

# MODEL MATEMATYCZNY PROCESU DIAGNOZOWANIA NIESZCZELNOŚCI HYDRAULICZNEGO SAMOCHODOWEGO UKŁADU HAMULCOWEGO

ADAM IDZIKOWSKI<sup>1</sup>, SZYMON SALAMON<sup>2</sup>

Politechnika Częstochowska

## Streszczenie

W miarę upływu czasu każde urządzenie (obiekt techniczny) znajduje się w określonym stanie technicznym. Badania diagnostyczne mają na celu określenie stanu technicznego obiektu lub procesu w chwili uznanej za ważną. Określenie to jest potrzebne, aby przez porównanie stanu rzeczywistego – chwilowego ze stanem wzorcowym, wydać orzeczenie o zdatności lub niezdatności obiektu technicznego.

W publikacji przedstawiono charakterystykę techniczno-konstrukcyjną hydraulicznego układu hamulcowego (HSUH). Skonstruowano model matematyczny procesu diagnozowania nieszczelności tegoż układu, oparty na prawach logiki i teorii mnogości, obejmujący: komorę pompy hamulców osi przedniej ( $KP_{HP}$ ), prawy pozapompowy podobiegnie hydrauliczny hamulców przednich ( $PP_{HP}$ ), lewy pozapompowy podobiegnie hydrauliczny hamulców przednich ( $LP_{HP}$ ), komora pompy hamulców osi tylnej ( $KP_{HT}$ ), prawy pozapompowy podobiegnie hydrauliczny hamulców tylnych ( $PP_{HT}$ ), lewy pozapompowy podobiegnie hydrauliczny hamulców tylnych ( $LP_{HT}$ ).

Przedstawione w artykule wyniki otwierają nowe możliwości w projektowaniu diagnozera napędów maszyn poprzez modelowanie symptomu nieszczelności układu sterowania hamulca.

**Słowa kluczowe:** układ hamulcowy, obiegnie hydrauliczny, dwusekwencyjna pompa hamulcowa, nieszczelność, modelowanie

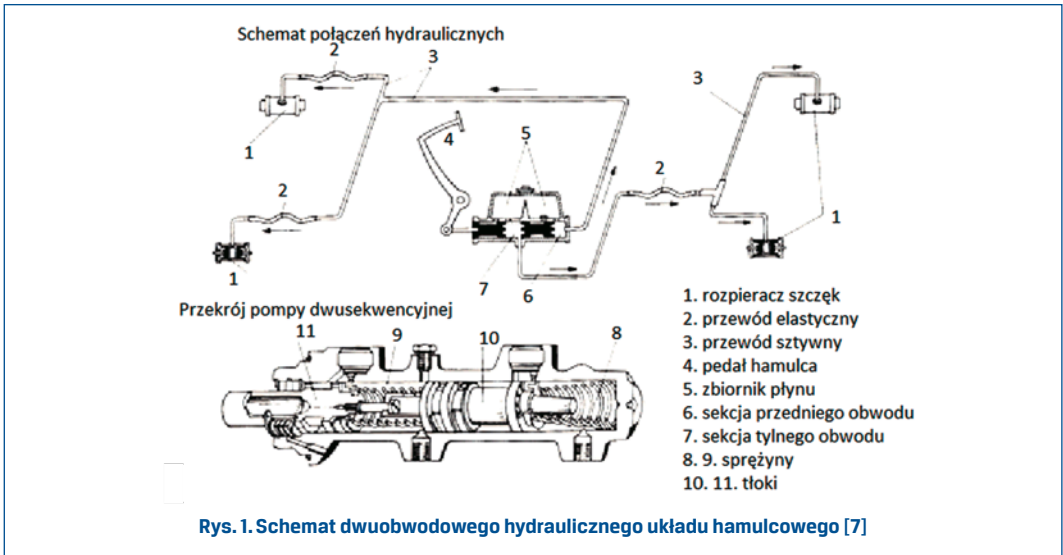
## 1. Wstęp

Hydrauliczny układ hamulcowy wykorzystuje prawo Pascala mówiące, że ciśnienie wywierane z zewnątrz na powierzchnię cieczy rozchodzi się w niej jednakowo we wszystkich kierunkach.

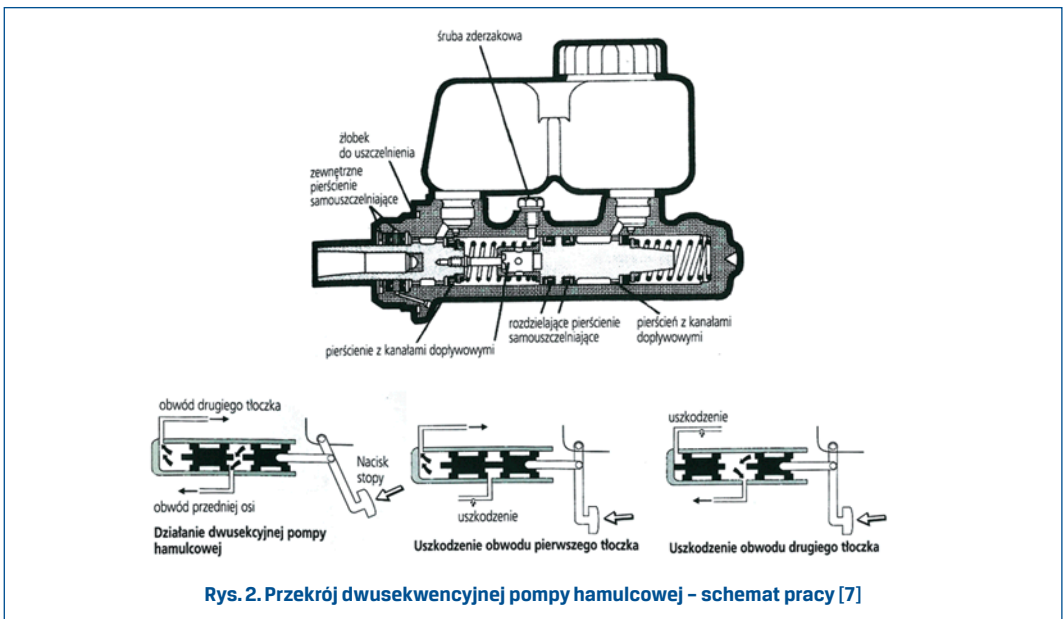
Dwuobwodowy hydrauliczny układ hamulcowy (Kozłowski M. - rys. 1) jest obecnie najczęściej spotykany w wyposażeniu samochodów osobowych. Różni się od układu jednoobwodowego dwusekwencyjną pompą hamulcowa.

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, ul. Armii Krajowej 19 B, e-mail: adam.idzikowski@poczta.fm, tel. 34 325 08 61

<sup>2</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, ul. Armii Krajowej 19, e-mail: salamon@zim.pcz.czyst.pl, tel. 34 325 03 60



Podwójne działanie głównej pompy (Kozłowski M. – rys. 2) uzyskuje się, stosując dodatkowy tłoczek, tzw. swobodny, który rozdziela wewnątrz cylinderka na dwie komory robocze. Nad cylinderkiem pompy hamulcowej znajduje się dzielony zbiornik wyrównawczy z płynem, który przez oddzielne kanałiki zasilające może dopływać do cylinderka po obu stronach tłoczka swobodnego. Tego rodzaju konstrukcja umożliwia stworzenie dwóch obwodów uruchamiających mechanizmy hamulcowe. W przypadku uszkodzenia jednego z nich istnieje możliwość zahamowania pojazdu przy użyciu drugiego obwodu.



## 2. Parametry diagnostyczne i kryteria oceny stanu technicznego

Parametry diagnostyczne określające stan techniczny układu hamulcowego można podzielić na następujące grupy [1, 2, 3, 4, 5, 11, 16, 17, 18, 19, 20, 21]:

- 1) parametry charakteryzujące mechanizm uruchamiający hamulce,
- 2) parametry określające stan techniczny mechanizmów hamulcowych,
- 3) parametry charakteryzujące skuteczność działania układu hamulcowego.

Dla układów hamulcowych z uruchamianiem hydraulicznym warunki zdatności technicznej można określić następująco [1, 7, 8, 9, 16, 19, 20]:

1. kompletność układu – układ powinien być skompletowany zgodnie z dokumentacją techniczną pojazdu,
2. prawidłowość zamocowania elementów układu – praktycznie dotyczy pewności zamocowania pompy hamulcowej, przewodów hamulcowych oraz tarczy mechanizmu hamulcowego,
3. właściwy stan zewnętrzny elementów układu – niestwierdzenie uszkodzeń mechanicznych (wgniecenia, otarcia przewodów, pęknięcia, wycieki płynu hamulcowego itp.),
4. odpowiedni poziom płynu hamulcowego w zbiorniku,
5. brak oznak zapowietrzenia obwodu hydraulicznego,
6. szczelność obwodu hydraulicznego,
7. prawidłowa wartość skoku jałowego pedału hamulca,
8. prawidłowa wartość skoku czynnego pedału hamulca,
9. właściwy luz w mechanizmach hamulcowych – oceniany pośrednio na podstawie wielkości skoku czynnego pedału hamulca lub bezpośrednio przez pomiar,
10. prawidłowe wartości parametrów oceny skuteczności działania układu hamulcowego:
  - a. maksymalnego (lub średniego) opóźnienia hamowania,
  - b. całkowitej siły hamowania oraz parametrów uzupełniających, określających zależność zmian siły hamowania na poszczególnych kołach od siły nacisku na pedał hamulca, a także rozdział siły hamowania na strony i osie pojazdu.

Ocenę zachowania wymienionych warunków (oprócz ostatniego) wykonuje się na etapie wstępnego diagnozowania układu hamulcowego. Pierwszą czynnością oględzin zewnętrznych układu hamulcowego jest sprawdzenie jego szczelności. Najprostszym sposobem wykrycia nieszczelności jest częste sprawdzanie poziomu płynu hamulcowego w zbiorniku. Poziom płynu powinien znajdować się między dwiema kreskami oznaczonymi MIN oraz MAX i nie może w czasie eksploatacji samochodu zbyt szybko opadać. W przypadku hamulców tarczowych dopuszcza się stopniowe obniżanie się poziomu płynu w zbiorniczku, ponieważ jest to zjawisko normalne, związane ze stopniowym zużywaniem się okładzin klocków hamulcowych. W układach hamulcowych sterowanych dwuobwodowo są albo dwa oddzielne zbiorniczki płynu hamulcowego, albo jeden zbiorniczek przedzielony na dwie komory. Sprawdzając poziom płynu hamulcowego w takich zbiorniczkach, należy dodatkowo zwrócić uwagę, czy poziomy płynu są jednakowe w obu obwodach hamulcowych. Producenci niektórych pojazdów montują w zbiorniczkach urządzenia stale kontrolujące poziom płynu hamulcowego, które sygnalizują na tablicy wskaźników nadmierny

jego ubytek. W przypadku stwierdzenia szybkiego ubywania płynu hamulcowego ze zbiorniczka należy ustalić miejsce wycieku. Rozpoznaje się je po ciemnych, wilgotnych plamach widocznych na powierzchni przewodów hamulcowych, ich gwintowanych połączeniach oraz na korpusie pompy hamulcowej. Nieszczelność cylinderka hamulcowego objawia się wyciekami płynu spod bębna hamulcowego na oponę po wewnętrznej stronie koła. Po dokonaniu oględzin należy kilkakrotnie nacisnąć nogą na pedał hamulca i przytrzymać. Jeżeli wyczuje się pod nogą powolne opadanie pedału hamulca, będzie to świadczyło o istnieniu nieszczelności w układzie lub niesprawności pompy hamulcowej. Inny objaw, jak sprężynowanie pedału hamulca i unoszenie się go do góry, będzie wskazywał na zapowietrzenie hydraulicznego układu hamulcowego [8, 21, 22].

### 3. Model matematyczny diagnozowania

Klasyczny rachunek zdań logicznych oraz klasyczna teoria mnogości mają jedno ze swoich uogólnień w tzw. algebrze Boole'a [6, 10, 12, 13, 14, 15].

Punktem wyjścia do badania podjętej problematyki była analiza i zapis związków przyczynowo – skutkowych między uszkodzeniami szczelności HSUH w dualnych terminach logiki matematycznej i teorii mnogości.

Model diagnostyczny badanego układu hamulcowego – HSUH (rys. 3) wyznacza następujący zbiór obiektów materialnych:

$$HSUH = \{KP_{HP}, PP_{HP}, LP_{HP}, KP_{HT}, PP_{HT}, LP_{HT}\}$$

gdzie:

$KP_{HP}$  – komora pompy hamulców przednich,

$PP_{HP}$  – prawy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców przednich,

$LP_{HP}$  – lewy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców przednich,

$KP_{HT}$  – komora pompy hamulców tylnych,

$PP_{HT}$  – prawy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców tylnych,

$LP_{HT}$  – lewy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców tylnych.

(Rys. 3, na następnej stronie)

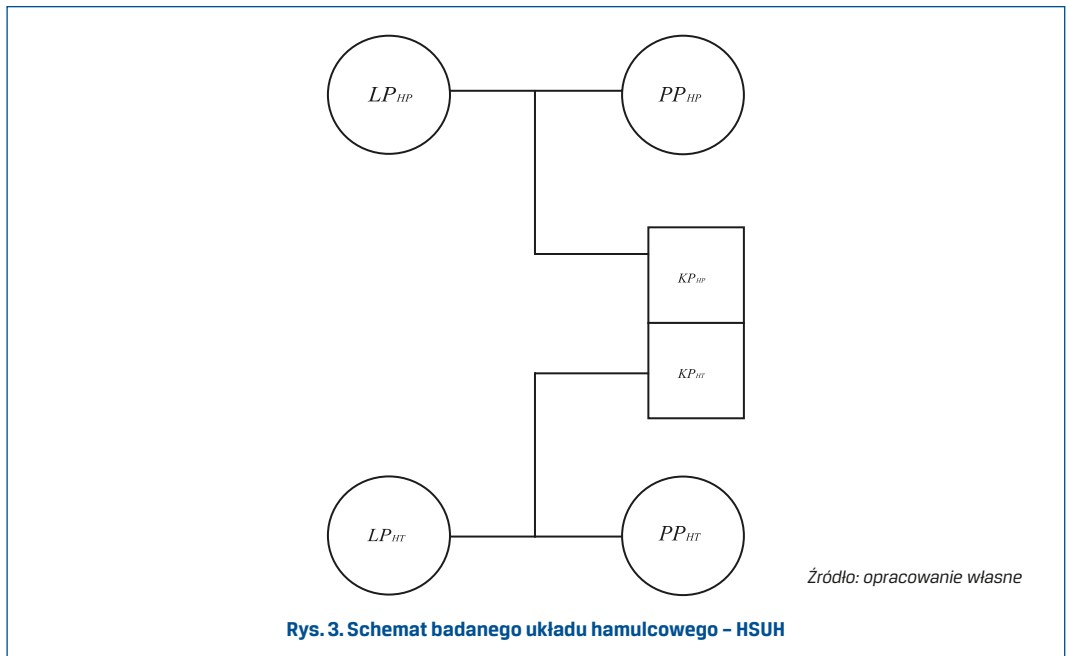
#### Model logiczny procesu diagnozowania

W modelu logicznym struktury procesu diagnozowania nieszczelności/szczelności podsystemu HSUH przyjmuje się następujący zbiór zdań logicznych opisujących stany nieszczelności wyróżnionych obiektów materialnych:

$$ZL = \{ZW, KPP, KPT, OPP, OPL, OTP, OTL\}$$

gdzie:

$ZW$  – zupełna utrata zdolności hamowania (niezdadność układu hamulcowego),



- KPP* - niewykonanie swego zadania przez komorę roboczą pompy hamulcowej dla osi przedniej,
- KPT* - niewykonanie swego zadania przez komorę roboczą pompy hamulcowej dla osi tylnej,
- OPP* - niewykonanie swego zadania przez prawy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców osi przedniej,
- OPL* - niewykonanie swego zadania przez lewy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców osi przedniej,
- OTP* - niewykonanie swego zadania przez prawy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców osi tylnej,
- OTL* - niewykonanie swego zadania przez lewy pozapompowy podobieg hydrauliczny hamulców osi tylnej,

Logiczny model zupełnej utraty zdolności hamowania rozważanego podsystemu HSUH opisuje następująca równoważność logiczna:

$$\begin{aligned}
 ZW &\Leftrightarrow (KPP \vee OPP \vee OPL) \vee (KPT \vee OTP \vee OTL) \\
 \Downarrow \vdash & v \wedge (a \wedge r) \Leftrightarrow v \wedge a \vee v \wedge r
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 ZW \Leftrightarrow & KPP \wedge KPT \vee KPP \wedge OTP \vee KPP \wedge OTL \vee KPT \wedge OPP \vee \\
 & \vee OPP \wedge OTP \vee OPP \wedge OTL \vee KPT \wedge OPL \vee OPL \wedge OTP \vee OPL \wedge OTL \quad (2)
 \end{aligned}$$

Równoważność (2) w interpretacji technicznej informuje, że niewykonanie swego zadania przez obieg hydrauliczny układu hamulcowego ma miejsce wtedy i tylko wtedy, gdy swych zadań nie wykonają co najmniej niektóre z podzbiorów 2-elementowych zbioru:

$$\{KP_{HP}, KP_{HT}, PP_{HP}, LP_{HP}, PP_{HT}, LP_{HT}\}$$

następującej postaci:

$$\begin{aligned}
 & \{KP_{HP}, KP_{HT}\}, \{KP_{HP}, PP_{HT}\}, \{KP_{HP}, LP_{HT}\}, \{KP_{HT}, PP_{HP}\}, \{PP_{HP}, PP_{HT}\}, \{PP_{HP}, LP_{HT}\}, \{KP_{HT}, LP_{HP}\}, \\
 & \{LP_{HP}, PP_{HT}\}, \{LP_{HP}, LP_{HT}\}
 \end{aligned}$$

Z punktu widzenia użytkownika podsystemu HSUH interesująca jest diagnoza szczelności obwodu hydraulicznego hamulca roboczego w pojazdach samochodowych. Dlatego też negacja równoważności (1), na podstawie praw de Morgana ma postać:

$$\sim ZW \Leftrightarrow \sim KPP \wedge \sim OPP \wedge \sim OPL \wedge \sim KPT \wedge \sim OTP \wedge \sim OTL \quad (3)$$

Z technicznego punktu widzenia wynika, że szczelność obiegu hydraulicznego hamulca roboczego w pojazdach samochodowych jest odnotowywana, gdy szczelne są wszystkie obiekty ze zbioru:

$$\{KP_{HP}, PP_{HP}, LP_{HP}\},$$

przy dowolnych stanach nieszczelności/szczelności obiektów ze zbioru:

$$\{KP_{HT}, PP_{HT}, LP_{HT}\}$$

oraz gdy szczelne są wszystkie obiekty ze zbioru:

$$\{KP_{HT}, PP_{HT}, LP_{HT}\}$$

przy dowolnych stanach nieszczelności/szczelności obiektów ze zbioru:

$$\{KP_{HP}, PP_{HP}, LP_{HP}\}$$

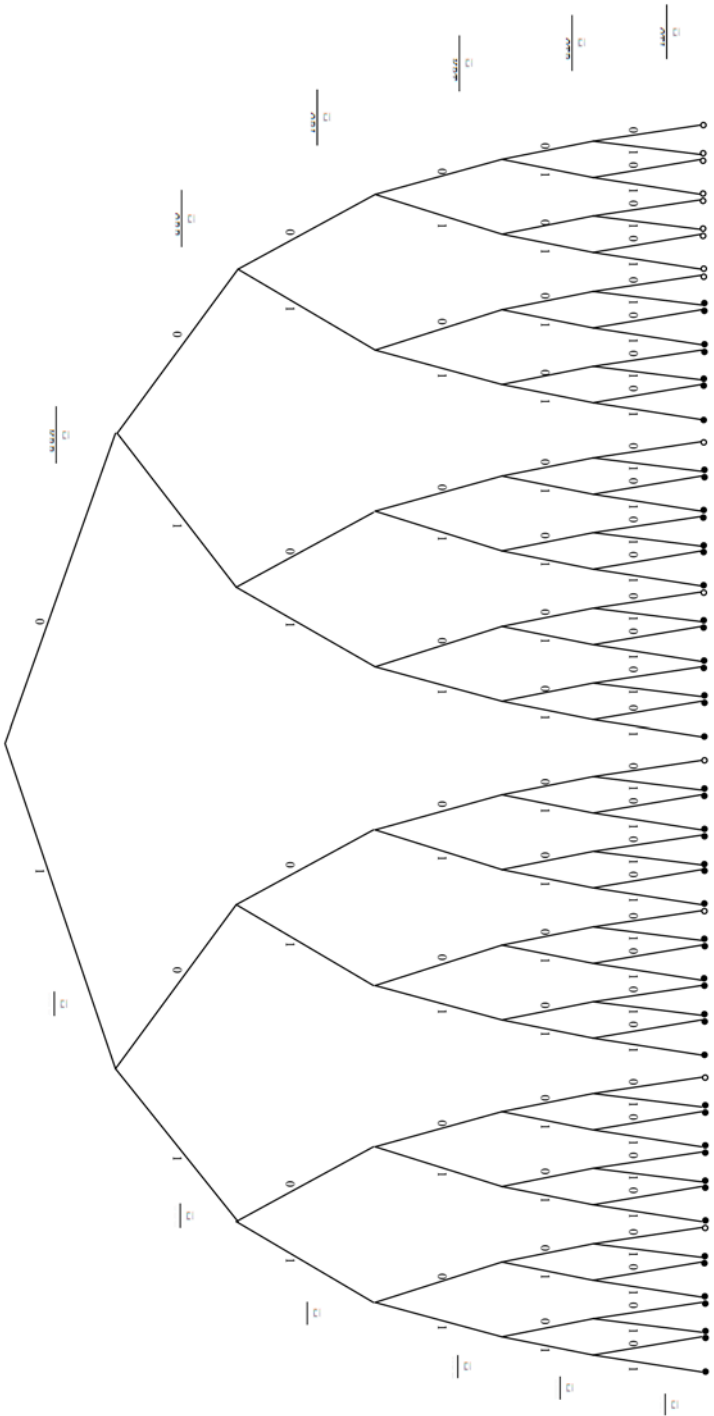
Bardziej szczegółową klasyfikację przypadków szczelności badanego obiektu technicznego daje logiczna kanoniczna alternatywna postać normalna równoważności (3). W celu uproszczenia notacji proponuje się skrócone notacje negacji zdania logicznego  $p \Leftrightarrow \bar{p}$ :

$$\begin{aligned}
 \overline{Z\overline{W}} &\Leftrightarrow \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge (KPT \vee \overline{KPT}) \wedge (OTP \vee \overline{OTP}) \wedge (OTL \vee \overline{OTL}) \vee \\
 &\vee (KPP \vee \overline{KPP}) \wedge (OPP \vee \overline{OPP}) \wedge (OPL \vee \overline{OPL}) \wedge \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge (KPT \wedge OTP \wedge OTL \vee KPT \wedge OTP \wedge \overline{OTL} \vee KPT \wedge \overline{OTP} \wedge OTL \vee \\
 &\vee KPT \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL} \vee \overline{KPT} \wedge OTP \wedge OTL \vee \overline{KPT} \wedge OTP \wedge \overline{OTL} \vee \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge OTL \vee \\
 &\vee \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL}) \vee (KPP \wedge OPP \wedge OPL \vee KPP \wedge OPP \wedge \overline{OPL} \vee \\
 &\vee KPP \wedge \overline{OPP} \wedge OPL \vee KPP \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \vee \overline{KPP} \wedge OPP \wedge OPL \vee \\
 &\vee \overline{KPP} \wedge OPP \wedge \overline{OPL} \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge OPL \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL}) \wedge \\
 &\wedge \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge KPT \wedge OTP \wedge OTL \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge KPT \wedge OTP \wedge \overline{OTL} \vee \\
 &\vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge KPT \wedge \overline{OTP} \wedge OTL \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge KPT \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL} \vee \\
 &\vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge OTP \wedge OTL \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge OTP \wedge \overline{OTL} \vee \\
 &\vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge OTL \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL} \vee \\
 &\vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL} \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL} \vee \\
 &\vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL} \vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL} \vee \\
 &\vee \overline{KPP} \wedge \overline{OPP} \wedge \overline{OPL} \wedge \overline{KPT} \wedge \overline{OTP} \wedge \overline{OTL}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Równoważność (4) jest zakodowana w postaci alternatywy tylko 15 kanonicznych koniunkcji elementarnych. Z twierdzenia o rozkładzie logicznej jedynek w przestrzeni kanonicznych iloczynów elementarnych o 6 zmiennych wynika bowiem, że kanoniczna alternatywna postać normalna równoważności (1) jest alternatywą 49 kanonicznych iloczynów elementarnych (por. drzewo logiczne na rys. 4).

15 przypadków klasyfikacji procesu diagnozowania szczelności obiegu hydraulicznego hamulca roboczego podsystemu HSUH ilustrują na rys. 4 ścieżki drzewa logicznego oznaczone symbolem „o”.

Potwierdzają one techniczną interpretację sformułowaną powyżej.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Drzewo logiczno - mnogościowe nieszczelności/szczelności podsystemu HSUH



### Model mnogościowy procesu diagnozowania

W modelu mnogościowym badanego podsystemu  $HSUH$  rozważa się następujące zbiory uszkodzeń  $H =$  zbiór wszystkich uszkodzeń obiegu hydraulicznego hamulca roboczego podsystemu  $HSUH = (KP_{HP}, PP_{HP}, LP_{HP}, KP_{HT}, PP_{HT}, LP_{HT})$ ,

$NH$  – zbiór wszystkich nieszczelności  $HSUH$ ,

$NKP_{HP}$  – zbiór wszystkich nieszczelności  $KP_{HP}$ ,

$NPP_{HP}$  – zbiór wszystkich nieszczelności  $PP_{HP}$ ,

$NLP_{HP}$  – zbiór wszystkich nieszczelności  $LP_{HP}$ ,

$NKP_{HT}$  – zbiór wszystkich nieszczelności  $KP_{HT}$ ,

$NPP_{HT}$  – zbiór wszystkich nieszczelności  $PP_{HT}$ ,

$NLP_{HT}$  – zbiór wszystkich nieszczelności  $LP_{HT}$ .

W języku formalnym teorii zbiorów struktury modelu procesu diagnozowania nieszczelności/ szczelności obiegu hydraulicznego hamulca roboczego podsystemu  $HSUH$  opisują równania mnogościowe:

$$NH = (NKP_{HP} \cup NPP_{HP} \cup NLP_{HP}) \cap (NKP_{HT} \cup NPP_{HT} \cup NLP_{HT})$$

oraz

$$NH' = NKP'_{HP} \cap NPP'_{HP} \cap NLP'_{HP} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \quad (5)$$

Zgodnie z regułą dualności między strukturami logiki matematycznej i teorii mnogości (negacja, koniunkcja i alternatywa zdań są odpowiednio dualne do pojęć dopełnienie, iloczyn i suma zbiorów) można pomijając szczegółowe analityczne rozważania i sformułować w przypadku dopełnienia zbioru wszystkich przypadków nieszczelności mniej liczną ilość kanonicznych iloczynów elementarnych zbiorów (por. równanie (5)).

$$\begin{aligned} NH' = & NKP'_{HP} \cap NPP'_{HP} \cap NLP'_{HP} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HP} \cap NPP'_{HP} \cap NLP'_{HP} \cap NKP'_{HT} \cap \\ & \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HP} \cap NPP'_{HP} \cap NLP'_{HP} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HP} \cap NPP'_{HP} \cap \\ & \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HP} \cap NPP'_{HP} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup \\ & \cup NKP'_{HP} \cap NPP'_{HP} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HP} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap \\ & \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap \\ & \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup \\ & \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap \\ & \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap \\ & \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cup NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \cap NKP'_{HT} \cap NPP'_{HT} \cap NLP'_{HT} \quad (6) \end{aligned}$$

Powyższe równanie algebry zbiorów (6) ilustruje interpretację techniczną analogiczną do sformułowanej na podstawie równoważności logicznej (4).

## 4. Podsumowanie

Projektowanie diagnozera mechanizmów hamulcowych w pojazdach samochodowych jest kwestią o dużym znaczeniu. W szczególności gdy dotyczy to problematyki diagnostycznej wykorzystywanej w automatyzowaniu procesów hamowania, wykorzystujących szeroko narzędzia elektroniczne i informatyczne.

Diagnozowanie to działanie na symptomach stanu obiektu technicznego, a w przypadku awarii na jego syndromach. Jednym z symptomów - syndromów niezdatności hydraulicznego samochodowego układu hamulcowego jest jego nieszczelność.

Istotnym etapem w procesie projektowania systemów diagnostycznych dla maszyn w tym mechanizmów hamulcowych jest modelowanie elementów hamulca, procesu hamowania, działania hamulca, jego degradacji i uszkodzeń.

Przeprowadzona analiza struktury procesu diagnozowania nieszczelności hydraulicznego samochodowego układu hamulcowego pozwoliła na wyznaczenie zmiennych decyzyjnych i relacji między nimi w formalnych językach logiki matematycznej i teorii mnogości. Na tej podstawie opracowano model matematyczny procesu diagnozowania nieszczelności obiegu hydraulicznego pomiędzy dwusekwencyjną pompą hamulcową (dzieloną na dwie komory boczne) a lewym i prawym obiegiem hydraulicznym hamulców osi przedniej oraz osi tylnej.

Uzyskane wyniki strukturalizacji mogą znaleźć zastosowanie w automatyzacji i robotyzacji procesu diagnozowania nieszczelności/szczelności hydraulicznego samochodowego układu hamulcowego.

## Literatura

- [1] *Diagnostyka samochodów osobowych i ciężarowych, praca zbiorowa* (red. Niziński S.), Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 1999.
- [2] HEBDA M., NIZIŃSKI S., PELC H.: *Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych*, WKL, Warszawa 1984.
- [3] IDZIKOWSKI A.: *Braking System Design Solutions in Mechanical Vehicles - Visual Inspection of Technical Condition*, W:Kvalita a Spoľahlivosť Technických Systemov. Quality and Reliability of Technical Systems. Zborník vedeckých prác, Nitra 2011.
- [4] IDZIKOWSKI A., SALAMON S.: *Visual Inspection of Braking System Elements' Technical Condition in Motor Vehicles*. Chapter 9, W:Research Methods Improvement. Monography. Ed. and Scientific Elaboration Stanisław Borkowski, Józef Jasiński, Dnipropetrovsk 2010.
- [5] IDZIKOWSKI A.: *Stan techniczny i wyposażenie pojazdów samochodowych a bezpieczeństwo ruchu drogowego*, Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą nr 46, Bydgoszcz 2011.
- [6] MAREK W., ORZYSZKIEWICZ J.: *Elementy logiki i teorii mnogości w zadaniach*, PWN, Warszawa, 2003.

- 
- [7] *Mechanik pojazdów samochodowych – budowa i eksploatacja pojazdów*, pod redakcją Kozłowskiego M.: część I, Wyd. Vogel, Wrocław 1997.
- [8] *Mechanik pojazdów samochodowych – budowa i eksploatacja pojazdów*, pod redakcją Kozłowskiego M.: część II, Wyd. Vogel, Wrocław 1998.
- [9] MIATLUK M., KAMIŃSKI Z.: *Układy hamulcowe pojazdów*. Obliczenia, Wydawnictwa PB, Białystok 2005.
- [10] MOSTOWSKI A. W.: *Algebry Boole'a i ich zastosowanie*, PWN, Warszawa, 1964.
- [11] NEWCOMB T. P. WATSON C.: *Use of the Finite Element Technique to Model the Behaviour of Commercial Vehicle Drum Brakes*. Materiały Konferencji Hamulcowej 91. Łódź 1991.
- [12] PARTYKA M. A.: *Algorytm Quine'a McCluskeya minimalizacji indywidualnych cząstkowych wielowartościowych funkcji logicznych*, Studia i monografie z. 109, Oficyna Wydawnicza, Opole 1999.
- [13] PARTYKA M. A., KOZIARSKA A., BESLER A.: *Wybrane zagadnienia minimalizacji funkcji boole'owskich w strukturalizacji procesów decyzyjnych*, Oficyna Wydawnicza, Opole 2001.
- [14] PARTYKA M. A., *Logika systemów projektowania na przykładzie CAD układów maszynowych*, Studia i monografie z. 105, Oficyna Wydawnicza, Opole 1999.
- [15] PARTYKA M. A., *Metodologia projektowania – wybrane zagadnienia projektowania technicznego*, skrypt nr 239, Oficyna Wydawnicza, Opole 2001.
- [16] REŃSKI A., *Budowa samochodu. Układy hamulcowe i kierownicze*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [17] SALAMON S., IDZIKOWSKI A., *An influence of usage of reliability selected elements of break system*, 14 Międzynarodna Vedecka Konferencja, Nitra 2009.
- [18] SCHWALL L.M., BAKER B., GERDES J.C., FORHERT T., *A probabilistic Vehicle Diagnostic System Using Multiple Models*, American Association for Artificial Intelligence, 2003.
- [19] SITEK K., *Diagnostyka samochodowa*, AUTO, Warszawa 1999.
- [20] SITEK K., *Diagnostyka samochodowa. Układy odpowiedzialne za bezpieczeństwo jazdy*, Wydawnictwo Auto, Warszawa 1999.
- [21] TRZECIAK K., *Diagnostyka samochodów osobowych*, WKŁ, Warszawa 2008.
- [22] WRONKO B., *Płyn hamulcowy elementem układu hamulcowego*. Bezpieczeństwo ruchu drogowego, Warszawa, 1998.
- [23] WRZESIŃSKI T., *Hamowanie pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 1978.