zrealizowanych prac obsługowych i naprawczych, interpretowanych w sferze ekonomicznej i wyrażających poziom wykorzystania zasobów, przede wszystkim materialnych (części zamiennych i materiałów eksploatacyjnych), uzupełnionych wartością pracochłonności realizacji wszystkich prac w analizowanym okresie.

Tak zdefiniowana struktura wejściowa danych, opisuje w sposób uniwersalny zakres i przebieg realizacji zdecydowanej większości procesów eksploatacji, a tym samym w ujęciu kompleksowym, może wskazywać te aspekty, które pozwalają na uzasadnienie cech i wytycznych polityki eksploatacyjnej, w odniesieniu zarówno do chwili bieżącej (przeszłej), jak i zmian przyszłych.

W świetle powyższych założeń, a także w oparciu o wyniki dotychczasowych prac, prowadzonych w odniesieniu do eksploatowanych sieciowych systemów technicznych [10, 18, 19, 20], autorzy opracowali sposób oceny polityki eksploatacyjnej obejmujący:

- identyfikację cech charakteryzujących eksploatację sieciowych systemów technicznych,
- budowę taksonomicznego modelu oceny polityki eksploatacyjnej,
- opracowanie modelu generującego zasób danych testowych i pozycjonujących,
- ocenę wariantów polityki eksploatacyjnej w oparciu o przygotowane zbiory danych.

4.1. Identyfikacja cech charakteryzujących eksploatację sieciowych systemów technicznych

Sieciowe systemy techniczne (rys. 3) wchodzi w skład infrastruktury stanowiącej podstawę funkcjonowania sektorów inżynierskich przedsiębiorstw przemysłowych i gospodarki komunalnej. Do sieciowych systemów technicznych należą: system wodociągowy, system kanalizacyjny, system zaopatrzenia w gaz, system zaopatrzenia w ciepło, system przesyłowy elektro-energetyczny [2, 6, 7, 39]. Za pośrednictwem sieciowych systemów technicznych dostarczane są usługi polegające na doprowadzaniu różnego rodzaju mediów, spełniających wymagane parametry techniczne, do wielu grup

klientów rozproszonych terytorialnie oraz należących do różnych kategorii, takich jak gospodarstwa domowe, zakłady przemysłowe, przedsiębiorstwa komunalne, zakłady usługowe i inne.

Specyfika eksploatacyjna sieciowych systemów technicznych wymaga zapewnienie ciągłości i jakości działania obiektów w ramach rozbudowanej sieci technicznej rozproszonej geograficznie na dużym obszarze. Stąd, takie systemy charakteryzują się szeregiem specyficznych cech, do których należy zaliczyć [18, 10, 14, 6]:

- rozproszenie terytorialne elementów składowych systemu,
- specyficzna (trudnodostępna - pod ziemią, na wysokości) lokalizacja poszczególnych elementów systemu,
- duża złożoność strukturalna i różnorodność typów obiektów wchodzących w skład systemu oraz liczne powiązania pomiędzy elementami tworzącymi sieć,
- duża dynamika systemu wymagająca ciągłego monitorowania przebiegu realizowanych przez system procesów,
- wymagana nieprzerwana, ciągła praca większości instalacji, urządzeń i obiektów wchodzących w skład systemu.

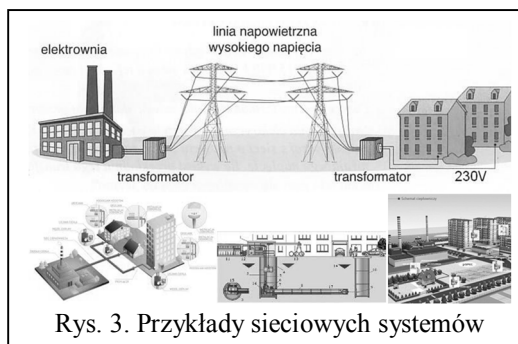
Powyższe cechy warunkują określone możliwości i ograniczenia prowadzenia prac obsługowo-naprawczych, inne niż w typowych przedsiębiorstwach przemysłowych opartych np. na eksploatacji linii produkcyjnej. W szczególności, specyfika i lokalizacja poszczególnych elementów sieci nie pozwalają na swobodne kształtowanie typów i ilości realizowanych prac, co ogranicza możliwość pełnej optymalizacji kosztów działalności służb utrzymania ruchu.

4.2. Budowa taksonomicznego modelu oceny polityki eksploatacyjnej

Proponowany przez autorów sposób oceny wykorzystuje w swoich podstawach elementy znanych i stosowanych w obszarze nauk społeczno-ekonomicznych metod taksonomicznych przedstawionych m.in. w [8, 9, 23, 29]. Metody te sprowadzają się do wyboru, porządkowania i grupowania analizowanych zjawisk w płaszczyznach: przestrzennej, merytorycznej i czasowej. Wynikiem tych działań jest przekształcenie zmiennych diagnostycznych, opisujących w sposób rozproszony poszczególne fragmenty analizowanego zjawiska, w zmienną syntetyczną (agregowaną) będącą swoistą wypadkową rozpatrywanych zdarzeń i procesów.

Budowa procedury oceny polityki eksploatacyjnej oparta została na wytycznych zawartych m.in. w [8, 23, 28] i obejmuje cztery kluczowe aspekty:

1. Identyfikacja i uporządkowanie zmiennych diagnostycznych (czas, ilość i koszty) oraz analizowanych obiektów (kategorii prac obsługowych lub naprawczych) (rys. 4).



Rys. 3. Przykłady sieciowych systemów

a.

	W/B	czas (t)	ilość (i)	koszt (k)
		w ₁	w ₂	w ₃
Przeglądy	b ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃
Konserwacje	b ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃
Naprawy	b ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃
Remonty	b ₄	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃

b.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix}$$

Rys. 4. Zbiór wielkości wejściowych modelu oceny polityki eksploatacyjnej:

a. tabela uporządkowania, b. macierze cech i wag (A – macierz cech diagnostycznych, W wektor wag cech, B – wektor wag kategorii prac obsługowych i naprawczych)

2. Normowanie zmiennych diagnostycznych, w celu doprowadzenia do jednolitych mian:
- stymulacja zmiennych, czyli transformacja hierarchiczna, której efektem jest tendencja rosnąca wartości wszystkich cech diagnostycznych:

$$x_{ij} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (i = 1, \dots, 3, j = 1, \dots, 4) \quad (13)$$

- normowanie i ważenie cech w oparciu o procedurę standaryzacji:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S(x_j)} \cdot w_j \cdot b_i \quad (14)$$

gdzie: z_{ij} – unormowana zmienna diagnostyczna,
 \bar{x}_j – wartość średnia cechy (kolumny),
 $S(x_j)$ – odchylenie standardowe cechy (kolumny).

W oparciu o powyższe zależności, powstaje macierz unormowanych zmiennych diagnostycznych.

3. Agregacja unormowanych zmiennych, w celu wyprowadzenia miar syntetycznych poszczególnych obiektów dla potrzeb oceny bieżącej polityki eksploatacyjnej, a także wyznaczenie miary syntetycznej polityki eksploatacyjnej dla potrzeb oceny czasowych zmian polityki eksploatacyjnej. Miara syntetyczna ma w tym przypadku charakter wzorcowy (tzn. odnosi się do tzw. wektora wzorcowego) i budowana jest w czterech krokach:

- definiowanie wektora wzorcowego

$$O_0 = [z_{0j}] \quad (15)$$

gdzie:

$$z_{0j} = \frac{\bar{z}_j}{S_j} \quad (16)$$

- wyznaczenie odległości obiektów (kategorii prac obsługowych i naprawczych od obiektu wzorcowego (miara euklidesowa)

$$d_{i0} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_{0j})^2} \quad (17)$$

- wyznaczenie miar syntetycznych dla poszczególnych analizowanych obiektów

$$s_i = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0} \quad (18)$$

gdzie:

$$d_0 = \bar{d}_0 + 2 \cdot S(d_0), \quad \bar{d}_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n d_{i0}, \quad S(d_0) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (d_{i0} - \bar{d}_0)^2} \quad (19)$$

- określenie lokalizacji geometrycznej miar syntetycznych dla poszczególnych analizowanych obiektów

$$x_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m w_j \cdot (z_{ij} - \varphi_j)^2}{m \cdot (\bar{d} + 2 \cdot S_d)^2}}, \quad y_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (1 - w_j) \cdot (z_{ij} - \varphi_j)^2}{m \cdot (\bar{d} + 2 \cdot S_d)^2}} \quad (20)$$

gdzie: w_j - współczynnik ważności

$$w_j = \frac{\omega_j}{\sum_{k=1}^m \omega_k} \quad (21)$$

ω_j - współczynnik zmienności

$$\omega_j = \frac{S_j}{\bar{x}_j} \quad (22)$$

4.3. Opracowanie modelu generującego dane testowe i pozycjonujące

Przeprowadzone dotychczas badania, których efektem było opracowanie i wdrożenie w praktyce systemu komputerowego o nazwie ISOZE (Inteligentny System Obsługi Zdarzeń Eksploatacyjnych), wspomagającego prowadzenie analiz eksploatacyjnych w jednym z przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych [10, 18], pozwoliły na ocenę pozyskanych i przetworzonych danych dotyczących prowadzonych prac obsługowych i naprawczych w kontekście możliwości ich wykorzystania dla potrzeb weryfikacji poprawności taksonomicznego modelu oceny polityki eksploatacyjnej.

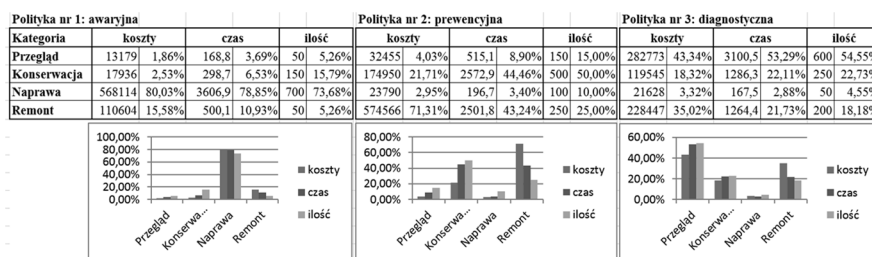
W tym celu, zbudowany został model generujący zasób danych testowych i pozycjonujących, którego istotą jest zdefiniowanie wzorcowych wyraźnie odrębnych modeli polityki eksploatacyjnej, w oparciu o strukturę prac obsługowych i naprawczych, rozpatrywaną w świetle przyjętych cech: kosztów, czasu i ilości. W wyniku przeprowadzonej analizy, w oparciu o dane wynikające z realizacji prac obsługowych i naprawczych w odniesieniu do sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, opracowane zostały trzy wzorcowe modele polityki eksploatacyjnej, uwzględniające cztery kategorie prac:

- przeglądy, będące zespołem zaplanowanych na podstawie odpowiednich harmonogramów czynności, mających na celu sprawdzenie stopnia zużycia lub uszkodzenia elementów obiektu technicznego, usunięcie drobnych usterek oraz

określenie przybliżonego zakresu robót najbliższej naprawy planowanej (np. kontrola hydrantów, kontrola odwodnień, itp.),

- konserwacje, czynności związane z: czyszczeniem, smarowaniem, sprawdzaniem stanu technicznego i zabezpieczeniem eksploatacyjnym oraz pozostałe, wchodzące już w zakres obsługi obiektów technicznych o charakterze bieżącej konserwacji (np. konserwacja zaworów redukcyjnych, płukanie końcówek wodociągów, itp.),
- naprawy, przeprowadzane w następstwie awarii, mające na celu przywrócenie obiektu technicznego do stanu zdatności eksploatacyjnej (naprawa przewodu wodociągu),
- remonty, zadania o charakterze korekcyjnym, przeprowadzane w wyniku decyzji podjętej na podstawie zrealizowanego przeglądu lub konserwacji (remont pompy PJM).

Struktura opracowanych modeli wzorcowych została przedstawiona na rys. 5.



Rys. 5. Struktura modeli wzorcowych polityki eksploatacyjnej

4.4. Wariantowa ocena polityki eksploatacyjnej

W oparciu o przygotowane zbiory danych opisujące możliwe warianty polityki eksploatacyjnej, przeprowadzono obliczenia z wykorzystaniem zaproponowanego modelu taksonomicznego. Dane wejściowe, dla potrzeb obliczeń, uporządkowano według układu z rys. 5 i zestawiono w tab. 4.

Tab. 4. Macierze wejściowe dla potrzeb wariantowej oceny polityki eksploatacyjnej

Polityka nr 1 - awaryjna	Polityka nr 2 - prewencyjna	Polityka nr 3 - diagnostyczna
$A_1 = \begin{bmatrix} 13179 & 168,8 & 50 \\ 17936 & 298,7 & 150 \\ 568114 & 3606,9 & 700 \\ 110604 & 500,1 & 50 \end{bmatrix}$	$A_2 = \begin{bmatrix} 32455 & 515,1 & 150 \\ 174950 & 2572,9 & 200 \\ 23790 & 196,7 & 100 \\ 574566 & 2501,8 & 250 \end{bmatrix}$	$A_3 = \begin{bmatrix} 282773 & 3100,5 & 600 \\ 119545 & 1286,3 & 250 \\ 21628 & 167,5 & 50 \\ 228447 & 1264,4 & 200 \end{bmatrix}$

Przyjęto, że dla potrzeb porównywania poszczególnych wariantów polityki eksploatacyjnej, wartości macierzy wag, zarówno cech diagnostycznych, jak i kategorii prac obsługowych i naprawczych, są w początkowym okresie jednakowe i kształtują się następująco (tab. 5):

- wartości wag cech diagnostycznych (koszty, czas, ilość) zawierają się w zbiorze dodatnich liczb rzeczywistych,

Tab. 5. Wartości wag

Wektor wag cech diagnostycznych	Wektor wag kategorii prac
$W = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$B = \begin{bmatrix} 0,25 \\ 0,25 \\ 0,25 \\ 0,25 \end{bmatrix}$

- wartości początkowe są sobie równe i wynoszą 1,
- wartości wag kategorii prac obsługowych i naprawczych zawierają się w zbiorze dodatnich liczb rzeczywistych w przedziale [0,1], w taki sposób, aby $\sum_{i=1}^4 b_i = 1$, wartości początkowe są sobie równe i wynoszą 0,25,

Wyniki procesu normowania prowadzącego w tym przypadku do uzyskania stymulowanych wartości cech niemianowanych z uwzględnieniem wag, przeprowadzono w oparciu o wzory 13 – 14 i zestawiono w tab. 6.

Tab. 6. Wartości cech jako wynik stymulacji, normowania i ważenia

Polityka nr 1 – awaryjna	Polityka nr 2 - prewencyjna	Polityka nr 3 – diagnostyczna
$\begin{bmatrix} 0,3233 & 0,3679 & 0,2435 \\ 0,1617 & 0,0558 & -0,1636 \\ -0,2717 & -0,3162 & -0,3235 \\ -0,2133 & -0,1075 & 0,2435 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,1590 & -0,0016 & 0,0833 \\ -0,2127 & -0,2043 & -0,3056 \\ 0,3252 & 0,4088 & 0,3611 \\ -0,2715 & -0,2029 & -0,1389 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0,1702 & -0,1770 & -0,2077 \\ -0,1022 & -0,1280 & -0,1269 \\ 0,4307 & 0,4316 & 0,4269 \\ -0,1583 & -0,1266 & -0,0923 \end{bmatrix}$

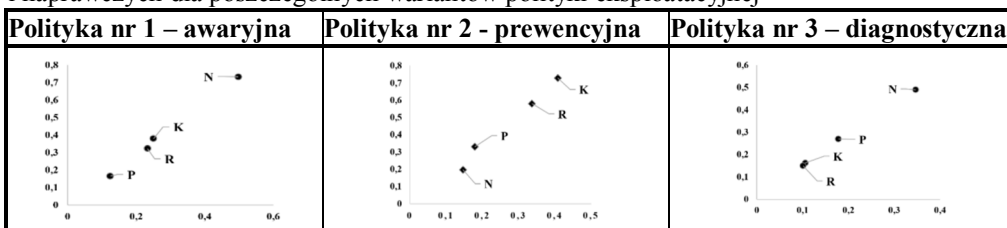
Wartości miar syntetycznych dla poszczególnych kategorii prac obsługowych i naprawczych, w ramach poszczególnych wariantów polityki eksploatacyjnej, wyznaczonych w oparciu o wzory 15 – 19 zestawiono w tab. 7.

Tab. 7. Zestawienie wartości miar syntetycznych kategorii prac obsługowych i naprawczych dla poszczególnych wariantów polityki eksploatacyjnej

	Polityka nr 1	Polityka nr 2	Polityka nr 3
Przeglądy	0,4172	0,2920	0,2167
Konserwacje	0,2450	0,1204	0,2633
Naprawy	0,0748	0,4319	0,6440
Remonty	0,2326	0,1495	0,2601
Suma	0,9695	0,9937	1,3842
Średnia	0,2424	0,2484	0,3460

Lokalizację geometryczną miar syntetycznych, których współrzędne zostały wyznaczone w oparciu o wzory 20 - 22, przedstawiono w tab. 8. Odległość od punktu początku układu współrzędnych wskazuje na dominację bezwzględną obiektów - kategorii prac obsługowych i naprawczych (im większa odległość, tym większa dominacja). Różnica odległości pomiędzy poszczególnymi obiektami wskazuje na większą dominację względną (wzajemną) analizowanego obiektu nad innymi.

Tab. 8. Lokalizacja geometryczna miar syntetycznych kategorii prac obsługowych i naprawczych dla poszczególnych wariantów polityki eksploatacyjnej



5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania i opracowany sposób oceny polityki eksploatacyjnej jest jednym z podejmowanych aspektów prac badawczych, prowadzonych w Instytucie Inżynierii Produkcji, nad problemami zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu w odniesieniu do sieciowych systemów technicznych. Główne cele tych badań sprowadzają się do dwóch kluczowych zagadnień:

- opracowania metodyki kształtowania przyszłości eksploatacyjnej sieciowych systemów technicznych,
- budowy narzędzi wspomagających zarządzanie eksploatacją i utrzymaniem ruchu sieciowymi systemami technicznymi.

Istotnym, wartościowym i jednocześnie niezbędnym elementem tak sformułowanego obszaru badawczego jest metodyka oceny polityki eksploatacyjnej, która jest przedmiotem tego artykułu.

Interpretując wyniki przeprowadzonych badań, a przede wszystkim wykonanych obliczeń można zauważyć duże proporcjonalne podobieństwo uzyskanych wartości miar syntetycznych (tab. 7) i lokalizacji geometrycznej wyników (tab. 8) z wizualizacją wartości względnych danych wejściowych (rys. 5). Wskazuje to na możliwość wykorzystania metod taksonomicznych do oceny polityki eksploatacyjnej. Należy jednocześnie zaznaczyć, że zbiory danych wejściowych zostały świadomie opracowane w taki sposób, aby istniała wyraźna jednoznaczna granica pomiędzy poszczególnymi wariantami polityki eksploatacyjnej.

Prowadzone obecnie badania skupiają się na trzech powiązanych ze sobą aspektach:

- praktyczna weryfikacja (modyfikacja i pozycjonowanie) metodyki oceny polityki eksploatacyjnej, w oparciu o dane pochodzące z czterech eksploatowanych systemów technicznych (system wodociągowy, system kanalizacyjny, system ciepłowniczy, system gazowniczy),
- weryfikacja, doprecyzowanie i rozszerzenie zbioru modeli danych pozycjonujących, w celu uwzględnienia możliwie szerokiego obszaru organizacyjno-technicznej specyfiki eksploatacyjnej,
- analiza możliwości symulacyjnego badania zmian eksploatacji sieciowych systemów technicznych i sposobu zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu, z uwzględnieniem liczbowego i funkcyjnego kształtowania wag cech diagnostycznych i wag cech obiektów (kategorii prac obsługowych i naprawczych)

Literatura

1. Adamkiewicz A., Burnos A. The maintenance of the ship turbines with the application of the key performance indicators. Journal of POLISH CIMAC „Diagnosis, reliability and safety” 2010; Vol. 5 No. 2: 7-16.
2. Bąkowski K., Sieci i instalacje gazowe. Poradnik projektowania, budowy i eksploatacji, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
3. Burnos A.: Universal maintenance performance indicator for technical objects operated on floating units. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2011, 27(99) z. 1 s. 34–39.
4. Denczew S., Królikowski A.: Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociągowych i kanalizacyjnych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2003.

5. Ditmann P., Pisz Z.: Metoda dynamicznego badania zróżnicowania przestrzennego zjawisk społeczno-ekonomicznych. *Wiadomości Statystyczne*, 1975, z. 11, str. 27-28.
6. Fernandez J.F.G., Marquez A.C., Framework for implementation of maintenance management in distribution network providers, *Reliability Engineering and System Safety* 2009; 94: 1639-1649.
7. Górecki J., Sieci ciepłne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
8. Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A. Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno-gospodarczych. Warszawa: PWN, 1989.
9. Hellwig Z.: Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby I structure wykwalifikowanych kadr. *Przegląd Statystyczny*, 1968, z. 4, str. 307-327.
10. Kaźmierczak J., Loska A., Dąbrowski M.: Use of geospatial information for supporting maintenance management in a technical network system. 21th European Congress on Maintenance and Asset Management Euromaintenance 2012, Belgrad (Serbia) 14-16 May 2012, pp. 287-297.
11. Kaźmierczak J.: Eksploatacja systemów technicznych. Politechnika Śląska, Gliwice 2000.
12. Kelly A.: Strategic Maintenance Planning. Butterworth-Heinemann, Oxford 2006.
13. Konieczny J.: Sterowanie eksploatacją urządzeń. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1975.
14. Kwietniewski M., GIS w wodociągach i kanalizacji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
15. Levitt J.: The Handbook of Maintenance Management. Industrial Press Inc., New York 2009.
16. Loska A. Remarks about modelling of maintenance processes with the use of scenario techniques. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2012; 14 (2): 5–11.
17. Loska A. Wybrane aspekty komputerowego wspomaganie zarządzania eksploatacją i utrzymaniem ruchu. Monografia. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2012.
18. Loska A., Dąbrowski M.: The way of computer aided handling maintenance events and processes in a network technical system. International Conference Udržba 2011 (Maintenance 2011), Rijna (Czech Republic) 19-20 October 2011, pp. 176-181.
19. Loska A.: Exploitation assessment of selected technical objects using taxonomic methods. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2013; 15 (1): 1–8.
20. Loska A.: Sposób wspomaganie analizy eksploatacyjnej wybranej grupy obiektów technicznych. *Czasopismo Mechanik* 7/2011, XV Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomaganie Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, Jurata 2011, str. 501-508.
21. Loska A.: Sposób wspomaganie eksploatacyjnego procesu decyzyjnego w sieciowym systemie technicznym. *Czasopismo Mechanik* 7/2013, str. 596.
22. Loska A.: Modeling of decision making process using scenario methods in maintenance management of selected technical systems. Proceedings of the International Conference Maintenance Performance Measurement and Management 2013 - MPMM 2013, Lappeenranta (Finland) September 2013, pp. 219-233.

23. Młodak A.: Analiza taksonomiczna w statystyce regionalnej. Wydawnictwo Difin, Warszawa 2006.
24. Moubray J.: Reliability-Centred Maintenance II (second edition). Butterworth-Heinemann, 2007.
25. Mulawka J.: Systemy ekspertowe, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
26. Nakajima S.: Introduction to TPM. Total Productive Maintenance. Productivity Press, Portland, Oregon 1988.
27. Niebel W.B.: Engineering Maintenance Management. Second edition. Marcel Dekker Inc., New York 1994.
28. Pająk M.: The modification of the amount of operational potential during the exploitation phase of a complex technical object, Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance, 2009, Vol. 44, nr 1, s. 37-47.
29. Panek T.: Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej. Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 2009.
30. Peters R.W.: Maintenance Benchmarking and Best Practices: A Profit - and Customer - Centered Approach, McGraw-Hill, New York 2006.
31. PN-EN 15341:2007 - Obsługa - Kluczowe wskaźniki efektywności.
32. Productivity Press Development Team: OEE for Operators. Productivity Press Inc., New York 1999.
33. SAE Standard JA1011: Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes. SAE International 1999.
34. Smith J.: The KPI Book. Insight Training & Development Limited, Stoubridge (Great Britain) 2001.
35. Suzuki T. (red.): TPM in Process Industries. Productivity Press, Portland, Oregon 1994.
36. Werner G.W.: Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Informacji Zawodowej ALFA-WEKA, Warszawa 1998.
37. Wiremann T.: Developing performance indicators for managing maintenance (second edition). Industrial Press, New York 2005.
38. Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Akademia Techniczno-Rolnicza, Bydgoszcz 1996.
39. Zuchowicki A.W., Feofanov Y.A., Współczesne trendy w dziedzinie eksploatacji sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2006.

Dr inż. Andrzej Loska
 Dr inż. Marcin Dąbrowski
 Instytut Inżynierii Produkcji, Wydział Organizacji i Zarządzania
 Politechnika Śląska
 41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26-28
 tel.: (0-32) 2777363, fax: (0-32) 277 73 62
 e-mail: Andrzej.Loska@polsl.pl,
 Marcin.Dabrowski@polsl.pl