

prof. dr hab. inż. Janusz Mielniczuk
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”
dr inż. Konrad Waluś
mgr inż. Jakub Polasik
Politechnika Poznańska

Analysis of spatial distribution of acceleration of the motor car body on the railroad crossing

Analiza przestrzennego układu przyspieszeń bryły nadwozia podczas przejazdu przez przejazd kolejowy

The paper deals with the problems related to the behaviour of a small delivery vehicle getting across a railroad crossing with a predetermined speed. The tests were aimed at estimating the accelerations acting on the vehicle body at the moment of contact between the tire and the rail head. The use of the ADIS 16385 measurement system enabled to estimate the approach speed, the total distance traveled and the accelerations in the local and global coordinate systems. Surface irregularities affect the response of the tire, of the suspension and are transferred to the vehicle body. The paper presents the results of experimental tests of the vehicle crossing an obstacle.

Artykuł dotyczy problematyki zachowania się małego pojazdu dostawczego podczas pokonywania przejazdu kolejowego z zadaną prędkością. Przeprowadzone badania miały na celu oszacowanie przyspieszeń oddziałujących na bryłę nadwozia pojazdu w momencie styku opony z główką szyny. Wykorzystując układ pomiarowy ADIS 16385, możliwe było oszacowanie prędkości najazdu, całkowitej przebytej drogi oraz przyspieszeń w lokalnym i globalnym układzie współrzędnych. Nierówności nawierzchni wpływają na reakcję opony, zawieszenia i przenoszą się na bryłę nadwozia. W artykule przedstawiono wyniki rozpoznawczych badań doświadczalnych przejazdu pojazdu przez przeszkodę.

1. Introduction

Due to the rapidly growing economy and industry, the growth of transport needs becomes noticeable. Currently, road transport is the most popular and the most available transport type. Thanks to European Funds [3], significant development of the road and highway network began. This resulted in increasing number of crossings of the roads with other transport routes. In suburban areas the growth in the number of public road intersections with railway tracks is noticed. Due to changing geometry and lateral inequalities of the road they may be called obstacles [2, 7, 10].

Having in view construction of a new railroad crossing the head of the rail should protrude above the passage level. Detailed data on the railroad crossing dimensions in Poland are included in §36.1 of the Regulation of the Minister of Infrastructure and Development of 20 October 2015 "related to the conditions required on the intersections of railway lines and sidings with the roads, as well as their location" [8]. The change in the pavement geometry can significantly affect the traffic safety [4, 9] and comfort of the travelers. In particular cases of rainfall, snow, icing or rime, a transverse obstacle in the form of a railroad crossing may contribute to reduction or even loss of the grip [6]. In addition,

1. Wprowadzenie

W związku z szybko rozwijającymi się gospodarką i przemysłem, zauważalne są wzrastające potrzeby transportowe. Aktualnie najpopularniejszym i najbardziej dostępnym typem transportu jest transport drogowy. Dzięki funduszom europejskim [3] znacząco zaczęła rozwijać się sieć dróg i autostrad, co bezpośrednio wpływa na krzyżowanie się dróg z innymi szlakami transportowymi. W obszarach podmiejskich możemy zauważyć wzrost ilości skrzyżowań dróg publicznych z torami kolejowymi. Takie skrzyżowania poprzez zmianę geometrii drogi oraz wprowadzenie poprzecznych nierówności możemy nazywać przeszkodami [2, 7, 10].

Konstrukcyjnie w nowym przejeździe kolejowo – drogowym główka szyny powinna wystawać ponad nawierzchnię przejazdu. Szczegółowe dane dotyczące wymiarów przejazdów kolejowo – drogowych w Polsce zamieszczone są w §36.1 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015 r. „w sprawie warunków, jakimi powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami oraz ich usytuowanie” [8]. Zmiana geometrii nawierzchni może istotnie wpływać na bezpieczeństwo ruchu [4, 9] oraz komfort podróżujących

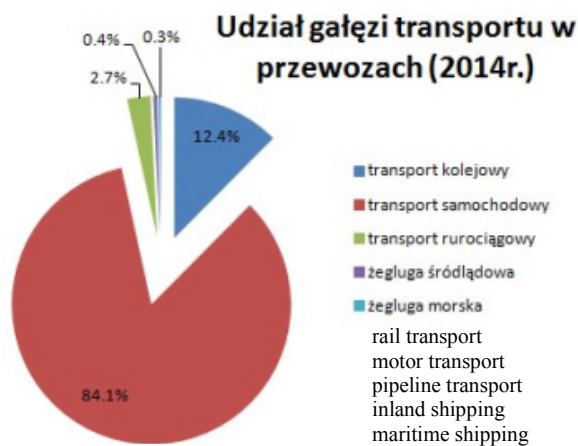


Fig. 1. Percent shares of particular land transport branches [5]

Rys. 1. Udział procentowy poszczególnych gałęzi transportu lądowego [5]

the profile of the railroad crossing geometry determines longitudinal inclinations of the motor car body. The paper presents pilot studies on the effect of geometry of selected railroad crossings on acceleration of the motor car body.

2. Test methodology

The aim of the study was the analysis of spatial distribution of acceleration of the motor car body on the rail-road crossing. The tests consisted in quick acceleration of a small delivery vehicle from standstill to the speed required, crossing rail-road crossing and, afterwards, quick braking to stop. During the tests 8 trial crossing runs have been made. The vehicle crew consisted only of the driver and the measuring equipment operator. The vehicle was provided with the ADIS 16385 research equipment from Analog Devices Co., consisting of an integrated three-axis gyroscope sensor and a three-axis accelerometer. The measuring equipment was located outside the cabin, on the vehicle roof. The measuring system was non-invasively mounted with suction cups to the vehicle's body. A portable computer provided with a software dedicated to the sensors was used to acquire and archive the data. The measuring equipment used is characterized by measurement uncertainty of 2% [1].

3. Place of the test

A rail-road crossing of differentiated geometry has been chosen for the road tests (Fig. 2). In order to determine the exact geometric parameters of the rail-road crossing, the measurements have been carried out with a geodetic tacheometer. The road section was measured starting from the point of the road test beginning, every 5 meters, to the place where the vehicle stopped after the longest braking distance.

The tests have been carried out on a rail-road crossing with one railway track. This is the railway line Poznań – Wągrowiec. The crossing is located in Murowana Goślina, in the industrial area of the city. The vehicles

pojazdem. W szczególnych przypadkach, opady deszczu, śniegu, oblodzenie lub szadź, poprzeczna przeszkoda w postaci przejazdu kolejowego mogą powodować zmniejszenie, a nawet utratę przyczepności kół do nawierzchni [6]. Dodatkowo profil geometrii przejazdu kolejowo – drogowego determinuje pochylenia wzdłużne bryły nadwozia samochodu. W artykule przedstawiono badania pilotażowe wpływu geometrii wybranych przejazdów kolejowo – drogowych na przyspieszenia bryły nadwozia pojazdu samochodowego.

2. Metodyka badań

Celem badań była analiza przestrzennego układu przyspieszeń bryły nadwozia pojazdu podczas przejazdu przez przejazd kolejowo – drogowy. Badania polegały na intensywnym rozpędzaniu małego pojazdu dostawczego ze startu zatrzymanego do uzyskania oczekiwanej prędkości, pokonanie przejazdu kolejowo – drogowego, a następnie intensywnym hamowaniu do zatrzymania. Podczas badań wykonano 8 przejazdów testowych. W pojeździe znajdował się tylko kierowca oraz osoba obsługująca aparaturę pomiarową. Pojazd był uzbrojony w aparaturę badawczą firmy Analog Devices typu ADIS 16385, składającą się ze zintegrowanego trójosiowego czujnika żyroskopowego oraz trójosiowego akcelerometru. Aparatura pomiarowa była zamontowana na zewnątrz kabiny, na dachu pojazdu. Układ pomiarowy montowany jest bezinwazyjnie za pomocą przysawek do karoserii pojazdu. Do akwizycji i archiwizacji danych służył przenośny komputer z dedykowanym do czujników oprogramowaniem. Wykorzystywana aparatura pomiarowa cechuje się niepewnością pomiaru na poziomie 2 % [1].

3. Miejsce badań

Do testów drogowych wybrano skrzyżowanie kolejowo – drogowo o zróżnicowanej geometrii (rys. 2). W celu określenia dokładnych parametrów geometrii przejazdu kolejowo – drogowego wykonano pomiary Tachimetrem geodezyjnym. Zmierzono odcinek drogi począwszy od miejsca rozpoczęcia prób drogowych, co 5 metrów, do miejsca zatrzymania się pojazdu w próbie z najdłuższą drogą hamowania.

Badania wykonano na przejeździe kolejowo – drogowym z jednym torem kolejowym. Jest to ciąg linii kolejowej relacji Poznań – Wągrowiec. Skrzyżowanie zlokalizowane w Murowanej Goślinie w obrębie obszaru przemysłowego miasta, często pokonywane przez pojazdy o masie całkowitej powyżej 3,5 ton. Na badanym odcinku obowiązuje ograniczenie prędkości do 50 km/h. Charakterystyka geometryczna wybranych do badań przejazdów kolejowo drogowych przedstawiona jest na rys. 2.

of total weight exceeding 3.5 tons often cross it. The test section of the road has a speed limit of 50 km/h. Geometric characteristics of railway crossings chosen for the test is shown in Fig. 2.

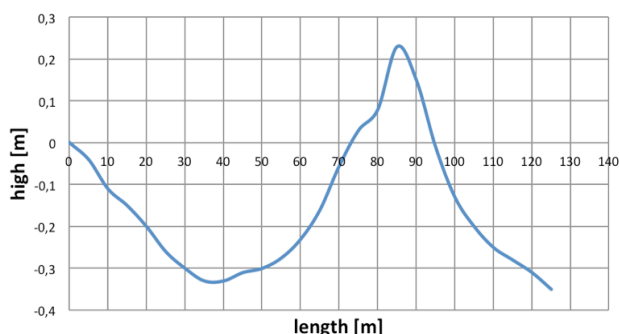


Fig. 2. View of the longitudinal cross-section of the geometry of the Murowana Goślina rail-road crossing

Rys. 2. Widok wzdłużnego przekroju geometrii przejazdu Murowana Goślina

4. The vehicle characteristics

The tested vehicle was a small Volkswagen Transporter, provided with a supercharged diesel engine of 1958 cm³ capacity and a 5-speed manual transmission. The drive is transmitted to the front vehicle axle. The car has been produced in 2011. The view of the tested vehicle with installed measuring equipment is shown in Fig. 3.

The vehicle was equipped with Nokian WRC 3 STUDDLES tires size 215/65 R16C, 109/107R mounted on steel rims. The tires, defined as "C", are adapted to carry higher loads as compared to those in case of the passenger vehicles. The view of the tire's wheel and tread pattern is shown in Fig.4.



Fig. 4. View of the test vehicle wheel (left) and tire tread view (right)

Rys. 4. Widok koła pojazdu badawczego (po lewej), widok bieżnika opony (po prawej)

5. Test results and their analysis

All the experimental test cycles have been carried out accelerating the vehicle from standstill and trying to cross the rail-road crossing at a constant speed. After crossing the tracks the vehicle stopped. The acceleration 9.81 m/s² was subtracted from the acceleration results recorded by the sensor corresponding to vertical Z-axis. The results are summarized in Table 1.

4. Charakterystyka pojazdu

Badanym pojazdem był mały samochód dostawczy Volkswagen Transporter z doładowanym silnikiem wysokoprężnym o pojemności 1958 cm³ i 5-stopniową manualną skrzynią biegów. Napęd przekazywany jest na przednią oś pojazdu. Samochód wyprodukowano w 2011 roku. Widok badanego pojazdu z zainstalowaną aparaturą pomiarową przedstawiono na rys. 3.



Fig. 3. A view of the VW Transporter test vehicle with installed test equipment

Rys. 3. Widok pojazdu badawczego VW Transporter z zainstalowaną aparaturą badawczą

Pojazd był wyposażony w ogumienie Nokian WRC 3 STUDDLES o rozmiarze 215/65 R16C, 109/107R założone na obręcze stalowe. Opony, określone jako „C”, przystosowane są do przenoszenia większych obciążeń w stosunku do tych montowanych w pojazdach osobowych. Widok koła i rzeźby bieżnika opony przedstawiono na rys. 4.

5. Wyniki badań i ich analiza

Wszystkie cykle badań doświadczalnych wykonano za startu zatrzymanego starając się pokonywać przejazd kolejowy – drogowy ze stałą prędkością i rozpoczynając proces hamowania po przejechaniu torów. Od wyników przyspieszeń rejestrowanych przez czujnik reprezentujących oś ponową Z odjęto wartość przyspieszenia ziemskiego 9,81 m/s². Uzyskane wyniki badań zestawiono w tablicy 1.

Wszystkie próby pomiarowe były wykonywane jednokierunkowo. Uzyskane dane pomiarowe zostały poddane obróbce matematycznej w celu odseparowania wpływu grawitacji na wyniki.

Na podstawie uzyskanych charakterystyk przyspieszeń wzdłużnych pojazdu wyznaczono chwilowe wartości przyspieszeń, przenoszonych na karoserię, generowane przez kontakt opony z przeszkodą (torami). Wyniki przyspieszeń uzyskane podczas prób doświadczalnych przedstawiono graficznie na rys. 5.

Test results for the Murowana Goślina rail-road crossing

Wyniki badań dla przejazdu Murowana Goślina

Table 1

Tablica 1

Przebyta droga całkowita [m] Total distance travelled [m]	Czas próby [s] Duration of the test [s]	Prędkość najazdu na przeszkodę [km/h] The speed while encountering the obstacle [km/h]	Wartość impulsu przyspieszenia w osi X [m/s ²] Acceleration pulse in X-axis [m/s ²]	Wartość impulsu przyspieszenia w osi Y [m/s ²] Acceleration pulse in Y-axis [m/s ²]	Wartość impulsu przyspieszenia w osi Z [m/s ²] Acceleration pulse in Z-axis [m/s ²]
54,618	9,570	42,858	-9,151	-0,689	-3,591
54,724	10,279	45,342	-10,933	-1,557	-5,198
70,407	11,175	48,028	-7,221	1,020	-4,766
64,550	10,665	49,673	-7,695	-0,123	-4,175
61,795	10,336	48,449	-8,492	4,584	-6,939
63,744	10,323	47,686	-10,125	1,972	-9,232
65,294	10,671	49,777	-8,221	3,402	-8,933
62,554	10,103	49,295	-10,143	0,814	-5,151
Srednia Mean			-8,998	1,178	-5,998
Odchylenie standardowe Standard deviation			-1,313	2,070	2,136

All the measurement tests have been performed unidirectionally. The measurement data have been subjected to mathematical processing in order to eliminate the gravity effect.

Based on the longitudinal acceleration characteristics of the vehicle, the instantaneous acceleration values have been determined that are caused by the tire – obstacle (track) contact and transferred to the car body. The acceleration results obtained during the experimental tests are shown graphically in Fig. 5.

The railroad crossing in Murowana Goślina is distinguished by the greatest differences in longitudinal geometry of the road surface. This resulted in the occurrence of the highest acceleration values in X-axis, that in three cases exceeded 10 m/s², reaching the maximum value of 10.933 m/s². The acceleration pulses in Y-axis have been characterized by a large spread and took both positive and negative values. The accelerations in Z-axis exceeded 3.5 m/s², with the maximum value amounting to 9.232 m/s². So large values of instantaneous accelerations adversely affected the vehicle. The bumps against the railhead generated a noticeable noise.

Summary

The rail-road crossings are integral elements of the transport infrastructure. The existing and newly built crossings are subjected to degradation due to varying environmental and operational conditions. The emerging changes affect the traffic safety, both of railway and car vehicles. Geometry of the crossing directly affects the acceleration values of the car body in the spatial coordinate system. The tests have shown a direct relationship between the crossing geometry and the measured acceleration values. The Murowana Goślina rail-road crossing was distinguished by a diversified geometric profile (Fig. 2), which was conducive to high-value acceleration pulses during its crossing.

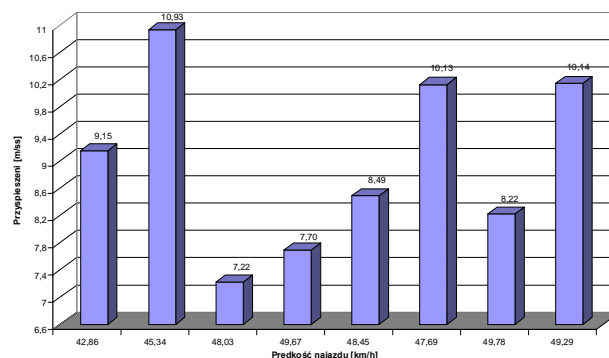


Fig. 5. Acceleration values in X-axis measured while crossing the selected rail-road crossings

Rys. 5. Wartości przyspieszeń w osi X uzyskane podczas pokonywania wybranych przejazdów kolejowo – drogowych

Przejazd drogowo – kolejowy usytuowany w Murowanej Goślinie charakteryzuje się największym różnicowaniem geometrii wzdłużnej nawierzchni drogi. Spowodowało to wystąpienie największych wartości przyspieszeń w osi X, które wyniosły w trzech próbach powyżej 10 m/s², a maksymalna wartość osiągnęła 10,933 m/s². Impulsy przyspieszeń w osi Y cechowały się dużym rozrzutem i osiągały wartości zarówno dodatnie jak i ujemne. Przyspieszenia w osi Z wynosiły ponad 3,5 m/s², a maksymalna wartość impulsu osiągnęła 9,232 m/s². Tak duże wartości chwilowych przyspieszeń negatywnie oddziaływały na pojazd, a uderzenia w główkę szyny generowały wyraźny sygnał dźwiękowy.

Podsumowanie

Przejazdy drogowo – kolejowe są nieodłącznym elementem infrastruktury transportowej. Istniejące i nowo budowane przejazdy podlegają degradacji związanej ze zmiennością warunków środowiskowych i eksploatacyjnych. Powstające zmiany wpływają na zakres bezpieczeństwa ruchu zarówno pojazdów kolejowych

Such a crossing shape generated instantaneous overloads exceeding 1 g in X-axis. The presented pilot studies of vehicle motion at the rail-road crossing contributed to further research aimed at noise measurement. The planned research of the noise emission during car traffic at the rail-road crossings may lead to the development of the criteria for assessment of these crossings. The integration of the noise emission measurements and the acceleration values caused by the tire-rail impact may be helpful in determining the crossing speed, thus improving the traffic safety.

Bibliography / Bibliografia

1. *Analog Devices – dokumentacja techniczna układu ADIS16385*
2. Bohatkiewicz J., Biernacki S., Drach M., Kozłowski D., Nowak P.: *Zasady uspokajania ruchu na drogach za pomocą fizycznych środków technicznych. Opracowano na zlecenie Ministerstwa Infrastruktury. Umowa nr TRD/1/2008 z dnia 05.02.2008 r. 113p.*
3. Broniszewska A.: *Rozwój infrastruktury drogowej w Polsce w kontekście wykorzystania funduszy unijnych. Zeszyty naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzenie Nr.10. s. 58-68. Częstochowa 2013*
4. Drózd P.: *Bezpieczeństwo na przejazdach kolejowo – drogowych. Logistyka 4/2011, s. 190-198*
5. *Fotografia, strona internetowa: espedytor. wordpress.com/page/; dostęp 6.4.2018 r.*
6. Lozia Z., Nowakowski J.: *Ocena wpływu nierówności nawierzchni drogi na skuteczność działania hamulców w ruchu prostoliniowym. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 1(40)/2001. Warszawa s. 131-156*
7. Polasik J., Waluś K. J.: *Analysis of force during overcoming the roadblock – the preliminary experimental tests. Transport Problems 2016, Vol. 11, issue 1, p. 113-120. DOI: 10.20858 /tp.2016.11.1.11, ISSN 1896-0596*
8. *Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015 r. w sprawie warunków, jakimi powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami publicznymi i ich usytuowanie. Dz. U. 2015 r. poz. 1744*
9. Smoczyński P., Gill A.: *Object-Oriented Identification ob. Level Crossings. Transport Means 2017 Proceedings of 21st International Scientific Conference. September 20-22, 2017. Juodkrante Lithuania. Part 1, p. 48-50. ISSN 1822-296X, i-SSN 2351-7034*
10. Waluś K. J., Polasik J., Markiewicz F., Cieślik M., Adamiec J.: *Badania doświadczalne cech kinematycznych ruchu pojazdu typu „bus” podczas przejazdu przez przeszkodę. Logistyka 5/2014, str:1-8*

jak i samochodowych. Geometria przejazdu ma bezpośredni wpływ na wartości przyspieszeń bryły nadwozia samochodu w przestrzennym układzie współrzędnych. Wykonane badania wykazały bezpośredni związek geometrii przejazdu z uzyskiwanymi wartościami przyspieszeń. Przejazd drogowo – kolejowy w Murowanej Goślinie miał rozbudowany profil geometryczny (rys. 2), co podczas jego pokonywania skutkowało powstaniem impulsów przyspieszenia o dużej wartości. Takie ukształtowanie przejazdu generowało chwilowe przeciążenia powyżej wartości 1 g w osi X. Przedstawione pilotażowe badania ruchu pojazdu po skrzyżowaniu drogowo – kolejowym były przyczynkiem do dalszych badań powiązanych z pomiarem hałasu. Planowane badania pomiaru emisji hałasu generowanego podczas ruchu samochodów na przejazdach drogowo – kolejowych mogą się przyczynić do opracowania kryteriów oceny tych skrzyżowań. Integracja pomiarów z zakresu emitowanego dźwięku i wartości przyspieszeń związanych z uderzeniem opony w szynę może przyczynić się do wyznaczenia prędkości przejazdowych, co ma bezpośrednio wpływ na bezpieczeństwo ruchu.