MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
3-M/2012
ZESZYT 8
ROK 109
ISSUE 8
YEAR 109

KRZYSZTOF PARCZEWSKI, HENRYK WNĘK*

MODELE FIZYCZNE POJAZDÓW W SKALI DO BADANIA DYNAMIKI RUCHU

USING SCALED VEHICLES TO INVESTIGATE VEHICLES DYNAMICS

S t r e s z c z e n i e

W publikacji przedstawiono problemy związane z badaniami stateczności ruchu pojazdów. Pokazano możliwość przeprowadzenia tych badań na mobilnych modelach wykonanych w skali, podobnie jak to jest wykorzystywane w budowie samolotów i statków. Mobilne modele pojazdów są stosowane do badań drogowych, a także na specjalnych torach oraz ruchomych symulatorach drogi. Potrzeby badawcze wymuszają dostosowanie modeli i zastosowanie specjalnych torów. W artykule przedstawiono modele pojazdów w skali, wykorzystywane do badań, rodzaje torów badawczych i typowe testy oraz prace prowadzone przez Katedrę Silników Spalinowych i Pojazdów ATH.

Słowa kluczowe: samochód, badania dynamiki pojazdu, mobilne modele, stateczność ruchu

A b s t r a c t

This paper presents problems related to testing the vehicle stability. Presents the possibility of carrying out these tests on vehicles made in 1:5 scale, just as it is used in the construction of aircraft and ships. Scaled vehicles are used on testing circuit, on special tracks and rolling roadway simulators. Both the adaptation of scale vehicles and the testing tracks are used to vehicle testing depending on different research needs. The article presents various research opportunities on a scaled vehicles, test-beds, testing grounds, range of research and the anticipated work carried out by the Department of Internal Combustion Engines and Vehicles Technical University of Bielsko-Biala.

Keywords: vehicle, vehicle dynamics studies, scaled vehicle models, the stability of motion

* Dr inż. Krzysztof Parczewski, dr inż. Henryk Wnęk, Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej.

1. Wstęp

Badania dynamiki pojazdów rzeczywistych są drogie i niebezpieczne. Podobnie jak w lotnictwie, badania w mniejszej skali są prowadzone w tunelach aerodynamicznych, by sprawdzić nowe konstrukcje. W minionym wieku badania pojazdów rzeczywistych stały się bardzo drogie.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) poinformował, że 3% wszystkich wypadków lekkich pojazdów w Stanach Zjednoczonych obejmuje przewrócenia boczne, ale są one odpowiedzialne za 1/3 wszystkich ofiar śmiertelnych pasażerów samochodów osobowych [2]. W 2002 roku było 10 626 zgonów z powodu dachowania pojazdów w samych tylko Stanach Zjednoczonych. Dlatego też istnieje możliwość ratowania życia poprzez projektowanie pojazdów, które są mniej podatne na przewrócenie. Jednak badania przewrócenia bocznego rzeczywistych pojazdów są drogie i niebezpieczne. Jeśli zatem wyniki badań pojazdów w skali w kontrolowanym środowisku mogą być odniesione do dynamicznego zachowania się pojazdów pełnowymiarowych, to takie podejście może być efektywnym sposobem badania wywracania się pojazdu.

Rys. 1. Badania rzeczywistego pojazdu podczas próby J-turn

Fig. 1. Full scale vehicle on J-turn test

2. Uzasadnienie wykorzystania mobilnych modeli pojazdów do badań dynamiki ruchu

Badania dynamiki pojazdów rzeczywistych prowadzone są na poligonach badawczych – wydzielonych kompleksach dróg, umożliwiających przeprowadzenie prób drogowych w określonych i powtarzalnych warunkach. Wybudowanie i wyposażenie takiego ośrodka badań jest bardzo kosztowne. Na świecie istnieje kilkadziesiąt poligonów badawczych średnich i dużych, są one wykorzystywane przez koncerny motoryzacyjne (Ford, FIAT, Volkswagen, General Motors, Ferrari, itp. czy też firmy oponiarskie, np. Michelin). W Wielkiej Brytanii budowę toru MIRA sfinansowało 300 przedsiębiorstw [6].

Tor badawczy powinien pozwalać na przeprowadzenie różnorodnych badań pojazdów w warunkach zapewniających zachowanie bezpieczeństwa. Do najbardziej typowych elementów torów badawczych należą: tory do jazd szybkich, tory do badań dynamiki pojazdu (rozpędzania i hamowania), tory do badań stateczności i kierowalności (płyta o promieniu ~100 m), tory do badań stabilności ruchu, o różnym współczynniku przyczepności, wzniesienia o różnym kącie nachylenia, tory o różnej nawierzchni oraz tory z nawierzchnią falistą. Ze względu na zwiększający się zakres badań pojazdów, wynikający z wymagań bezpieczeństwa, zakres badań prowadzonych na torach badawczych stale się zwiększa, a wymagania dotyczące torów wzrastają. Na tego typu torach prowadzone są badania pojazdów zgodnie z normami ISO.

Badania pojazdów na torach badawczych są bardzo drogie i stwarzają niebezpieczeństwo przewrócenia pojazdu. Z tego względu szukane są inne rozwiązania pozwalające na osiągnięcie podobnych efektów mniejszym kosztem.

W Pennsylvania State University zbudowano symulator drogi z ruchomą ścieżką RRS (Rolling Roadway Simulator) do badania rzeczywistych pojazdów umocowanych do ramy, które poruszają się po ruchomym podłożu. Te systemy są nadal zbyt drogie dla wielu badaczy. W konsekwencji niektórzy badacze używają pojazdów wykonanych w mniejszej skali do testów drogowych.

Najprostszym rozwiązaniem jest użycie pojazdów w skali, poruszających się po nieruchomej drodze, takie rozwiązania spotykane są w literaturze [2,10]. Podobnie do systemów RRS rozwiązania te stwarzają wiele problemów ze sterowaniem oraz przekazywaniem danych – pomiar pojazdu w mniejszej skali wymaga większej dokładności. Z tego względu stosuje się dublowanie pomiarów. Szczególnie dotyczy to kąta znoszenia pojazdu β, kątów przechyłu ϕ, co wynika z faktu, że aparatura pomiarowa powinna być dostosowana do skali pojazdu.

Badania na ścieżkach pomiarowych RRS dla pojazdów w skali są znacznie tańsze i rozwiązują wiele problemów typowych przy pomiarach pojazdów pełnowymiarowych. Z tego względu są one używane do analizy wielu zagadnień dotyczących dynamiki pojazdów. Już w 1937 roku L. Huber i O. Dietz rozpatrywali dynamikę ruchu zestawu ciągnik z naczepą. Podobnie Y.A. Zakin w 1959 roku prowadził prace nad niestabilnością ruchu ciągników. Badacze japońscy używali RRS jako stanowiska badawczego do analizy algorytmów sterowania zawieszeń, które mogły uwzględniać własności pojazdu. Pierwsze sterowane komputerowo ścieżki RRS zostały opracowane przez S. Brennana i Allyene [2, 3, 5] na Illonois University w Urbana-Champaign. Ze względu na niedogodności przy określaniu dynamiki poprzecznej pojazdu oraz prędkości odchylania w ruchu niepłaskim pojazdu w Pennsylvania State University opracowano i wykonano laboratorium badawcze PURRS (Pennsylvania University Rolling Roadway Simulator).

Jest kilka zalet stosowania pojazdu w skali zamiast samochodu pełnowymiarowego podczas badań eksperymentalnych dynamiki:

– koszty badań pojazdu wykonanego w skali są znacznie mniejsze niż pojazdu pełnowymiarowego, to samo dotyczy materiałów eksploatacyjnych, aparatury badawczej i części zamiennych,
– znacznie łatwiej jest wprowadzić zmiany do pojazdu w zmniejszonej skali,
– badania pojazdu w mniejszej skali wymagają mniej miejsca i są dużo bezpieczniejsze w obsłudze,
– ewentualne wywrócenie pojazdu pociąga za sobą znacznie mniejsze koszty napraw.

Ponadto pojazdy wykonane w skali ze sterowaniem drogą radiową lub za pośrednictwem przewodu są dostępne na rynku w różnych rozmiarach i rodzajach, zazwyczaj są one przeznaczone do użytku rekreacyjnego. Mogą jednak służyć jako baza do budowy modeli wykorzystywanych w pomiarach.

3. Rodzaje badań

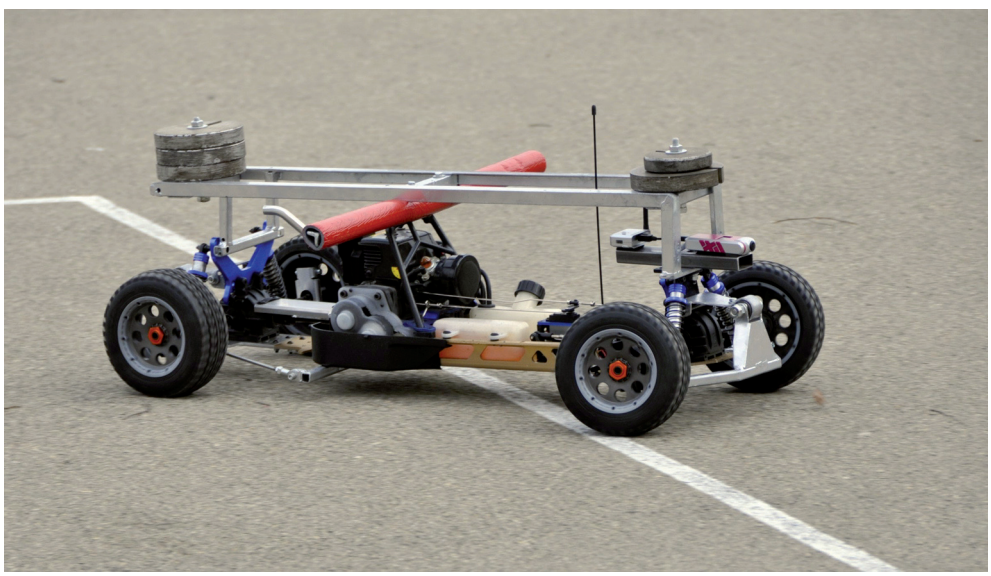
Do badania odporności pojazdu na przewrócenie na bok stosowane są sterowane radiem modele samochodów w skali od 1:10 do 1:5. Pozwalają one na porównywanie badań eksperymentalnych i przeprowadzonych symulacji. Pojazd może być modyfikowany, w celu zmiany położenia środka masy (CG), sztywności elementów sprężystych oraz wysokości środka przechyłu nadwozia. Zmiana położenia środka masy zapewnia możliwość obserwacji zachodzących zjawisk dynamicznych przy różnym rozkładzie mas. Taki model pozwala również na zmianę odległości pomiędzy wysokością środka masy i wysokością środka przechyłu, które mogą być kluczowymi parametrami przy ocenie przechyłu w ustalonych warunkach testów [2, 11]. Modele napędzane silnikami elektrycznymi z rozbudowanymi układami hamulcowymi mogą służyć do pomiarów i modyfikacji sterowania w układach zapobiegających blokowaniu kół oraz układach stabilizacji toru jazdy [9]. Modele te mogą służyć również do doboru parametrów zawieszeń. Coraz szerszy zakres badań oferują platformy z ruchomym podłożem, na których można wykonywać szereg manewrów, a przyspieszenie boczne uzyskuje się przez pochylenie platformy. W zasadzie najszerszy wachlarz badań można prowadzić na torach badawczych, wykonując większość manewrów opisanych w normach ISO.

4. Mobilne modele pojazdów

4.1. Pojazd do badań

W badaniach własnych oraz na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że do badań pojazdu wykorzystywane są mobilne modele pojazdów w skali od 1:14 (dotyczy to pojazdów ciężarowych), 1:10, 1:5, a nawet do 1:4 (modele samochodów osobowych). Wynika to z faktu dostępności miejsca oraz możliwości zamocowania na modelu aparatury pomiarowej i wykonania pomiarów z wystarczającą dokładnością. Zazwyczaj modele wykorzystywane na platformach z ruchomym podłożem lub rampą przyspieszającą są połączone z układem sterowania i zbierania danych za pomocą przewodów. Modele pojazdów poruszające się po torach zbierają dane na kartach pamięci, a sterowane są drogą radiową. W literaturze spotykane są opisane poniżej modele pojazdów.

Modele mniejsze w skali do 1:8 są napędzane silnikami elektrycznymi. Modele większe są zazwyczaj napędzane silnikami benzynowymi z wyjątkiem tych, które są używane w pomieszczeniach zamkniętych. W zależności od tego, który z układów ma istotny wpływ na zachowanie się modelu podczas badań, układy te są modyfikowane i rozwijane do badań. Długości, położenia środka masy czy też wysokości osi przechyłu oraz momenty bezwładności są modyfikowane tak, by z zachowaniem podobieństwa przedstawiać odpowiednie pojazdy rzeczywiste. Fabrycznie montowane silniki sterowania układu kierowniczego nie zawsze okazują się wystarczające, czasem wymagana jest zmiana na serwomotory z krótszym czasem reakcji. Problemem stają się również opony, których charakterystyki, szczególnie w zakresie sztywności kątowej, są różne w zależności od stosowanego ogumienia (pełnego, z wkładkami lub pneumatycznego) [4].



Rys. 2. Model pojazdu w skali 1:5

Fig. 2. Scaled vehicle 1:5

4.2. Aparatura pomiarowa

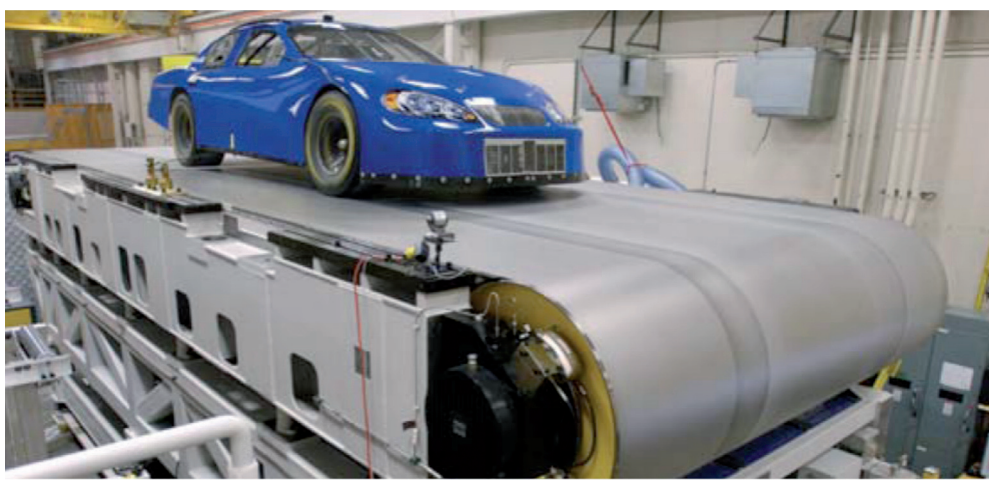
W pojazdach „na uwięzi” – połączonych z platformą za pomocą ramion enkodery mogą określać pozycje modelu pojazdu oraz mogą służyć do wyznaczania prędkości i kierunku jazdy. Na pojeździe montuje się czujniki dublujące pomiary lub zwiększające ich dokładność. W modelach stosowanych na pochylniach na pojeździe musi być zamontowana aparatura określająca opóźnienia pojazdu, prędkości kątowe względem osi X, Y i Z oraz prędkości obrotowe kół. W pojazdach wykorzystywanych na torach badawczych montuje się aparaturę podobną do stosowanej przy badaniach pełnowymiarowych pojazdów. Zazwyczaj aparatura pomiarowa składa się z dwóch żyroskopów o zakresie pomiarowym 150 deg/s przy szerokości pasma 40 Hz, jednego dwuosiowego akcelerometru o zakresie pomiarowym ± 2 g przy 50 Hz, odbiornika GPS oraz mikroprocesora. Żyroskopy są odpowiednio zorientowane, aby

uzyskać wielkości przechyłu i odchylenie modelu samochodu w skali. Akcelerometr jest umieszczony w płaszczyźnie poziomej dla uzyskania podłużnych (x) i bocznych (y) przyspieszeń. Odbiornik GPS zapewnia pomiar pozycji pojazdu, prędkości i toru jazdy, a gdy używany jest w połączeniu z akcelerometrami i żyroskopami, może również mierzyć poślizg boczny pojazdu [10, 12].

5. Tory pomiarowe

Niektóre własności samochodu mogą być badane na torach specjalnych. Badania na ruchomym podłożu mogą być prowadzone dla prób rozpędzania i hamowania pojazdu. W takim przypadku pojazd jest mocowany nieruchomo do ramy, a ruchome podłoże symuluje ruch pojazdu [1, 2].

Na rysunku 3 przedstawiono pojazd zamocowany do ramy pomiarowej, poruszający się na ruchomym podłożu.



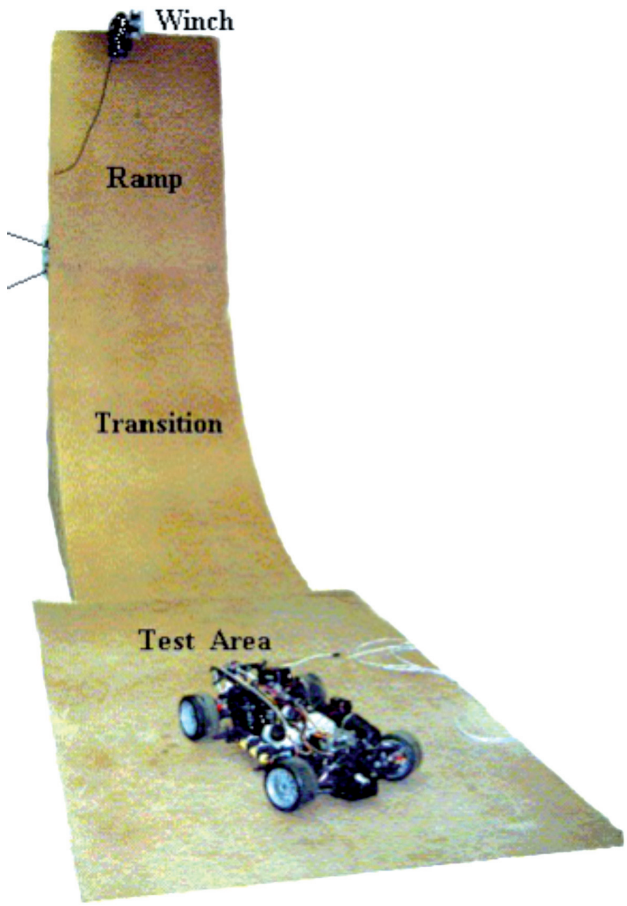
Rys. 3. Pojazd ustawiony na ruchomym podłożu [1]

Fig. 3. Vehicle on rolling roadway [1]

Badania pojazdów w skali mogą być prowadzone zarówno na torach badawczych, jak i na platformie z ruchomą nawierzchnią oraz na specjalnych torach do wybranych analiz, na których istnieje możliwość badania tylko pojazdów w skali.

Jednym z takich rozwiązań jest tor z częścią pochyłą, pozwalającą na rozpędzenie badanego pojazdu do określonej prędkości, a po zjechaniu z pochyłości na badanie stabilności ruchu pojazdu podczas hamowania. Badania tego typu były prowadzone w Texas University w Austin [9]. Tor badawczy składa się z rampy przyspieszającej oraz ścieżki testowej. Na górze rampy zamontowana jest wyciągarka w celu ustawienia pojazdu w odpowiedniej wysokości, odpowiadającej prędkości jazdy wybranej do testu. Rampa łączy się z torem przejściowym o kształcie łukowym, co pozwala na zmianę fazy ruchu z fazy przyspieszającej na fazę hamowania. Część testowa może być pokryta różnymi pokryciami syntetycznymi,

emulującymi różne nawierzchnie drogi, pozwalającymi na zmianę współczynnika przyczepności. Po zwolnieniu zaczepu i rozpędzeniu modelu pojazdu badano zachowanie się układu hamulcowego wyposażonego w system przeciwblokujący (ABS). Dobierano sterowanie układem ABS na podstawie określonych z badań sił na styku opony z jezdnią i poślizgów kół w zależności od prędkości jazdy, rozkładu nacisków na osie, a także podczas ruchu prosto i krzywoliniowego.



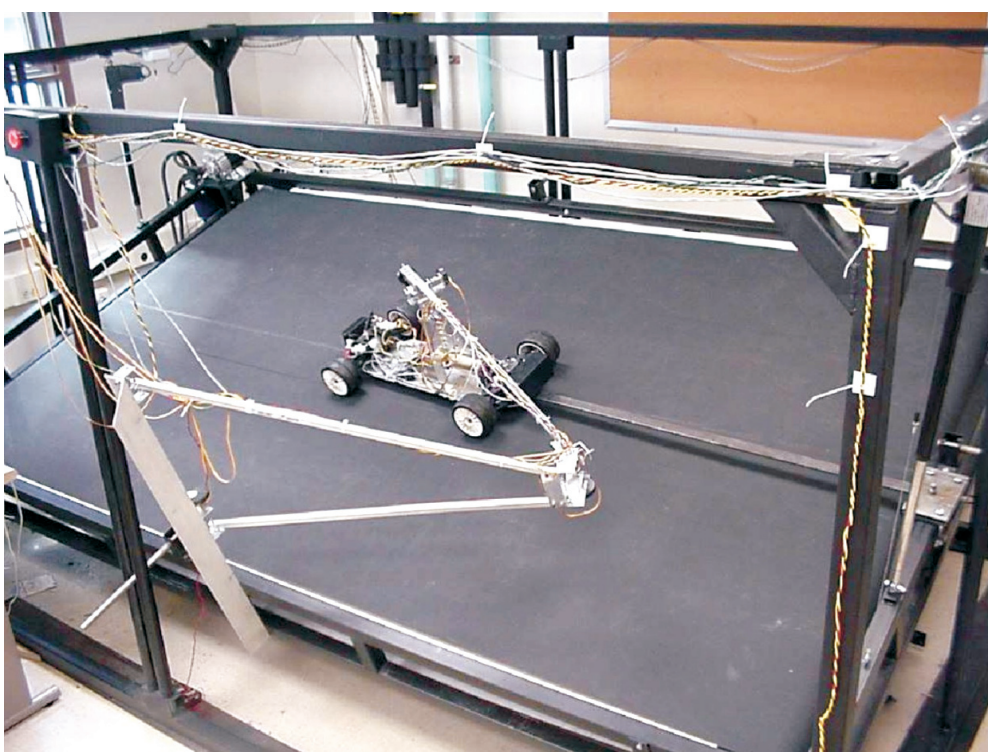
Rys. 4. Tor pomiarowy do badań manewru hamowania

Fig. 4. Measuring track for testing the braking maneuver

Inną grupą są tory testowe do badań dynamiki pojazdów z ruchomym podłożem (symulatory drogi). Symulatory drogi to stanowiska badawcze, na których pojazd w skali porusza się po ruchomej platformie. Ruchoma powierzchnia jest pokryta bieżnikiem lub gumą taką jak na podnośnikach taśmowych. Symulatory z ruchomym podłożem są rozwijane przez instytucje amerykańskie, takie jak: US Naval Academy, Auburn University, University of Michigan, Bosch R&D. Jednak tylko dwie instytucje są bardziej aktywne w tej dziedzinie, to University of Urbana-Champaign i Pennsylvania State University.

5.1. Illinois Roadway Simulator – University of Urbana-Champaign (IRS)

Symulator drogi pozwalał na ruch modelu pojazdu w skali 1:10 zasilanego silnikiem elektrycznym. Sterowanie bocznym położeniem było realizowane przez dobór prędkości przesuwu taśmy i sterowane ruchem pojazdu, tak by utrzymać się na taśmie przez cały czas próby. Prędkość przesuwu taśmy była sterowana elektronicznie w celu uzyskania odpowiedniej prędkości jazdy modelu. Pojazd był połączony z platformą za pomocą tak dobranego ramienia czujników do wielkości pojazdu, by uzyskać współrzędne pojazdu w układzie globalnym i układzie przyłożonym do środka masy pojazdu. Pomiar parametrów ruchu pojazdu był realizowany przez ramię sensorowe. Ramię wykonano z belek połączonych trzema obrotowymi przegubami, których obrót był mierzony przez enkodery umieszczone w każdym z przegubów. Ruch przegubów pozwalał na wyznaczenie prędkości w kierunkach X, Y, prędkości odchylania, pochylenia bieżni i przechyłu pojazdu. Rodzaj pokrycia bieżni ograniczał warunki ruchu bocznego. Z tego względu na symulatorze nie były możliwe bardzo agresywne manewry, takie jakie są zwykle wykonywane podczas testowania nieliniowej odpowiedzi pojazdu lub sytuacji awaryjnych na drodze. Stanowisko pomiarowe jest głównie przewidziane do analizy ruchu pojazdu przy jego liniowej odpowiedzi na manewry i w tym zakresie uzyskiwane wyniki są „dobre” i wykazują dobrą zgodność dla użytego modelu w skali [3].



Rys. 5. Tor badawczy PURRS [2]

Fig. 5. The test track PURRS

5.2. Laboratorium PURRS Pensylvania State University (PURRS)

W Pensylvania State University badano dynamikę ruchu pojazdów w skali. Laboratorium PURRS ma platformę z bieżnią o długości 3,7 m o szerokości 2,1 m, która może się pochylać na boki o kąt 25 stopni i 6 stopni do przodu i tyłu. Ramię pomiarowe działa podobnie jak IRS, lecz ze względu na wychylenie ścieżki można badać wpływ sił bocznych na opony oraz pochylenie pojazdu, co zwiększa możliwości badawcze. Pojazd w skali jest tak zaprojektowany, by opierając się na parametrach Π według teorii Buckinghama, odpowiadał samochodowi merkury tracer 1992 [2].

Zakres ruchu i przechyłów symulatora stwarza większą możliwość pomiaru, szczególnie w zakresie dynamiki przewrotu, nawet w zakresie nieliniowym działania opony. Badania prowadzone w laboratorium PURRS są pierwszym krokiem do pomiarów dynamiki płaskiej pojazdu w skali i porównania ich z pełnowymiarowym pojazdem.

6. Badania mobilnego modelu pojazdu w ATH

Badania prowadzone przez Katedrę Silników Spalinowych i Pojazdów Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej wykonywane są na torze badawczym TATRA w Koprzywnicy (Czechy) [7, 8, 10]. Parametry toru (zwłaszcza rozmiar oraz jakość nawierzchni) spełniają wymagania stawiane w realizowanych testach.

W celu odwzorowania dynamiki ruchu pojazdu rzeczywistego wykorzystywany jest sterowany radiem model pojazdu (rys. 2, 6 i 7) w skali ~1:5, co pozwala na zamontowanie aparatury pomiarowej. Jest to model pojazdu HIMOTO Raptor 5XB dostępny w sprzedaży, który zmodyfikowano do badań.

Model standardowo jest wyposażony w silnik spalinowy o pojemności 26 cm^3, sprzęgło odśrodkowe, skrzynię przekładniową, przekładnię centralną oraz dwie przekładnie główne, napędzające obie osie pojazdu. Napęd przenoszony jest przez wał na przekładnię główną mocowaną do ramy, a następnie poprzez półosie na koła. Standardowo model pozwalał na osiągnięcie prędkości 70 km/h. Koła jezdne składają się z obręczy z tworzywa oraz opon gumowych z wkładkami usztywniającymi, pozwalającymi na modelowanie sztywności opon. Rama jest wykonana z blachy aluminiowej profilowanej i wzmocnionej w części tylnej. Zawieszenia – zarówno przednie, jak i tylne – oparte są na dwóch wahaczach poprzecznych ze sprężynami śrubowymi. Hamulec jest zamontowany na wale wyjściowym z silnika w postaci pojedynczej tarczy zaciskanej podczas hamowania. Serwomotor steruje silnikiem i hamulcem. Drugi serwomotor został wykorzystany do sterowania układem kierowniczym, za pośrednictwem którego następuje przesunięcie wzdłużnego drążka kierowniczego Pojazd jest sterowany drogą radiową z użyciem stanowiska kierowcy wyposażonego w normalne koło kierownicy i pedały: przyspieszenia i hamulca (rys. 6).

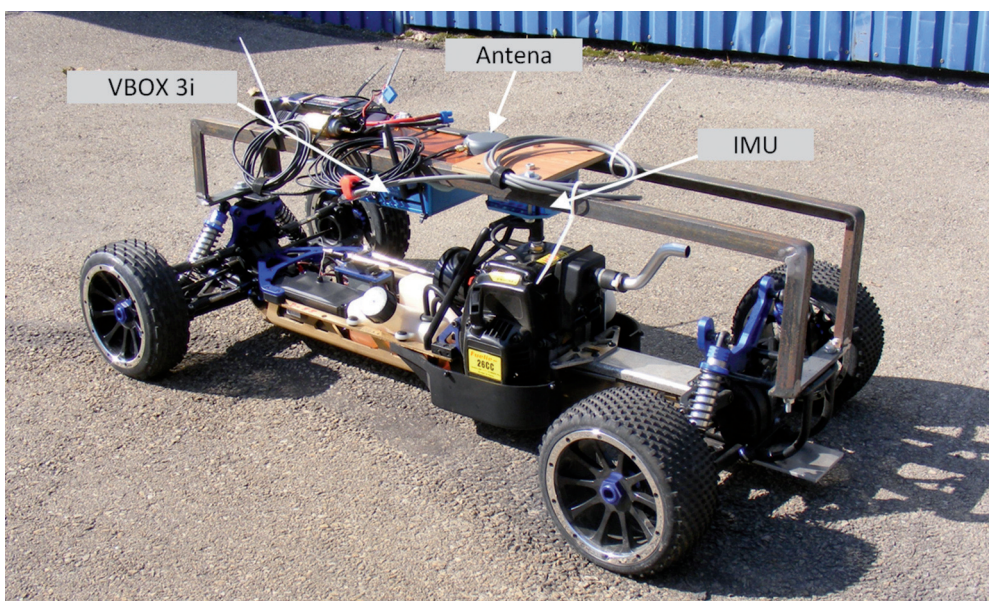
W celu zachowania warunków podobieństwa w stosunku do pojazdu rzeczywistego (pojazd ciężarowy specjalny o wysoko położonym środku masy) przeprowadzono wiele modyfikacji modelu. Obejmowały one między innymi zwiększenie rozstawu osi, zmianę położenia środka masy, zmianę masowych momentów bezwładności, zmianę zawieszenia zarówno osi przedniej, jak i tylnej z oryginalnego, niezależnego na zależne, zmianę opon o charakterystykach zbliżonych do samochodu rzeczywistego.

a) b)

Rys. 6. Model pojazdu podczas badań a) oraz stanowisko sterowania modelem b)

Fig. 6. Vehicle model during the tests a) and the test-bed of steering the model b)

Model pojazdu wyposażony został w odpowiednią aparaturę pomiarową pozwalającą na pomiar i rejestrację wszystkich istotnych parametrów jego ruchu. Jednak ze względu na niewielkie wymiary modelu pojazdu w skali występują problemy z wykorzystywaniem standardowej aparatury pomiarowej stasowanej w pojazdach pełnowymiarowych. Trudności te związane są z dużymi gabarytami aparatury standardowej uniemożliwiającej zamontowanie jej na modelu pojazdu oraz stosunkowo dużą masą wpływającą na masę modelu i położenie jego środka ciężkości. Ponadto z uwagi na małe wymiary modelu występuje konieczność stosowania aparatury pomiarowej o większej dokładności.



Rys. 7. Model z zamontowaną aparaturą pomiarowa VBOX firmy Racelogic

Fig. 7. The model with measuring apparatus Racelogic VBOX

W związku z powyższym w badaniach modelu zastosowano aparaturę pomiarową VBOX firmy Racelogic (rys. 7). Aparatura wykorzystuje zintegrowany system nawigacji satelitarnej GNSS, który składa się z amerykańskiego systemu GPS Navstar, rosyjskiego GLONASS oraz europejskiego systemu korekt EGNOS. Urządzenie VBOX 3i RTK współpracujące z blokiem inercyjnym Racelogic IMU (Inertial Measurement Unit), wyposażonym w trzy czujniki prędkości kątowych i trzy czujniki przyspieszenia mierzących parametry względem trzech wzajemnie prostopadłych osi X, Y, Z. Aparatura charakteryzuje się dużą dokładnością i szybkością pomiaru oraz niewielkimi gabarytami i małą masą, co pozwala na łatwy jej montaż na pojeździe, nie powodując jednocześnie istotnej zmiany położenia środka ciężkości. Zapis wyników pomiarów dokonywany jest na karcie pamięci Compact Flash. Na rysunku 8 przedstawiono mobilny model pojazdu zamontowaną aparaturą VBOX.

7. Wnioski

Zastosowanie mobilnych modeli pojazdów wraz z rozwojem technik pomiarowych oraz mechatroniki budzi coraz to większe zainteresowanie badaczy. Prowadzone badania na mobilnych modelach pojazdów mogą w części zastąpić, a w części ograniczyć badania rzeczywistych pojazdów. Badania mobilnych modeli prowadzone są w wielu ośrodkach badawczych w Europie (Francji, Niemczech) i USA. Zakres badań dotyczy głównie zagadnień stateczności ruchu, a także aerodynamiki, manewru hamowania wykonywanego na prosto i krzywoliniowym odcinku toru oraz manewrów skrętu. Mobilne modele są również wykorzystywane do szybkiego prototypowania sterowników do układów ABS, ESP, kierowniczych, czy też przeniesienia napędu. Tory badawcze używane do badań są mniejsze i mogą być budowane w halach, co wiąże się z możliwością korzystania z nich przez cały rok niezależnie od warunków pogodowych.

Prace prowadzone w Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów ATH w Bielsku-Białej również prowadzą do utworzenia laboratorium badania mobilnych modeli pojazdów. Modele są badane na torach do badania rzeczywistych pojazdów, lecz badania te mogą być również prowadzone na utwardzonym placu z nawierzchnią spełniającą wymagania jakościowe. Z badań wstępnych wynika, że mobilne modele pojazdów są szczególnie przydatne w badaniach, podczas których może dojść do przewrócenia pojazdu, a także w warunkach symulowania gwałtownych manewrów w zakresie nieliniowej współpracy opony z jezdnią. W takim przypadku nawet przy ewentualnym przewróceniu modelu nie występuje zagrożenie zdrowia kierowcy, a straty materialne są stosunkowo niewielkie.

Już wstępne badania pokazują, że mobilny model pojazdu wykonany w skali jest pożyteczny przy projektowaniu i badaniu całych pojazdów, a także sterowników zespołów podwozi. Istotną cechą pojazdów w skali jest powtarzalność wyników i warunków testów.

Praca powstała w trakcie realizacji projektu badawczo rozwojowego NCBR nr PB 5478/B/T02/2011/40 pt. „Ocena stateczności rzeczywistego pojazdu na podstawie badań mobilnego modelu”.

Literatura

[1] Automotive Testing Technology International, March 2012.

[2] Brennan S., Alleyne A., *The Illinois Roadway Simulator: A Mechatronic Testbed for Vehicle Dynamics and Control*, IEEE Transactions on Mechatronics, Vol. 5, No. 4, December 2000, 349-359.

[3] Brennan S., Alleyne A., A *scaled test-bed for vehicle control: the IRS*, Proc. IEEE Int. Conf. on Control Applications, Vol. 1.

[4] Glumac A. T., Brennan S., *Scale tire modeling and experimentation on a rolling roadway simulator*, Thesis The Pennsylvania State University, 2006.

[5] Lapapong S., Gupta V., Callejas E., Brennan S., *Fidelity of using scaled vehicles for chassis dynamic studies*, Vehicle System Dynamics, Vol. 00, No. 00, April 2008, 1-29.

[6] Orzełowski S., *Eksperymentalne badania samochodów i ich zespołów*, Warszawa 1995.

[7] Parczewski K., Wnęk H., *Wykorzystanie kryteriów podobieństwa do analiz stateczności ruchu na podstawie mobilnego modelu samochodu ciężarowego*, Logistyka, nr 3, 2012.

[8] Parczewski K., Wnęk H., *Wykorzystanie modelu samochodu do analizy ruchu pojazdu po torze krzywoliniowym*, Eksploatacja i Niezawodność, 4, Lublin 2010.

[9] Patil C.B., *Antilock Brake System Re-design and Control Prototyping using a One-fifth Scale Vehicle Experimental Test-bed*, Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, The University of Texas at Austin, Texas 2003.

[10] Romaniszyn K.M., *Mobilne modele samochodów do badań stateczności*, Logistyka 3, 2012.

[11] Travis W.E., Whitehead R.J., Bevly D.M., Flowers G.T., *Using Scaled Vehicles to Investigate the Influence of Various Properties on Rollover Propensity*, Proc. Amer. Control Conf., Vol. 4, Boston, MA, June 2004, 3381-3386.

[12] Yih P., *Radio Controlled Car Model as a Vehicle Dynamics Test Bed*, Mechanical Engineering Department, Stanford University, September 2000.