

**CABAN Jacek, HOLEŠA Lukáš, JACHYMEK Marcin, OPIELAK Marek,
STOPA Piotr, ŠARKAN Branislav, VRÁBEL Ján**

BADANIA PŁYNU HAMULCOWEGO W SAMOCHODACH OSOBOWYCH

Streszczenie

Na bezpieczeństwo w ruchu drogowym składa się wiele czynników, jednym z nich są sprawność techniczna pojazdu i dyspozycja kierowcy. W artykule przedstawiono badania jakości płynu hamulcowego zrealizowane na wybranej grupie samochodów osobowych. W przeprowadzonych badaniach określano temperaturę wrzenia płynu hamulcowego oraz procentową zawartość wody w płynie. Wykazano, że regularna wymiana płynu hamulcowego jest konieczna, a jej optymalna częstotliwość zależy nie tylko od konstrukcji układu, ale przede wszystkim od jakości płynu.

WSTĘP

Rozwój transportu drogowego wymusza nieustanny postęp w systemach związanych z bezpieczeństwem pojazdów, środków eksploatacyjnych i infrastruktury drogowej. Bezpieczeństwo samochodu, jest jednym z podsystemów bezpieczeństwa transportu samochodowego jako całości. Obecnie wszystkie nowe pojazdy dopuszczone do ruchu na terenie Unii Europejskiej są wyposażone w podstawowe systemy bezpieczeństwa, układy bezpieczeństwa biernego oraz stale rozwijane systemy bezpieczeństwa czynnego.

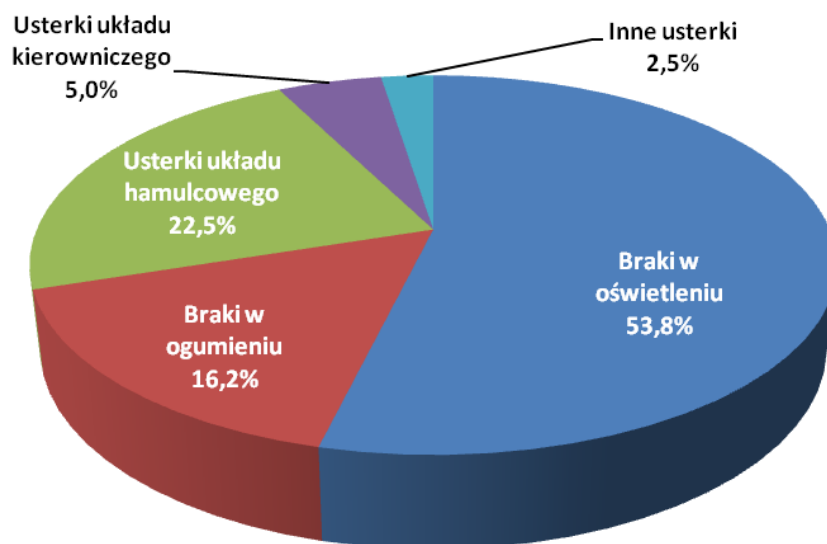
Bezpieczeństwo bierne (pasywne), odnosi się do elementów i zespołów, które mają wpływ na zmniejszenie szkodliwych skutków wypadków dla wszystkich osób znajdujących się w pojeździe [11]. Bezpieczeństwo bierne wewnętrzne odpowiada za zmniejszenie prawdopodobieństwa zranienia lub śmierci kierowcy i pasażerów, bądź uszkodzenia przewożonego bagażu. Bezpieczeństwo bierne zewnętrzne zmniejsza prawdopodobieństwo powstania obrażeń innych uczestników ruchu drogowego (np. pieszych) [10]. Odpowiada za to konstrukcja nadwozia, strefy kontrolowanego zgniotu, mające na celu pochłonięcie energii uderzenia i zmniejszenie przyspieszeń, działających na osoby w pojeździe. Energia uwalniana w wyniku zderzenia jest pochłaniana przez lżejszy obiekt, co oznacza podwyższone ryzyko dla pieszych, rowerzystów i kierowców w mniejszych pojazdach [7]. Bezpieczeństwo konstrukcyjne oznacza, że pojazd powinien zachowywać sprawność zespołów zapewniających bezpieczeństwo: na pożądanym poziomie podczas całego okresu eksploatacji pojazdu, w dowolnych warunkach atmosferycznych i w każdej sytuacji drogowej [10]. Tu bardzo istotne są sprawność układu hamulcowego, kierowniczego i pozostałych odpowiedzialnych za bezpieczeństwo transportu.

Pod pojęciem bezpieczeństwa czynnego należy rozumieć wszystkie czynniki, mające na celu zmniejszenie do minimum prawdopodobieństwa wystąpienia kolizji lub wypadku drogowego. Zaliczamy do niego m. in. [3]:

- a) umiejętności, predyspozycje i stan psychofizyczny kierowcy,
- b) widoczności z pojazdu (m.in. oświetlenie, szyby, lusterka, wycieraczki),

- c) widoczności pojazdu przez innych uczestników ruchu,
- d) układy wspomagające kierowcę podczas hamowania (m.in. ABS, EBS),
- e) układy wspomagające kierowcę podczas ruszania i jazdy (m.in. ASR, ESP, adaptacyjny tempomat),
- f) ergonomia i komfort miejsca pracy kierowcy,
- g) stan techniczny pojazdu.

Na rysunku 1 przedstawiono udział procentowy usterek pojazdu, które były przyczyną wypadków drogowych.



Rys. 1. Wypadki drogowe spowodowane niesprawnością pojazdu w roku 2011 w Polsce

Źródło: Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013-2020 ,KRBRD – materiał na posiedzenie plenarne KRBRD w dniu 08.01.2013

Z zestawienia przedstawionego na rysunku 1 wynika, że za 22,5% przyczyn zdarzeń drogowych są usterki występujące w układzie hamulcowym. Ponad połowa 53,8% zdarzeń drogowych związanych jest z brakami w oświetleniu pojazdu. Pozostałe przyczyny wypadków są spowodowane brakami w ogumieniu 16,2% oraz usterekami układu kierowniczego 5% i pozostałymi 2,5%.

W artykule przedstawiono badania kontroli jakości płynu hamulcowego na grupie 50 pojazdów. Badania przeprowadzono za pomocą elektronicznego testera zawartości wody oraz testera temperatury wrzenia płynu hamulcowego firmy ATE-BFT 320.

1. STARZENIE PŁYNU HAMULCOWEGO

Układ hamulcowy ma decydujący wpływ na poziom bezpieczeństwa czynnego samochodu [2]. Zadaniem tego układu jest zmniejszenie prędkości jazdy oraz skuteczne zatrzymanie pojazdu. Wymagania stawiane układom hamulcowym samochodów sformułowano w Regulaminie 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ (ECE) [9]. Wymagania te dotyczą skuteczności hamowania, stateczności ruchu pojazdu w czasie hamowania i niezawodności tego układu.

Elementy hydraulicznego układu hamulcowego podlegają zużyciu. Problem zużycia dotyczy nie tylko elementów konstrukcyjnych, ale także czynnika roboczego czyli płynu hamulcowego. Natomiast zużycie jest wynikiem współpracy poszczególnych elementów układu zależnych od stylu jazdy kierowcy i intensywności użytkowania pojazdu. Intensywność użytkowania samochodu jest mierzona liczbą kilometrów drogi przebytej przez

pojazd w powtarzalnym okresie czasu (dzień, miesiąc, rok) [5]. Intensywność użytkowania można teoretycznie zwiększać na dwa sposoby: zwiększając prędkość jazdy samochodu lub zmniejszając czasy przestojów [4]. W praktyce prędkość jazdy samochodu zależy przede wszystkim od stanu infrastruktury drogowej oraz przepisów ruchu drogowego i bieżącej sytuacji na drodze. Istotny wpływ na zużycie ma również pora roku. Wiadomo, że w okresie jesienno-zimowym warunki eksploatacji pojazdów są szczególnie trudne. Dlatego autorzy zdecydowali o przeprowadzeniu badań w tym okresie.

Złożoność współczesnego hydraulicznego układu hamulcowego, wynika przede wszystkim z jego powiązania z innymi układami wspomagającymi kierowcę. Układami tymi są układy ABS Anti Blocking System, ASR Anti Skid Regulation, ESP Electronic Stability Program, BA Brake Assistant, ale również układy typu adaptacyjnej regulacji prędkości jazdy ACC Adaptive Cruise Control, „Stop & Go” itp. [1]. Dla prawidłowego funkcjonowania układu hamulcowego najważniejsze są własności płynu hamulcowego, a zatem właściwy poziom płynu hamulcowego, jego częsta kontrola i uzupełnianie bądź wymiana gdy parametry jakościowe płynu ulegną pogorszeniu. Producenci samochodów zalecają wymianę płynu hamulcowego co dwa lata lub po przebiegu ok. 40.000 km. Czystości płynu, wpływa na właściwe funkcjonowanie układów ABS, ESP itp. Jakość płynu określa procentowa zawartość wody w nim dokonywana przez pomiar temperatury wrzenia płynu hamulcowego.

Funkcją płynu hamulcowego jest przenoszenie ciśnienia od pompy ABS-u (uruchamianej nogą kierowcy z udziałem wspomagania, i ewentualnie innych układów), do cylinderka hamulcowego przemieszczającego element cierny, w postaci klocka hamulcowego (w hamulcach tarczowych) lub szczękę hamulcową (w hamulcach bębnowych) aby w wyniku tarcia doprowadzić do spowolnienia lub zatrzymania pojazdu. Działanie takie związane ze zmianą energii układu hydraulicznego w energię mechaniczną i uwalnianie w jej wyniku ciepła wpływa negatywnie na funkcjonowanie całego układu a szczególnie elementów ciernych i samego płynu. Temperatura wytworzona podczas hamowania pojazdu sięga nawet 600°C. Ze względu na zachodzące w żeliwie przemiany nie zaleca się dłuższej pracy tarczy w temperaturze powyżej 650°C [8]. W wyniku wielokrotnego powtarzania tego procesu układ traci swoją sprawność. W płynie hamulcowym tworzą się pęcherze pary wodnej, w efekcie płyn przenosi coraz mniejsze wartości siły nacisku na tłoczek cylinderka hamulcowego. Zjawisko to nosi nazwę „zagotowania się hamulców” jest ono bardzo niebezpieczne, w konsekwencji może doprowadzić do nagłej utraty zdolności hamowania. Z taką sytuacją mamy do czynienia podczas np.: agresywnej jazdy górskiej, gdzie częste intensywne hamowanie (a zatem wzrost temperatury układu, bez możliwości ochłodzenia) może spowodować, że kolejne naciśnięcie pedału hamulca nie przyniesie efektu i nie dojdzie do oczekiwanego zwolnienia bądź zatrzymania pojazdu. Kończy się to najczęściej wypadnięciem z trasy, stratami materialnymi, a niekiedy utratą zdrowia lub życia kierowcy czy innych osób, które znajdują się na niezamierzonym torze jazdy pojazdu.

Przyczyną przyspieszonego „zagotowania” przeciążonych hamulców mogą być zużyte okładziny w hamulcach tarczowych. Zbyt mała grubość okładziny nie zapewnia właściwej izolacji cieplnej od rozgrzanej tarczy hamulcowej i przenosi ciepło za pomocą cylinderka hamulcowego na płyn hamulcowy. Zużycie okładzin, ich zły stan jest również, poza innymi czynnikami wymienionymi przez autorów pracy [6] źródłem generowania uciążliwego hałasu. Ponadto płyn ma za zadanie ochronę antykorozyjną elementów układu hamulcowego. Dobrej jakości płyn pozwala utrzymać elementy układu w dobrym stanie technicznym i uniknąć awarii hamulców, takich jak „zapieczenie” i korozja cylinderków, uszkodzenie uszczelnień elementów ruchomych, a także pompy hamulcowej itp.

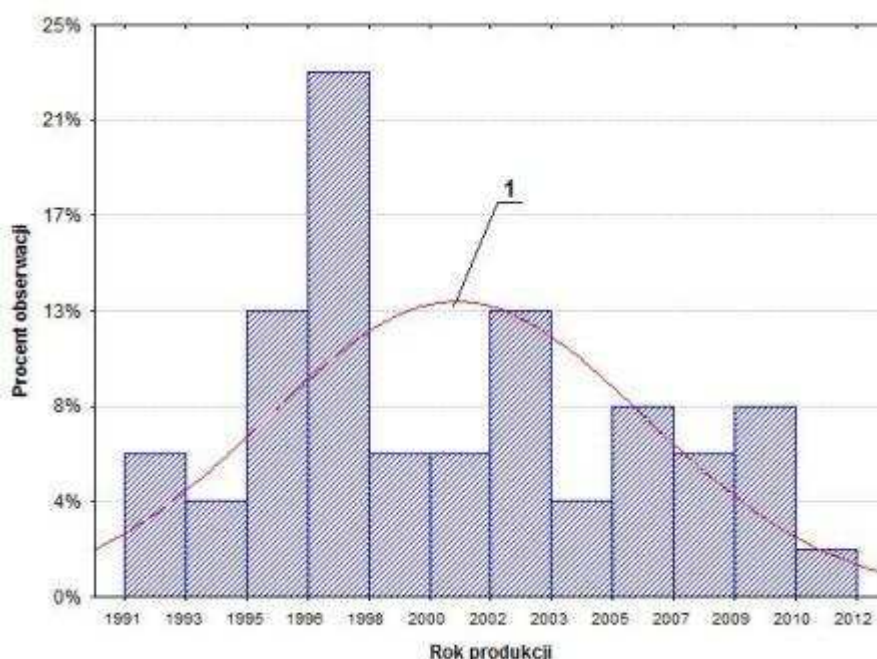
Ponieważ zawsze w sytuacji drogowej może zdarzyć się mocne zagrzanie hamulców, kontrola jakości płynu i ewentualna jego wymiana chroni przed utratą siły hamowania

w takiej właśnie sytuacji, nawet jeśli poruszamy się z małymi prędkościami i na krótkich odcinkach jak np. w ruchu miejskim.

2. OBIEKT I METODYKA BADAWCZA

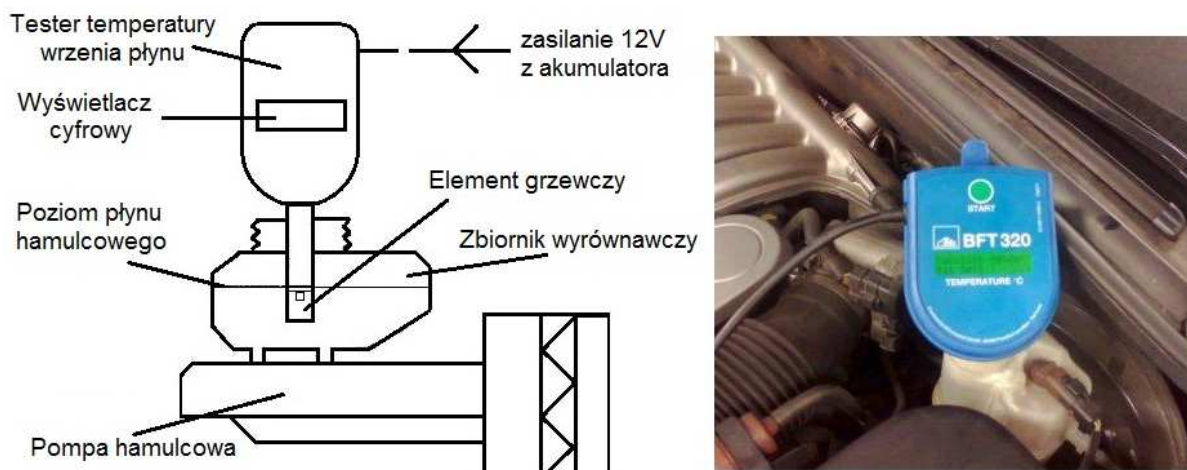
Badania kontroli jakości płynu hamulcowego zrealizowano na grupie 50 pojazdów, w różnym wieku i o różnych przebiegach. Najstarsze przebadane auto było wyprodukowane w roku 1991, najmłodsze zaś w roku 2012. Największy przebieg 375139 km posiadał samochód z 1997 roku produkcji. Najmłodszy wyprodukowany pojazd pochodził z 2012 roku a jego przebieg wyniósł 5169 km.

Histogram roku produkcji pojazdów przedstawiono na rysunku 2. Funkcja gęstości rozkładu log-normalnego dopasowana do danych empirycznych o parametrach skali: 7,601 i kształtu 0,0027, (poziom istotności wynosi $p \leq 0,05$). Połowa badanych pojazdów była wyprodukowana przed rokiem 2000, najczęściej pochodziło z roku 1997 i 1998.



Rys. 2. Histogram struktury wiekowej pojazdów wg roku produkcji w badanej populacji; 1 – funkcja gęstości rozkładu log-normalnego dopasowana do danych empirycznych o parametrach skali: 7,601 i kształtu: 0,0027

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3. Schemat testera do pomiaru temperatury wrzenia firmy ATE-BFT 320

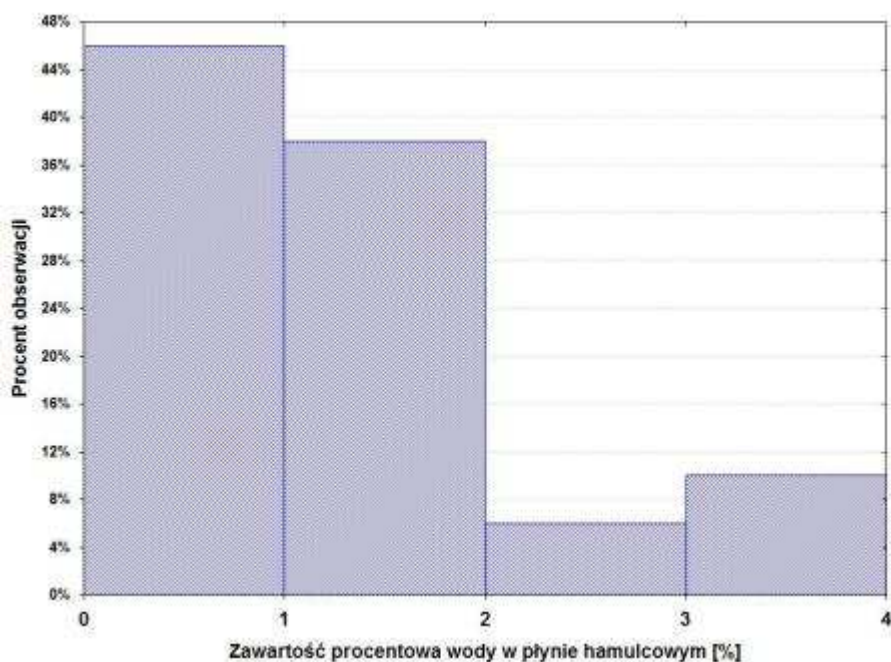
Źródło: Opracowanie własne

Za pomocą elektronicznego testera zawartości wody określono wartość procentową wody w płynie hamulcowym. Następnie przeprowadzono pomiary temperatury wrzenia płynu hamulcowego testerem temperatury wrzenia firmy ATE-BFT 320. Schemat urządzenia oraz jego zamocowanie w badanym pojeździe przedstawiono na rysunku 3.

Pomiaru dokonuje się wkładając sondę do zbiorniczka wyrównawczego. Urządzenie zasilane jest napięciem 12V z akumulatora samochodu. Płyn samoczynnie wpływa do przestrzeni grzewczej. Po około 60s od włączenia grzałki następuje wrzenie płynu. Temperaturę wrzenia odczytuje się na wskaźniku cyfrowym przyrządu. Jeżeli temperatura wrzenia płynu jest wyraźnie niższa niż 180°C, płyn należy wymienić. Tester na podstawie wyniku temperatury wyświetla stosowny komunikat świadczący o jakości zbadanego płynu hamulcowego.

3. WYNIKI BADAŃ KONTRLNYCH I ICH ANALIZA

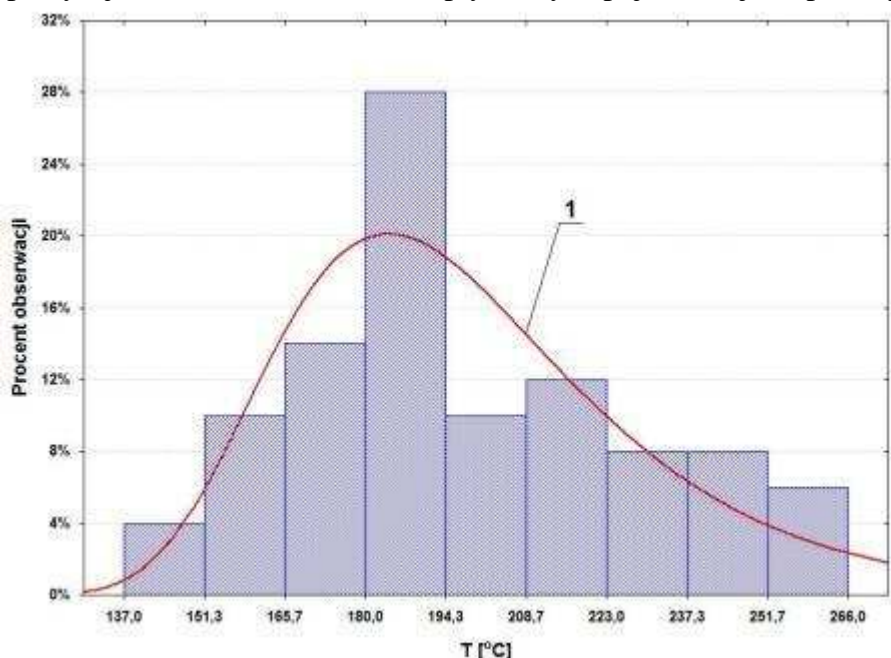
Histogram procentowej zawartości wody w płynie hamulcowym badanej populacji pojazdów przedstawiono na rysunku 4. Zawartość wody powyżej 3% wykazano w 16% pojazdów, w tym w 10% populacji zawartość wody była równa 4%. W 38% pojazdów zawartość procentowa wody wyniosła 2%. Największa grupa pojazdów – 46% populacji wykazała wynik na poziomie 1% zawartości wody w płynie hamulcowym. Pojazdy, w których zawartość wody była równa 3% powinny w najbliższym czasie zostać poddane wymianie płynu na nowy. Natomiast w przypadku wyniku powyżej 3% zalecana jest natychmiastowa wymiana płynu na nowy, czyli w 16% populacji pojazdów.



Rys. 4. Histogram zawartości procentowej wody w płynie hamulcowym badanych pojazdów

Źródło: Opracowanie własne

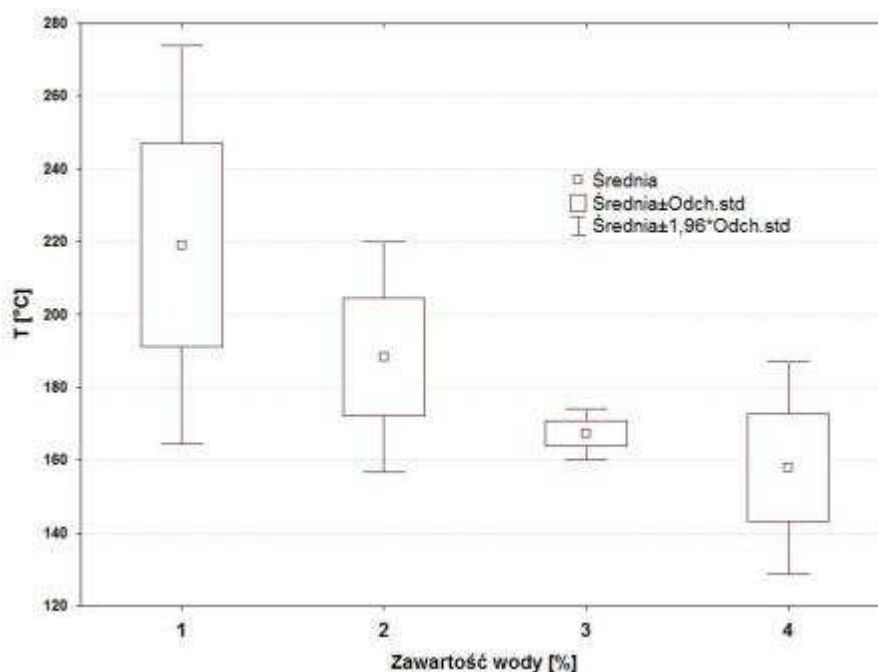
W pojazdach badano następnie wartość temperatury wrzenia płynu hamulcowego. Histogram wartości temperatury wrzenia płynu hamulcowego przedstawiono na rysunku 5, (poziom istotności $p \leq 0,0001$). W badanej populacji, w 28% pojazdów wykazano, że temperatura wrzenia płynu hamulcowego była niższa niż 180°C . W 72% pojazdów, wynik pomiaru był powyżej 180°C co oznacza, że w płyn w tych pojazdach jest sprawny.



Rys. 5. Histogram temperatury wrzenia płynu hamulcowego w badanej populacji pojazdów;
 1 – funkcja gęstości rozkładu wartości ekstremalnych dopasowana do danych empirycznych o parametrach położenia: 183,8229 i skali: 26,2146

Źródło: Opracowanie własne

W porównaniu do badania testerem zawartości wody, pomiar temperatury wrzenia jest badaniem bardziej dokładnym. Graficzne porównanie wyników uzyskanych testerem procentowej zawartości wody w płynie hamulcowym i testerem temperatury wrzenia płynu hamulcowego przedstawiono na rysunku 6.

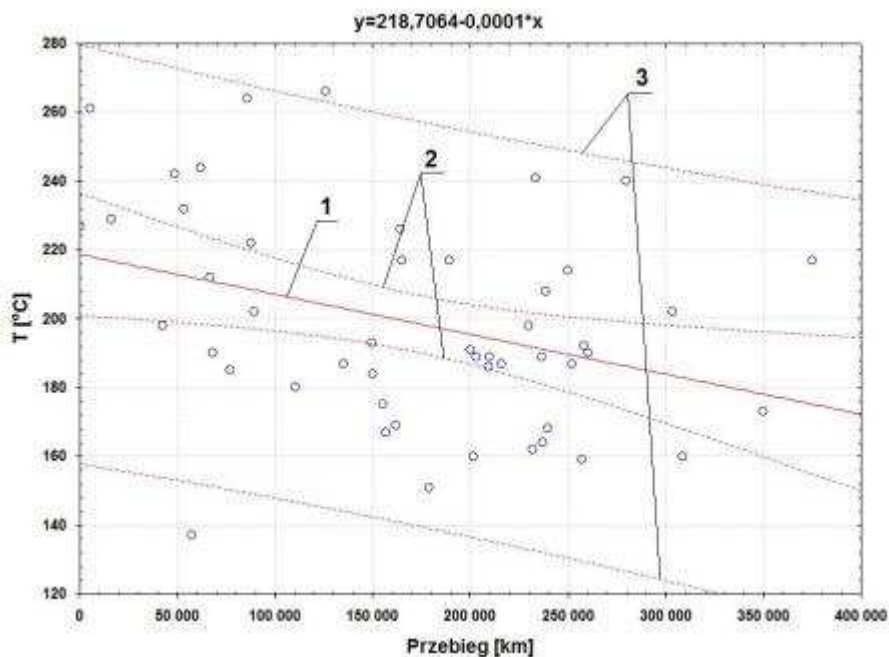


Rys. 6. Wykres zależności wartości temperatury wrzenia od zawartości procentowej wody w płynie hamulcowym

Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzono analizę wariancji przy zastosowaniu nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa. Uzyskane wyniki wskazują na istnienie statystycznie znamiennej (poziom istotności $p < 0,0001$) różnicy pomiędzy wartością średnią temperatury wrzenia płynu hamulcowego w zależności od procentowej zawartości wody, co pokazano na rysunku 6. Podczas badania pojazdów testerem na zawartość wody tylko 8 pojazdów zostało zakwalifikowanych do wymiany płynu hamulcowego. W przypadku badań wyznaczenia temperatury wrzenia płynu hamulcowego do wymiany płynu zakwalifikowano o 50% więcej pojazdów bo aż 12 z badanej populacji 50 samochodów.

Następnie przeanalizowano wyniki badań temperatury wrzenia płynu hamulcowego dla poszczególnych pojazdów z ich przebiegami wyrażonymi w kilometrach. Graficzną interpretację wyników stanu jakości płynu hamulcowego pojazdu w zależności od przebiegu przedstawiono na rysunku 7. Analizując wykres z rysunku 7 należy zauważyć wpływ przebiegu na wartość temperatury wrzenia płynu hamulcowego. Wyrazem tego jest wartość współczynnika korelacji liniowej $r = -0,6895$, współczynnik determinacji liniowej $r^2 = 0,4754$ (poziom istotności $p < 0,0001$). Błąd standardowy estymacji wynosi $S_e = 22,335$ zaś wartość testu F Fishera-Snedecora wynosi 43,504 (poziom istotności $p < 0,0001$). Poziom istotności tych współczynników wynosi $p < 0,0001$.



Rys. 7. Wykres rozrzutu temperatury wrzenia płynu hamulcowego oraz wskazania drogomierza pojazdu; 1 – krzywa regresji, 2 – przebieg ufności dla prognozowanej średniej obserwacji, 3 – przedział ufności dla prognozowanej obserwacji (przedział predykcji)

Źródło: Opracowanie własne

Istnieje zależność pomiędzy temperaturą wrzenia płynu hamulcowego w zależności od wartości przebiegu pojazdu. Wartość 47,54% współczynnika determinacji mówi, że model liniowy wyjaśnia zmienność temperatury wrzenia płynu hamulcowego wobec wskazania drogomierza, co jest istotną korelacją. Potwierdza to wykres rozrzutu na rysunku 7. Taki stan rzeczy może być powiązany z cyklicznością wymiany płynu a przeprowadzonym w końcowej fazie cyklu badaniem jakości płynu. Jednak w niektórych przypadkach okazało się, że winą złej jakości płynu hamulcowego jest niedbałość kierowcy (właściciela pojazdu). Pojazdy, w których odnotowano najwyższe wartości temperatury wrzenia płynu hamulcowego charakteryzowały się bardzo małym wskazaniem drogomierza.

Przeprowadzenie pomiarów temperatury wrzenia za pomocą testera zapewniło możliwość kontrolowanego przebiegu badania i powtarzalność jego warunków. Należy jednak pamiętać, że ocena temperatury wrzenia płynu wykonywana jest w zbiorniczku wyrównawczym, zatem w elementach wykonawczych (zaciskach hamulcowych) temperatura ta będzie znacznie mniejsza od tej w zbiorniku. Spowodowane jest to tym, że płyny hamulcowe wytwarzane na bazie glikolu są higroskopijne. Ponadto na skutek intensywnego hamowania, podczas którego może dojść do wrzenia płynu w układzie, i powstałe wtedy pęcherzyki pary uniemożliwią skuteczne przekazywanie ciśnienia hydraulicznego z pompy ABS do siłowników przy kołach pojazdu.

PODSUMOWANIE

Pomiarom jakości płynu hamulcowego poddano 50 pojazdów. W przeprowadzonych badaniach oparto się o pomiar temperatury wrzenia natomiast tester procentowej zawartości wody podawał jedynie orientacyjne wskazania. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w danej populacji: 28% zbadanych pojazdów miało płyn hamulcowy, który należało wymienić, a w 16% płyn nie spełniał już żadnych wymagań. Zatem 72% zbadanych pojazdów miało płyn hamulcowy o dobrych parametrach.

Wykorzystany w badaniach tester procentowej zawartości wody, okazał się być mniej dokładny a jego wyniki można traktować jedynie jako orientacyjne wskazania. Wykazano, że regularna wymiana płynu hamulcowego jest konieczna, a jej optymalna częstotliwość zależy nie tylko od konstrukcji układu (i związanych z tym zaleceń producenta pojazdu), ale przede wszystkim od jakości płynu.

Podsumowując przeprowadzone badania należy zwrócić uwagę, że duża część badanych pojazdów uczestniczyła w ruchu drogowym z płynem hamulcowym o złej jakości. W kilku przypadkach kierujący pojazdami przyznali, że nie sprawdzają jakości płynu, a ewentualnie uzupełniają poziom w zbiorniczku wyrównawczym. W dwóch przypadkach kierowcy stwierdzili, że skoro pojazd hamuje to znaczy, że układ działa poprawnie, a oni nie hamują nagle przy użyciu maksymalnego nacisku na pedał hamulca.

Należy pamiętać, że stosunkowo mała liczba badanych samochodów, jak na liczbę wyodrębnionych marek i modeli, nie może być podstawą do oceny całej grupy modelowej danego producenta pojazdu. Autorzy planują w przyszłości kontynuację badań danej populacji pojazdów z uwzględnieniem kryterium czasu i przebiegu w kilometrach według wskazań drogomierza.

BIBLIOGRAFIA

1. Caban J., Drożdziel P., Holeša L., Vrábek J., Šarkan B., *Research on the brake fluid testers*. TRANSCOM 2013 10th European Conference of Young Researchers and Scientists, Proceedings Section 1, Transport and Communications Technology. University of Žilina, 24-26 June 2013 Žilina, Slovak Republic, pp. 15-18.
2. Caban J., Holeša L., *The Methods Of The Determination Of Glycol-Based Brake Fluids*. Progressive Directions For Mechanical Engineering, Device Building Transportation Industries And Ecology, Materials of the scientific international technical conference of students, postgraduate and young scientists Sevastopol, Ukraine, 20-23 of May, 2013 pp. 65-66.
3. Drożdziel P., Komsta H., Rybicka I., *Analiza uszkodzeń układów bezpieczeństwa w pojazdach komunikacji zbiorowej na przykładzie Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie*. Logistyka 2012, nr 3, s. 499-506.
4. Drożdziel P., Komsta H., Krzywonos L., *Analiza intensywności użytkowania pojazdów (Część I)*. Logistyka – nauka, 2012, nr 3, s. 487-492.
5. Drożdziel P., Krzywonos L., *A model of the economic effectiveness of the truck transportation services*. Transport Problems, vol. 5 issue 4, Gliwice 2010, pp. 49-56.
6. Figlus T., Wilk A., Liščák Š., Gozdek Ł. *The Influence Of The Road Surface On The Traffic Noise*. Doprava a spoje: internetový časopis Žilińska Univerzita, 2012, nr 2, s.473-480.
7. Hudak A, Vrábek J., *Faktory ovplyvňujúce bezpečnosť styku pneumatiky a vozovky*. Doprava a spoje: internetový časopis Žilińska Univerzita, 2010, nr 1, s. 99-106.
8. Reński A., *Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
9. *Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking. UN ECE, Regulation No 31*.
10. Wicher J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego, Pojazdy Samochodowe*. WKiŁ, Warszawa 2004.
11. Zieliński A., *Konstrukcja nadwozi samochodów osobowych i pochodnych*. WKiŁ, Warszawa 2008.

RESEARCH ON BRAKE FLUIDS IN PERSONAL CARS

Abstract

The road traffic safety consists of many factors, one of them is technical performance of vehicle and disposition of driver. This paper presents research on the quality of the brake fluid conducted for a selected group of cars. The present study determined the boiling point of the brake fluid and the percentage of water in the fluid. It has been shown that regular replacement of brake fluid is required, and the optimum frequency depends not only on the design of the system, but also on the quality of the liquid.

Autorzy:

mgr inż. **Jacek Caban** – Politechnika Lubelska, Instytut Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii, j.caban@pollub.pl

mgr inż. **Lukáš Holeša** – University of Žilina, Department of Road and Urban Transport, Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications, Lukas.Holesa@fpedas.uniza.sk

Marcin Jachymek – student Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny,

Prof. dr hab. inż. **Marek Opielak** – Politechnika Lubelska, Instytut Transportu, Silników Spalinowych i Ekologii, m.opielak@pollub.pl

Piotr Stopa – student Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny,

PhD. Eng. **Branislav Šarkan** – University of Žilina, Department of Road and Urban Transport, Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications, Branislav.Sarkan@fpedas.uniza.sk

PhD. Eng. **Ján Vrábek** – University of Žilina, Department of Road and Urban Transport, Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications, jan.vrabel@fpedas.uniza.sk