

# PRZYSPIESZENIA PIONOWE NADWOZIA POJAZDU PODCZAS PRZEJAZDU PRZEZ PRÓG ZWALNIAJĄCY

ROBERT JANCZUR<sup>1</sup>

Politechnika Krakowska

## Streszczenie

W artykule przedstawiono między innymi wyniki badań przyspieszeń pionowych wybranego punktu nadwozia samochodu osobowego VW Passat B5 przejeżdżającego przez próg zwalniający z różnymi prędkościami, i dla dwóch kompletów amortyzatorów, różniących się charakterystykami tłumienia. Charakterystyki pracy i tłumienia amortyzatorów wymontowanych z samochodu wyznaczono w badaniach stanowiskowych. Dla porównania oceniono stan amortyzatorów zamontowanych w pojeździe diagnostyczną metodą EUSAMA. Pomiary przyspieszeń pionowych nadwozia zrealizowano dla prędkości przejazdu 20, 30 i 40 km/h przez próg zwalniający („podrzutowy”) o profilu trapezowym. W badaniach wykorzystano różne urządzenia pomiarowe: Crossbow VG 440CA-200, VBOX RLVBiMU03 i czujnik przyspieszeń HBM B12/200. Wyniki przedstawiono w formie czasowych przebiegów przyspieszenia pionowego nadwozia samochodu, zwracając uwagę na różnice we wskazaniach przyrządów pomiarowych. Badania symulacyjne przy wykorzystaniu programu V-SIM, przeprowadzono dla faktycznego rozkładu masy na koła samochodu oraz sztywności i tłumienia w zawieszeniu kół, wyznaczonych w badaniach stanowiskowych dla obu kompletów amortyzatorów. Oceniono różnice w wynikach uzyskanych poszczególnymi metodami badawczymi oraz podano przyczyny występowania tych różnic.

**Słowa kluczowe:** przyspieszenie pionowe nadwozia samochodu, charakterystyka amortyzatora, czujnik przyspieszenia

## 1. Wstęp

Jednym z aktualnie stosowanych rozwiązań, zmierzających do ograniczenia prędkości jazdy na danym odcinku drogi, najczęściej w miejscach szczególnie niebezpiecznych, są progi zwalniające i przejścia dla pieszych o powierzchni podwyższonej w stosunku do jezdni przed i za przejściem. Rozwiązania tego typu mają dyscyplinować kierowców poprzez znaczne zmniejszenie komfortu jazdy podczas przejeżdżania przez te „elementy infrastruktury drogowej”.

Inspiracją do przeprowadzenia analizy przyspieszeń w wybranych miejscach nadwozia

---

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Al. Jana Pawła II 37, 31- 864 Kraków, e-mail: robertj@mech.pk.edu.pl

pojazdu samochodowego przejeżdżającego przez próg zwalniający oraz wpływu stanu amortyzatorów i prędkości jazdy na te przyspieszenia, były własne doświadczenia w tej kwestii oraz zdarzenie drogowe z udziałem autobusu Mercedes-Benz O 815, którego pasażerowie, podczas przejazdu przez podwyższone przejście dla pieszych z nadmierną prędkością, doznali obrażeń ciała. Okoliczności tego zdarzenia wskazywały, że wspomniany autobus, podczas jazdy z prędkością niemal dwukrotnie większą od wartości dozwolonej na przedmiotowym odcinku drogi i określonej znakiem B-33 do wartości 30 km/h, podlegał tak dużym przyspieszeniom pionowym, iż pasażerowie zajmujący miejsca w ostatnim rzędzie siedzeń, doznali obrażeń ciała w postaci kompresyjnego urazu kręgosłupa. Choć z merytorycznego punktu widzenia ustalenie przyczyn wspomnianego zdarzenia nie wydaje się skomplikowane, to jednak interesująca jest analiza wpływu prędkości przejeżdżania samochodu przez elementy infrastruktury drogowej typu „próg zwalniający” czy „podwyższone przejście dla pieszych”, na przyspieszenia nadwozia oraz możliwości pomiarowego i symulacyjnego określenia przyspieszeń występujących w wybranych rejonach pojazdu.

Aparatura badawcza, pozwalająca między innymi na odpowiednio dokładny pomiar prędkości jazdy samochodu i przyspieszeń pionowych nadwozia, obecnie znajduje się na wyposażeniu ośrodków i laboratoriów badawczych oraz wyższych uczelni technicznych. W niniejszym artykule przedstawiono taką aparaturę i metodykę jej wykorzystania w badaniach drogowych samochodu. Ponieważ rzeczoznawcy i biegli sądowi, powoływani dla potrzeb oceny zdarzeń drogowych podobnych do wspomnianego wypadku z udziałem autobusu, nie dysponują taką aparaturą pomiarową, mogą wspomagać swoje analizy programami do symulacji ruchu pojazdów. Jednym z takich programów jest V-SIM, który powstał i jest rozwijany przez krakowską firmę Cybid sp.j. Laboratorium badawcze tej Firmy dysponuje urządzeniem VBOX 3i firmy Racelogic, które łącznie z aparaturą badawczą Zakładu Budowy Pojazdów Samochodowych Politechniki Krakowskiej, wykorzystano w przygotowaniu materiałów dla potrzeb niniejszego artykułu [2, 3, il-i4].

## **2. Pomiary przyspieszeń wybranego punktu nadwozia samochodu osobowego przejeżdżającego przez próg zwalniający**

### **2.1. Obiekt badań**

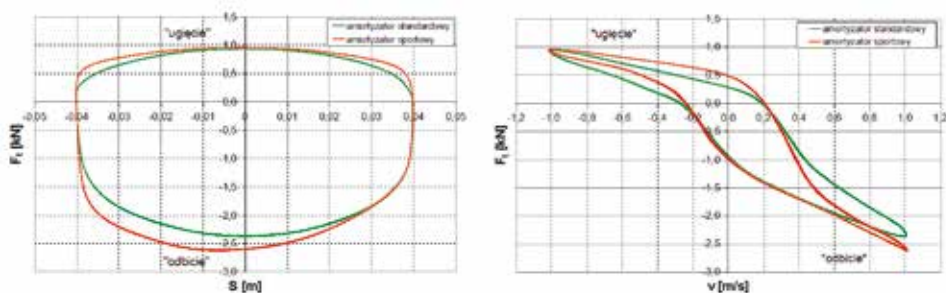
Pomiary przyspieszeń w wybranych miejscach nadwozia pojazdu przeprowadzono przy wykorzystaniu samochodu osobowego VW Passat Variant 1.9 TDI B5 wyprodukowanego w roku 2003. W czasie badań samochód był wyposażony w ogumienie Good Year 195/55 R16 (ciśnienia pompowania opon typowe dla obciążenia częściowego samochodu: przód 2,3 bar, tył 2,1 bar). Badania drogowe przeprowadzono dla dwóch kompletów amortyzatorów: standardowego i o zwiększonych siłach tłumienia – „sportowego”. W dalszej części artykułu zaprezentowano wyniki uzyskane dla amortyzatorów standardowych i „sportowych”, przy czym wersja amortyzatorów „sportowych” generowała większe przyspieszenia pionowe nadwozia niż amortyzatory standardowe, szczególnie dla małych prędkości

przejazdu przez próg [4, 6]. Wybór miejsca pomiaru przyspieszenia nadwozia był uzasadniony możliwością montażu czynnika przyspieszenia HBM, a parametry mierzone przez urządzeniami VBox i Crossbow pozwoliły na przeliczenie przyspieszenia w tym miejscu.

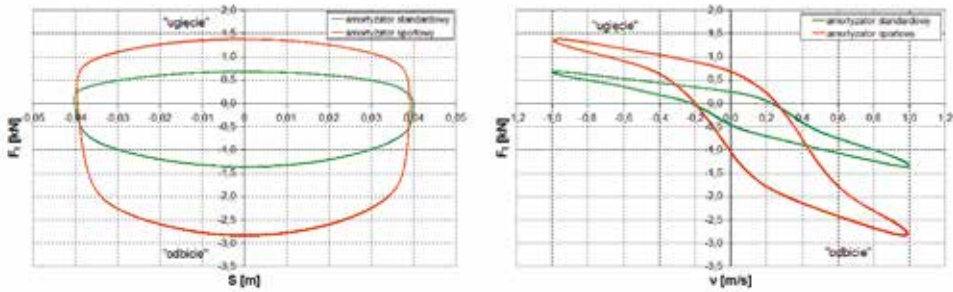
Na rys. 1 i 2 fot. 1. pokazano widok samochodu z zamontowaną aparaturą pomiarową. Charakterystyki pracy i tłumienia amortyzatorów wyznaczono na stanowisku badawczym AB 602 POLMO-PIMOT znajdującym się w Zakładzie Budowy Pojazdów Samochodowych IPSiSS PK. Stanowisko to, wyposażone w mechanizm korbowo – wodzikowy napędzany silnikiem elektrycznym o regulowanej prędkości obrotowej, umożliwia bezstopniową regulację skoku badanego amortyzatora w zakresie od 1 do 100 mm. Na rys. 3. przedstawiono porównanie charakterystyk amortyzatorów zawieszenia kół przednich dla skoku 80 mm i wybranej, przykładowej prędkości obrotowej silnika napędzającego stanowisko (pełny zakres badań obejmował siedem prędkości obrotowych dla skoku 80 mm), a na rys. 4. odpowiednio charakterystyki amortyzatorów zawieszenia kół tylnych.



Rys. 1, 2. Widok samochodu badawczego VW Passat oraz aparatury pomiarowej VBox i Crossbow zamontowanej wewnątrz samochodu



Rys. 3. Charakterystyki pracy  $P_f=f(s)$  i tłumienia  $P_f=f(v)$  amortyzatorów standardowego (linie zielone) i „sportowego” (linie czerwone) zawieszenia kół przednich samochodu VW Passat



**Rys. 4. Charakterystyki pracy  $P_t=f(s)$  i tłumienia  $P_t=f(v)$  amortyzatorów standardowego (linie zielone) i „sportowego” (linie czerwone) zawieszenia kół tylnych samochodu VW Passat**

Pomimo około dwukrotnie większych sił tłumienia amortyzatorów „sportowych” w stosunku do standardowych przeznaczonych do zawieszenia kół tylnych (rys.4.), w badaniach diagnostycznych metodą EUSAMA uzyskano różnice we wskaźniku EUSAMA dla amortyzatorów „sportowych” i standardowych ok.  $8 \div 9\%$ . Z oczywistych względów nie można porównywać wyników badań uzyskanych wspomnianymi metodami badawczymi, ale na pewno na podstawie badań diagnostycznych nie można oszacować faktycznych sił tłumienia amortyzatorów. Różnice we wskaźniku EUSAMA pomiędzy amortyzatorami dla danej osi wynosiły:

- dla amortyzatorów standardowych – dla kół przednich 5%, a dla kół tylnych – 2%,
- dla amortyzatorów sportowych – dla kół przednich 6%, a dla kół tylnych – 3%.

W czasie badań drogowych samochód VW Passat był obciążony dwoma osobami (kierowcą i osobą prowadzącą pomiary) oraz aparaturą pomiarową. Rozkład masy na koła samochodu, który został także przyjęty w komputerowych symulacjach przejazdu przez próg zwalniający, przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1. Rozkład masy samochodu na poszczególne koła**

	Masa przypadająca na koło lewe w [kg]	Masa przypadająca na koło prawe w [kg]
Koła osi przedniej	482	460
Koła osi tylnej	331	341

## 2.2. Aparatura pomiarowa

Badania drogowe samochodu VW Passat przeprowadzono przy wykorzystaniu dwóch oddzielnych, ale zsynchronizowanych ze sobą torów pomiarowych. W pierwszym torze pomiarowym, współpracującym z dwoma przetwornikami HBM Spider8 i z komputerową rejestracją danych w programie Catman, wykorzystano następujące czujniki:

- głowicę Correvit Corrsys S-CE do pomiaru prędkości jazdy,

- 9 parametrowy blok pomiarowy Crossbow VG 440CA-200 (3 przyspieszenia, 3 prędkości kątowe i 3 obroty względem trzech wzajemnie prostopadłych osi) z przetwornikiem NAV-DAC440, mierzący parametry ruchu nadwozia,
- czujnik przyspieszeń firmy HBM o oznaczeniu B12/200, mierzący przyspieszenie pionowe nadwozia.

Usytuowanie miejsc zamocowania czujników, znajdujących się w osi podłużnej samochodu i dogodnych ze względu na sposób montażu, przedstawiono na rys. 1, 2 i 5.

Drugi tor pomiarów stanowiło urządzenie VBOX 3i firmy Racelogic, skonfigurowane z następujących modułów:

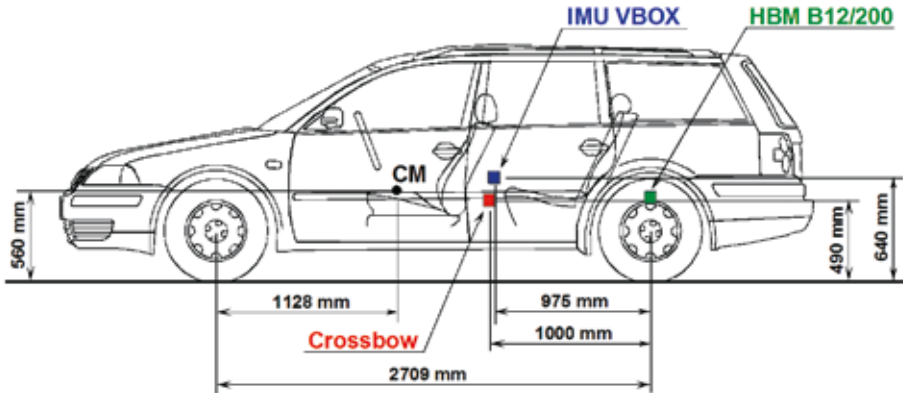
- VBOX 3i RTK – moduł z przetwarzaniem sygnałów z GPS i urządzeń peryferyjnych oraz rejestratorem sygnałów, w tym sygnałów analogowych (do 4 kanałów z przetwarzaniem 24-bitowym) i CAN o oznaczeniu VB3iR10G10,
- IMU (Inertial Measurement Unit – jednostka pomiarów inercyjnych) – moduł wyposażony w 3 czujniki prędkości kątowych i 3 przyspieszeniomierze mikroelektromechaniczne (ang. MEMs – Micro Electro-Mechanical Systems), mierzące parametry względem trzech wzajemnie prostopadłych osi, o oznaczeniu RLVBIMU03,
- CAN – moduł umożliwiający dekodowanie sygnałów z magistrali CAN samochodu i rejestrację do 16 kanałów, o oznaczeniu RLVBCAN02 (danych rejestrowanych z szyny CAN samochodu nie wykorzystano w badaniach opisanych w niniejszym artykule).

Usytuowanie modułów VBOXa pokazano na rys. 2 i 5. Zakresy pomiarowe i dokładność wspomnianej aparatury (w obszarze wykorzystanym w badaniach) zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Zakresy pomiarowe i dokładność aparatury pomiarowej [i1, i2, i3, i4]**

Mierzona wielkość	Oznaczenie	Urządzenie pomiarowe	Zakres pomiarowy	Dokładność pomiaru
Prędkość wzdłużna samochodu	$v_L$	Głowica Correvit S-CE	0–350 km/h	0,1 km/h
Przyspieszenie pionowe nadwozia	$a_{zC}$	Blok Crossbow	$\pm 4$ g	$\langle 0,5$ mg
Prędkość przechyłu wzdłużnego nadwozia	$\omega_{yC}$	Blok Crossbow	$\pm 200$ °/s	$\langle 0,02$ °/s
Kąt wzdłużnego przechyłu nadwozia	$\vartheta_C$	Blok Crossbow	$\pm 180$ °	$\langle 0,2$ °
Prędkość jazdy	$v$	VBOX	0.1–1600 km/h	0,01 km/h
Przyspieszenie pionowe nadwozia	$a_{zV}$	VBOX	$\pm 1,7$ g	$\langle 1$ mg
Prędkość przechyłu wzdłużnego nadwozia	$\omega_{yV}$	VBOX	$\pm 150$ °/s	nonlinearity 0,1% resolution 0,01 °/s
Przyspieszenie pionowe nadwozia	$a_{zH}$	HBM	$\pm 200$ m/s <sup>2</sup>	$\pm 0,2\%$

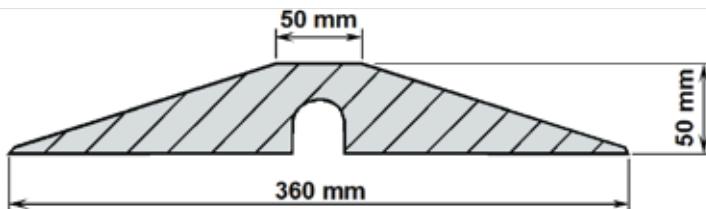
Widok zamontowanych do samochodu: głowicy Correvit oraz bloku Crossbow (dolny moduł w kolorze żółtym na rys. 2) i bloku inercyjnego IMU VBOXa (górny moduł w kolorze niebieskim na rys. 2) przedstawiono na zdjęciach stanowiących rys. 1 i 2. Przybliżone położenie tych modułów w płaszczyźnie podłużnej samochodu VW Passat pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Przybliżone usytuowanie bloków inercyjnych Crossbow i VBOX oraz czujnika HBM

### 2.3. Wyniki badań drogowych samochodu

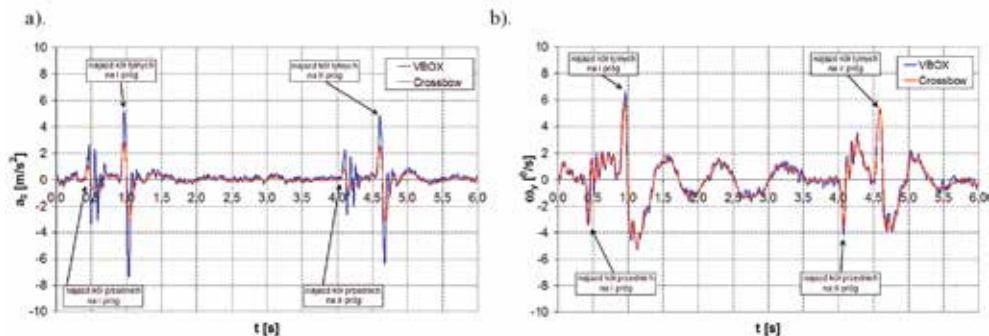
Pomiary przyspieszeń pionowych wybranych punktów nadwozia wykonano dla trzech różnych prędkości przejazdu, to jest ok. 20, 30 i 40 km/h, przez dwa kolejne progi zwalniające tzw. „podrzutowe” [1], najczęściej stosowane na drogach osiedlowych. Profil progu „podrzutowego” wykorzystanego w badaniach pokazano na rys. 6. Wg wymagań [5], projektowana graniczna prędkość przejazdu<sup>2</sup> przez taki próg jest mniejsza lub równa  $10 \div 15$  km/h. Na badanym odcinku oraz w miejscach, gdzie faktycznie stosuje się tego typu progi, wprowadzone jest ograniczenie prędkości do 20 km/h.



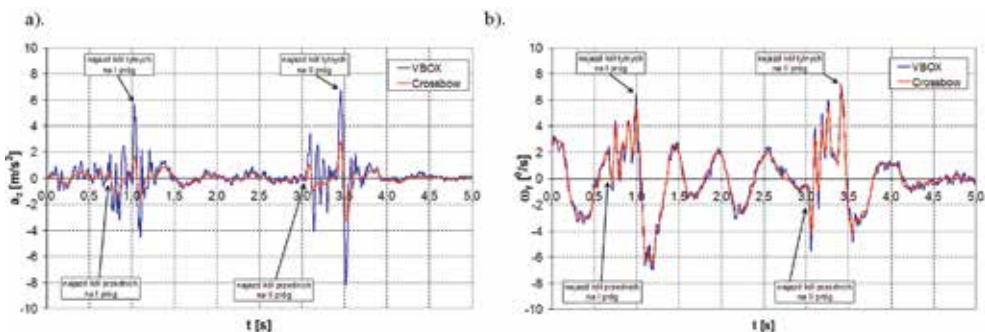
Rys. 6. Profil progu zwalniającego wykorzystanego w badaniach drogowych samochodu VW Passat

<sup>2</sup> Graniczna prędkość przejazdu przez próg - najwyższa prędkość, przy której samochód osobowy średniej wielkości (o masie  $950 \div 1050$  kg) może przejechać przez próg bez wyraźnych niedogodności ruchu oraz bez zagrożenia bezpieczeństwa ruchu [5].

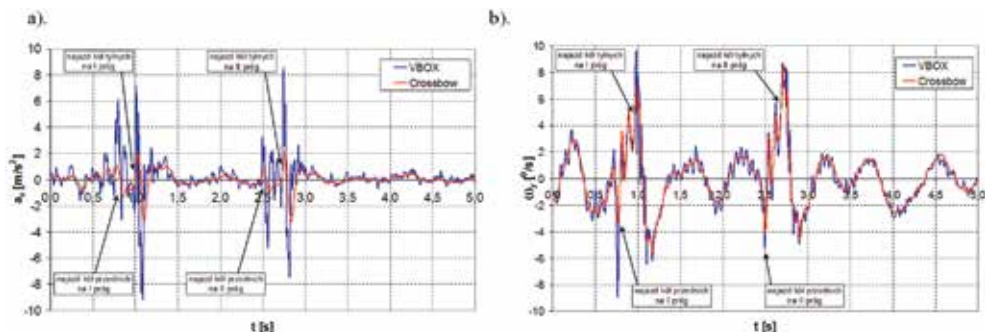
Niefiltrowane, czasowe przebiegi przyspieszeń pionowych nadwozia w miejscu mocowania urządzeń Crossbow i IMU VBOXa oraz prędkości wzdłużnego przechyłu nadwozia dla „sportowego” kompletu amortyzatorów pokazano na rys. 7 ÷ 9. Na rys. 10 zestawiono przebiegi maksymalnych przyspieszeń, uzyskanych podczas pokonywania I progu „podrzutowego” przez koła przedniej i tylnej osi samochodu wyposażonego w amortyzatory „sportowe”, dla prędkości jazdy 20, 30 i 40 km/h.



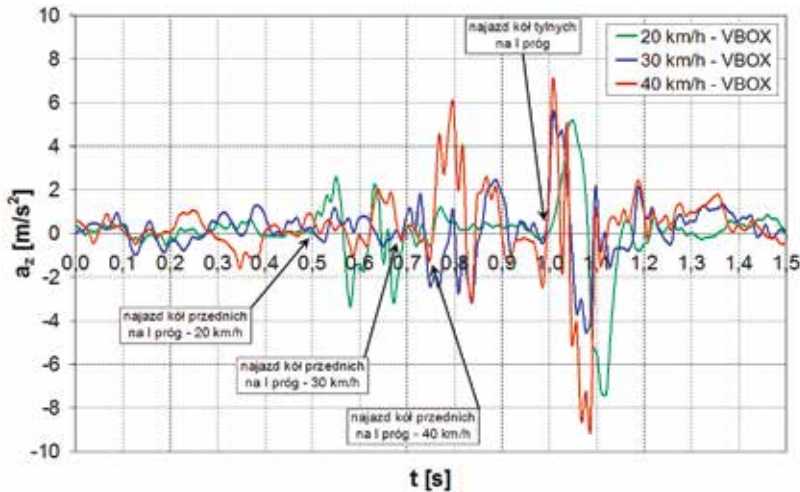
Rys. 7. Czasowe przebiegi przyspieszenia pionowego  $a_z$  i prędkości wzdłużnego przechyłu nadwozia  $\omega_y$  zmierzone urządzeniami Crossbow i VBOX – prędkość przejazdu przez progi ok. 20 km/h



Rys. 8. Czasowe przebiegi przyspieszenia pionowego  $a_z$  i prędkości wzdłużnego przechyłu nadwozia  $\omega_y$  zmierzone urządzeniami Crossbow i VBOX – prędkość przejazdu przez progi ok. 30 km/h



Rys. 9. Czasowe przebiegi przyspieszenia pionowego  $a_z$  i prędkości wzdłużnego przechyłu nadwozia  $\omega_y$  zmierzone urządzeniami Crossbow i VBOX – prędkość przejazdu przez progi ok. 40 km/h



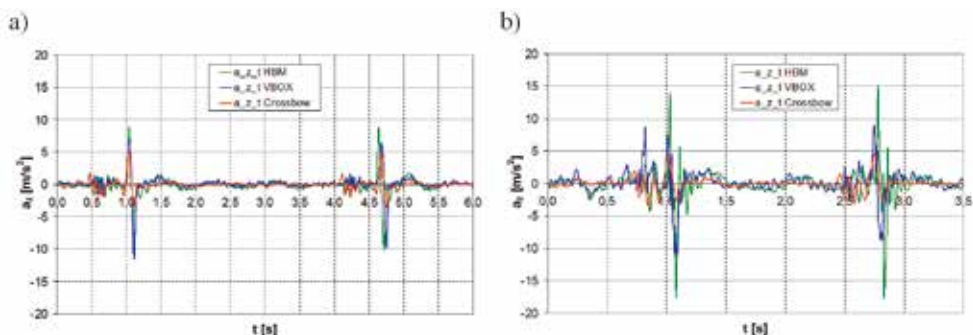
**Rys. 10. Zestawienie przebiegów przyspieszeń pionowych nadwozia  $a_z$  dla przejazdów przez próg „podrzutowy” z prędkościami 20, 30 i 40 km/h (amortyzatory „sportowe”)**

Zarejestrowane niemal w tym samym miejscu samochodu przebiegi przyspieszenia pionowego urządzeniami VBOX i Crossbow, przy częstotliwości próbkowania 100 Hz, wyraźnie się różnią. Stosunkowo gładki sygnał z bloku pomiarowego Crossbow wskazuje na przefiltrowanie przebiegu przez „elektronikę” urządzenia. Takie filtrowanie wygładza krótkotrwałe znaczne zmiany wielkości mierzonej, ale parametry filtrowania nie są podawane przez producenta urządzenia i nie mogą być modyfikowane przez użytkownika. W efekcie różnice w wartościach maksymalnych z obu urządzeń są 2,5 ÷ 3-krotne (patrz rys. 7.a.). Podobny przebieg przyspieszenia  $a_z$  do zarejestrowanego z bloku Crossbow można uzyskać poprzez uśrednianie przez 9 ÷ 10 punktów wartości uzyskiwanych z IMU VBOXa. Dla porównania na rys. 11. zamieszczono przebiegi przyspieszenia pionowego występującego nad osią kół tylnych dla amortyzatorów „sportowych”, obliczonego z parametrów zmierzonych wspomnianą aparaturą Crossbow i VBOX oraz zmierzonego bezpośrednio czujnikiem przyspieszeń HBM B12/200 umieszczonym nad osią kół tylnych (na poziomie płyty podłogowej nadwozia).

Dwukrotnie większa prędkość przejazdu przez próg zwalniający „podrzutowy” skutkowało uzyskaniem niemal dwukrotnie większych wartości przyspieszeń pionowych nadwozia nad osią kół tylnych pojazdu wyposażonego w amortyzatory o zwiększonych – w stosunku do amortyzatorów standardowych – siłach tłumienia. W tym przypadku największe zmierzone przyspieszenie pionowe, związane z uniesieniem nadwozia podczas najeżdżania kół na próg podrzutowy, osiągało wartość ok. 14 m/s<sup>2</sup>.

Przedstawione wyniki badań dowodzą, że urządzenie VBOX lepiej nadaje się do pomiaru drgań nadwozia w odniesieniu do bloku pomiarowego Crossbow, a uzyskane wyniki są bliższe parametrom zmierzonym dobrej klasy przetwornikiem przyspieszeń. Zastosowane w bloku Crossbow filtrowanie przebiegów związane jest z procedurą estymacji kątów





**Rys. 11. Czasowe przebiegi przyspieszenia pionowego nadwozia nad osią kół tylnych (obliczone – linia czerwona i niebieska) i zmierzone (linia zielona) dla dwóch prędkości przejazdu 20 km/h (wykres po lewej stronie) i 40 km/h (wykres po prawej stronie) przy zastosowaniu amortyzatorów „sportowych”,**

przechylu przy wykorzystaniu filtra Kalmana, która w zależności od dynamiki zmian stanu ruchu, z większą wagą uwzględnia sygnały z czujników przyspieszeń (w warunkach quasistatycznych) lub czujników mikromechanicznych (MEMs) prędkości kątowych (w warunkach dynamicznych).

Różnice takie nie występują natomiast w przebiegach prędkości kątowej wzdłużnego przechylu samochodu. Na podstawie prezentowanych wyników badań można uznać, że zgodność urządzeń Crossbow i VBOX w zakresie pomiarów prędkości kątowych jest dobra, tak pod względem jakościowym, jak i ilościowym.

Przeprowadzone badania wykazały, że pomiar przyspieszeń pionowych nadwozia powinien być wykonywany przy wykorzystaniu czujników i urządzeń pomiarowych nie wyposażonych w układy filtrujące. Przy doborze urządzenia pomiarowego należy zapoznać się jego charakterystyką, a w uzasadnionych przypadkach należy przeprowadzić badania wstępne, ukierunkowane na ocenę jego przydatności do konkretnych badań.

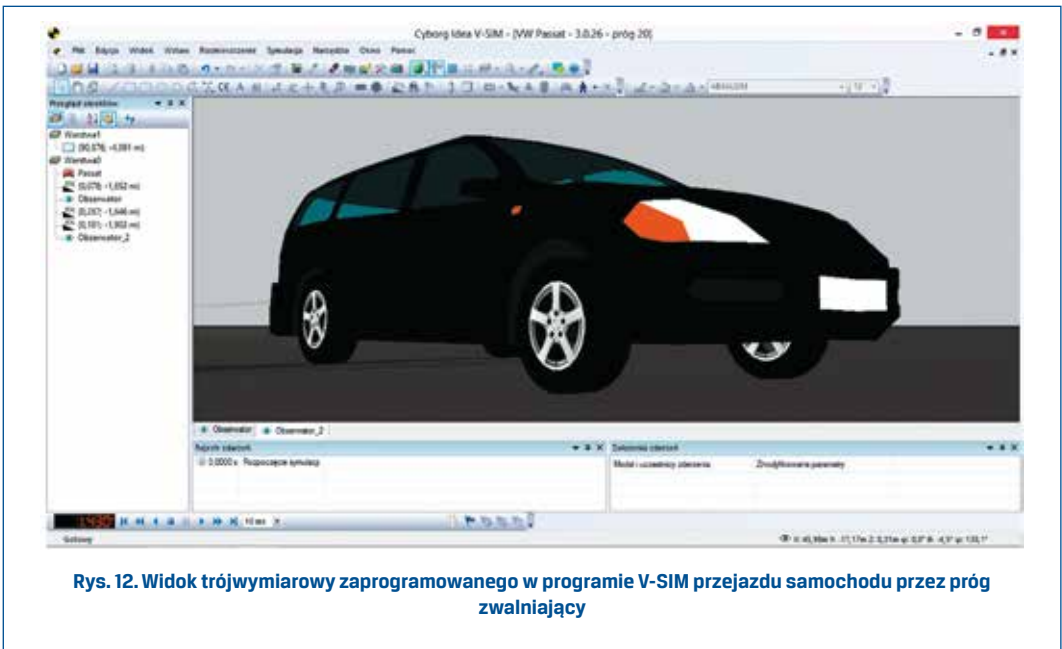
Jeżeli istnieje konieczność oceny przyspieszeń pionowych występujących w danym pojeździe przejeżdżającym przez urządzenia do ograniczania prędkości pojazdów, zasadne jest przeprowadzenie badań drogowych z wykorzystaniem odpowiedniej aparatury pomiarowej, takiej jak np. czujnik przyspieszenia czy urządzenie VBOX z blokiem inercyjnym IMU. Badania takie, o ile nie są ukierunkowane na pomiary w konkretnym miejscu pojazdu, mogą być uzupełnione w późniejszym czasie odpowiednimi obliczeniami, o ile dotyczą miejsc sztywno związanych z nadwoziem.

### 3. Komputerowa symulacja przejazdu samochodu przez próg zwalniający

Komputerowe symulacje ruchu samochodu przejeżdżającego przez progi „podrzutowe” miały na celu wykazanie, czy przy prawidłowym sparametryzowaniu modelu samochodu

w programie V-SIM w wersji 3.0 w zakresie sztywności i tłumienia zawiesznień oraz rozkładu masy na koła, możliwe jest uzyskanie wyników wystarczająco zgodnych z wynikami badań drogowych. Dlatego też w przedstawianych symulacjach wprowadzono:

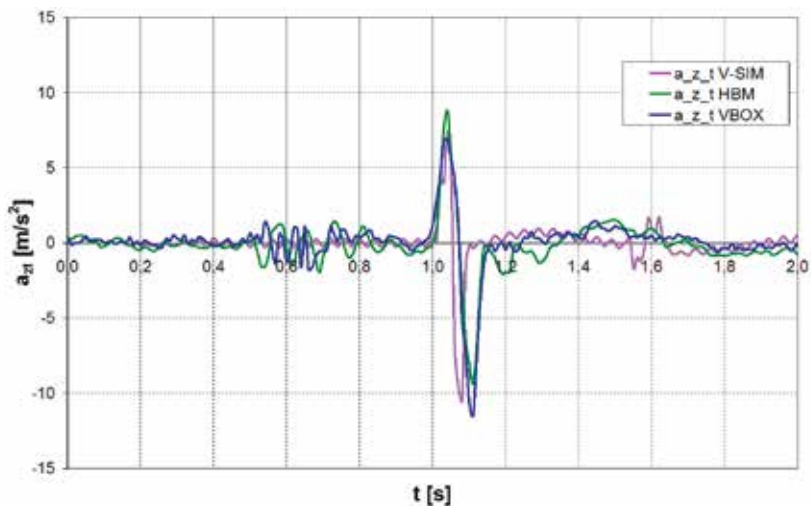
- dane samochodu VW Passat z bazy danych programu V-SIM o rozkładzie masy uzyskanym we wstępnych badaniach stanowiskowych,
- odpowiednie dane do modelu: sztywność zawieszienia: przód – 32 kN/m, tył – 28 kN/m; średnie współczynniki tłumienia drgań przez amortyzatory standardowe: (ugięcie/odbicie): przednie – 1,37/2,06 kNs/m i tylne – 1,16/1,73 kNs/m; „sportowe” (ugięcie/odbicie): przednie – 0,95/2,6 kNs/m i tylne – 1,30/2,80 kNs/m. Dane te uzyskano z charakterystyk zawiesznień wykonanych w warunkach quasistatycznych oraz w stanowiskowych badaniach amortyzatorów (o czym wspomniano w p. 2.1. artykułu). Różniły się one od danych „domyślnych” programu,
- model ogumienia TM-Easy dla opon 195/55 R16,
- próg zwalniający o wysokości 0,05 m, złożony z płaszczyzn odpowiadających profilowi pokazanemu na rys. 4 i 11.



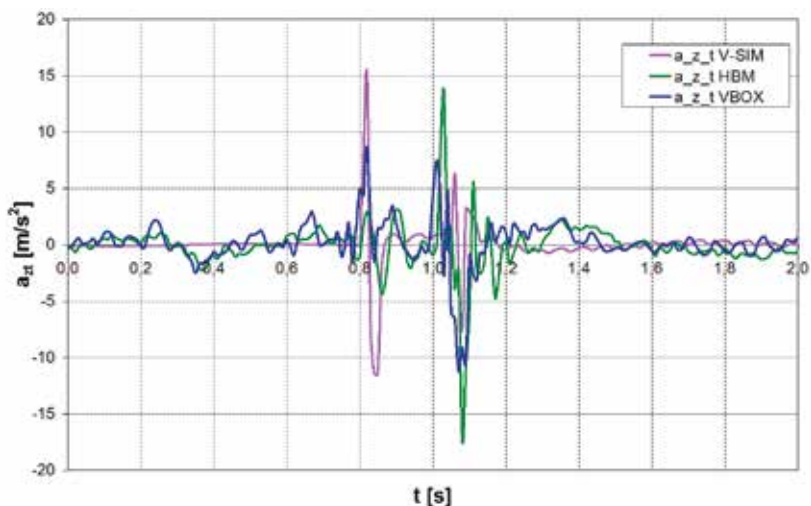
**Rys. 12. Widok trójwymiarowy zaprogramowanego w programie V-SIM przejazdu samochodu przez próg zwalniający**

Na rys. 13 i 14 przedstawiono porównanie przyspieszeń występujących na nadwoziu samochodu nad osią kół tylnych, uzyskanych podczas badań drogowych samochodu wyposażonego w amortyzatory „sportowe” (pomiarzy czujnikiem przyspieszeń HBM B12/200 oraz przeliczone z urządzenia VBOX) i przeliczonych dla wspomnianego punktu nadwozia z danych obliczonych przez program V-SIM dla środka masy pojazdu, dla prędkości przejazdu ok. 20 i 40 km/h. Do obliczeń przyspieszenia pionowego nadwozia nad osią kół tylnych wykorzystano takie dane uzyskane w programie V-SIM, jak odległość środka masy

samochodu od osi kół tylnych oraz przyspieszenie pionowe i kątowe (w ruchu obrotowym względem osi poprzecznej samochodu) środka masy.



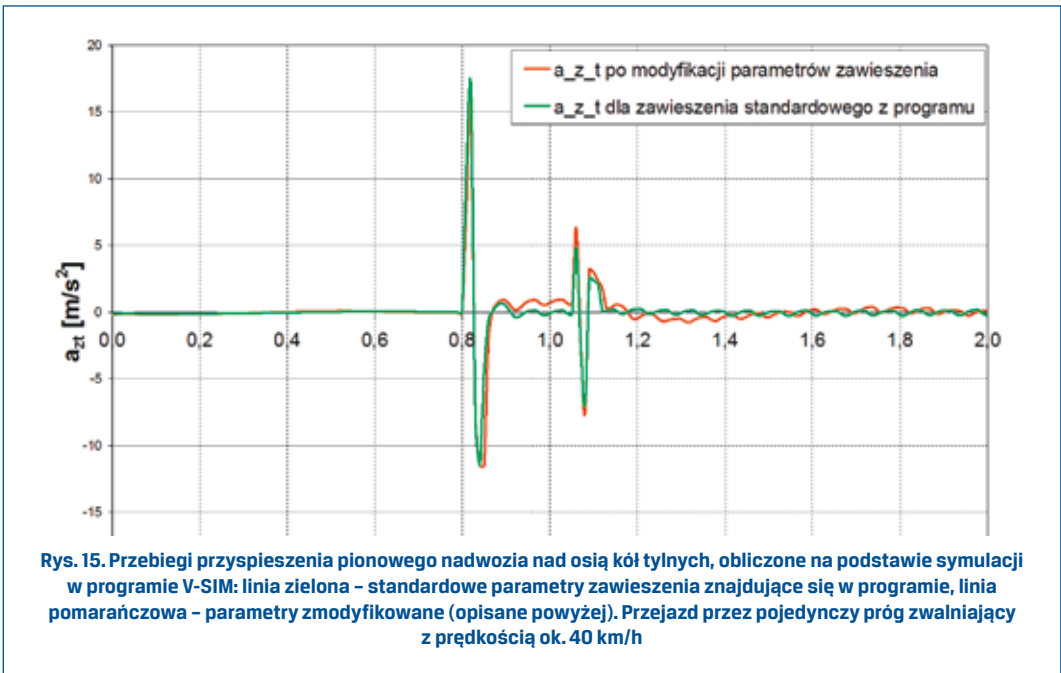
Rys. 13. Przebiegi przyspieszenia pionowego nadwozia nad osią kół tylnych (obliczone: V-SIM – linia różowa i VBOX – linia niebieska oraz zmierzone czujnikiem przyspieszeń HBM B12/200 – linia zielona) dla przejazdu przez pojedynczy próg zwalniający z prędkością ok. 20 km/h (dla samochodu wyposażonego w amortyzatory „sportowe”)



Rys. 14. Przebiegi przyspieszenia pionowego nadwozia nad osią kół tylnych (obliczone: V-SIM – linia różowa i VBOX – linia niebieska oraz zmierzone czujnikiem przyspieszeń HBM B12/200 – linia zielona) dla przejazdu przez pojedynczy próg zwalniający z prędkością ok. 40 km/h (dla samochodu wyposażonego w amortyzatory „sportowe”)

Wyniki badań symulacyjnych w kontekście pomiarów rzeczywistego obiektu nasuwają następujące spostrzeżenia:

- przy małej prędkości przejazdu samochodu przez próg zwalniający, zbliżonej do wartości 20 km/h jako prędkości dopuszczalnej określonej znakami umieszczanymi przed takimi progami, uzyskano dobrą zgodność wyników badań drogowych i symulacyjnych (rys. 13.),
- przy prędkości przejazdu przez próg zwalniający ok. 40 km/h, wyniki badań symulacyjnych przy wykorzystaniu programu V-SIM ujawniają problem matematycznego „uproszczenia” między innymi rzeczywistych zawiesznień pojazdów samochodowych. Oczywiście w takim programie nie jest możliwe wprowadzenie indywidualnych cech zawieszenia konkretnego modelu samochodu, w tym jego faktycznej podatności i zdolności do izolowania drgań generowanych na styku koła z jezdnią,
- uzyskana zadowalająca zgodność przebiegów uzyskanych z urządzenia VBOX i na podstawie symulacji wykonanych w programie V-SIM, pozwala na przynajmniej szacunkowe określenie przyspieszeń pionowych nadwozia samochodu, jakie mogą wystąpić podczas przejeżdżania przez „urządzenia do ograniczania prędkości pojazdów”. Inną kwestią jest możliwość odpowiedniego sparametryzowania modelu samochodu w programie komputerowym. Przykładowe różnice w efekcie symulacji przejazdu przez próg zwalniający przy zmodyfikowanych i standardowych wartościach sztywności i tłumienia zawiesznień samochodu pokazano na rys. 15.



### 3. Podsumowanie

Urządzenia do ograniczania prędkości pojazdów są coraz częściej stosowane na drogach osiedlowych i na pozostałych drogach, gdzie ze względu na miejsca szczególnie niebezpieczne (np. przejścia dla pieszych) istnieje potrzeba „zdyscyplinowania” kierowców w zakresie znacznego ograniczenia prędkości jazdy. Pomimo odpowiedniego oznakowania takich miejsc, nadmierna prędkość przejazdu przez progi zwalniające może skutkować dyskomfortem pasażerów pojazdu, a nawet obrażeniami ich ciała, a także uszkodzeniem przewożonego ładunku.

Ocena przyspieszeń występujących przy danej prędkości przejazdu przez wspomniane „urządzenia drogowe” w danym pojeździe jest trudnym zagadnieniem badawczym. Szczegółowe wnioski wynikające z przeprowadzonych badań drogowych i symulacyjnych, dotyczące tak wykorzystanej aparatury pomiarowej jak i symulacyjnej oceny parametrów drgań wywołanych przejazdem przez próg zwalniający, zamieszczono w rozdziale 2 artykułu.

### Literatura

- [1] Dziennik Ustaw nr 220 poz. 2181 i 2182, *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach.*
- [2] JANCZUR R., *VBOX i V-SIM – od badań drogowych samochodu do komputerowej symulacji jego ruchu*, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna „Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych”, Kielce 6 – 8 lutego 2012, str. 114-122.
- [3] JANCZUR R., STRZĘPEK P., SZCZYPIŃSKI-SALA W., *Weryfikacyjne metody pomiaru opóźnienia hamowania samochodu*. Logistyka 2012, nr 3.
- [4] MANIOWSKI M., *Optymalizacja charakterystyk tłumienia amortyzatora samochodowego w warunkach przejazdu po pojedynczej nierówności drogi*, Czasopismo Techniczne / Technical Transactions, Politechnika Krakowska, 1-M/2011, zeszyt 2 rok 108, str. 137-145.
- [5] *Progi zwalniające na jezdniach*. Szczegółowa specyfikacja techniczna - 08.07.01a.
- [6] ŚLASKI G., PIKOSZ H., *Problem zmienności obciążenia eksploatacyjnego pojazdu w doborze wartości tłumienia w zawieszaniu*, Archiwum Motoryzacji, vol. 47, No. 1 (2010), Warszawa 2010, pp. 35-44.
- [7] *V-SIM – Symulacja ruchu i zderzeń pojazdów samochodowych* – Instrukcja użytkownika.

### Strony internetowe

- [i1] Instrukcja obsługi i dane techniczne głowicy Correvir Corrsys S-CE – strona internetowa [www.corrsys-datron.com](http://www.corrsys-datron.com) (dostęp 7.01.2005).
- [i2] Instrukcja obsługi i dane techniczne przetwornika A/C HBM Spider 8 – strona internetowa [www.hbm.com.pl/](http://www.hbm.com.pl/) (dostęp 6.04.2009 i aktualnie).
- [i3] Instrukcje obsługi i dane techniczne urządzeń firmy Racelogic – strona internetowa [www.racelogic.co.uk](http://www.racelogic.co.uk) (dostęp 5.07.2011 i aktualnie).
- [i4] Instrukcja obsługi i dane techniczne bloku Crossbow VG-440CA-200 – strona internetowa [www.xbow.com/](http://www.xbow.com/) (dostęp 12.11.2009).