

Badania doświadczalne oporów ruchu w przegubach przedniego zawieszenia typu McPherson wybranego samochodu osobowego

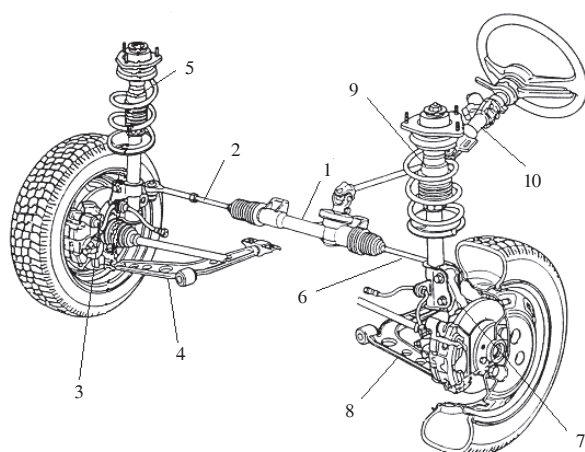
KRZYSZTOF KUBAS, ANDRZEJ HARLECKI

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych wykonanych na stanowisku zawierającym elementy przedniego (typu McPherson) i tylnego zawieszenia wybranego samochodu osobowego. W budowie stanowiska zachowano ściśle wymiary rzeczywistego samochodu. Celem badań było zlokalizowanie miejsc występowania największych oporów ruchu w przednim zawieszeniu i oszacowanie wartości tych oporów. Badania zrealizowano w dwóch etapach. W pierwszym z nich zlokalizowano wstępnie miejsca występowania największych oporów ruchu, wykorzystując w tym celu kierownicę dynamometryczną zamontowaną na stanowisku. W drugim etapie badań oszacowano wartość momentu oporu występującego podczas ruchu obrotowego jednej ze zwrotnic wokół jej osi zataczania. Uzyskane wyniki badań doświadczalnych wykorzystano w zaproponowanej metodologii wyznaczania dynamicznych charakterystyk współczynników tarcia suchego w wybranych przegubach przedniego zawieszenia typu McPherson samochodów osobowych.

1. Wiadomości wstępne

Budowę przedniego zawieszenia typu McPherson przedstawiono na rysunku 1. Układ kierowniczy samochodów osobowych z zawieszeniem typu McPherson był przedmiotem wielu krajowych badań doświadczalnych. Wśród nich można wymienić badania Januszewskiego [1÷4] oraz Januszewskiego i Barszcza [5], które wykonano w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie, a także badania Knapczyka i Maniowskiego [6] oraz Niemczyka [7], wykonane w Instytucie Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej. Badania Niemczyka, ze względu na podobieństwo podjętej tematyki, wydają się być szczególnie interesujące. Ich wyniki pozwoliły na dokonanie analizy wpływu wybranych parametrów (geometrycznych i fizycznych) charakteryzujących przeguby kuliste, stosowane w układach przedniego zawieszenia samochodów, na wartość występującego w nich momentu tarcia. Na podstawie tych wyników, w publikacjach [7, 8] zaproponowano empiryczny wzór pomocny do określenia wartości tego momentu.



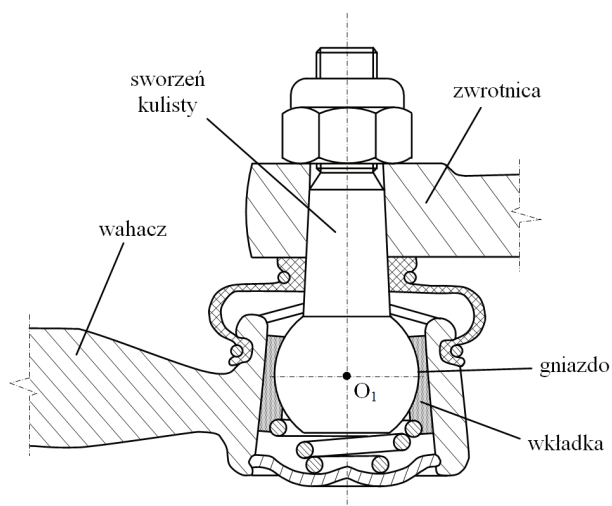
- | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 - zębatka, | 6 - lewy drążek kierowniczy, |
| 2 - prawy drążek kierowniczy, | 7 - lewa zwrotnica, |
| 3 - prawa zwrotnica, | 8 - lewy wahacz, |
| 4 - prawy wahacz, | 9 - lewa kolumna typu McPherson, |
| 5 - prawa kolumna typu McPherson, | 10 - kolumna kierownicza |

Rys. 1. Przednie zawieszenie typu McPherson.

Fig. 1. McPherson front suspension.

W analizowanym przednim zawieszeniu, w miejscach połączeń zwrotnic z wahaczami, montowane są sworznie kuliste (rys. 2) osadzone częściami kulistymi w wahaczach, za pośrednictwem stosownych wkładek z tworzywa sztucznego. Części stożkowe tych sworzni zamocowane są nieruchomo w zwrotnicach. W specjalistycznej terminologii połączenie wahacza ze zwrotnicą za pośrednictwem sworznia kulistego (zapewniające łączonym członom możliwość wykonywania obrotów wokół trzech wzajemnie prostopadłych osi) nazywane jest przegubem wahacza. Z powodu wstępnego (montażowego) zaciśnięcia części kulistej sworznia w gnieździe uformowanym we wkładce ruch w przegubie odbywa się ze znacznym oporem.

Zwrotnice połączone są z drążkami kierowniczymi za pomocą sworzni kulistych, których konstrukcja podobna jest do przegubów wahaczy.



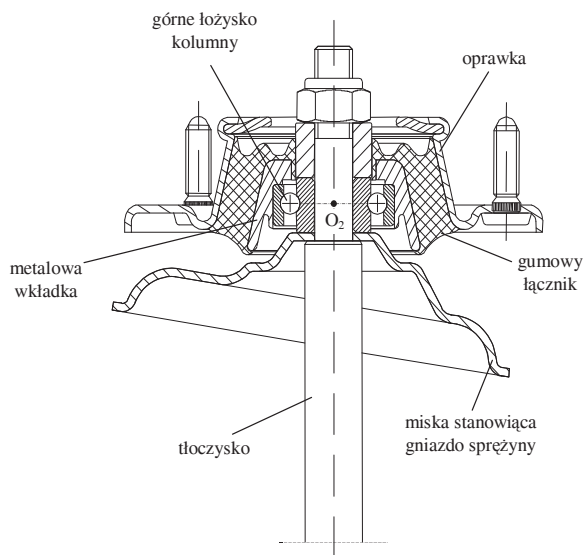
Rys. 2. Schemat przegubu wahacza.

Fig. 2. Diagram of spherical joint between suspension arm and stub axle.

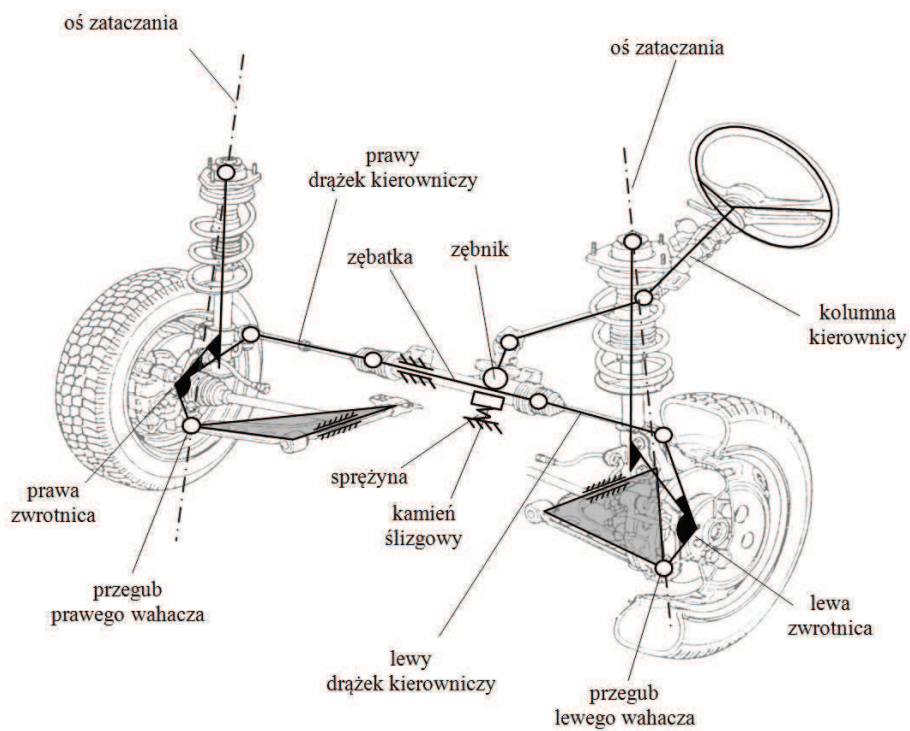
Tłoczyska kolumn typu McPherson (rys. 3) łączą się z nadwoziem samochodu za pomocą łożysk tocznych kulkowych (górnym łożysk kolumn), zamocowanych metalowymi wkładkami i gumowymi łącznikami w oprawkach, które przykręcone są śrubami do nadwozia. Sprężyny kolumn (widoczne na rysunku 1) osadzone są od góry w specjalnych miskach stykających się z wewnętrznymi (dolnymi) powierzchniami czołowymi łożysk.

Do poruszającej się przesuwnej zębatki (rys. 4), napędzanej od strony kolumny kierowniczej poprzez współpracujący z nią zębnik, dociskany jest tzw. kamień ślizgowy. Wartość siły nacisku ze strony kamienia, a tym samym wartość siły tarcia kinetycznego między nim a zębatką, zależy od ugięcia sprężyny dociskanej do kamienia za pośrednictwem specjalnej śruby regulacyjnej.

Punkt O_1 , stanowiący środek części kulistej sworznia kulistego przegubu wahacza (rys. 2), i punkt O_2 , usytuowany jak pokazano na rysunku 3, wyznaczają położenie osi obrotu danej zwrotnicy nazywanej osią zataczania (rys. 4).



Rys. 3. Ułożyskowanie tłoczyśka kolumny typu McPherson [9].
Fig. 3. McPherson strut bearing [9].



Rys. 4. Analizowane zawieszenie z wyszczególnieniem osi zataczania.
Fig. 4. Analysed suspension with kingpin axis being specified.

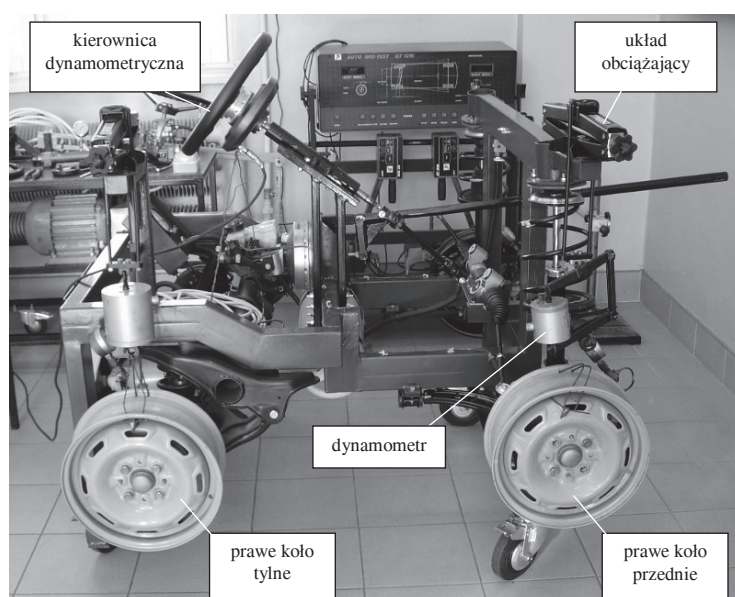
2. Badania stanowiskowe – wstępna lokalizacja miejsc występowania największych oporów ruchu

Celem niniejszego etapu badań było wstępne zlokalizowanie w obrębie przedniego zawieszenia miejsc występowania największych oporów ruchu.

Do przeprowadzenia badań wykorzystano stanowisko badawcze (rys. 5), zbudowane w postaci obudowy (ramy), do której zamocowano elementy przedniego (typu McPherson) i tylnego zawieszenia analizowanego samochodu. Koła przednie mogły być dodatkowo obciążane siłami pionowymi za pośrednictwem specjalnego układu obciążającego – odpowiadało to sytuacji, gdy samochód ustawiony jest przednimi kołami na obrotnicach o pomijalnych oporach ruchu. Wartość siły obciążającej można było regulować i kontrolować za pomocą zastosowanego dynamometru. Zrealizowane pomiary podzielono na dwie grupy, tzn. pomiary prowadzone, gdy:

- I przednie koła były nieobciążone – odpowiadało to sytuacji, gdy samochód znajduje się na podnośniku a jego przednie koła swobodnie „zwisają”;
- II przednie koła były obciążone – odpowiadało to sytuacji, gdy samochód przednimi kołami ustawiony jest na obrotnicach o pomijalnych oporach ruchu.

Założono, że badaniom podlegać będzie tylko jedna, wybrana (a w szczególności prawa, patrząc z pozycji kierowcy) strona przedniego zawieszenia. W związku z tym, lewą stronę tego zawieszenia fizycznie odłączono.



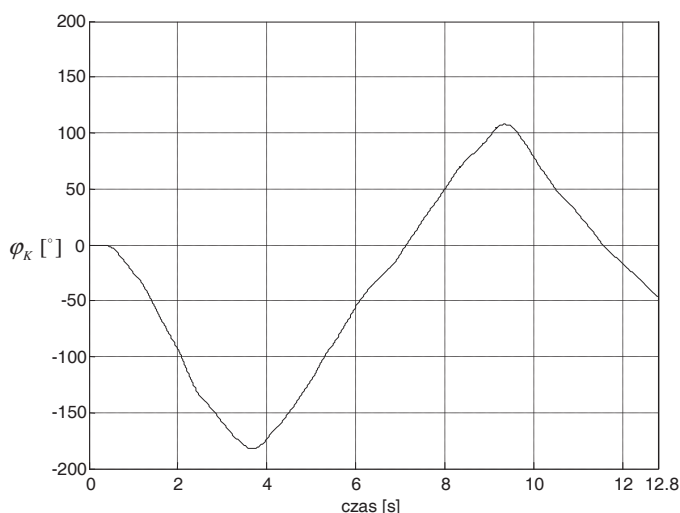
Rys. 5. Widok stanowiska badawczego.

Fig. 5. View of the research stand.

Elementy wszystkich użytych przegubów były fabrycznie nowe. Dla potrzeb badań konieczne było również zastępowanie niektórych rzeczywistych przegubów połączeniami o pomijalnych oporach ruchu (połączenia te traktowane były jako idealne, czyli „beztarciowe”). W tym celu:

- w przypadku przegubu wahacza sworzeń kulisty osadzono w specjalnie zamontowanym łożysku kulkowym wahliwym;
- w przypadku przegubu łączącego drążek kierowniczy ze zwrotnicą sworzeń kulisty osadzono w specjalnie zamontowanym łożysku ślizgowym wahliwym.

Wymuszenie ruchu, w każdym cyklu badań, polegało na jednokrotnym obrocie kierownicy dynamometrycznej, stanowiącej wyposażenie stanowiska, o określone kąty – najpierw w jedną a potem w drugą stronę. Wymuszając ruch, starano się zapewnić możliwie stałą wartość prędkości obrotowej kierownicy – ponieważ jednak jej ruch zadawany był ręcznie, w konsekwencji powodowało to za każdym razem uzyskiwanie nieznacznie różniących się czasowych przebiegów kąta obrotu kierownicy. Zrealizowany przykładowy czasowy przebiegu tego kąta, oznaczonego symbolem φ_K , przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Przykładowy przebieg kąta obrotu kierownicy.

Fig. 6. Example of steering wheel's angle of rotation.

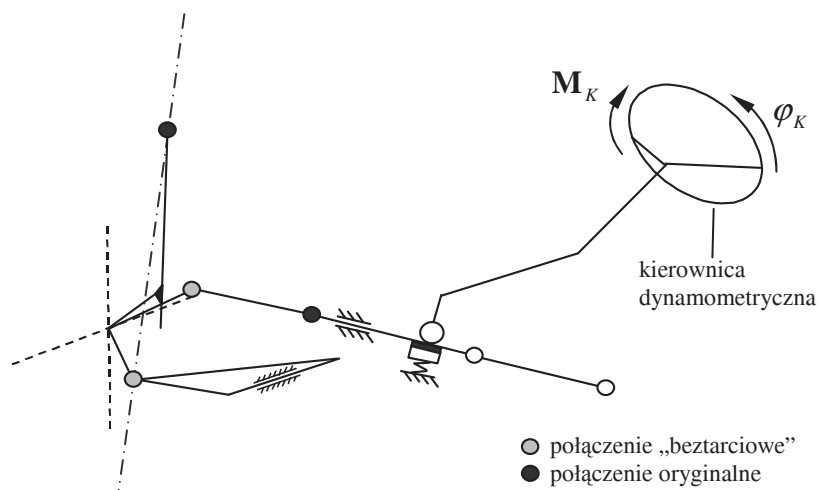
Czasowe przebiegi kąta obrotu kierownicy oraz wartości wyznaczonego momentu oporu M_K kierownicy były rejestrowane na komputerze klasy PC, zaś do edycji wyników pomiarów posłużył pakiet komputerowy MATLAB.

Badania doświadczalne, zrealizowane w ramach wspomnianej I i II grupy, podzielono na trzy etapy:

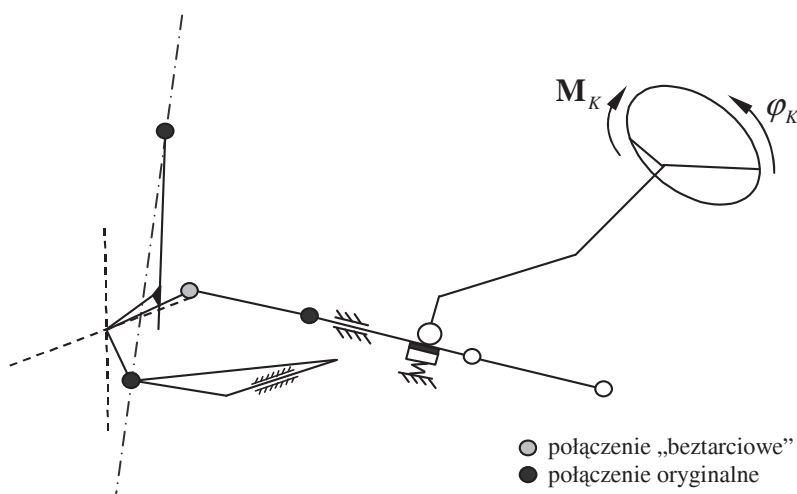
„a” – badaniu poddano układ zbudowany z: kolumny kierownicy, zębátky, drążka kierowniczego połączonego „beztarciowo” ze zwrotnicą, która z kolei połączona była również w idealny sposób z wahaczem (rys. 7);

„b” – badaniu poddano układ zbudowany z: kolumny kierownicy, zębatki, drążka kierowniczego połączonego „beztarciowo” ze zwrotnicą i wahacza (rys. 8);

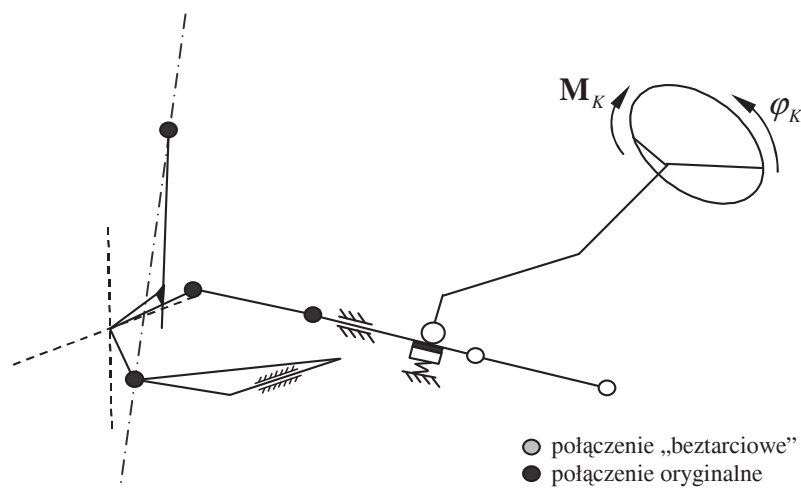
„c” – badaniu poddany został układ zbudowany z oryginalnych elementów (rys. 9).



Rys. 7. Przyjęty układ połączeń podczas realizacji etapu „a” badań.
Fig. 7. Connection system adopted during stage “a” of the research.



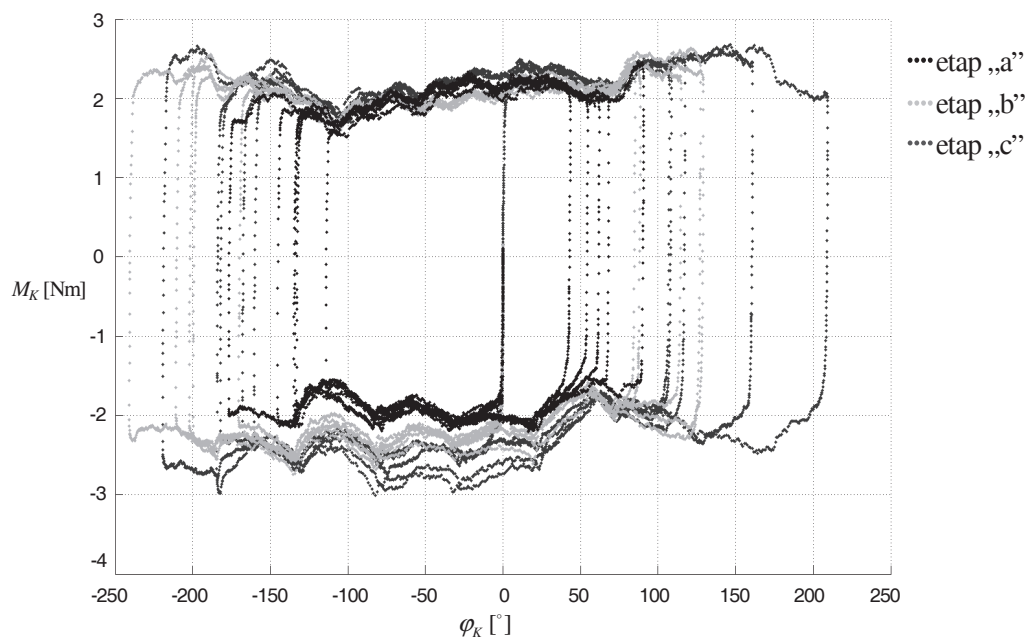
Rys. 8. Przyjęty układ połączeń podczas realizacji etapu „b” badań.
Fig. 8. Connection system adopted during stage “b” of the research.



Rys. 9. Przyjęty układ połączeń podczas realizacji etapu „c” badań.
 Fig. 9. Connection system adopted during stage “c” of the research.

W przypadku etapu „a” badań wyznaczono wartość składowej momentu oporu M_K , wynikającej z oporu w przesuwym połączeniu zębataki z prowadnicą (to znaczy przede wszystkim – z kamieniem ślizgowym dociskanym do zębataki sprężyną). Badania zrealizowane w ramach dwóch pozostałych etapów pozwoliły na wyznaczenie wartości dodatkowych składowych momentu M_K , wynikających z oporu w przegubie wahacza (w przypadku etapu „b” badań) oraz z sumarycznych oporów w przegubie tego wahacza i przegubie drążka kierowniczego łączącego go z prawą zwrotnicą (w przypadku etapu „c” badań).

Na rysunku 10 przedstawiono wyznaczone czasowe przebiegi wartości momentu oporu M_K , wyrażone w zależności od kąta obrotu kierownicy φ_K , w przypadku zawieszenia z nieobciążonymi kołami (czyli I grupy badań). Z przedstawionych wykresów wynika, że opór w połączeniu przesuwym zębataki z prowadnicą jest dominujący. Uzyskane wyniki, zgodne z „intuicją inżynierską”, dowodzą również, że opory ruchu występują zarówno w przegubie wahacza, jak i w przegubie łączącym drążek ze zwrotnicą. Analiza przedstawionych wykresów wykazuje wyraźny wpływ obu tych oporów na wartość momentu oporu M_K .

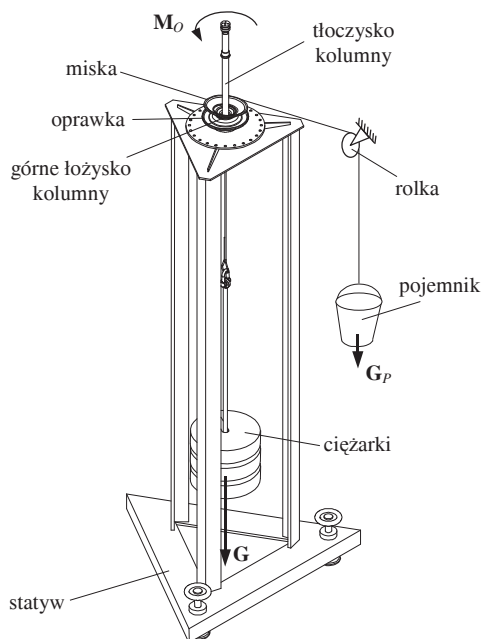


Rys. 10. Zestawienie wyników pomiarów wartości momentu oporu M_K .
 Fig. 10. Listing of measurement results for values of resistance torque M_K .

Podobne przebiegi uzyskano w przypadku przedniego zawieszenia z obciążonymi kołami (czyli II grupy badań).

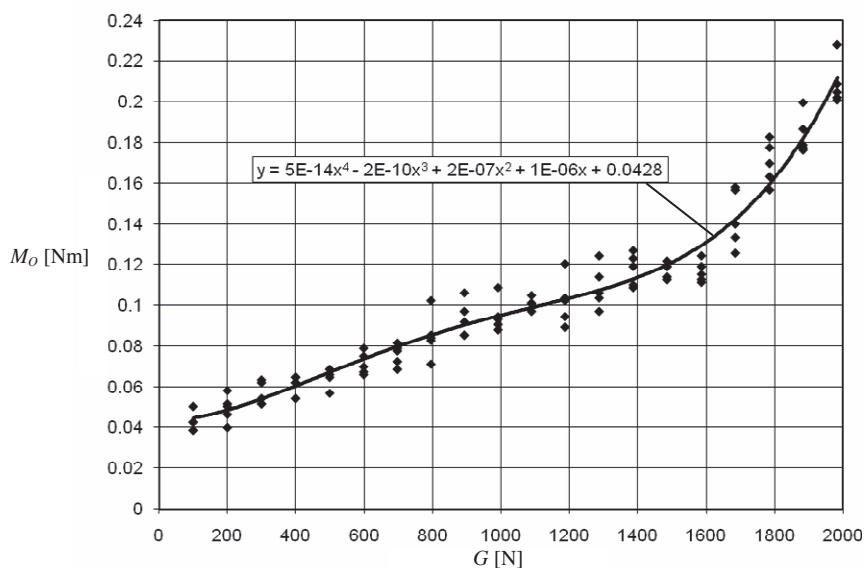
3. Badania stanowiskowe – wyznaczenie oporów występujących podczas ruchu obrotowego analizowanej zwrotnicy wokół jej osi zataczania

Przystępując do tego etapu badań, na wstępie postanowiono wyznaczyć wartość momentu oporu M_O w górnym łożysku kolumny. W tym celu zbudowano kolejne (pomocnicze) stanowisko badawcze (rys. 11).



Rys. 11. Budowa stanowiska do pomiaru wartości momentu oporu M_O .
 Fig. 11. Structure of the stand for measuring the values of resistance torque M_O .

Oprawkę górnego łożyska kolumny, wraz z łożyskiem i miską, zamocowano na statywie. Tłoczysko kolumny obciążono ciężarkami o masie 10 kg każdy, których oddziaływanie miało symulować pionowe obciążenie G kolumny (a więc również i koła) w rzeczywistym samochodzie. Do miski przymocowano cięgno, które przewieszono przez ułożyskowaną „beztarciowo” rolkę, a jego drugi koniec przywiązano do pojemnika z piaskiem. Realizując badania, zwiększano bardzo powoli ilość tego piasku, aż do chwili wystąpienia ledwo „wyczuwalnego” ruchu w łożysku. Znajomość maksymalnej wartości siły G_p , wywieranej poprzez cięgno na miskę ze strony wypełnionego piaskiem pojemnika (a więc wartości tej siły powodującej wystąpienie ruchu w tym łożysku), pozwoliła na orientacyjne określenie wartości momentu oporu M_O w tym łożysku.

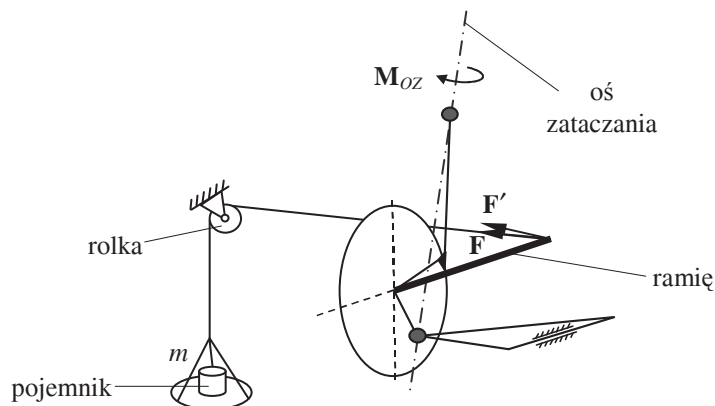


Rys. 12. Aproksymacja wyników pomiarów wartości momentu oporu M_O .
 Fig. 12. Approximation of measurement results for values of resistance torque M_O .

Na rysunku 12 przedstawiono sposób aproksymacji wyników pomiarów momentu oporu M_O , w przypadku stopniowego obciążania kolumny, wielomianem potęgowym 4. stopnia (aproksymacja wielomianami wyższych stopni nie powodowała już powstania znaczących różnic w uzyskiwanych wynikach, a więc okazała się bezzasadna). Postać wyznaczonego wielomianu opisano bezpośrednio na rysunku. Uzyskany przebieg wskazuje, że wartość momentu oporu M_O – wskutek obciążania kolumny – wzrosła od 0.04 Nm do 0.21 Nm. Ponadto można zauważyć, że w zakresie do wartości siły równej około 1500 N wartość momentu oporu rosła prawie liniowo. Dopiero powyżej tej granicy można stwierdzić nieliniowość uzyskanej, wyraźnie teraz wznoszącej się, charakterystyki.

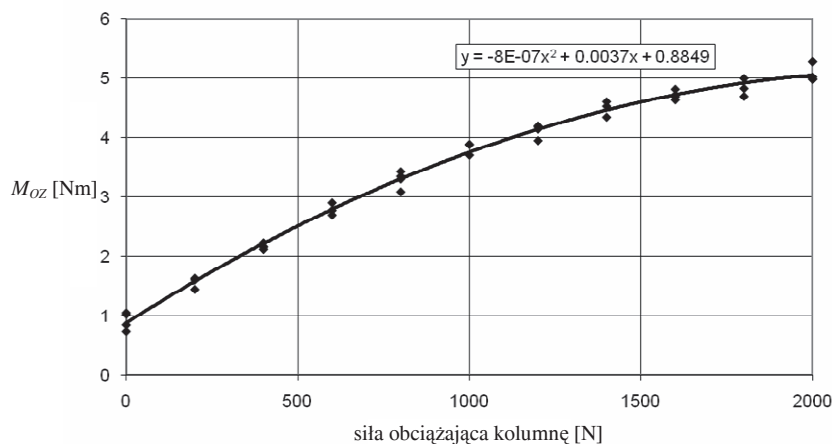
Kolejnym etapem badań był pomiar wartości momentu oporu M_{OZ} zespołu prawej zwrotnicy (rozumianego jako zwrotnica z kołem i kolumną) wraz z układem obciążającym w ruchu obrotowym wokół jej osi zataczania. Poddany badaniom układ utworzony był z zespołu prawej zwrotnicy, który połączono z nadwoziem, tak jak w rzeczywistym samochodzie (rys. 13). Zawężono zatem obszar badań wyłącznie do analizy oporu ruchu w górnym łożysku kolumny i przegubie wahacza. Budując stanowisko, do koła przymocowano sztywne ramię, zaś do jego końca przywiązano ciężko, opasujące ułożyskowaną „beztarciowo” rolkę, które obciążono pojemnikiem z piaskiem. Obciążanie układu odbywało się wskutek bardzo wolnego dosypywania piasku do pojemnika (zwiększano w ten sposób stopniowo wartość zaznaczonej na rysunku siły F równą ciężarowi pojemnika z piaskiem). Siła ta spowodowała w pewnej chwili ledwo wyczuwalny obrót badanego zespołu zwrotnicy wokół jej osi zataczania. W celu wyznaczenia wartości momentu siły F względem osi zataczania, równej szu-

kanej wartości momentu oporu M_{OZ} , należało zrzutować tę siłę na płaszczyznę prostopadłą do osi zataczania, otrzymując siłę F' . Znając wartość tak wyznaczonej siły oraz ramię jej działania względem osi zataczania (oszacowane na drodze przybliżonych pomiarów) można było obliczyć wartość momentu siły F względem osi zataczania, a tym samym wartość momentu oporu M_{OZ} .

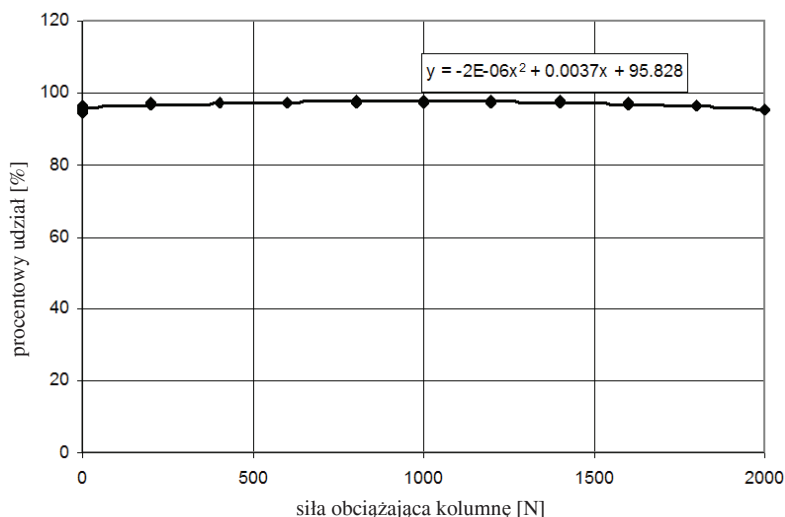


Rys. 13. Sposób pomiaru wartości momentu oporu M_{OZ} .
Fig. 13. Method of measuring the values of resistance torque M_{OZ} .

Na rysunku 14 zilustrowano przebieg wartości badanego momentu oporu M_{OZ} w zależności od wartości siły obciążającej kolumnę. Przebieg ten wyznaczono po zaproksymowaniu wyników badań wielomianem potęgowym 2. stopnia (uwzględniony stopień wielomianu wynikał z uzyskanego rozkładu wyników pomiarów).



Rys. 14. Aproksymacja wyników pomiarów momentu oporu M_{OZ} .
Fig. 14. Approximation of measurement results for values of resistance torque M_{OZ} .



Rys. 15. Procentowa zależność badanych momentów jako funkcja wartości siły obciążającej kolumnę.

Fig. 15. Percentage relation of analysed torques as a function of force applied on the column.

Korzystając z ostatniego i przedostatniego zestawu wyników badań, można było wyznaczyć procentowy udział wartości momentu oporu w przegubie wahacza w wartości momentu oporu M_{OZ} . Na rysunku 15 przedstawiono przebieg tej wielkości w zależności od wartości siły obciążającej kolumnę. Jak można zauważyć, w całym badanym zakresie wartości siły obciążającej kolumnę, wartość momentu oporu w przegubie wahacza była tylko nieznacznie mniejsza od wartości momentu oporu M_{OZ} . Wynika z tego, że – niezależnie od wartości siły obciążającej kolumnę – udział momentu oporu M_O w górnym łożysku kolumny w wartości momentu oporu M_{OZ} zespołu zwrotnicy jest pomijalny, a zatem w praktyce wartość tego momentu jest niemal tożsama z wartością momentu oporu w przegubie wahacza.

4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wykazała, że – w badanym zakresie ruchu kierownicy i przy zadanym sposobie ustawienia przednich kół – największy opór występuje w przesuwym połączeniu zębatego z prowadnicą, przegubie wahacza oraz przegubie łączącym drążek ze zwrotnicą.

Ponadto można zauważyć, że – niezależnie od wartości pionowej siły obciążającej kolumnę typu McPherson – wartość momentu oporu M_O w górnym łożysku kolumny jest pomijalnie mała w stosunku do wartości momentu oporu w przegubie wahacza.

Wyniki opisanych badań doświadczalnych zostały wykorzystane do opracowania metodologii wyznaczania dynamicznych charakterystyk współczynników tarcia suchego w przegubach wahaczy samochodów osobowych z przednim zawieszeniem typu McPherson, zaproponowanej w rozprawie doktorskiej [10].

Literatura

- [1] JANUSZEWSKI W.: *Błędy przypadkowe w pomiarach charakterystyk pracy układu kierowniczego samochodu*. Biuletyn Inform. Przem. Mot., Nr 1-2, 1980.
- [2] JANUSZEWSKI W.: *Nowa metoda badań układów kierowniczych pojazdów samochodowych oparta na zastosowaniu urządzenia „programowany kierowca”*. Biuletyn Inform. Przem. Mot., Nr 3, 1974
- [3] JANUSZEWSKI W.: *O metodzie badań układów kierowniczych urządzeniem „programowany kierowca”*. Biuletyn Inform. Przem. Mot., Nr 1, 1976.
- [4] JANUSZEWSKI W. (red.): *Badanie wpływu oporów ruchu mechanizmu zwrotniczego układu kierowniczego na czynne bezpieczeństwo kierowania samochodem*. Oprac. Problem. Nr BLT.001.97.B, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa 1997.
- [5] JANUSZEWSKI W., BARSZCZ Z.: *Problemy dotyczące pomiaru siły przykładanej do kierownicy samochodu kategorii M1, badanego zgodnie z wymaganiami regulaminu ECE Nr 79*. Materiały Konferencji KONMOT, Pojazdy samochodowe, Kraków 1996.
- [6] KNAPCZYK J., MANIOWSKI M.: *Badania stanowiskowe oporów w układzie kierowniczym samochodu osobowego*. Materiały VIII Międzynarodowego Sympozjum Instytutu Pojazdów Mechanicznych WAT „Doskonalenie Konstrukcji oraz Metod Eksploatacji Pojazdów Mechanicznych”, Warszawa-Ryńia 2002.
- [7] NIEMCZYK G.: *Wpływ właściwości przegubów na charakterystyki siłowe układu kierowniczego samochodu*. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Kraków 2005
- [8] KNAPCZYK J., NIEMCZYK G.: *Badanie momentów sił reakcji w przegubach układu kierowniczego*. Czasopismo Techniczne, Nr 7-M, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004
- [9] JANUSZEWICZ A., *Reguluję i naprawiam. Cinquecento 704/899 cm³*. Wydawnictwo Przemysłowe WEMA, Warszawa 1994.
- [10] KUBAS K.: *Metoda identyfikacji dynamicznych charakterystyk współczynników tarcia suchego w przegubach wahaczy wybranych samochodów osobowych*. Rozprawa doktorska, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Bielsko-Biała 2008.

Experimental research of motion resistance in joints of the McPherson front suspension of a selected passenger car

S u m m a r y

This paper shows the results of experimental research carried out on the stand with the elements of the front (McPherson) and rear suspension of a selected passenger car. The precise dimensions of a real car were copied during the construction of the stand. The research aimed at locating the places in the front suspension having the highest motion resistance and at establishing the values of such motion resistance. The research was done in two stages. During the first stage the places with the highest motion resistance were initially located. For this purpose a dynamometric steering wheel installed on the stand was employed. The second stage included the evaluation of the resistance torque occurring during the rotation of one of the stub axles around its kingpin axis. The results of the experimental research in question were used in the suggested methodology of determining the dynamic characteristics of the dry friction coefficients in selected joints of McPherson front suspension of passenger cars.

Praca doktorska [10], w której wykorzystano przedstawione wyniki badań doświadczalnych, została wyróżniona w Konkursie o Nagrody Fiata w 2008 roku.