

Streszczenie w języku polskim

Tematem rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Agnieszki Kocoń jest „Modelowanie zjawiska wywracania się wagonów towarowych przy wietrze bocznym”. Motywacją do podjęcia takiej tematyki pracy był brak wystarczających badań dotyczących stateczności aerodynamicznej wagonów towarowych.

Biorąc pod uwagę większą podatność aerodynamiczną oraz wypadki wagonów towarowych spowodowanych działaniem wiatru, jakie miały miejsce w ostatnich latach, stwierdzono, że należy poświęcić im więcej uwagi. Szczególnie, że wagony towarowe są niemal pomijane w procedurach normowych.

Celem rozprawy doktorskiej była analiza zjawiska przewracania się wagonów towarowych pod wpływem silnego wiatru bocznego. W pracy udowodniono następujące tezy:

1. Współczynnik aerodynamiczny momentu obrotowego wagonu towarowego może zostać wyznaczony na podstawie pomiaru prędkości krytycznej jego przewracania się, określonej w badaniach modelowych w tunelu aerodynamicznym.
2. Wystąpienie zjawiska przewracania się wagonów towarowych przy silnym wietrze bocznym zależy w dużym stopniu od konfiguracji linii kolejowej, chropowatości terenu otaczającego trasę pojazdu oraz prędkości, z jaką porusza się pojazd.
3. Ocena bezpieczeństwa wagonu towarowego ze względu na ryzyko przewrócenia się pod wpływem silnego wiatru bocznego powinna zostać przeprowadzona dla różnych konfiguracji linii kolejowej, z uwzględnieniem sytuacji najbardziej niekorzystnej.

W ramach pracy przeprowadzono badania w tunelu aerodynamicznym na modelu wagonu towarowego – 2-osioowego wagonu krytego z przesuwными ścianami typu Hbbi(II)ns. Model wykonano z zachowaniem kryteriów podobieństwa zjawiska przewracania się wagonów towarowych pod wpływem silnego wiatru bocznego.

Pomiary prędkości krytycznej oraz pomiary sił i momentów aerodynamicznych zostały wykonane w tunelu aerodynamicznym z warstwą przyścienną znajdującym się w Laboratorium Inżynierii Wiatrowej Politechniki Krakowskiej. Głównym celem prowadzonych pomiarów było wyznaczenie szczytowej prędkości wiatru, przy której model wagonu towarowego przewróci się. Prędkość tą nazwano prędkością krytyczną. Pomiar prędkości krytycznej wykonany został przy użyciu termoanemometrów jednowłóknowych. Ponadto przeprowadzono również pomiar na wadze aerodynamicznej w celu uzyskania sił i momentów aerodynamicznych działających na model, szczególnie aerodynamicznej siły bocznej.

W trakcie badań w tunelu aerodynamicznym zastosowano pewne założenia upraszczające: badania wykonywane były na nieruchomym modelu, a kryterium liczby Reynoldsa nie zostało spełnione. Te uproszczenia nie wpłynęły jednak na wyniki pomiarów.

Podczas badań prędkości krytycznej sprawdzano, jaki wpływ mają na nią takie parametry, jak: konfiguracja linii kolejowej, kategoria terenu, liczba wagonów, kąt napływu wiatru, strona nasypu względem kierunku napływu wiatru, długość nasypu, obciążenie modelu wagonu.

Przy pomiarach na wadze aerodynamicznej także uwzględniono wpływ różnych parametrów na współczynnik aerodynamicznej siły bocznej: kategoria terenu, liczba wagonów, kąt napływu wiatru, prędkość strumienia powietrza.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że wyznaczenie prędkości krytycznej bezpośrednio z badań modelowych w tunelu aerodynamicznym może być jedną z metod określenia stabilności pojazdów szynowych ze względu na działanie silnego wiatru bocznego. Metoda ta okazała się odpowiednia, bardziej dokładna i prostsza niż pośrednie wyznaczenie prędkości krytycznej na podstawie współczynników aerodynamicznych zgodnie z procedurą przedstawioną w normie europejskiej dotyczącej oceny pojazdów szynowych ze względu na działanie wiatru bocznego.

Zaproponowano również, aby na podstawie prędkości krytycznej zmierzonej w tunelu aerodynamicznym wyznaczyć współczynnik aerodynamiczny momentu obrotowego wagonu towarowego.

Wykazano, że istnieją znaczne różnice w prędkościach krytycznych wiatru osiągniętych w przypadku pojazdu szynowego znajdującego się na torze kolejowym bez nasypu oraz z nasypem. W związku z tym zalecono, aby nasyp oraz nasyp z przechyłką włączyć jako podstawowe konfiguracje linii kolejowej przy ocenie bezpieczeństwa wagonu towarowego.

W badaniach prędkości krytycznej w tunelu aerodynamicznym wykazano również, że kategorie terenu o wyższej turbulencji powodują w niektórych przypadkach niższą prędkość krytyczną. Zatem nieuwzględnienie różnych rodzajów chropowatości terenu w podstawowych badaniach pojazdu szynowego może prowadzić do niebezpiecznych sytuacji związanych z jego przewróceniem się.

Przeprowadzone badania posłużyły również do oceny bezpieczeństwa analizowanego wagonu towarowego. Wykazała ona, że ryzyko jego przewrócenia się jest bardzo wysokie. W związku z tym zalecono, aby w sytuacji wystąpienia wiatru o prędkościach bliskich prędkościom krytycznym zmniejszyć prędkość, z jaką porusza się pojazd. Wyższa prędkość poruszania się pojazdu sprawia bowiem, że jest on bardziej narażony na przewrócenie się pod wpływem silnego wiatru bocznego. W badaniach wykazano, że wpływ ten jest zauważalny szczególnie w przypadku kategorii terenu o wysokiej turbulencji.

Streszczenie w języku angielskim

This PhD thesis written by M. Sc. Agnieszka Kocoń concerns the topic of “Modelling the phenomenon of freight trains rollover under crosswind action”. The motivation to consider this subject was absence of enough investigation data about aerodynamic stability of freight trains.

Freight trains are more aerodynamically vulnerable and most of train accidents occurring in recent years involved freight trains. Furthermore, aerodynamic assessment of freight trains appears to be neglected in standards. Taking the above into account it was decided to concentrate on this particular case.

Doctoral thesis aimed at the analysis of the phenomenon of freight trains rollover under strong crosswind action. The following theses were proven there:

1. Aerodynamic coefficient of rolling moment of freight train can be determined based on the measurement of the critical velocity of its rollover, obtained from the wind tunnel model test.
2. The occurrence of the phenomenon of freight trains rollover under strong crosswind action strongly depends on the configuration of railway line, roughness of terrain surrounding train route and train velocity.
3. Safety assessment of a freight train, due to the risk of overturning under strong crosswind action, should be conducted for different configurations of railway line, taking into account the most unfavourable configuration.

To analyse the phenomenon of freight trains rollover under strong crosswind action, wind tunnel tests were conducted on the model of a freight train – 2-axes covered wagon with sliding walls of Hbbi(II)ns type. The model was constructed taking into account similarity criteria for the analysed phenomenon.

Critical velocity measurements as well as measurements of aerodynamic forces and moments were conducted in a boundary layer wind tunnel of the Wind Engineering Laboratory at the Cracow University of Technology. The measurements aimed at the determination of peak wind velocity at which the model of a freight wagon will roll over. This velocity was called the critical velocity. Critical velocity measurements were made using single-fibre thermoanemometers, while measurements of aerodynamic forces and moments acting on the model were carried out using aerodynamical balance.

During wind tunnel tests some simplifications were assumed: stationary model of a freight train was used in the investigations and the Reynolds number criterion was not fulfilled. Nevertheless, these assumptions did not have influence on the measurement results.

The influence of the following parameters on the critical velocity was analysed during critical velocity measurements: configuration of railway line, terrain category, number of wagons, angle of wind onflow, embankment side relative to wind direction, length of the embankment, load of wagon model.

Measurements on the aerodynamical balance examined the influence of the following parameters on the coefficient of aerodynamic side force: terrain category, number of wagons, angle of wind onflow, velocity of air stream.

On the basis of tests results it was concluded that determination of the critical velocity directly from wind tunnel model tests can be one of the methods to define stability of rail vehicles under strong crosswind action. This method proved to be appropriate, more accurate and simpler than indirect determination of the critical velocity using aerodynamic coefficients by following the procedure presented in European Standard referring to crosswind assessment of railways.

Moreover, it was proposed to determine the coefficient of aerodynamic rolling moment of freight train based on critical velocity measured in wind tunnel.

Measurements in the wind tunnel showed that critical wind velocities differ significantly, depending whether the rail vehicle is on the railway track with or without embankment. Therefore, it is recommended to include embankment and canted track embankment as basic configurations of railway line in the crosswind safety assessment of freight wagon.

It was also proven that terrain categories with higher turbulence cause lower critical velocity in some cases. Thus, not taking into account different types of terrain roughness in basic studies of a rail vehicle may lead to dangerous situations of vehicle overturning.

Results of the wind tunnel study were also used in the crosswind safety assessment of the analysed freight train. The analysis showed that there is a high risk of vehicle overturning. Therefore, it is recommended to reduce the train velocity when the wind velocity is close to critical, since higher vehicle velocity causes the train to be more vulnerable to overturning under strong crosswind action. The studies showed that this influence is especially seen for terrain categories of higher turbulence.