

Modeling of the dynamics of observation of leakage processes in HUSH subsystems with two chambers in the master cylinder

Modelowanie dynamiki obserwacji procesów nieszczelności podsystemów HSUH o dwóch komorach w pompie hamulcowej

Szymon Salamon¹

¹Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi, Polska, salamon@sprzet-pszczelarski.pl

Abstract: Braking systems of modern motor vehicles are technical systems with an extensive structural and functional structure. These systems must be characterized by the basic requirement which is the tightness of the system. Testing the tightness of a dispersed constructionally closed working space (and such a structure is the braking system of a motor vehicle) is a serious challenge for the diagnosis of the technical condition of this system. The need to optimize (structurize) the diagnosis process, in particular its tightness, appears naturally. In this article, the author presents an approach to this issue in the light of Boolean algebra. This approach is illustrated by the example of an automotive hydraulic dual circuit braking system having front and rear wheel braking circuits.

Streszczenie: Układy hamulcowe współczesnych pojazdów samochodowych są systemami technicznymi o rozbudowanej strukturze konstrukcyjnej i funkcjonalnej. Układy te muszą charakteryzować się podstawowym wymaganiem jakim jest szczelność tego systemu. Badanie szczelności rozproszonej konstrukcyjnie zamkniętej przestrzeni roboczej (a taką konstrukcją jest układ hamulcowy pojazdu samochodowego) jest poważnym wyzwaniem dla diagnostyki stanu technicznego tego systemu. W naturalny sposób ujawnia się potrzeba optymalizacji (strukturalizacji) procesu diagnozowania w szczególności jego szczelności. Autor w niniejszym artykule prezentuje podejście do tego zagadnienia w świetle algebry Boole'a. Podejście to przedstawiono na przykładzie samochodowego hydraulicznego układu hamulcowego dwuobwodowego, posiadającego obwód hamowania kół przednich i tylnych.

Key words: motor vehicle, braking system, structuring of leak testing, Boolean algebra

Słowa kluczowe: pojazd samochodowy, układ hamulcowy, strukturalizacja badania szczelności, algebra Boole'a

1. Wstęp

Obiektem rozważań jest układ hamulcowy samochodu ciężarowego. Układ ten zawiera: mechaniczne, pneumatyczne i hydrauliczne zespoły hamulcowe. Struktura konstrukcyjna tego układu, zabezpiecza bezpieczeństwo ruchu samochodu ciężarowego, w szczególności poprzez rozwiązania konstrukcyjne zapewniające możliwość zatrzymania samochodu przy wykorzystaniu obwodu hamowania kół przednich lub tylnych, w przypadku awarii jednego z nich. Te opcje realizują wymienione zespoły hamulcowe, funkcjonujące jako system techniczny. Po to, aby było to możliwe, od zespołów pneumatycznych i hydraulicznych w szczególności wymaga się ich szczelności. W niniejszym opracowaniu zaprezentowano dwa modele dynamiki obserwacji ewentualnych procesów nieszczelności. Akronimy wykorzystywane w obu modelach dynamiki obserwacji procesów nieszczelności hydraulicznego samochodowego układu hamulcowego są również wykorzystywane w publikacjach [1-2].

2. Eksperyment

Wykorzystując zasady algebry Boole'a w analizie struktury procesu diagnozowania nieszczelności/szczelności układu hamulcowego wyznacza się kanoniczną alternatywną postać normalną funkcji boolowskiej, a następnie za pomocą algorytmu Quine'a Mc Cluskey'a uzasadnia się, że MAPN określona jest formułą boolowską. Opracowano dwa alternatywne modele dynamiki obserwacji procesów nieszczelności podsystemów HSUH, przedstawione niżej.

3. Modele

3.1. Model I

Podsystem HSUH1 wyznacza zbiór obiektów materialnych $OM1 = \{KP_{PH}, KT_{HT}, P_{HP}, P_{HT}\}$.

Model boolowski procesu diagnozy nieszczelności/szczelności podsystemu określa zbiór zmiennych boolowskich

ZB1 = { x_{KP}, x_{KT}, x_P, x_T } oraz funkcje boolowskie:
 $f_1, f_{1S} : B^4 \rightarrow B$, gdzie:

$$x_{KP} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelny } KP_{PH}, \\ 0, & \text{gdynieszczelny } KP_{PH}, \end{cases} \quad x_{KT} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelny } KT_{PH}, \\ 0, & \text{gdynieszczelny } KT_{PH}, \end{cases}$$

$$x_P = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelny } P_{HP}, \\ 0, & \text{gdynieszczelny } P_{HP}, \end{cases} \quad x_T = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelny } P_{HT}, \\ 0, & \text{gdynieszczelny } P_{HT}, \end{cases}$$

Oraz:

$$f_1(x_{KP}, x_{KT}, x_P, x_T) = (x_{KP} + x_P)(x_{KT} + x_T) \quad \text{- funkcja nieszczelności podsystemu HSUH1}$$

$$f_{1S}(x_{KP}, x_{KT}, x_P, x_T) = \overline{x_{KP}} \cdot \overline{x_P} + \overline{x_{KT}} \cdot \overline{x_T} \quad \text{- funkcja nieszczelności podsystemu HSUH2}$$

W pierwszej fazie analizy boolowskiej struktury procesu diagnozowania nieszczelności/szczelności podsystemu HSUH1 wyznacza się kanoniczną alternatywną postać normalną funkcji $f_1 : B^4 \rightarrow B$ (KAPH) i następnie za pomocą algorytmu Quine'a Mc Cluskey'a [4-6] uzasadnia się, że MAPN określona jest formułą boolowską:

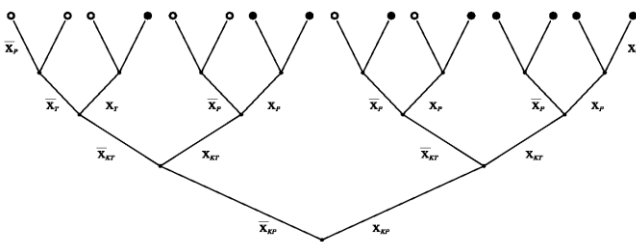
$$f_1(x_{KP}, x_{KT}, x_P, x_T) = x_{KP}x_{KT} + x_{KP}x_T + x_{KT}x_P + x_Px_T$$

Analiza uzyskanych w ten sposób wyników umożliwia techniczną interpretację diagnozy wszystkich możliwych przypadków stanów nieszczelności/szczelności (por. rys. 1).

I tak nieszczelność podsystemu jest odnotowana wtedy i tylko wtedy gdy: P i T są nieszczelne jednocześnie oba obwody materialne z co najmniej jednego z następujących zbiorów dwustanowych:

$$\{KP_{PH}, KT_{PH}\}, \{KP_{PH}, P_{HT}\}, \{KT_{PH}, P_{HP}\}, \{P_{HP}, P_{HT}\}$$

Szczelność – wtedy i tylko wtedy gdy szczelne są jednocześnie oba obiekty materialne z co najmniej z jednego z następujących zbiorów: $\{KP_{PH}, P_{HP}\}$ i $\{KT_{PH}, P_{HT}\}$.



$$(\bullet) f_1(x_{KP}, x_{KT}, x_P, x_T) = (x_{KP} + x_P)(x_{KT} + x_T)$$

$$(\circ) f_{1S}(x_{KP}, x_{KT}, x_P, x_T) = \overline{x_{KP}} \cdot \overline{x_P} + \overline{x_{KT}} \cdot \overline{x_T}$$

Rys. 1. Drzewo boole'owskie funkcji $f_1 : B^4 \rightarrow B$

Tabela 1. Mapa ciągów obserwacji nieszczelności podsystemu HSUH1

I Model:	(x_{KP})	(x_{KT})	(x_P)	(x_T)
----------	------------	------------	---------	---------

(x_{KP})	\mathbf{x}	(x_{KT}, x_{KP})	(x_P, x_{KP}, x_{KT}) (x_P, x_{KP}, x_T)	(x_T, x_{KP})
(x_{KT})	(x_{KP}, x_{KT})	\mathbf{x}	(x_P, x_{KT})	(x_T, x_{KT}, x_{KP}) (x_T, x_{KT}, x_P)
(x_P)	(x_{KP}, x_P, x_{KT}) (x_{KP}, x_P, x_T)	(x_{KT}, x_P)	\mathbf{x}	(x_T, x_P)
(x_T)	(x_{KP}, x_T)	(x_{KT}, x_T, x_{KP}) (x_{KT}, x_T, x_P)	(x_P, x_T)	\mathbf{x}

Z punktu widzenia użytkowników podsystemów HSUH1, dla których istotne znaczenie ma informacja – wymagająca ciągłej aktualizacji – o stanach nieszczelności/szczelności, bardzo ważna jest mapa zbioru CON1, ciągów dynamicznych obserwacji nieszczelności podsystemu. Można je otrzymać w drugim etapie boolowskiej analizy funkcji nieszczelności: $f_1 : B^4 \rightarrow B$ (Tab. 1).

$$CON_{HSUH1} = \left\{ \begin{aligned} & (x_{KP}, x_{KT}), (x_{KP}, x_T), (x_{KT}, x_{KP}), (x_{KT}, x_P), (x_P, x_{KT}), (x_P, x_T), (x_T, x_{KP}), \\ & (x_T, x_P), (x_{KP}, x_P, x_{KT}), (x_{KP}, x_P, x_T), (x_{KT}, x_T, x_{KP}), (x_{KT}, x_T, x_P), \\ & (x_P, x_{KP}, x_{KT}), (x_P, x_{KP}, x_T), (x_T, x_{KT}, x_{KP}), (x_T, x_{KT}, x_P) \end{aligned} \right\}$$

Przyjmując następujące podzbiory zmiennych boole'owskich:

$$ZB1_{OP} = \{x_{KP}, x_P\} \quad \text{- zmienne osi przedniej HSUH1,}$$

$$ZB1_{OT} = \{x_{KT}, x_T\} \quad \text{- zmienne osi tylnej HSUH1}$$

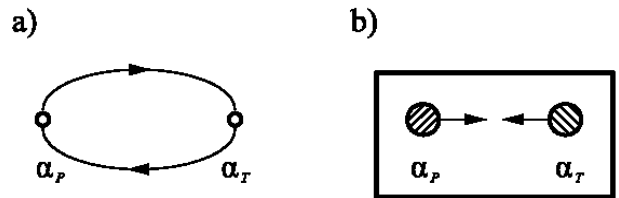
można następująco określić elementy zbioru CON1 wszystkich dynamicznych ciągów obserwacji nieszczelności podsystemu HSUH1:

- $(n_1, n_2) \in CON1 \Leftrightarrow n_1 \in ZB1_{OP} \wedge n_2 \in ZB1_{OT} \vee n_1 \in ZB1_{OT} \wedge n_2 \in ZB1_{OP}$
- $(n_1, n_2, n_3) \in CON1 \Leftrightarrow n_1, n_2 \in ZB1_{OP} \wedge n_3 \in ZB1_{OT} \vee n_1, n_2 \in ZB1_{OT} \wedge n_3 \in ZB1_{OP}$

Powyższe obserwacje w modelu boole'owskim mogą być podstawą do konstrukcji panelu sygnalizacyjnego na pulpicie pokładowym.....

Dwa punkty sygnalizacyjne α_P, α_T , które są lampkami odnotowującymi nieszczelności odpowiednio na obiektach materialnych z dwóch zbiorów: KP_{PH}, P_{HP} i KP_{HT}, P_{HT} .

Obserwacje w dowolnej kolejności obu lampek włączonych jest sygnałem o nieszczelności podsystemu HSUH1. (Rys. 2.)



Rys. 2. Schemat panelu informacyjnego

3.2. Model II

Podsystem HSUH2 uwzględnia zbiór obiektów materialnych $OM2 = \{KP_{PH}, PP_{HP}, LP_{HP}, KT_{PH}, PP_{HT}, LP_{HT}\}$.

Model boole'wski procesu diagnozy nieszczelności / szczelności podsystemu wyznacza zbiór zmiennych boole'owskich $ZB2 = \{x_{KP}, x_{KT}, x_{PP}, x_{LP}, x_{PT}, x_{LT}\}$ oraz funkcje boole'owskie $f_2, f_{2S} : B^6 \rightarrow B$, gdzie:

$$x_{KP} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelna } KP_{PH}, \\ 0, & \text{gdynieszczelna } KP_{PH}, \end{cases}$$

$$x_{KT} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelna } KT_{PH}, \\ 0, & \text{gdynieszczelna } KT_{PH}, \end{cases}$$

$$x_{PP} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelna } PP_{HP}, \\ 0, & \text{gdynieszczelna } PP_{HP}, \end{cases}$$

$$x_{LP} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelna } LP_{HP}, \\ 0, & \text{gdynieszczelna } LP_{HP}, \end{cases}$$

$$x_{PT} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelna } PP_{HT}, \\ 0, & \text{gdynieszczelna } PP_{HT}, \end{cases}$$

$$x_{PT} = \begin{cases} 1, & \text{gdynieszczelna } LP_{HT}, \\ 0, & \text{gdynieszczelna } LP_{HT}, \end{cases}$$

oraz odpowiednio funkcje nieszczelności / szczelności podsystemu HSUH2:

$$f_2(x_{KP}, x_{PP}, x_{LP}, x_{KT}, x_{PT}, x_{LT}) = (x_{KP} + x_{PP} + x_{LP})(x_{KT} + x_{PT}, x_{LT})$$

$$f_{2S}(x_{KP}, x_{PP}, x_{LP}, x_{KT}, x_{PT}, x_{LT}) = \overline{x_{KP}} \cdot \overline{x_{PP}} \cdot \overline{x_{LP}} + \overline{x_{KT}} \cdot \overline{x_{PT}} \cdot \overline{x_{LT}}$$

W drugiej fazie modelowania boole'owskiego procesu nieszczelności / szczelności podsystemu HSUH2 otrzymuje się mapę dynamicznych ciągów obserwacji w następującej tabeli (Tab. 2). Są one istotne dla użytkownika oraz konstruktora sygnalizatora nieszczelności podsystemu HSUH2.

Tabela 2. Mapa ciągów obserwacji nieszczelności

II Model: I	x_{KP}	x_{PP}	x_{LP}	x_{KT}	x_{PT}	x_{LT}
x_{KP}	X	(x_{PP}, x_{KP}, x_{KT}) (x_{PP}, x_{KP}, x_{PT}) (x_{PP}, x_{KP}, x_{LT}) $(x_{PP}, x_{KP}, x_{LP}, x_{KT})$ $(x_{PP}, x_{KP}, x_{LP}, x_{PT})$ $(x_{PP}, x_{KP}, x_{LP}, x_{LT})$	(x_{LP}, x_{KP}, x_{KT}) (x_{LP}, x_{KP}, x_{PT}) (x_{LP}, x_{KP}, x_{LT}) $(x_{LP}, x_{KP}, x_{PP}, x_{KT})$ $(x_{LP}, x_{KP}, x_{PP}, x_{PT})$ $(x_{LP}, x_{KP}, x_{PP}, x_{LT})$	(x_{KT}, x_{KP})	(x_{PT}, x_{KP})	(x_{LT}, x_{KP})
x_{PP}	(x_{KP}, x_{PP}, x_{KT}) (x_{KP}, x_{PP}, x_{PT}) (x_{KP}, x_{PP}, x_{LT}) $(x_{KP}, x_{PP}, x_{LP}, x_{KT})$ $(x_{KP}, x_{PP}, x_{LP}, x_{PT})$ $(x_{KP}, x_{PP}, x_{LP}, x_{LT})$	X	(x_{LP}, x_{PP}, x_{KT}) (x_{LP}, x_{PP}, x_{PT}) (x_{LP}, x_{PP}, x_{LT}) $(x_{LP}, x_{PP}, x_{KP}, x_{KT})$ $(x_{LP}, x_{PP}, x_{KP}, x_{PT})$ $(x_{LP}, x_{PP}, x_{KP}, x_{LT})$	(x_{KT}, x_{PP})	(x_{PT}, x_{PP})	(x_{LT}, x_{PP})
x_{LP}	(x_{KP}, x_{LP}, x_{KT}) (x_{KP}, x_{LP}, x_{PT}) (x_{KP}, x_{LP}, x_{LT}) $(x_{KP}, x_{LP}, x_{PP}, x_{KT})$ $(x_{KP}, x_{LP}, x_{PP}, x_{PT})$ $(x_{KP}, x_{LP}, x_{PP}, x_{LT})$	(x_{PP}, x_{LP}, x_{KT}) (x_{PP}, x_{LP}, x_{PT}) (x_{PP}, x_{LP}, x_{LT}) $(x_{PP}, x_{LP}, x_{KP}, x_{KT})$ $(x_{PP}, x_{LP}, x_{KP}, x_{PT})$ $(x_{PP}, x_{LP}, x_{KP}, x_{LT})$	X	(x_{KT}, x_{LP})	(x_{PT}, x_{LP})	(x_{LT}, x_{LP})
x_{KT}	(x_{KP}, x_{KT})	(x_{PP}, x_{KT})	(x_{LP}, x_{KT})	X	(x_{PT}, x_{KT}, x_{KP}) (x_{PT}, x_{KT}, x_{PP}) (x_{PT}, x_{KT}, x_{LP}) $(x_{PT}, x_{KT}, x_{LT}, x_{KP})$ $(x_{PT}, x_{KT}, x_{LT}, x_{PP})$ $(x_{PT}, x_{KT}, x_{LT}, x_{LP})$	(x_{PP}, x_{KP}, x_{KT}) (x_{PP}, x_{KP}, x_{PT}) (x_{PP}, x_{KP}, x_{LT}) $(x_{PP}, x_{KP}, x_{LP}, x_{KT})$ $(x_{PP}, x_{KP}, x_{LP}, x_{PT})$ $(x_{PP}, x_{KP}, x_{LP}, x_{LT})$
x_{PT}	(x_{KP}, x_{PT})	(x_{PP}, x_{PT})	(x_{LP}, x_{PT})	(x_{KT}, x_{PT}, x_{KP}) (x_{KT}, x_{PT}, x_{PP}) (x_{KT}, x_{PT}, x_{LP})	X	(x_{LT}, x_{PT}, x_{KP}) (x_{LT}, x_{PT}, x_{PP}) (x_{LT}, x_{PT}, x_{LP})

				$(x_{KT}, x_{PT}, x_{LT}, x_{KP})$		$(x_{LT}, x_{PT}, x_{KT}, x_{KP})$
				$(x_{KT}, x_{PT}, x_{LT}, x_{PP})$		$(x_{LT}, x_{PT}, x_{KT}, x_{PP})$
				$(x_{KT}, x_{PT}, x_{LT}, x_{LP})$		$(x_{LT}, x_{PT}, x_{KT}, x_{LP})$
x_{LT}	(x_{KP}, x_{LT})	(x_{PP}, x_{LT})	(x_{LP}, x_{LT})	(x_{KT}, x_{LT}, x_{KP})	(x_{PT}, x_{LT}, x_{KP})	X
				(x_{KT}, x_{LT}, x_{PP})	(x_{PT}, x_{LT}, x_{PP})	
				(x_{KT}, x_{LT}, x_{LP})	(x_{PT}, x_{LT}, x_{LP})	
				$(x_{KT}, x_{LT}, x_{PT}, x_{KP})$	$(x_{PT}, x_{LT}, x_{KT}, x_{KP})$	
				$(x_{KT}, x_{LT}, x_{PT}, x_{PP})$	$(x_{PT}, x_{LT}, x_{KT}, x_{PP})$	
				$(x_{KT}, x_{LT}, x_{PT}, x_{LP})$	$(x_{PT}, x_{LT}, x_{KT}, x_{LP})$	

W zbiorze ZB2 zmiennych boole'owskich można wyróżnić następujące podzbiory zmiennych boole'owskich:

- $ZB2_{OP} = \{x_{KP}, x_{PP}, x_{LP}\}$ - zbiór zmiennych osi przedniej HSUH2,
- $ZB2_{OT} = \{x_{KT}, x_{PT}, x_{LT}\}$ - zbiór zmiennych osi tylnej HSUH2

oraz określić formalnie zbiór CON2 wszystkich dynamicznych ciągów obserwacji nieszczelności podsystemu HSUH2 (por. Tab. 2):

- $(n_1, n_2) \in CON2 \Leftrightarrow n_1 \in ZN2_{OP} \wedge n_2 \in ZB2_{OT} \vee n_1 \in ZB2_{OT} \wedge n_2 \in ZB2_{OP},$
- $(n_1, n_2, n_3) \in CON2 \Leftrightarrow n_1, n_2 \in ZN2_{OP} \wedge n_3 \in ZB2_{OT} \vee n_1, n_2 \in ZB2_{OT} \wedge n_3 \in ZB2_{OP},$
- $(n_1, n_2, n_3, n_4) \in CON2 \Leftrightarrow n_1, n_2, n_3 \in ZN2_{OP} \wedge n_4 \in ZB2_{OT} \vee n_1, n_2, n_3 \in ZB2_{OT} \wedge n_4 \in ZB2_{OP},$

Uogólniając powyższe dla $k \in 1..3 \wedge i \in 1..k + 1 \wedge n_i \in ZB2$

$$(n_i)_{i=1}^{k+1} \in CON2 \Leftrightarrow n_i \in ZB2_{OP} \wedge i \in 1..k \wedge n_{k+1} \in ZB2_{OT} \vee n_i \in ZB2_{OT} \wedge i \in 1..k \wedge n_{k+1} \in ZB2_{OP}$$

4. Podsumowanie

Zaprezentowane wyżej modele dynamiki obserwacji procesów nieszczelności stwarzają teoretyczne możliwości zastosowania ich w automatyzacji i robotyzacji stanu technicznego układu hamulcowego samochodu ciężarowego, poprzez jego pokładowe systemy diagnostyczne (panel informacyjny).

Z zaprezentowanych wyżej modeli wynikają podstawy konstrukcyjne panelu sygnalizacyjnego nieszczelności podsystemu HSUH2. Mianowicie, proponuje się zamontować czujniki, na każdym obiekcie materialnym ze zbioru OM2 oraz ich odpowiednie wyjścia informacyjne do dwóch lampek α_p, α_T na pulpicy, odpowiednio do lampki $\alpha_p - zKP_{PH}, PP_{HP}, LP_{HP}$ oraz do lampki $\alpha_T - zKT_{PH}, PP_{HT}, LP_{HT}$.

Zaobserwowanie sygnalizacji na obu lampkach α_p i α_T jest podstawą do stwierdzenia nieszczelności podsystemu HSUH2.

Literatura

- [1] Idzikowski A. Metoda strukturalizacji procesu diagnozowania nieszczelności hydraulicznego samochodowego układu hamulcowego. Promotor: dr hab. inż. Szymon Salamon, prof. nzw. Politechniki Częstochowskiej. Raport seria PRE nr 4/2012 Politechnika Wroclawska, Wrocław 2012.
- [2] Idzikowski A., Salamon S. The Application of Boolean Algebra in Modelling of Leakage Condition of a Car Hydraulic Braking Sys-

tem. Journal of Applied Mechanics and Engineering, 2013, vol. 18, No. 2. pp. 353-363.

- [3] Salamon S. Diagnostyka szczelności płynowych konstrukcyjnie zamkniętych przestrzeni roboczych. Monografie 333, seria Mechanika. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
- [4] Gubareni M. N. Logistyka dla studentów. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
- [5] Partyka M. A. Algorytm Quine'a Mc Cluskeya minimalizacji indywidualnych cząstkowych wielowartościowych funkcji logicznych. Studia i Monografie Nr 109, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 1999.
- [6] McCluskey, E.J., Jr. (November 1956). Minimization of Boolean Functions. Bell System Technical Journal 35. Retrieved 24 August 2014.