

Mirosław Dusza<sup>1</sup>  
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

## Własności transportowe pojazdu szynowego w badaniach modelowych

### 1. WSTĘP

Postęp techniki oraz intensywna eksploatacja zasobów energetycznych Ziemi, wpłynęły na niespotykany dotychczas rozwój środków transportu indywidualnego. Klasyczny współczesny pojazd samochodowy zasilany paliwem kopalnym na bazie ropy naftowej do przewozu 4 – 5 osób (lub towarów o porównywalnej masie), wymaga zaangażowania ok. 1000 – 1500 kg materiałów stanowiących jego masę własną. Do efektywnej eksploatacji pojazd taki wymaga utwardzonej nawierzchni o szerokości 3 – 5 razy większej od szerokości pojazdu. Wiąże się to z trwałym wyłączeniem z możliwości użytkowania bardzo dużych powierzchni ziemi.

Obserwowany w ostatnich latach znaczący wzrost liczby przewozów pasażerskich w transporcie lotniczym również okupiony jest dużym wydatkiem energii pozyskiwanej z paliw kopalnych. Pomimo bardzo dynamicznego rozwoju w tej dziedzinie, transport lotniczy nadal pozostaje najbardziej energochłonnym środkiem transportu. Na obecnym etapie rozwoju cywilizacji, łatwo dostępne zasoby paliw kopalnych zostały zużyte. Dostępne zasoby wymagają ponoszenia dużych nakładów środków na ich wydobycie. Pozostaje jeszcze bliżej nieokreślona ilość paliw niedostępnych na obecnym poziomie rozwoju techniki. Prognozowanie czasu zużycia poszczególnych paliw najczęściej nie sprawdza się. Jednocześnie pojawia się silna presja społeczeństw na ograniczenie emisji do środowiska produktów spalania jak również obawa przed rozpowszechnianiem energetyki jądrowej. Pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych (wody, wiatru, słońca), również nie pozostaje bez krytycznych uwag tzw. organizacji ekologicznych. Uwzględniając powyższe fakty można wyciągnąć wniosek, że zagadnienia związane z oszczędzaniem zużycia energii w środkach transportu przy jednoczesnym zachowaniu lub zwiększeniu ich efektywności, będą stanowiły jedno z zagadnień priorytetowych techniki w najbliższych latach.

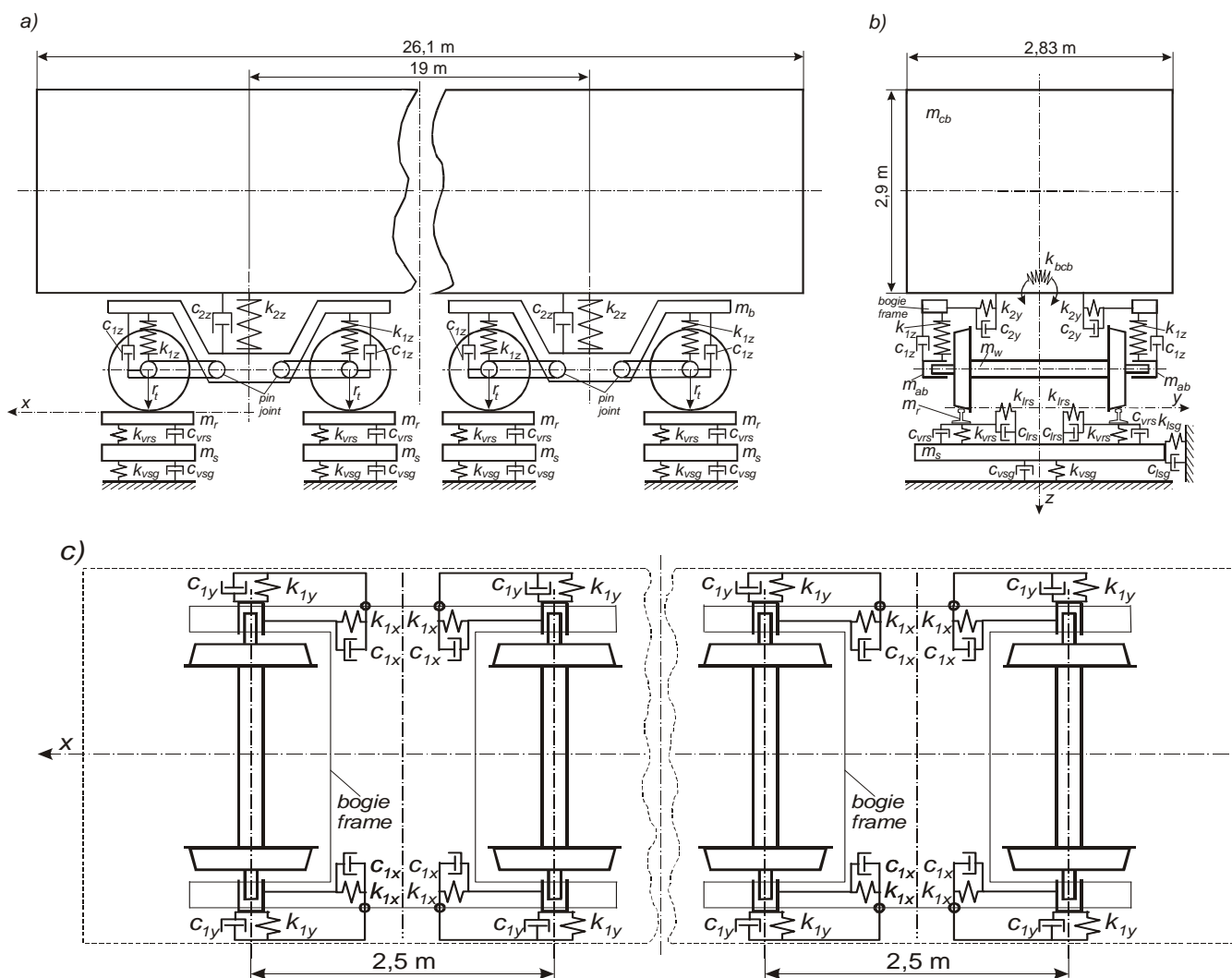
Przedstawione w artykule wyniki badań wiążą się w sposób pośredni z efektywnością wykorzystania środków transportu kolejowego. Większa efektywność energetyczna transportu kolejowego nad samochodowym lub lotniczym wynika głównie z mniejszych oporów ruchu pojazdu szynowego w porównaniu z pojazdem samochodowym. Istotnym czynnikiem jest również fakt, iż pojazd szynowy nie wymaga zasilania paliwem ciekłym (nie występującym w krajowych zasobach surowców). Prace badawcze przedstawione w artykule odbywają się na początkowym etapie projektowania pojazdu. Celem ich jest sprawdzenie opracowanej koncepcji pojazdu na podstawie jego modelu numerycznego. Badania modelu pozwalają określić kluczowe parametry przyszłego pojazdu mające wpływ na jego własności transportowe. W zamieszczonym fragmencie badań podjęto próbę określenia wpływu szerokości toru na stateczność ruchu modelu pojazdu. Dla czterech różnych szerokości toru wyznaczono prędkość krytyczną oraz własności modelu w pod i nad krytycznym zakresie prędkości ruchu. Zastosowano bifurkacyjną metodę badań polegającą na obserwacji i analizie rozwiązań układu w funkcji czasu. Parametrem obserwowanym są względne przemieszczenia poprzeczne zestawu kołowego. Wartości i charakter rozwiązań pozwalają ocenić możliwości eksploatacyjne pojazdu przy określonych parametrach ruchu. Metody bifurkacyjne badania stateczności ruchu są stosowane przez innych badaczy [1, 3, 4, 5, 6, 7]. Jednakże ograniczają one zainteresowania badawcze do ruchu po torze prostym. Oryginalność przedstawionych badań polega na rozszerzeniu możliwości badawczych w/w metody do ruchu po torze zakrzywionym w szerokim zakresie promieni łuków. Zespół autorów wykorzystywał metodę bifurkacyjną do analogicznych badań dla modelu pojazdu 2-osowego [2, 8-13]. W badaniach używano autorskiego oprogramowania Prof. Zboińskiego. Tutaj

<sup>1</sup> mdusza@it.pw.edu.pl

wykonano podobne badania dla modelu wagonu 4-osiowego. Użyto komercyjnego oprogramowania VI-Rail przeznaczonego do badań modeli pojazdów szynowych. Wyniki badań przedstawiono w formie par wykresów obrazujących zmiany maksymalnych przemieszczeń poprzecznych pierwszego zestawu kołowego ( $y_p \max$ ) w funkcji prędkości ruchu oraz wartości międzyszczytowych tych przemieszczeń (WMS) również w funkcji prędkości.

## 2. MODEL BADAWCZY

Model 4-osiowego wagonu pasażerskiego zbudowany został w środowisku programowym VI-Rail (dawniej ADAMS-Rail). Jest to układ dyskretny, którego schemat przedstawiono na rys. 1. Model pojazdu składa się z piętnastu brył sztywnych: nadwozia, dwóch ram wózków, czterech zestawów kołowych i ośmiu maźnic. Zestawy kołowe tworzą z maźnicami pary kinematyczne piątej klasy (możliwy jest tylko względny ruch obrotowy zestawów wokół osi poprzecznej). Ramie każdej maźnicy umożliwia wahaczowe prowadzenie zestawów kołowych. Mocowanie maźnic do ramy wózka realizują elementy przegubowe podatne w kierunku wzdłużnym, poprzecznym i pionowym. Zastosowano liniowe jak i nieliniowe elementy sprężyste i tłumiące łączące poszczególne bryły sztywne. Reprezentują one metalowe sprężyny śrubowe i tłumiki hydrauliczne na pierwszym i drugim stopniu usprężynowania. W układzie zawieszenia znajdują się jeszcze niewidoczne na schemacie zderzaki ograniczające przemieszczenia poprzeczne nadwozia względem ramy wózka do  $\pm 0,03$  m. Parametry masowe i wymiary geometryczne modelu odpowiadają wagonowi typu 127A. Parametry wózków odpowiadają wózkom typu 25AN.



Rys. 1. Schemat badanego układu: a) widok z boku; b) widok z przodu; c) widok z góry.

Model pojazdu uzupełniony jest również dyskretnym modelem pionowo i poprzecznie podatnego toru. Masy brył sztywnych reprezentujących szyny i podkłady odpowiadają odcinkowi 1 m długości rzeczywistego toru. Parametry sprężysto – tłumiące pomiędzy bryłami sztywnymi zaczerpnięto z biblioteki VI-Rail. Są to parametry typowego toru podsypkowego. W obliczeniach model wykorzystuje tablice parametrów kontaktowych generowanych przez program RSGEO dla nowych, nominalnych zarysów kół S1002 i szyn UIC60. Do obliczeń stycznych sił kontaktowych w układzie koło – szyna, używana jest procedura FASTSIM. Badania na trasach zakrzywionych o charakterze łuków kołowych wykonano dla czterech wartości promieni. Wartości promieni łuków oraz odpowiadające im przechyłki toru zestawiono w tabelicy 1.

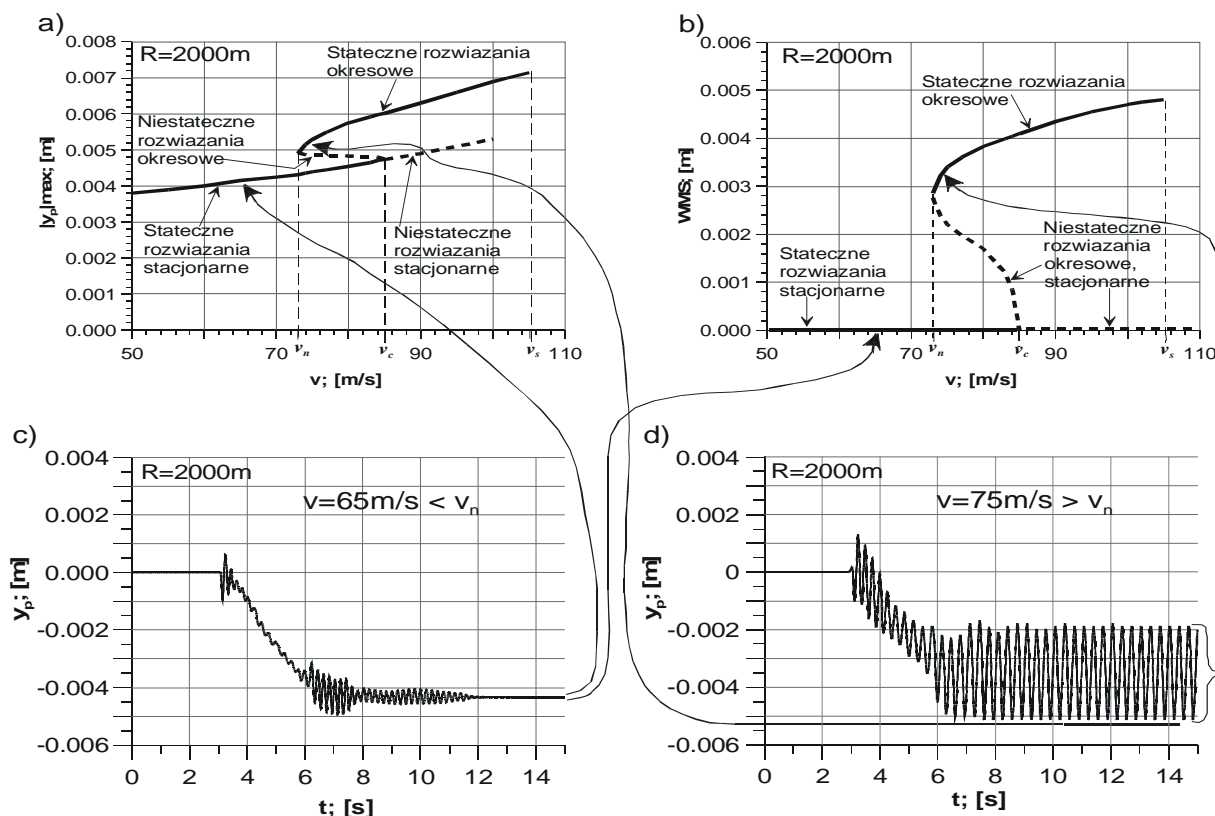
Tablica 1. Badane promienie łuków i odpowiadające im przechyłki toru

Promień łuku $R$ [m]	1200	2000	3000	6000
Przechyłka toru $h$ [m]	0,16	0,155	0,110	0,051

Kompletny układ pojazd szynowy – tor posiada 82 stopnie swobody.

### 3. METODA BADAŃ

Bifurkacyjna metoda badań opiera się na obserwacji charakteru rozwiązań układu dla zadanych parametrów ruchu. Analizowanym parametrem są przemieszczenia poprzeczne pierwszego zestawu kołowego ( $y_p$ ). Dla prędkości ruchu mniejszej od wartości krytycznej  $v_n$ , rozwiązania mają charakter stateczny stacjonarny. Przykładową postać takich rozwiązań przedstawia rys. 2c. Uzyskano je dla ruchu z prędkością 65 m/s na trasie złożonej z odcinka prostego, krzywej przejściowej i łuku kołowego o promieniu 2000 m. Drgania o niewielkiej amplitudzie wywołane przejazdem przez krzywą przejściową, zanikają na łuku kołowym. Niezerowa wartość przemieszczeń poprzecznych na łuku wynika z nierównoważenia sił poprzecznych działających na pojazd. Odczytana wartość przemieszczeń  $y_p$  nanoszona jest na wykres maksymalnych wartości bezwzględnych przemieszczeń poprzecznych zestawu kołowego w funkcji prędkości ruchu  $v$  (rys. 2a). Wartości międzyszczytowe rozwiązań (WMS) w tym przypadku są równe zero (rys. 2b).

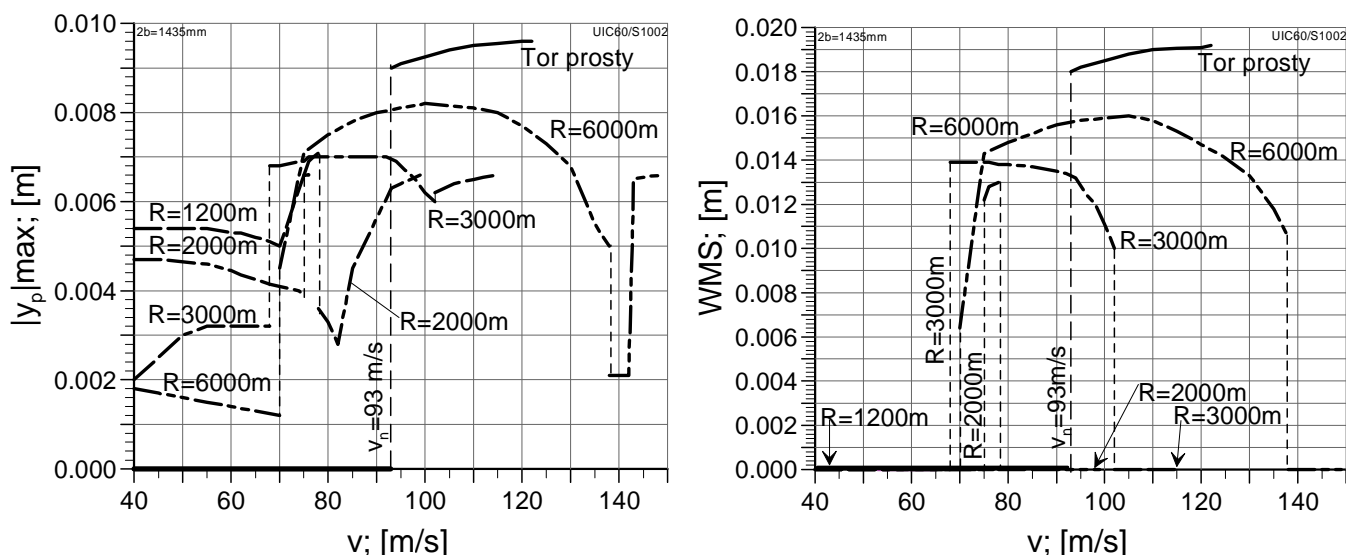


Rys. 2. Schemat metody tworzenia wykresów bifurkacyjnych.

Osiągnięcie lub przekroczenie krytycznej prędkości ruchu oznacza pojawienie się rozwiązań okresowych o charakterze cyklu granicznego. Przykładową postać takich rozwiązań dla prędkości 75 m/s na tej samej trasie złożonej przedstawia rys. 2d. W takim przypadku odczytywana jest wartość maksymalna przemieszczeń  $y_p$ , której wartość bezwzględna nanoszona jest na wykres maksymalnych wartości bezwzględnych przemieszczeń poprzecznych w funkcji prędkości. Odczytywana jest również wartość międzyszczytowa cyklu i nanoszona na wykres WMS w funkcji prędkości (rys. 2b). Para wykresów bifurkacyjnych przedstawiona na rys. 2a i 2b, przyjęta została jako forma prezentacji wyników badań. Możliwa jest analiza charakteru rozwiązań w całym zakresie prędkości ruchu, dla których występują rozwiązania stateczne (linie ciągłe na wykresach). Metoda umożliwi również przybliżone policzenie rozwiązań niestatecznych (linie przerywane na wykresach). Przyjęto aby każda para wykresów przedstawiała wyniki uzyskane z symulacji ruchu po trasach o różnych promieniach łuków. Pozwala to na obserwację wpływu promienia łuku na własności układu.

#### 4. WYNIKI BADAŃ

Pierwszy cykl badań wykonano dla normalnej szerokości toru europejskiego 1435 mm. Wyniki przedstawione są na rys. 3. Prędkość krytyczna na torze prostym ma wartość 93 m/s. Oznacza to, że dla mniejszych prędkości ruchu występują wyłącznie rozwiązania stateczne stacjonarne ( $|y_p|_{\max} = 0$  i  $WMS = 0$ ). Przy prędkości równej lub większej od wartości krytycznej występują rozwiązania stateczne okresowe o charakterze cykli granicznych. Można zauważyć, że na torze prostym przemieszczenia poprzeczne i WMS osiągają największe wartości w porównaniu z innymi trasami. W tych badaniach tablice parametrów kontaktowych dopuszczają znaczny wjazd obrzeża koła na główkę szyny. Wzrost wartości przemieszczeń poprzecznych dla prędkości ruchu większej od prędkości krytycznej jest niewielki od ok. 0,009 m do 0,0096 m, co odpowiada przyrostowi WMS od ok. 0,018 m do 0,0191 m. Ostatni punkt linii odpowiada maksymalnej prędkości ruchu, dla której uzyskano rozwiązanie stateczne.



Rys. 3. Wartości maksymalne z bezwzględnych wartości przemieszczeń poprzecznych pierwszego zestawu kołowego oraz wartości międzyszczytowe tych przemieszczeń w funkcji prędkości ruchu na torze o szerokości 1435 mm.

Największy badany promień łuku trasy wynosił  $R = 6000$  m. Prędkość krytyczna na tej trasie ma wartość  $v_n = 70$  m/s. Dla prędkości mniejszych występowały wyłącznie rozwiązania stateczne stacjonarne ( $WMS = 0$ ). Niezerowe wartości przemieszczeń poprzecznych w tym zakresie prędkości ruchu wynikają z nierównoważenia sił poprzecznych działających na pojazd w łuku. W zakresie prędkości  $40 \div 70$  m/s zmniejszają się od ok. 0,0018 do 0,0012 m. Przy prędkości krytycznej następuje skokowy wzrost wartości przemieszczeń do ok. 0,005 m. Maksymalną wartość ok. 0,0082 m przemieszczenia poprzeczne osiągają

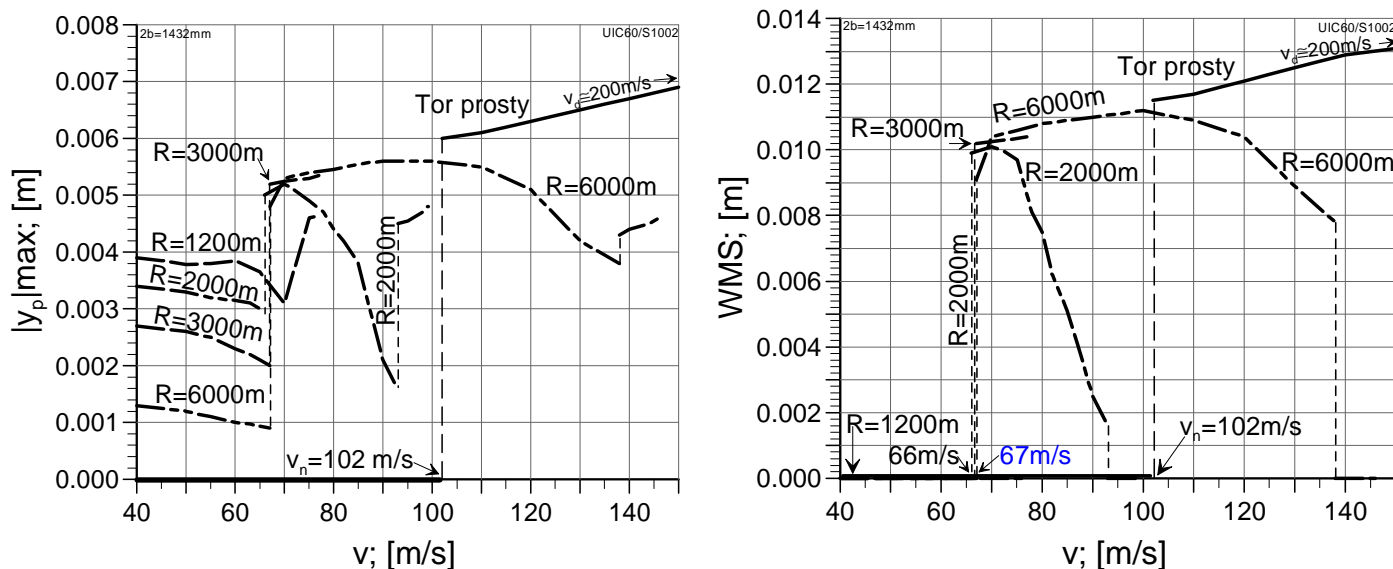
przy prędkości ok. 100 m/s a następnie zmniejszają się do 0,005 m i przy prędkości 138 m/s następuje bifurkacja rozwiązań do statecznych stacjonarnych. Taki charakter rozwiązań istnieje do prędkości 148 m/s. Znaczne zmiany przemieszczeń poprzecznych przy największych prędkościach ruchu są trudne do wyjaśnienia, być może mają charakter przypadkowy.

Następna badana trasa ma łuk kołowy o promieniu  $R = 3000$  m. Prędkość krytyczna ma tutaj wartość  $v_n = 68$  m/s. Dla prędkości mniejszych od wartości krytycznej przemieszczenia mają charakter stateczny stacjonarny i rosną od ok. 0,002 do 0,0032 m. Przy prędkości krytycznej następuje bifurkacja rozwiązań i skokowy wzrost przemieszczeń do ok. 0,0068 m. WMS osiągają wówczas ok. 0,014 m. Wraz ze wzrostem prędkości ruchu wartości przemieszczeń pozostają na stałym poziomie. Dopiero dla prędkości większych od 90 m/s zauważalna jest tendencja malejąca i przy 103 m/s następuje bifurkacja do rozwiązań statecznych stacjonarnych. Rozwiązania stateczne utrzymują się do prędkości 115 m/s.

Na trasie o mniejszym promieniu łuku 2000 m, rozwiązania stateczne stacjonarne występują do prędkości 75 m/s. A więc tą wartość należy przyjąć jako krytyczną. Zakres prędkości, dla których rozwiązania mają charakter stateczny okresowy jest tutaj niewielki, ponieważ już przy prędkości 79 m/s następuje bifurkacja do rozwiązań statecznych stacjonarnych. Taki charakter rozwiązań utrzymuje się już do prędkości 98 m/s, przy której następuje utrata stateczności.

Ostatnia badana trasa miała łuk o promieniu  $R = 1200$  m. Występowały tutaj wyłącznie rozwiązania stateczne stacjonarne (WMS = 0). Przemieszczenia poprzeczne mają wartość ok. 0,005 ÷ 0,0055 m a przy prędkości 70 m/s następuje zwiększenie do ok. 0,007 m i utrata stateczności przy prędkości 78 m/s. Na trasach o mniejszych promieniach łuków występowały wyłącznie rozwiązania stateczne stacjonarne. Zakres prędkości ruchu, dla których możliwy był ruch stateczny zmniejszał się wraz ze zmniejszaniem promienia łuku.

Drugi cykl badań wykonano dla ruchu modelu po tych samych trasach na torze o szerokości 1432 mm, czyli o 3 mm mniejszej od wartości nominalnej. Wyniki zamieszczono na rys. 4. Prędkość krytyczna na torze prostym ma tutaj wartość  $v_n = 102$  m/s. A więc jest większa w porównaniu z prędkością krytyczną na torze z nominalną szerokością o 9 m/s.



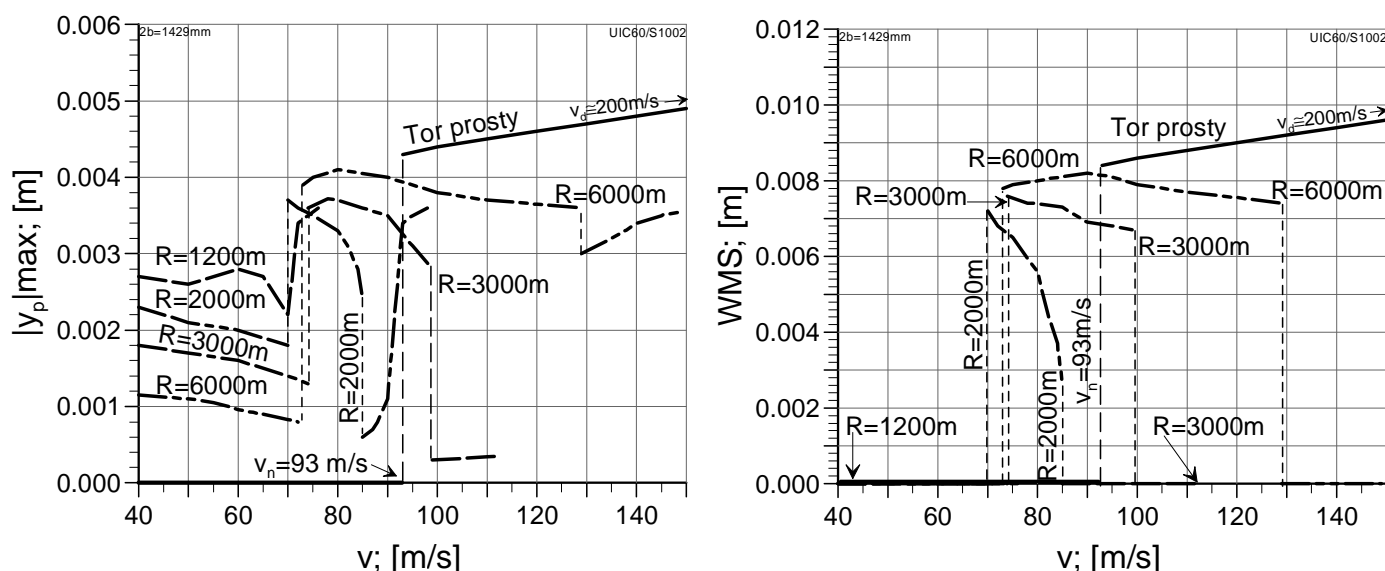
Rys. 4. Wartości maksymalne z bezwzględnych wartości przemieszczeń poprzecznych pierwszego zestawu kołowego oraz wartości międzyszczytowe tych przemieszczeń w funkcji prędkości ruchu na torze o szerokości 1432 mm.

Osiągnięcie krytycznej prędkości ruchu oznacza bifurkację rozwiązań do statecznych okresowych i związany z tym skokowy wzrost wartości przemieszczeń poprzecznych zestawu do 0,006 m. WMS osiągają wartość 0,0116 m i rosną do ok. 0,014 m wraz ze wzrostem prędkości. Charakterystyczną cechą tego przypadku jest utrzymywanie się rozwiązań statecznych okresowych do prędkości większych od 200 m/s (na wykresach przedstawiono wyniki do 150 m/s). Dopiero przy tak dużych prędkości pojawiały się

pierwsze symptomy utraty stateczności. Jest to niewątpliwie pozytywny efekt zmniejszenia szerokości toru. Na trasie o największym promieniu łuku  $R = 6000$  m, prędkość krytyczna ma wartość 67 m/s. Przy tej prędkości następuje bifurkacja rozwiązań do statecznych okresowych, które utrzymują się do prędkości 138 m/s. Rozwiązania stacjonarne kończą zakres rozwiązań statecznych przy prędkości 146 m/s. Na trasie o mniejszym promieniu łuku  $R = 3000$  m, prędkość krytyczna ma wartość  $v_n = 66$  m/s. Przy tej prędkości następuje bifurkacja rozwiązań do statecznych okresowych, które utrzymują się do 77 m/s. Powyżej tej prędkości następuje utrata stateczności ruchu. A więc zakres prędkości, dla których występują rozwiązania stateczne jest tutaj niewielki w porównaniu z poprzednią trasą.

Na trasie o promieniu  $R = 2000$  m prędkość krytyczna ma również wartość  $v_n = 66$  m/s. Przy tej prędkości następuje bifurkacja rozwiązań do statecznych okresowych, które utrzymują się do prędkości 93 m/s. Rozwiązania stacjonarne kończą zakres rozwiązań statecznych przy prędkości 98 m/s. Charakterystyczną cechą rozwiązań na tej trasie są znaczne zmiany wartości rozwiązań ( $|y_p|_{\max}$  od 0,0052 m do 0,0017 m i WMS od 0,010 m do 0,0018 m). Na trasie o najmniejszym badanym promieniu łuku  $R = 1200$  m, występowały wyłącznie rozwiązania stateczne stacjonarne. Powyżej prędkości 77 m/s następowała utrata stateczności. Ogólnie należy tutaj zauważyć zmniejszenie wartości przemieszczeń poprzecznych zestawu kołowego i wartości międzyszczytowych na wszystkich trasach w porównaniu z poprzednio analizowanym przypadkiem.

Trzeci cykl badań polegał na wykonaniu analogicznych symulacji na tych samych trasach dla toru o szerokości 1429 mm, a więc o 6 mm mniejszej od szerokości nominalnej. Wyniki przedstawiono na rys. 5.



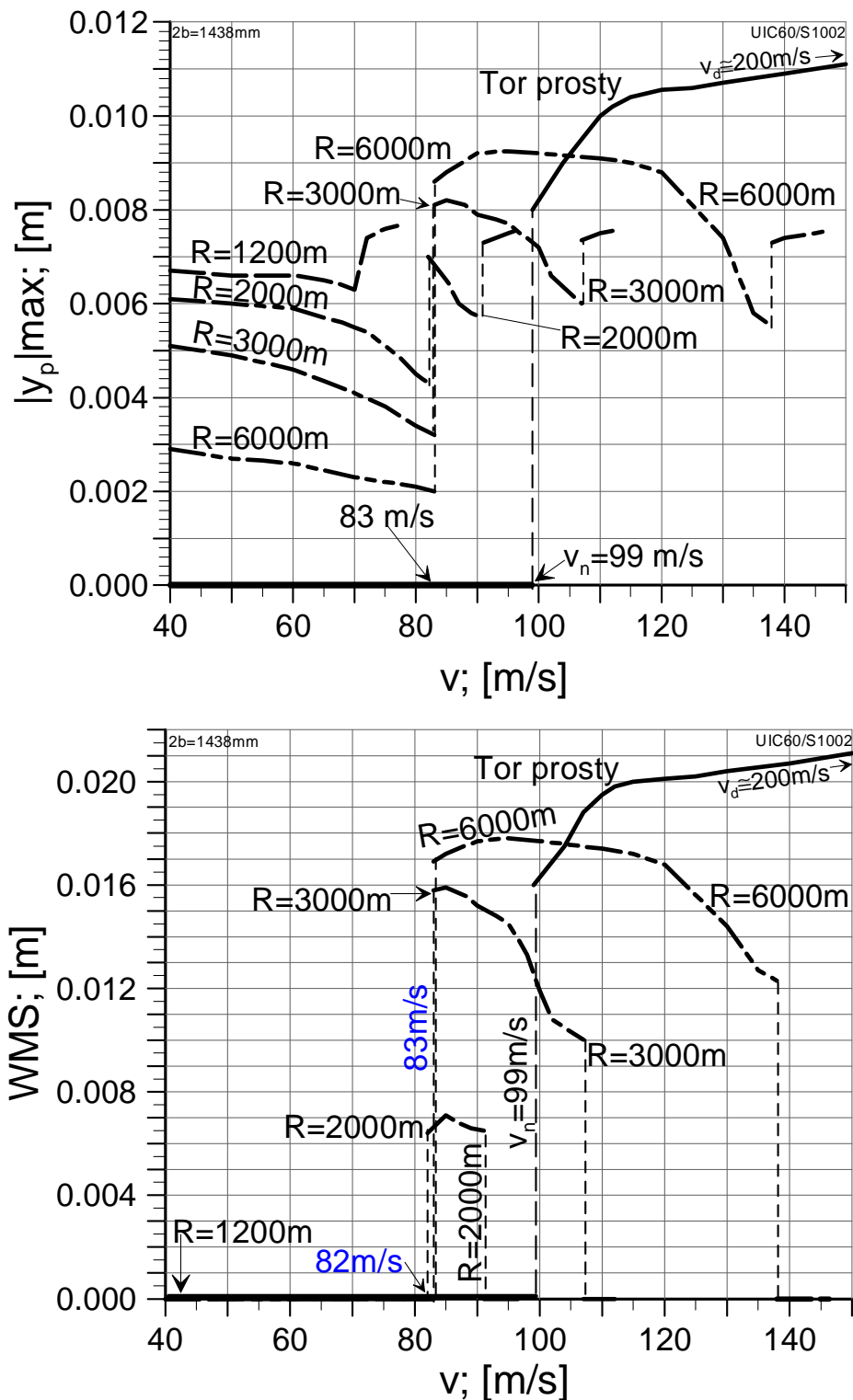
Rys. 5. Wartości maksymalne z bezwzględnych wartości przemieszczeń poprzecznych pierwszego zestawu kołowego oraz wartości międzyszczytowe tych przemieszczeń w funkcji prędkości ruchu na torze o szerokości 1429 mm.

Prędkość krytyczna na torze prostym ma wartość  $v_n = 93$  m/s, a więc taką samą jak no torze o nominalnej szerokości. Rozwiązania stateczne okresowe utrzymują się do prędkości ponad 200 m/s. Na trasie o promieniu łuku  $R = 6000$  m prędkość krytyczna wynosi  $v_n = 73$  m/s. A więc o kilka m/s więcej niż w poprzednio badanych przypadkach. Rozwiązania stateczne okresowe istnieją do prędkości 129 m/s i przy tej prędkości następuje bifurkacja do rozwiązań statecznych stacjonarnych utrzymujących się do 148 m/s. W nadkrytycznym zakresie prędkości ruchu zauważalne są niewielkie zmiany przemieszczeń poprzecznych jak i WMS w porównaniu z poprzednio badanymi przypadkami. Na trasie o promieniu  $R = 3000$  m prędkość krytyczna wynosi 74 m/s, a więc też jest o kilka m/s większa niż na torze szerszym. Rozwiązania stateczne okresowe utrzymują się do prędkości 98 m/s, przy której następuje bifurkacja do rozwiązań stacjonarnych. Maksymalna prędkość, przy której uzyskano rozwiązania stateczne stacjonarne na tej trasie wynosi 112 m/s. Na trasie o promieniu łuku  $R = 2000$  m, prędkość krytyczna wynosi  $v_n = 70$  m/s. Rozwiązania stateczne okresowe istnieją do prędkości 85 m/s, przy której następuje bifurkacja do rozwiązań stacjonarnych. Taki



charakter rozwiązań utrzymuje się do prędkości 98 m/s. Zauważalna jest tutaj znaczna zmiana wartości przemieszczeń od 0,0006 m do 0,0036 m na końcowym odcinku rozwiązań statecznych. Na trasie o promieniu łuku  $R = 1200$  m do prędkości 76 m/s występowały wyłącznie rozwiązania stateczne stacjonarne. Dla większych prędkości następowała utrata stateczności. Porównując te wyniki z poprzednio uzyskanymi dla toru szerszego można zauważyć znaczące zmniejszenie wartości przemieszczeń poprzecznych zestawu kołowego i wartości międzyszczytowych na wszystkich trasach.

Czwarty cykl badań wykonano na tych samych trasach dla toru o szerokości 1438 mm, czyli o 3 mm większej od wartości nominalnej. Wyniki przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wartości maksymalne z bezwzględnych wartości przemieszczeń poprzecznych pierwszego zestawu kołowego oraz wartości międzyszczytowe tych przemieszczeń w funkcji prędkości ruchu na torze o szerokości 1438 mm

Prędkość krytyczna na torze prostym ma wartość  $v_n = 99$  m/s. A więc jest większa od tej dla toru z nominalną szerokością. Rozwiązania stateczne okresowe utrzymują się do prędkości większych od 200 m/s. Na trasach zakrzywionych prędkości krytyczne są zbliżone  $v_n = 82 \div 83$  m/s. Na trasach o promieniach łuków  $R = 2000, 3000$  i  $6000$  m, na końcowym odcinku rozwiązań statecznych pojawia się bifurkacja rozwiązań okresowych do stacjonarnych. Na trasie o najmniejszym promieniu łuku  $R = 1200$  m, do prędkości 77 m/s, występują wyłącznie rozwiązania stateczne stacjonarne. Należy tutaj zauważyć znaczny wzrost wartości przemieszczeń poprzecznych zestawu kołowego i wartości międzyszczytowych na wszystkich trasach w porównaniu do wyników uzyskanych dla nominalnej szerokości toru. Jest to wynikiem zwiększenia luzu poprzecznego w układzie zestaw kołowy – tor.

## 5. WNIOSKI

Własności transportowe pojazdu szynowego determinowane są wieloma czynnikami, wśród których można wyróżnić maksymalną bezpieczną prędkość przejazdu po łukach. Wyznaczane w tych badaniach krytyczne prędkości ruchu stanowią graniczną maksymalną wartość prędkości, które są akceptowalne w układach rzeczywistych. Rozwiązania stateczne okresowe o charakterze cykli granicznych występujące dla prędkości ruchu większej od krytycznej pozwalają zaobserwować przebieg zmian wybranych parametrów modelu oraz oszacować zakres prędkości, dla których występują rozwiązania stateczne. Trasy kolei dużych prędkości, coraz częściej budowanych na świecie, złożone są głównie z odcinków prostych. Możliwy jest na nich ruch stateczny z większymi prędkościami. Jednakże ukształtowanie terenu często wymusza na projektantach tras stosowanie odcinków zakrzywionych. Wykonane badania pozwalają stwierdzić, że prędkość krytyczna na trasach zakrzywionych jest zawsze mniejsza od prędkości krytycznej na torze prostym. Oznacza to, że ruch po trasie zakrzywionej nawet o dużym promieniu łuku charakteryzuje się większą skłonnością do utraty stateczności. A więc i prędkość maksymalna rzeczywistego pojazdu na łuku musi być mniejsza od prędkości maksymalnej na torze prostym. Promień łuku ma niewielki wpływ na wartość prędkości krytycznej. Obserwowany tutaj parametr modelu – przemieszczenia poprzeczne pierwszego zestawu kołowego i ich wartości międzyszczytowe na trasach zakrzywionych są zawsze mniejsze niż na torze prostym. Należy również zauważyć, że zmniejszanie szerokości toru zmniejsza wartości przemieszczeń poprzecznych zestawu kołowego. Wynika to ze zmniejszenia luzu poprzecznego w układzie zestaw kołowy – tor. Ma jednak niewielki wpływ na zwiększenie prędkości krytycznej. Zwiększenie szerokości toru powoduje powiększenie luzu w układzie zestaw kołowy – tor. Sugerowało by to zmniejszenie wartości prędkości krytycznej. Tymczasem prędkość krytyczna zwiększyła się o kilkanaście m/s na trasach zakrzywionych i o kilka m/s na torze prostym w porównaniu do tych prędkości określonych na torze z nominalną szerokością. Na trasach o promieniach łuków  $R = 1200$  m i mniejszych jest możliwy ruch stateczny przy tak dużych prędkościach. Należy jednak mieć na uwadze fakt, iż utrata stateczności nastąpi bez dostrzegalnych sygnałów poprzedzających ten stan (brak rozwiązań okresowych). Kolejne badania prowadzone w tym temacie powinny skupić się właśnie na poprawie własności transportowych pojazdu na trasach o małych promieniach łuków.



**Streszczenie**

Artykuł zawiera wyniki badań modelu pojazdu szynowego. Celem badań jest zwiększenie efektywności transportowej pojazdu szynowego na etapie jego projektowania. Użyto komercyjnego oprogramowania komputerowego VI-Rail dedykowanego do badań symulacyjnych modeli pojazdów szynowych. Spośród wielu kluczowych parametrów modelu pojazd szynowy – tor decydujących o własnościach eksploatacyjnych przyszłego pojazdu, tutaj skupiono się na określeniu wpływu zmian szerokości toru na własności dynamiczne układu. Przy stałym rozstawie kół zestawów kołowych zbadano własności modelu dla czterech szerokości toru. Dla każdego przypadku określano prędkość krytyczną oraz własności układu w zakresie pod i nad krytycznych wartości prędkości ruchu. Badania obejmowały zarówno ruch po torze prostym jak i złożonym obejmującym odcinek prosty krzywą przejściową i łuk kołowy. Wyniki przedstawione są w postaci par wykresów przemieszczeń poprzecznych pierwszego zestawu kołowego w funkcji prędkości ruchu oraz wartości międzyszczytowych tych przemieszczeń również w funkcji prędkości.

Słowa kluczowe: symulacje komputerowe, dynamika pojazdów szynowych, stateczność ruchu

**The model researches of rail vehicle transport properties****Abstract**

Rail vehicle model transport property researches is the subject of present article. Increase of transport efficiency of real vehicle on the initial stage of design process is main aim of this investigations. Commercial software for rail vehicle model analysis intended VI-Rail was used. Track gauge influence on rail vehicle model dynamical properties was study. Four different values of track gauges were tested. Critical velocity value was determine for each track gauge case and vehicle properties below and above the critical velocity. The simulations in straight track as well as in curved track were performed. The first wheelset lateral displacements are observed and recorded. Pair of the bifurcation diagrams based on single simulations is a form of the results presentation. They present wheelset maximum lateral displacements absolute value versus velocity and peak-to-peak values of this displacements versus velocity too.

Key words: track gauge, rail vehicle lateral stability, vehicle dynamical model, computer simulation.

**LITERATURA**

- [1] Braghin F., Bruni S., Alfi S.: Critical velocity of railway vehicles, 10th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, November 6-8. 2006, Proceedings of the 10<sup>th</sup> VSDIA 2006 Mini Conference, Edited by Prof. I. Zobory, pp. 143-152
- [2] Dusza M., Zboiński K.: Badania stateczności ruchu pojazdu szynowego w torze zakrzywionym metodą symulacji komputerowej. Kwartalnik naukowo – techniczny Pojazdy Szynowe nr 2/2004, str. 28-34.
- [3] Gasch R., Moelle D., Knothe K.: The effect of non-linearities on the limit-cycles of railway vehicles, Proceedings of the 8<sup>th</sup> IAVSD-Symposium, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, Swets & Zeitlinger, pp. 207-224, Lisse, 1984.
- [4] Hoffmann M., True H.: The dynamics of European two-axle railway freight wagons with UIC standard suspension, Vehicle System Dynamics, Berkeley 2007, Vol. 46, Supplement, pp. 225-236, Taylor & Francis, UK, 2008.
- [5] Moelle D., Gasch R.: Nonlinear bogie hunting, Proceedings of the 7<sup>th</sup> IAVSD Symposium, Cambridge University, UK, Swets & Zeitlinger, pp. 455-467, Lisse, 1982.
- [6] Polach O.: Characteristic parameters of nonlinear wheel/rail contact geometry, 21<sup>st</sup> International Symposium IAVSD 2009 Stockholm, Sweden. (CD rom). Vehicle System Dynamics, Vol. 48, Supplement, 2010, pp. 19-36.
- [7] True H., Jensen Ch.: Parameter study of hunting and chaos in railway vehicle dynamics, Proceedings of 13<sup>th</sup> IAVSD Symposium, supplement to Vehicle System Dynamics, vol. 23, 1993, pp. 508-521.
- [8] Zboiński K., Dusza M.: Analysis and method of the analysis of non-linear lateral stability of railway vehicles in curved track, Proceedings of 18<sup>th</sup> IAVSD Symposium, Kanagawa 2003, supplement to Vehicle System Dynamics vol. 41, 2004, pp. 222-231.
- [9] Zboiński K., Dusza M.: Development of the method and analysis for non-linear lateral stability of railway vehicles in a curved track, Proceedings of 19<sup>th</sup> IAVSD Symposium, Milan 2005, supplement to Vehicle System Dynamics vol. 44, 2006, pp. 147-157.
- [10] Zboiński K., Dusza M.: Analysis of lateral stability of a railway vehicle model in the context of different values of rail inclination, Proceedings of 10<sup>th</sup> VSDIA Conference, Budapest 2006, pp. 153-160.

- [11] Zboiński K., Dusza M.: Bifurcation approach to the influence of rolling radius modelling and rail inclination on the stability of railway vehicle in a curved track, Proceedings of 20<sup>th</sup> IAVSD Symposium, Berkeley 2007, supplement to Vehicle System Dynamics, vol. 46, 2008, pp. 1023-1037.
- [12] Zboiński K., Dusza M.: Self-exciting vibrations and Hopf's bifurcation in non-linear stability analysis of rail vehicles in curved track, European Journal of Mechanics, Part A/Solids, vol. 29, no. 2, 2010, pp. 190-203.
- [13] Zboiński K., Dusza M.: Extended study of rail vehicle lateral stability in a curved track, Vehicle System Dynamics, Vol. 49, No. 5, May 2011, pp. 789-810.