

Modelowanie struktury technicznej systemów inżynierii miejskiej w myśl idei SmartMaintenance: studium przypadku – system wodociągowy

Modeling of technical structure of municipal engineering systems driven by the SmartMaintenance idea: case study – water supply system

ANDRZEJ LOSKA
RYSZARD WYCZÓŁKOWSKI *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.155

Artykuł przedstawia realizację koncepcji wielomodelu eksploatacyjnego w odniesieniu do systemów inżynierii miejskiej. Autorzy podjęli próbę matematycznego zapisu poszczególnych składników wielomodelu z wykorzystaniem elementów teorii grafów. Opracowane macierze zostały poddane praktycznej interpretacji w warunkach budowy i funkcjonowania przykładowego systemu wodociągowego.

SŁOWA KLUCZOWE: wielomodel eksploatacyjny, SmartMaintenance, system wodociągowy

The article presents the implementation of the exploitation multi-model concept for the municipal engineering systems. The authors made an attempt to mathematical description of the individual components of multi-model, using elements of the graph theory. Developing matrices have been subjected to practical interpretation in terms of construction and functioning of sample water supply system.

KEYWORDS: exploitation multi-model, SmartMaintenance

Jednym z kluczowych aspektów opracowanej przez autorów i zaprezentowanej w [5] koncepcji SmartMaintenance jest jednoznaczna identyfikacja i lokalizacja składników eksploatowanych systemów technicznych. Przeprowadzone dotychczas badania pozwoliły na sformułowanie założeń wielomodelu eksploatacyjnego, uwzględniając:

- model systemowy (sieciowy) odzwierciedlający czasowe i przestrzenne warunki (bądź ich brak) możliwości osiągnięcia założonych parametrów końcowych (wyjściowych) przy znanych i zadanych wartościach wejściowych,
- model strukturalny (hierarchiczny, drzewowy), odzwierciedlający relacje typu element nadrzędny – element podrzędny w odniesieniu do określonego fragmentu systemu albo w ramach określonej klasy obiektów podobnych – grup obiektów,
- model topologiczny (transportowy) odzwierciedlający uporządkowanie składników (obiektów technicznych) w sposób zintegrowany z miejscami ich fizycznego występowania w terenie.

Opracowana koncepcja wielomodelu eksploatacyjnego pozwoliła sformułować następujące wnioski:

- Wykorzystanie w praktyce opracowanej koncepcji wielomodelu wymaga jednoznacznej matematycznej definicji wielomodelu.
- Typowym obszarem zastosowania opracowanego wielomodelu jest inżynieria miejska.
- Sieciowa specyfika systemów technicznych inżynierii miejskiej uzasadnia przyjęcie opisu grafowego i modelu macierzowego.

Opracowany wielomodel eksploatacyjny został poddany interpretacji w warunkach funkcjonowania – wybranego systemu wodociągowego.

Artykuł jest wynikiem badań statutowych, realizowanych w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, w ramach pracy 13\030\BK_16\0024.

Grafowa interpretacja sieciowego systemu technicznego

Formalną identyfikację i interpretację wielomodelu można przeprowadzić z wykorzystaniem teorii grafów, której matematyczną reprezentacją jest rachunek macierzowy [8].

Model systemowy stanowi zbiór powiązań pomiędzy obiektami inżynierskimi ob_j , z uwzględnieniem obiektów liniowych ol_i . Model ten można opisać macierzą incydencji:

$$SY = [sy_{ij}] \quad (1)$$

$$0 < i \leq m \quad 0 < j \leq n$$

gdzie: $sy_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } j\text{-ta krawędź } ob_j \text{ jest incydentna do } i\text{-tego wężła } ol_i \\ 0, & \text{w przeciwnym razie} \end{cases}$

m – liczba obiektów liniowych, n – liczba obiektów inżynierskich

Model strukturalny (hierarchiczny) sieciowego systemu technicznego stanowi zbiór powiązań pomiędzy obiektami technicznymi z równorzędnym uwzględnieniem zarówno obiektów inżynierskich ob_j , jak i obiektów liniowych ol_i . Model ten można opisać kwadratową macierzą sąsiedztw:

$$ST = [st_{ij}] \quad (2)$$

$$0 < i \leq p \quad 0 < j \leq p$$

gdzie: $st_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli występuje krawędź między } i\text{-tym wężłem } ob_i(ol_i), \text{ a } j\text{-tym wężłem } ob_j(ol_j) \\ 0, & \text{w przeciwnym razie} \end{cases}$

p – sumaryczna liczba obiektów liniowych i obiektów inżynierskich

Model topologiczny stanowi identyfikację obiektów technicznych względem skalowalnej mapy terenu. Identyfikatory są reprezentowane przez odpowiednie macierze współrzędnych punktowych i liniowych, reprezentujących odpowiednio: obiekty inżynierskie i obiekty liniowe:

$$TP = [ol_i(ob_i), xp_i, yp_i, xk_i, yk_i, w_j] \quad (3)$$

$$0 < i \leq p, \quad 0 < j \leq q$$

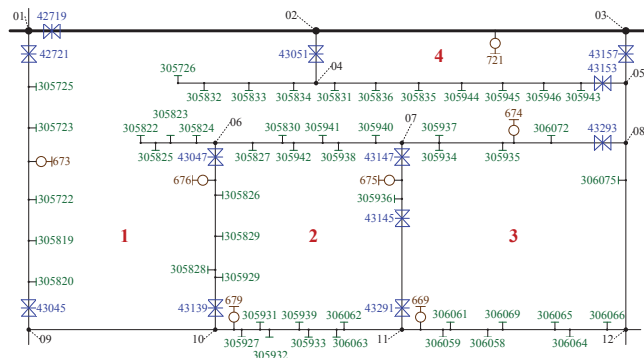
gdzie: ol_i (ob_i) – identyfikator obiektu liniowego lub obiektu inżynierskiego; xp_i , yp_i – współrzędne początkowe obiektu; xk_i , yk_i – współrzędne końcowe obiektu liniowego; w_j –

* Dr inż. Andrzej Loska (andrzej.loska@polsl.pl); dr hab. inż. Ryszard Wyczółkowski prof. nadzw. w Pol.Śl. (ryszard.wyczolkowski@polsl.pl) – Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania

identyfikator warstwy mapy; p – sumaryczna liczba obiektów; q – liczba warstw.

Wielomodel fragmentu systemu wodociągowego

Interpretacja wielomodelu eksploatacyjnego dla wyodrębnionego fragmentu systemu wodociągowego uwzględnia obiekty inżynierskie ograniczone łączącymi je przewodami magistralnymi i rozdzielczymi. Schemat powiązań dla omawianego modelu systemowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat systemowych powiązań składników przykładowego fragmentu sieci wodociągowej

Macierz incydencji (MSy) dla wybranego podsystemu (obszar nr 4 na rys. 1) w ramach analizowanego fragmentu systemu wodociągowego, opracowaną zgodnie z (1), przedstawiono w tabl. I.

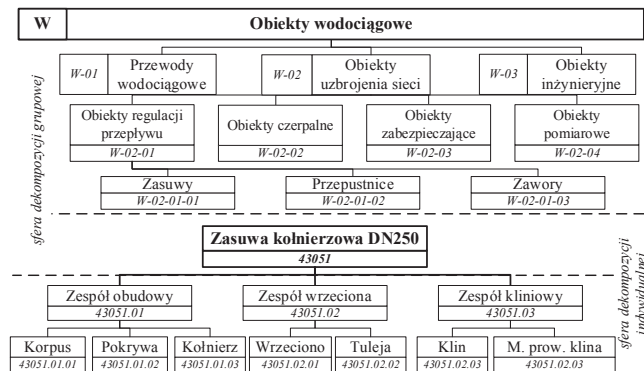
TABLICA I. Macierz incydencji dla analizowanego fragmentu systemu wodociągowego

	41322; 02; 721	41322; 03; 43157; 03	48043; 05; 43157; 05	45043; 05; 43153; 305943	5533; 305946	5533; 305945	5533; 305944	5533; 305835	5533; 305836	5533; 305831	45024; 04; 43051; 02	45024; 02	
	SY = [s _{ij}]												
02	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
03	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
05	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
721	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
43153	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
43157	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
305831	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
305835	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
305836	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
305943	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
305944	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
305945	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
305946	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

Przykładowy model hierarchiczny opracowano dla wyodrębnionego obiektu – zasuwy wodociągowej DN250. Model oparto na dwóch sferach dekompozycji (rys. 2):

- sferze dekompozycji grupowej, reprezentowanej przez kategorie/typy obiektów technicznych,
- sferze dekompozycji indywidualnej, reprezentowanej przez uporządkowane zbiory składników podrzędnych rozpatrywanego obiektu technicznego.

Łącznikiem w tym ujęciu jest wytypowany obiekt techniczny – kołnierзова zasuwa wodociągowa typu DN 250.



Rys. 2. Schemat powiązań hierarchicznych fragmentu systemu wodociągowego z uwzględnieniem zasuwy kołnierzowej DN 250

Macierze sąsiedztw (przyległości) odzwierciedlające relacje hierarchiczne dla zasuwy typu DN 250, opracowane zgodnie z (2), przedstawiono w tabl. II.

TABLICA 2. Macierz sąsiedztw modelu hierarchicznego dla wyodrębnionej kołnierzowej zasuwy wodociągowej typu DN250

	W	W-01	W-02	W-03	W-02-01	W-02-02	W-02-03	W-02-04	W-02-01-01	W-02-01-02	W-02-01-03	43051
	ST = [s _{ij}]											
W	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
W-01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W-02	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
W-03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W-02-01	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
W-02-02	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W-02-03	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W-02-04	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W-02-01-01	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
W-02-01-02	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
W-02-01-03	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
43051	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Macierz współrzędnych obiektów dla składników wybranego podsystemu (obszar nr 4 na rys. 1), opracowaną zgodnie z (3), zestawiono w tabl. III.

TABLICA III. Macierz współrzędnych obiektów dla fragmentu systemu wodociągowego

Kod obiektu	Współrzędna początkowa H	Współrzędna początkowa V	Współrzędna końcowa H	Współrzędna końcowa V	Warstwa	Opis
02	212576,4968	857153,8392	0,0000	0,0000	01	Węzeł
04	212587,7150	857142,1183	0,0000	0,0000	01	Węzeł
721	212615,5420	857179,6690	0,0000	0,0000	02	Hydrant
43157	212727,3840	857257,1940	0,0000	0,0000	03	Zasuwa
43051	212576,9450	857153,3600	0,0000	0,0000	03	Zasuwa
305943	212705,7000	857219,7000	0,0000	0,0000	04	Przyłącze
305944	212655,7000	857183,8000	0,0000	0,0000	04	Przyłącze

Podsumowanie

Przedstawiona w artykule metoda opisu systemów technicznych rozszerza możliwości dotychczas wykorzystywanego hierarchicznego sposobu modelowania. Pozwoli to na skuteczne rozwiązywanie eksploatacyjnych zagadnień analitycznych z uwzględnieniem specyfiki systemów sieciowych [1, 5], wspomaganie eksploatacyjnego procesu decyzyjnego [2, 3], a także łączną analizę wielu systemów sieciowych współpracujących ze sobą bądź wzajemnie na siebie wpływających [7, 8].

LITERATURA

1. Brodny J. „Koncepcja wykorzystania modelu efektywności całkowitej do analizy pracy maszyn górniczych”. W: R. Knosala: *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2016, t. 2, s. 413-423.
2. Komoniewski M., Loska A., Paszkowski W., Wyczółkowski R. „Przegląd możliwości i potrzeb wspomaganie zarządzania i monitorowania systemu wodociągowego w ujęciu idei SmartCity”. W: R. Knosala: *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2016, t. 2, s. 570-583.
3. Loska A., Moczulski W., Wyczółkowski R., Dąbrowski A. „Integrated system of control and management of exploitation of water supply system”. *Diagnostyka*. 2016;17(1): pp. 65-74.
4. Loska A. Review of opportunities and needs of building the SmartMaintenance concept within technical infrastructure system of municipal engineering. w: R. Knosala: *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2015, Vol. 2, pp. 544-555.
5. 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.
6. Paszkowski W. „Identyfikacja cech diagnostycznych w ocenie środowiska zurbanizowanego zagrożonego hałasem”. *Mechanik* 2015 R. 87 nr 7, s. 155-162.
7. Paszkowski W. „Innowacyjne metody kształtowania jakości akustycznej terenów zurbanizowanych z wykorzystaniem entropii informacji”. *Mechanik* 7/2014, s. 513-522.
8. Ross K.A., Wright C.R.B. „*Matematyka dyskretna*”. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.