

dr inż. Jarosław Gonera

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11, 10-716 Olsztyn, Polska
E-mail: jaroslaw.gonera@uwm.edu.pl

dr hab. inż. Jerzy Napiórkowski, prof. nadzw.

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie
ul. Oczapowskiego 11, 10-716 Olsztyn, Polska
E-mail: jerzy.napiorkowski@uwm.edu.pl

Model prognozowania stanu geometrii płyty podłogowej samochodu osobowego w toku eksploatacji

Słowa kluczowe: *samochód osobowy, nadwozie, płyta podłogowa, geometria nadwozia, bezpieczeństwo*

Streszczenie: Wielu użytkowników samochodów osobowych zwraca uwagę na istotność wpływu na poziom bezpieczeństwa zmian geometrii nadwozia pojazdów podczas ich wieloletniej eksploatacji. Jednak dotychczas zagadnienie to nie znalazło odpowiedniego odzwierciedlenia w literaturze. Celem pracy była identyfikacja zmian geometrii płyty podłogowej, opracowanie modelu prognozującego stan geometrii w toku eksploatacji i zidentyfikowanie punktów ulegającym największym przemieszczeniom. W pracy przedstawiono wpływ przebiegu pojazdu na stan geometrii płyty podłogowej z uwzględnieniem zróżnicowanych warunków środowiskowych. Podczas badań określano położenie punktów mocujących zawieszenie przednie, przednią ławę i zawieszenie tylne oraz położenie punktów znajdujących się na elementach struktury nośnej nadwozia. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano model prognozowania zmian geometrii płyty podłogowej w toku eksploatacji. Stwierdzono, że prawdopodobieństwo zmian geometrii płyty podłogowej podczas eksploatacji rośnie w czasie, wraz ze wzrostem przebiegu. Prawdopodobieństwo osiągnięcia stanu dopuszczalnego (3 mm) zmian geometrycznych na płycie podłogowej dobrze opisuje model probabilistyczny w postaci rozkładu Rayleigha. Uzyskano zróżnicowane modele zmiany geometrii płyty podłogowej w zależności od warunków środowiskowych oraz rodzaju analizowanych punktów bazowych.

1. Wprowadzenie

Zagadnienie oceny stanu geometrii nadwozia samochodu osobowego rozpatrywane jest najczęściej w kontekście przeprowadzonych napraw [17, 22]. W tym celu opracowano procedury dopuszczające pojazdy do ruchu zarówno przez producentów, jak i odpowiednie przepisy prawne [22]. Zagadnienie stanu technicznego nadwozia nierozzerwalnie jest związane z bezpieczeństwem jego użytkowania [3].

W nowoczesnych samochodach rozwój systemów bezpieczeństwa nastąpił głównie w kierunkach ograniczenie ryzyka wystąpienia wypadku drogowego oraz zminimalizowania obrażeń, które mogłyby powstać podczas zaistniałego już zdarzenia drogowego [6, 11]. Jednym z najważniejszych elementów bezpieczeństwa biernego jest konstrukcja nadwozia, ograniczająca skutki wypadku, poprzez zminimalizowanie lub wyeliminowanie obrażeń osób

znajdujących w pojeździe [5, 15, 18, 25]. Bezpieczeństwo czynne związane z nadwoziem to przede wszystkim odpowiednie rozmieszczenie na nadwoziu punktów mocujących elementy układów zawieszenia i kierowniczego wpływających bezpośrednio na geometrię kół [4, 10, 20, 22, 23].

Poprzez geometrię nadwozia należy rozumieć odpowiednie, zgodne z wymaganiami producentów rozmieszczenie wszystkich punktów bazowych na płycie podłogowej oraz na górnych partiach nadwozia względem trzech płaszczyzn odniesienia [1, 8]. Na nadwoziach samochodów osobowych znajdują się punkty bazowe, które są wykorzystywane do pomiarów geometrii. Tymi punktami są najczęściej otwory konstrukcyjne, służące do mocowania podzespołów oraz otwory pomocnicze, które są stosowane specjalnie do pomiarów [1, 16]. Producenci samochodów osobowych z reguły zakładają, że różnica pomiędzy wymaganym, a rzeczywistym położeniem punktów bazowych nie powinna być większa niż 3 mm [12, 16, 17]. W przypadku przemieszczenia punktów bazowych znajdujących się na elementach stref kontrolowanego zgniotu podczas wypadku lub kolizji drogowej może dochodzić do trudnych do przywidzenia odkształceń nadwozia, nie pochłaniających właściwie energii [7, 8, 24]. Współczesne samochody osobowe charakteryzują się brakiem możliwości regulacji wielu parametrów układu zawieszenia i układu kierowniczego. Zatem takie wielkości, jak kąt pochylenia koła, pochylenia lub wyprzedzenia sworzni osi zwrotnicy nie podlegają regulacji. Zmiana geometrii nadwozia w takim przypadku będzie skutkowałą zmianą tych wielkości, co może spowodować trudności z utrzymaniem właściwej kinematyki ruchu [22, 26].

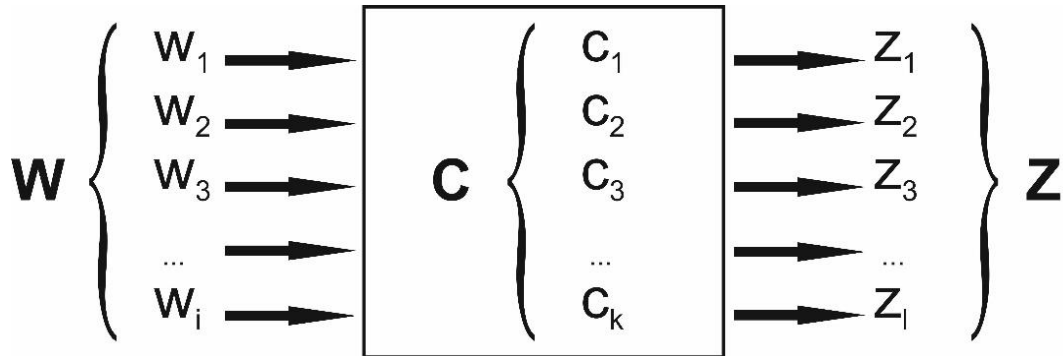
Dotychczas niewielu autorów odnosi się do zmian stanu technicznego nadwozia samochodów bezwypadkowych w toku eksploatacji. Problem ten jest także pomijalny w cyklicznych badaniach technicznych pojazdów. Do podstawowych przyczyn zmiany stanu technicznego nadwozia zalicza się wypadki lub kolizje drogowe, warunki atmosferyczne, wieloletnie użytkowanie pojazdu na drogach o złej jakości [2, 12, 19, 27]. Na zagadnienie zużywania nadwozia w toku naturalnej eksploatacji zwrócili uwagę między innymi autorzy w pracach [2, 3, 12, 19]. Formułuje się najczęściej stwierdzenia o charakterze ogólnym, że przebieg eksploatacji ma wpływ na stan nadwozia [14]. Niemniej jednak autorzy w pracy [9] przeanalizowali wpływ przebiegu samochodu osobowego na zmiany geometrii płyty podłogowej. Stwierdzili, że w niektórych punktach bazowych graniczne dopuszczalne zmiany geometrii (3 mm) występują już przy przebiegu około 150 000 km [9].

2. Systemowe ujęcie procesu zmian geometrii nadwozia

W toku eksploatacji samochodu na jego nadwozie poprzez układ zawieszenia przenoszone są reakcje, które pochodzą od nawierzchni drogi [27]. Samochód osobowy podczas jazdy poddawany jest ciągłym wymuszeniom kinematycznym i siłowym o szerokim zakresie wartości [14]. Podczas użytkowania na nadwozie działają obciążenia statyczne i dynamiczne. Obciążenia statyczne są wynikiem obciążenia momentem skręcającym, powstającym przez siły z układu zawieszenia, od nawierzchni. Powstają one również w wyniku obciążeń zginających, wynikających z masy pojazdu, pasażerów oraz ładunku. Natomiast obciążenia dynamiczne związane są z prędkością i przyśpieszeniem pojazdu, powstają podczas pokonywania zakrętów, nierówności, hamowania oraz rozpędzania [13, 27]. W toku eksploatacji nadwozie samochodu narażone jest także na czynniki takie, jak korozja i zmęczenie, itp., które przyczyniają się do postępowania procesów degradacji [15].

W Polsce w porównaniu do krajów Europy Zachodniej drogi charakteryzują się gorszym stanem technicznym [21]. Z danych otrzymanych z GDDKiA wynika, że aż 38,3 % długości sieci dróg krajowych wymaga wykonania zabiegów naprawczych. Jeszcze w gorszym stanie technicznym są drogi wojewódzkie, powiatowe oraz gminne.

Podczas użytkowania samochodu osobowego zachodzi proces zużywania jego nadwozia w postaci zmian geometrii płyty podłogowej oraz górnych partii nadwozia (rys. 1). Geometria nadwozia scharakteryzowana jest przez zbiór cech C . Na nadwozie w toku eksploatacji działają różnego typu wymuszenia W powodujące zmiany geometrii, które w takim przypadku są odpowiedziami na proces zużycia Z .



Rys. 1. Graficzna ilustracja procesu zużycia nadwozia w toku eksploatacji: C – zbiór cech obiektu, W – zbiór wymuszeń, Z – zbiór odpowiedzi obiektu.

$C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_k\} \quad k = \overline{1, K}$, gdzie: c_k jest odwzorowaniem rzeczywistych cech geometrii nadwozia, $k = 1, 2, 3, \dots, K$;

c_1 – położenie punktów bazowych charakteryzujących bezpieczeństwo czynne z prawej strony płyty podłogowej;

c_2 – położenie punktów bazowych charakteryzujących bezpieczeństwo czynne z lewej strony płyty podłogowej;

c_3 – położenie punktów bazowych charakteryzujących bezpieczeństwo bierne z prawej strony płyty podłogowej;

c_4 – położenie punktów bazowych charakteryzujących bezpieczeństwo bierne z lewej strony płyty podłogowej;

c_k – k -ta charakterystyka geometrii nadwozia.

$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_i\} \quad i = \overline{1, I}$, gdzie: w_i jest odwzorowaniem rzeczywistych wymuszeń działających na nadwozie podczas użytkowania, $i = 1, 2, 3, \dots, I$;

w_1 – sumaryczny przebieg pojazdu;

w_2 – warunki środowiskowe użytkowania, związane z krajem eksploatacji pojazdu;

w_3 – wiek samochodu;

w_4 – charakterystyka przebiegu dotychczasowego użytkowania;

w_5 – zdarzenia drogowej, w których pojazd mógł uczestniczyć;

w_6 – czynniki wykraczające poza standardowe użytkowanie;

w_7 – warunki środowiskowe użytkowania;

w_i – i -te wymuszenia oddziałujące na samochód.

$Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_l\} \quad l = \overline{1, L}$, gdzie: z_l jest odwzorowaniem rzeczywistych odpowiedzi, $l = 1, 2, 3, \dots, L$;

z_1 – zmiana położenia punktów charakteryzujących bezpieczeństwo czynne z prawej strony płyty podłogowej;

z_2 – zmiana położenia punktów charakteryzujących bezpieczeństwo czynne z lewej strony płyty podłogowej;

z_3 – zmiana położenia punktów charakteryzujących bezpieczeństwo bierne z prawej strony płyty podłogowej;

z_4 – zmiana położenia punktów charakteryzujących bezpieczeństwo bierne z lewej strony płyty podłogowej;
 z_1 – 1-te charakterystyka zmian geometrii nadwozia.

Na podstawie analizy literatury stwierdzono, że spośród wymienionych charakterystyk brak jest szczegółowych badań, w których określono by wpływ na zmiany geometrii nadwozia: w_1 – sumaryczny przebieg pojazdu oraz w_2 – warunki środowiskowe użytkowania. Dotychczas nie zidentyfikowano ilościowo wpływu tych wielkości na zmiany stanu nadwozia w toku eksploatacji. Wobec czego wpływ tych charakterystyk został poddany badaniom.

Celem pracy była identyfikacja zmian geometrii płyty podłogowej i opracowanie modelu prognozującego stan geometrii płyty podłogowej w toku eksploatacji. Celem pomocniczym pracy było natomiast zidentyfikowanie punktów charakterystycznych nadwozia ulegającym największym przemieszczeniom.

3. Metodyka badań

Badaniami objęto łącznie 120 samochodów osobowych o zróżnicowanym przebiegu od 10 000 do 360 000 km. Pojazdy zostały podzielone na dwie kategorie. W pierwszej z nich, oznaczonej jako PL, znajdowały się pojazdy użytkowane na drogach krajowych. Natomiast w drugiej, oznaczonej EU, samochody użytkowane na drogach Europy Zachodniej. Liczba pojazdów w obydwóch kategoriach była równoliczna i wynosiła po 60 pojazdów. Samochody posiadały takie same istotne parametry konstrukcyjne (tj. nadwozie typu hatchback, silnik z zapłonem iskrowym oraz napęd na oś przednią). Żaden z nich nie uczestniczył w wypadkach i kolizjach drogowych, nie stwierdzono w nich zdarzeń wykraczających poza standardowe użytkowanie (np. przekraczanie dopuszczalnej ładowności).

Pomiarów geometrii, z dokładnością 1 mm, płyty podłogowej dokonywano przyrządem Gysmeter firmy Gys (rys.2). Zakres pomiarowy przyrządu Gysmeter znajdował się w przedziale od 400 do 2650 mm. Urządzenie pomiarowe wyposażone było również w dedykowany zestaw końcówek pomiarowych, dopasowanych do analizowanych punktów bazowych. Zestaw ten pozwalał na pomiary bez demontażu elementów układu zawieszenia i kierowniczego. Podczas pomiarów określano rzeczywiste położenie charakterystycznych punktów bazowych i porównywano je z położeniem wymaganym przez producentów pojazdów. Pomiary wykonywano względem punktów odniesienia, które znajdowały się w tylnej części samochodu, w obrębie końca przedziału pasażerskiego. W obrębie punktów odniesienia w badanych samochodach osobowych nie stwierdzono zmian geometrii, w tym także deformacji. Dane o rozmieszczeniu punktów bazowych na płycie podłogowej zaczerpnięto z bazy danych znajdującej się w programie Allvis Light. Określono w nim w milimetrach wartości wymaganej odległości pomiędzy poszczególnymi punktami bazowymi.

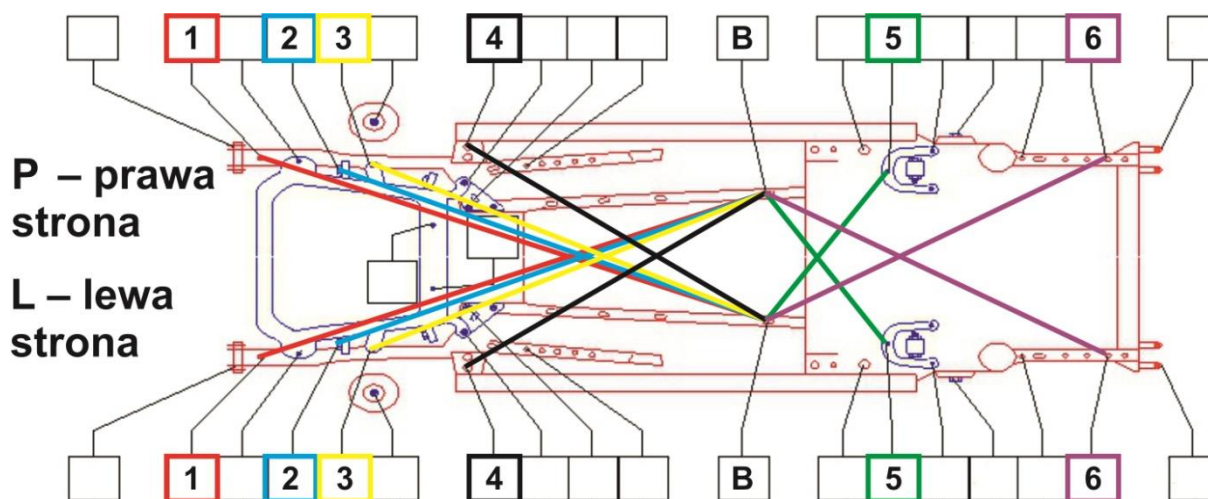


Rys. 2. Pomiary geometrii płyty podłogowej z wykorzystaniem urządzenia GYSMETER firmy GYS

Wybrano łącznie dwanaście charakterystycznych punktów bazowych znajdujących się w każdym z badanych samochodów osobowych. Było to sześć punktów znajdujących się z prawej oraz sześć z lewej strony pojazdu. Trzy z tych punktów były związane z bezpieczeństwem czynnym samochodu, a trzy z bezpieczeństwem biernym.

Analizie poddano charakterystyki geometrii powiązane z (rys.3):

- z ustawieniem geometrii układu zawieszenia i układu kierowniczego (bezpieczeństwo czynne) – punkty mocowania zawieszenia przedniego, tylne punkty mocujące przednią ławę i mocowanie tylnego zawieszenia;
- z bezpieczeństwem biernym – punkty leżące w okolicach ściany grodziowej, na początku przednich podłużnic i na końcu tylnych podłużnic.



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów, w których dokonywano pomiarów geometrii płyty podłogowej, gdzie: B – punkty odniesienia, początkowe podczas pomiarów; 1 – punkty leżące na początku przednich podłużnic; 2 – punkty mocujące zawieszenie przednie; 3 – tylne punkty mocujące przednią ławę; 4 – punkty leżące w okolicach ściany grodziowej; 5 – punkty mocujące tylne zawieszenie; 6 – punkty leżące na końcu tylnych podłużnic

Podczas pomiarów każdy z samochodów sytuowano na podnośniku 2-kolumnowym i zamocowano go zgodnie z zaleceniami fabrycznymi. Do przyrządu Gysmeter zastosowano dedykowane końcówki magnetyczne na stałej tyczce zewnętrznej i odpowiednie końcówki pomiarowe na tyczce przesuwnej.

Zmiany geometrii dla danych punktów płyty podłogowej P_{zg} wyznaczono z zależności:

$$P_{zg} = |WOPB - ROPB| \text{ [mm]}, \text{ gdzie:} \quad (1)$$

WOPB – wymagana odległość pomiędzy punktami bazowymi [mm];

ROPB – rzeczywista odległość pomiędzy punktami bazowymi [mm].

Niepewność pomiarów rzeczywistej odległości pomiędzy punktami bazowymi (ROPB) wynosiła 1 mm. W związku z tym niepewność dla P_{zg} , czyli zmiany geometrii dla danych punktów płyty podłogowej również była równa 1 mm.

4. Analiza zmian geometrii płyty podłogowej

Wartość zmian położenia punktów bazowych (tab. 1) związana była z rozmieszczeniem ich na płycie podłogowej. Najmniejsze zmiany geometrii na płycie podłogowej występowały w okolicach ściany grodziowej. Szczególnie duże zmiany występowały dla punktów bazowych odpowiedzialnych za mocowanie zawieszenia przedniego, zawieszenia tylnego oraz mocujących przednią ławę. W tych obszarach średnie

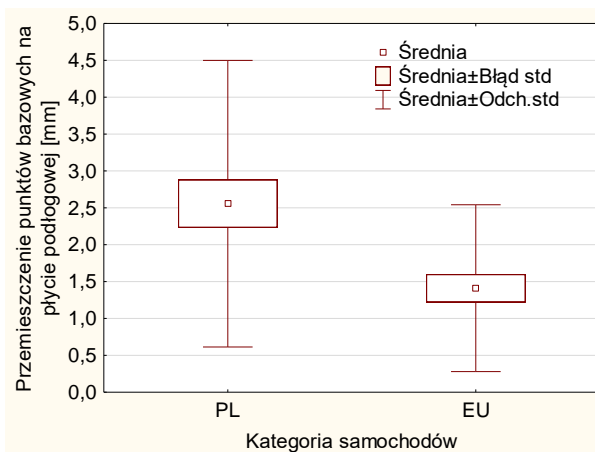
przemieszczenia punktów bazowych w badanych pojazdach przekraczały 6 mm. Zidentyfikowano również zmiany położenia punktów przekraczające nawet 10 mm.

Znacznie większe przemieszczenia punktów bazowych występowały w pojazdach użytkowanych w Polsce w odniesieniu do krajów Europy Zachodniej (tab. 1). Dotyczyło to wszystkich obszarów płyty podłogowej. Niezależnie od miejsca usytuowania przemieszczenia charakterystycznych punktów płyty podłogowej w samochodach użytkowanych w Polsce było większe w stosunku do samochodów użytkowanych w krajach Europy Zachodniej. Przemieszczenie punktów bazowych w okolicach ściany grodziowej (4P i 4L) nieznacznie większe było dla samochodów eksploatowanych w Polsce. W tym obszarze różnice między samochodami użytkowymi w Polsce i w Europie Zachodniej były najmniejsze (do 0,3 mm). Podobnie stosunkowo niewielkie różnice między obiema kategoriami zaobserwowano dla punktów leżących na początku przednich podłużnic (1P i 1 L) i na końcu tylnych podłużnic (6P i 6L). Różnice te dochodziły do około 0,5 mm. Większe różnice w zmianach geometrii pomiędzy samochodami użytkowymi w Polsce i w Europie Zachodniej stwierdzono dla punktów bazowych związanych z mocowaniem przedniego zawieszenia (2P i 2L), przedniej ławy (3P i 3L) oraz tylnego zawieszenia (5P i 5L). W tych obszarach różnice te przekraczały 1,5 mm. Przy czym największe przemieszczenia punktów bazowych występowało dla punktów mocujących zawieszenie tylne i znajdujących się z prawej strony nadwozia. Dla tych punktów stwierdzono różnice między samochodami użytkowymi w Polsce i w Europie Zachodniej przekraczające 3 mm.

Tab. 1. Zestawienie średnich zmian geometrii w punktach bazowych w zależności od miejscach użytkowania samochodu

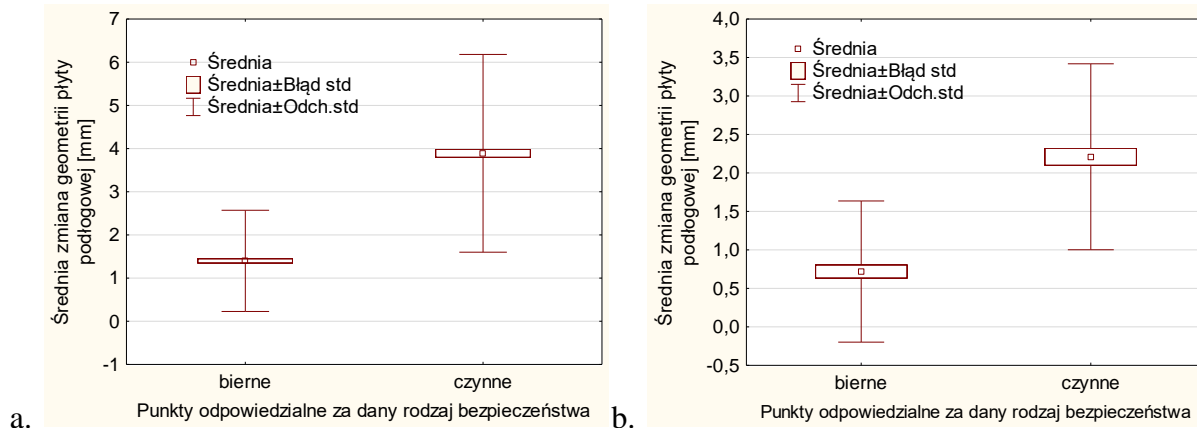
Wartość zmian geometrii w punktach bazowych			
Miejsce użytkowania samochodów		PL [mm]	EU [mm]
1P	Przednia podłużnica	2,13	1,83
1L		2,13	1,67
2P	Mocowanie przedniego zawieszenia	6,25	4,67
2L		5	3,5
3P	Mocowanie przedniej ławy	4,88	3,33
3L		4	2,67
4P	Okolice ściany grodziowej	1,5	1,33
4L		1,63	1,33
5P	Mocowanie tylnego zawieszenia	6,5	3,33
5L		4,88	3
6P	Tylna podłużnica	2,63	2
6L		2,13	1,67

Na podstawie analizy wariancji stwierdzono, że zmiany geometrii płyty podłogowej w samochodach użytkowanych w Polsce i w krajach Europy Zachodniej różniły się istotnie pomiędzy sobą (rys.4).

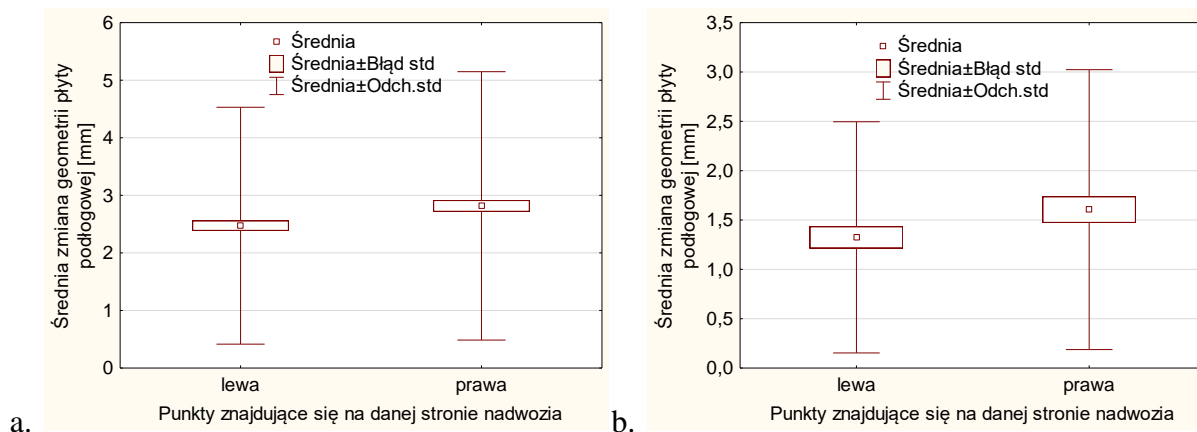


Rys. 4. Porównanie przemieszczenia punktów bazowych w samochodach w zależności od kraju eksploatacji

W pracy zastosowano również analizę wariancji, mającą na celu określenie wpływu na zmiany geometrii nadwozia rodzaju bezpieczeństwa, za które odpowiadają dane punkty bazowe (rys. 5) oraz strony samochodu, na której się one znajdują (rys. 6).



Rys. 5. Porównanie przemieszczenia punktów bazowych w samochodach użytkowanych na drogach: a. polskich; b. Europy Zachodniej w zależności od rodzaju bezpieczeństwa, za które punkty te są odpowiedzialne

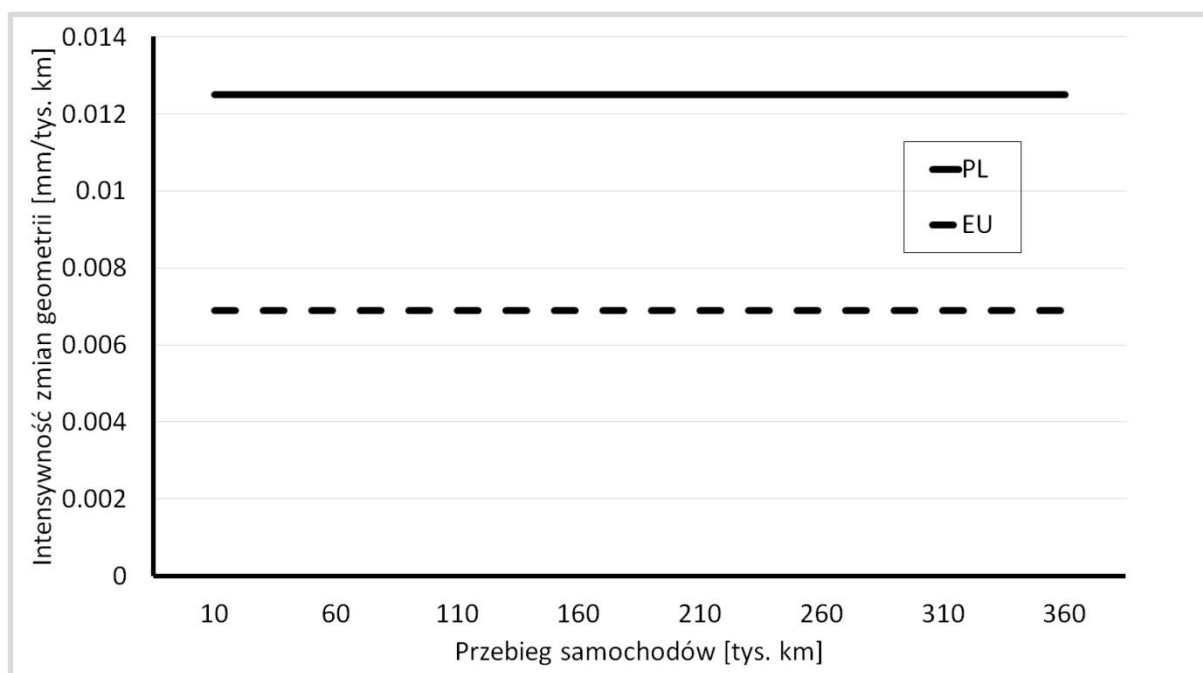


Rys. 6. Porównanie przemieszczenia punktów bazowych w samochodach użytkowanych na drogach: a. polskich; b. Europy Zachodniej w zależności od strony pojazdu, na której znajdowały się badane punkty

Stwierdzono, że występowały istotne zmiany pomiędzy punktami bazowymi związanymi z bezpieczeństwem czynnym i biernym. Różnice te występowały zarówno dla samochodów użytkowanych w Polsce, jak i w Europie Zachodniej. Większe zmiany geometrii zaobserwowano dla punktów bazowych związanych z bezpieczeństwem czynnym. Ponadto

zarówno w samochodach eksplodowanych w Polsce i w Europie większe zmiany geometrii płyty podłogowej występowały dla punktów leżących na prawej niż na lewej stronie nadwozia.

Intensywność zmian geometrii na płycie podłogowej była wartością utrzymującą się na stałym poziomie, niezależnie od przedziału przebiegu (rys. 7). Natomiast wraz ze wzrostem przebiegu zaobserwować można było wzrost sumarycznych zmian geometrii w poszczególnych punktach bazowych. Wartość intensywności zmian geometrii była zależna od kraju użytkowania samochodów, rodzaju bezpieczeństwa, za które odpowiadały dane punkty bazowe oraz strony, na której się one znajdowały. W tabelach 2 i 3 zestawiono wartości intensywności zmian geometrii na płycie podłogowej otrzymane na podstawie wykonanych badań.



Rys. 7. Intensywność zmian geometrii na płycie podłogowej w samochodach użytkowanych w Polsce i w Europie Zachodniej

Tab. 2. Intensywność zmian geometrii dla samochodów użytkowanych w Polsce

Samochody użytkowane w Polsce					
Rodzaj bezpieczeństwa	Bierne		Czynne		Dla wszystkich badanych punktów na płycie podłogowej
Strona samochodu	Prawa	Lewa	Prawa	Lewa	
Intensywność zmian geometrii [mm/tys. km]	0,0060	0,0059	0,0214	0,0168	0,0125

Tab. 3. Intensywność zmian geometrii dla samochodów użytkowanych w krajach Unii Europejskiej

Samochody użytkowane w Europie Zachodniej					
Rodzaj bezpieczeństwa	Bierne		Czynne		Dla wszystkich badanych punktów na płycie podłogowej
Strona samochodu	Prawa	Lewa	Prawa	Lewa	
Intensywność zmian geometrii [mm/tys. km]	0,0026	0,0025	0,0128	0,0099	0,0069

Większe wartości intensywności zmian geometrii na płycie podłogowej w odniesieniu do przebiegu występowały dla samochodów użytkowanych w Polsce. Praktycznie we

wszystkich przypadkach zmiany te były około dwukrotnie większe. Ponadto kilkakrotnie większe zmiany geometrii występowały dla punktów bazowych odpowiedzialnych za bezpieczeństwo czynne niż bierne pojazdu. Dla punktów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo bierne różnice w zmianach geometrii między prawą i lewą stroną nie były istotne.

5. Model zmiany geometrii płyty podłogowej w toku eksploatacji

Przyjęto następujące założenia do opracowania modelu prognozującego zmiany geometrii płyty podłogowej w toku eksploatacji:

- graniczna wartość przemieszczenia punktów charakterystycznych wynosi 3 mm;
- zmiany położenia punktów bazowych mają charakter liniowy dla analizowanych wymuszeń eksploatacyjnych.

Zatem model zmian geometrii płyty podłogowej przyjmie w ujęciu deterministycznym następującą postać:

$$Z_{pp} = P_p \cdot I_{zg}, \text{ gdzie} \quad (2)$$

Z_{pp} – zmiana położenia punktów bazowych;

P_p – przebieg samochodu;

I_{zg} – intensywność zmian geometrii płyty podłogowej.

Prawdopodobieństwo osiągnięcia stanu dopuszczalnego równego 3 mm rośnie liniowo wraz ze wzrostem przebiegu pojazdu. Po osiągnięciu zmian geometrii równych wartości krytycznej pojazd powinien zostać wycofany z eksploatacji lub skierowany do naprawy. Model zweryfikowano w oparciu o dystrybuantę rozkładu Weibulla:

$$F(X) = 1 - e^{-(x/\gamma)^k}, \text{ gdzie:} \quad (3)$$

$F(x)$ – prawdopodobieństwo osiągnięcia wartości granicznej (3 mm) zmian geometrii;

$k > 1$ – parametr kształtu rozkładu;

$\gamma > 0$ – parametr skali rozkładu.

Na podstawie wykonanych badań eksperymentalnych stwierdzono, że prawdopodobieństwo zmian geometrii płyty podłogowej podczas eksploatacji rośnie w czasie, wraz ze wzrostem przebiegu, co odpowiada parametrowi kształtu rozkładu równemu 2. Wobec tego model przyjął szczególną postać rozkładu Weibulla (parametr kształtu $k=2$) nazywaną rozkładem Rayleigha. Dotyczyło to zarówno samochodów użytkowanych w Polsce, jak i w krajach Europy Zachodniej. Prawdopodobieństwo zmian geometrii płyty podłogowej podczas eksploatacji opisano zależnością:

$$F(Z_{pp}) = 1 - e^{-(Z_{pp}/\gamma)^2}, \text{ gdzie:} \quad (4)$$

Z_{pp} – zmiana geometrii płyty podłogowej w danym punkcie bazowym.

Natomiast na podstawie wyników wykonanych w pracy badań przyjęto, że parametr skali był równy dwa ($\gamma=2$). Wobec czego prawdopodobieństwo zmian geometrii płyty podłogowej w toku eksploatacji przyjęło postać:

$$F(Z_{pp}) = 1 - e^{-(Z_{pp}/2)^2} \quad (5)$$

Wzór opisujący zmiany geometrii płyty podłogowej w danym punkcie bazowym przekształcono i uzupełniono o wartość statystyki (w), wyznaczoną w programie Statistica. W związku z tym otrzymano zależność:

$$P_p = \frac{Z_{pp}}{w \cdot I_{zg}} \quad (6)$$

W tabelach 4 i 5 zestawiono prawdopodobieństwo zmian geometrii płyty podłogowej w zależności od kraju eksploatacji pojazdu, strony, na której znajduje się dany punkt bazowy oraz rodzaju bezpieczeństwa, za który on odpowiada.

Tab. 4. Model probabilistyczny zmian geometrii płyty podłogowej dla punktów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo czynne z prawej strony w samochodach użytkowanych w Polsce

			Punkty związane z bezpieczeństwem biernym				Punkty związane z bezpieczeństwem czynnym			
			Lewa strona		Prawa strona		Lewa strona		Prawa strona	
P	w	Z _{gn} [mm]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]
0,95	0,45296	3	0,005898	1123	0,006049	1095	0,016771	395	0,021379	310
0,9	0,649186			784		764		276		216
0,8	0,944761			538		525		189		149
0,7	1,194445			426		415		150		117
0,6	1,429441			356		347		125		98
0,5	1,665109			305		298		107		84
0,4	1,914462			266		259		93		73
0,3	2,194514			232		226		82		64
0,2	2,537272			200		195		71		55
0,1	3,034854			168		163		59		46
0,05	3,461637			147		143		52		41
0,01	4,291932			119		116		42		33

Tab. 5. Model probabilistyczny zmian geometrii płyty podłogowej dla punktów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo czynne z prawej strony w samochodach użytkowanych w Europie Zachodniej

			Punkty związane z bezpieczeństwem biernym				Punkty związane z bezpieczeństwem czynnym			
			Lewa strona		Prawa strona		Lewa strona		Prawa strona	
P	w	Z _{gn} [mm]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]	I _{zg} [mm/tys.km]	P [tys. km]
0,95	0,45296	3	0,002544	2603	0,002641	2508	0,009793	676	0,012812	517
0,9	0,649186			1816		1750		472		361
0,8	0,944761			1248		1202		324		248
0,7	1,194445			987		951		256		196
0,6	1,429441			825		795		214		164
0,5	1,665109			708		682		184		141
0,4	1,914462			616		593		160		122
0,3	2,194514			537		518		140		107
0,2	2,537272			465		448		121		92
0,1	3,034854			389		374		101		77
0,05	3,461637			341		328		88		68
0,01	4,291932			275		265		71		55

Z danych zawartych w tabelach 4 i 5 wynika, że występują znaczne różnice w przebiegu, przy którym na płycie podłogowej pojawiają się zmiany położenia punktów o wartości równej 3 mm. Różnice te zależne są od stanu dróg, związanego z krajem użytkowania samochodu, rodzajem bezpieczeństwa, za które odpowiadają poszczególne punkty bazowe oraz strony pojazdu, na której się one znajdują. Przykładowo dla punktów bazowych znajdujących się po prawej stronie pojazdu i odpowiedzialnych za bezpieczeństwo

czynne zmiana geometrii o wartości równej 3 mm z prawdopodobieństwem $p=0,05$ pojawi się przy przebiegu 41 tys. km w samochodach użytkowanych w Polsce i przy przebiegu 68 tys. km w pojazdach użytkowanych w Europie Zachodniej. Z kolei z lewej strony będzie to przebieg odpowiednio 52 tys. km oraz 88 tys. km. W przypadku punktów bazowych związanych z bezpieczeństwem biernym z prawej zmiana geometrii o wartości 3 mm zostanie osiągnięta przy przebiegu 143 tys. km w pojazdach użytkowanych w Polsce i przy przebiegu 328 tys. km w samochodach użytkowanych w Europie Zachodniej. Natomiast z lewej strony nadwozia będzie to odpowiednio 147 tys. km oraz 341 tys. km.

6. Podsumowanie

Wraz ze wzrostem przebiegu samochodów osobowych powyżej 120 000 km występują zmiany geometrii płyty podłogowej, istotne dla bezpieczeństwa ich użytkowania. Zmiany geometrii płyty podłogowej w miarę wzrostu przebiegu szczególnie widoczne są w punktach charakterystycznych dla bezpieczeństwa czynnego pojazdu. Zmiany te dotyczą przemieszczenia punktów mocujących przednie zawieszenie, przednią ławę oraz tylne zawieszenie. Średnie zmiany położenia tych punktów wynosiły od 6 mm do 10 mm. Przemieszczenie punktów związanych z bezpieczeństwem biernym było mniejsze. Ponadto mniejsze zmiany geometrii stwierdzono w samochodach użytkowanych na terenie Europy Zachodniej. Intensywność zmian uzależniona jest od miejsca położenia analizowanych punktów na płycie podłogowej. Przykładowo zmiany położenia punktów z prawej strony były nawet o 33 % większe niż ze strony lewej.

Prawdopodobieństwo osiągnięcia stanu dopuszczalnych (3 mm) zmian geometrycznych płyty podłogowej dobrze opisuje model probabilistyczny w postaci rozkładu Rayleigha. Wyznaczono jego postać matematyczną dla samochodów użytkowanych w różnych warunkach środowiskowych. Z prawdopodobieństwem 0,9 osiągnięcie przemieszczenia równego 3 mm dla punktu bazowego związanego z bezpieczeństwem czynnym, z prawej strony nastąpi w samochodach użytkowanych w Polsce przy przebiegu 216 000 km, a w samochodach z krajów Europy Zachodniej przy przebiegu 361 000 km.

Zaprezentowane w pracy wyniki badań mają duże znaczenie użytkowe. Istnieje potrzeba wprowadzenia obowiązkowych pomiarów geometrii płyty podłogowej w pojazdach po przekroczeniu przebiegu 120 000 km. Wymogi prawne w tym zakresie przyczynią się do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Literatura

1. Aguilar J J, Sanz M, Guillomía D, Lope M, Bueno I. Analysis, characterization and accuracy improvement of optical coordinate measurement systems for car body assembly quality control. *International Journal Advanced Manufacturing Technology* 2006; 30: 1174–1190.
2. Ahrens G, Dellmann T, Gies S, Hecht M, Hefazi H, Henke R, Pischinger S, Schaufele R, Tegel O. *Applications in Mechanical Engineering. Transport Systems*, Würzburg: Springer Science Media, 2009.
3. Anderson R. Numerical and experimental evaluation of spring back in a front side member. *Division of Production and Materials Engineering*. Lund 2007.
4. Bera T K, Bhattacharya K, Samantaray A K. Evaluation of antilock braking system with an integrated model of full vehicle system dynamics. *Simulation Modelling Practice and Theory* 2011; 19: 2131–2150.
5. Boruta G, Piętak A. *Mechatronika samochodu. Układy bezpieczeństwa czynnego i biernego*. Olsztyn: Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, 2012.

6. Chen H, Gong X, Hu Y F, Liu Q F, Gao B Z, Guo H Y. Automotive Control: the State of the Art and Perspective. *Acta Automatica Sinica* 2013; 39.
7. Duffy J E. *I-Car Professional Automotive Collision Repair*. New York: Delmar a division of Thomson Learning 2001.
8. Duffy J. E. *Auto Body Repair Technology*. Boston: Delmar Cengage Learning 2009.
9. Gonera J, Napiórkowski J. Effect of the mileage of a passenger car on changes in its body geometry. Seoul: Conference 2nd Annual International Symposium on Material Science and Engineering (ISMSE), 2018.
10. Guoye W, Juanli Z, Yanli F, Yanru Z. Study on ESP Control Principle of Light Off-road Vehicle Based on Brake / Drive Integrated Control. *Physics Procedia* 2012; 25: 834–841.
11. Habibovic A, Davidsson J. Causation mechanisms in car-to-vulnerable road user crashes: Implications for active safety systems. *Accident Analysis and Prevention* 2012; 49: 493– 500.
12. Heißing B, Ersoy M. *Introduction and Fundamentals, Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives*. Wiesbaden GmbH: Vieweg + Teubner Verlag – Springer Fachmedien 2011.
13. Jackowski J, Łęgiel J, Wiczorek M. *Samochody osobowe i pochodne*. Warszawa: WKiŁ 2011.
14. Konieczny Ł. *Wykorzystanie metod drganiowych w ocenie stanu technicznego mechanicznych i hydropneumatycznych zawiesznień pojazdów samochodowych*. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej 2015.
15. Liss M, Żółtowski B. Analiza modalna jako metoda diagnozowania stanu nadwozi samochodów osobowych. *Postępy w inżynierii mechanicznej Developments in mechanical engineering* 2014; 3: 21–28.
16. Livesey W A, Robinson A. *The repair of vehicle bodies*. Oxford 2006.
17. Michalski R, Gonera J. Kompleksowa ocena stanu technicznego nadwozia samochodu. *Studia i materiały polskiego stowarzyszenia zarządzania wiedzą; Bydgoszcz: Polskie Stowarzyszenie Zarządzania Wiedzą* 2011; 47: 169–183.
18. Milanés V, González C, Naranjo J E, Onieva E, Pedro T D. Electro-hydraulic braking system for autonomous vehicles. *International Journal of Automotive Technology* 2010; 11: 89–95.
19. Mizuno D, Suzuki S, Fujita S, Hara N. Corrosion monitoring and materials selection for automotive environments by using Atmospheric Corrosion Monitor (ACM) sensor. *Corrosion Science* 2014; 83: 217–225.
20. Ozdalyan B. Development of a slip control anti-lock braking system model. *International Journal of Automotive Technology* 2008; 9: 71–80.
21. Przybyłowski A. Stan infrastruktury transportu drogowego w Polsce z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa. *Research papers of Wrocław University of Economics* 2014; 367: 261–271.
22. Raatz B. *Nowoczesne technologie pomiarów i napraw karoserii powypadkowych*. Ząbrowo: Oficyna Wydawnicza Troton 2005.
23. Reński A. *Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2011.
24. Stack M. *Trade of vehicle body repair – Vehicle Measuring*. Dublin: SOLAS 2014.
25. Straky H, Kochem M, Schmitt J, Isermann R. Influences of braking system faults on vehicle dynamics. *Control Engineering Practice* 2003; 11: 337–343.
26. Tobota A. *Naprawy powypadkowe nadwozi, a bezpieczeństwo*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 1997.

27. Wallentowitz H. Virtuelle Fahrzeugentwicklung–Netzwerkeals Voraussetzungen zur Problemlosung. Berlin: Erfolg in Netzwerken; Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2002.