

## Symulacyjne komputerowe badania dynamiczne modułowego pojazdu do transportu kombinowanego, kolejowo-drogowego

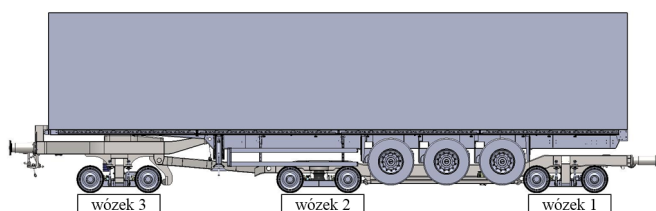
W artykule przedstawiono wyniki symulacyjnych badań dynamicznych „Modułowego systemu transportu kombinowanego”, służącego do przewozu naczep siodłowych. Z racji specyficznej konstrukcji platform do transportu kombinowanego konieczne jest sprzęgnięcie dwóch takich pojazdów. W innym przypadku nie było by możliwe skonfigurowanie pociągu w skład którego wchodzi inne wagony, dlatego omawiane badania zostały przeprowadzone właśnie dla takiego składu.

Zaprezentowano sposób przeprowadzenia oraz wyniki badań odnoszących się do stabilności ruchu pojazdu, badań liniowych (eksploatacyjnych) obejmujących bezpieczeństwo jazdy, obciążenie toru i spokojność biegu. Podczas badań liniowych wykonano serię przejazdów po prostej jak i w łuku przy uwzględnieniu rzeczywistych, zmierzonych nierówności toru. Badania zostały przeprowadzone w oparciu o wymagania zawarte w normie PN-EN-14363.

Scenariusze badań oraz wyniki odnoszące się do pojazdu modułowego do transportu kolejowo-drogowego, prezentowane w referacie, są wynikiem prac badawczych przeprowadzonych w ramach realizacji projektu rozwojowego nr R10-0065-10 „System transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym”.

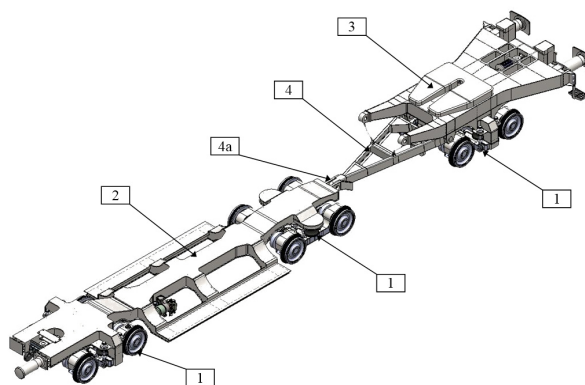
### 1 OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań jest platforma do transportu kombinowanego (dalej zwana bimodalną) (rys.1) przeznaczona do przewozu naczepy ciągnika siodłowego. Konstrukcja analizowanej platformy składa się z sześciu podstawowych elementów, które przedstawiono na rysunku 2: trzech wózków jezdnych 1, platformy pod koła naczepy 2, ramy pod gniazdo naczepy 3, elementu łącznikowego pomiędzy platformą a ramą pod gniazdo 4. Element łącznikowy 4 połączony jest z platformą pod koła naczepy 2 za pomocą przegubu kulistego 4a, a z ramą naczepy 3 za pomocą dwóch sworzni 4b.

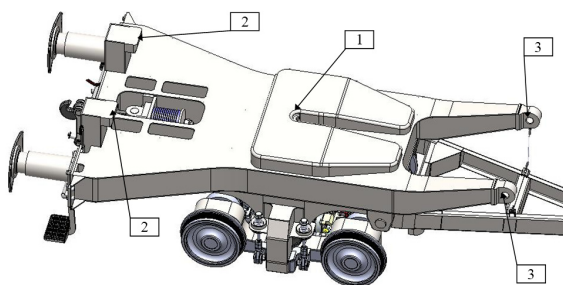


Rys. 1 - Platforma bimodalna wraz z naczepą ciągnika siodłowego

Naczepa jest połączona z ramą pod gniazdo naczepy w pięciu punktach (rys. 3) które razem tworzą sztywne połączenie pomiędzy tymi elementami.

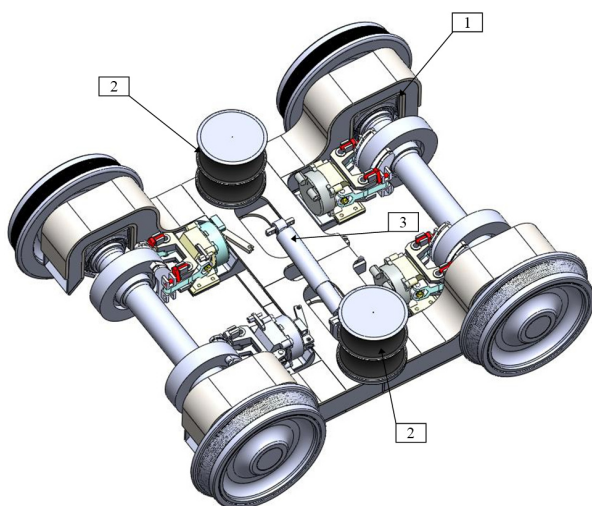


Rys. 2 - Widok platformy bimodalnej bez naczepy

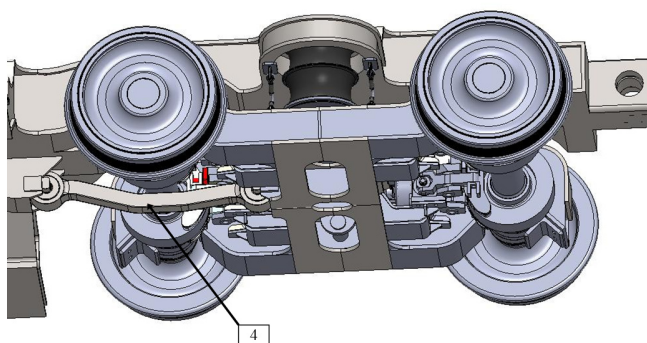


Rys. 3 - Miejsca połączenia naczepy z ramą: 1 – mocowania czopu naczepy, 2 – ograniczniki pionowe, 3 – otwory pod sworznie łączące

Analizowany pojazd wyposażony jest w trzy wózki (rys. 4) o bazie 1,36 m zaopatrzone w zestawy kołowe z kołami o średnicy 580 mm. Pierwszy stopień usprężynowania stanowią przekładki gumowe 1 znajdujące się pomiędzy maźnicami zestawów kołowych a ramą wózka. Omawiane przekładki gumowe zastosowano w celu uzyskania pożądanych wartości sztywności prowadzenia zestawów kołowych w kierunku wzdłużnym i poprzecznym. Ze względu na dużą wartość sztywności pionowej, elementy te nie mają wpływu na dynamikę pionową pojazdu. Drugi stopień usprężynowania stanowią sprężyny gumowo metalowe 2, elementy te umożliwiają dodatkowo obrót wózka względem nadwozia pojazdu. W drugim stopniu występuje również tłumik drgań poprzecznych 3. Siła trakcyjna i hamująca pomiędzy wózkiem a nadwoziem pojazdu przekazywana jest przez ciągiel 4 (rys. 5). W pojeździe przewidziano również zastosowanie tłumików wężykowania zainstalowanych pomiędzy ramami wózków a nadwoziem platformy.



Rys. 4 - Widok wózka platformy bimodalnej (bez tłumików wężykowania)



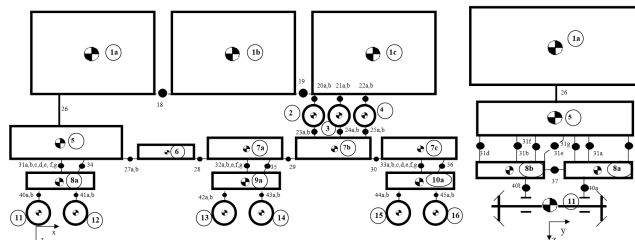
Rys. 5 - Widok wózka platformy bimodalnej (bez tłumików wężykowania)

## 2 MODEL MECHANICZNY

Model mechaniczny analizowanego pojazdu składa się z brył sztywnych połączonych elementami podatnymi oraz elementami łączącymi umożliwiającymi wprowadzenie więzów pomiędzy bryłami. W

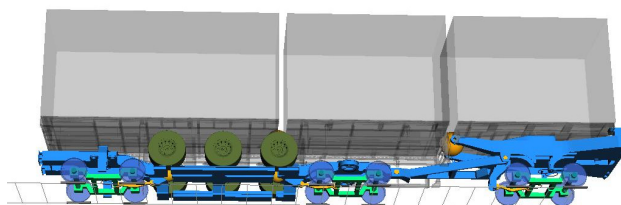
celu zapewnienia odpowiednich dokładności modelu nadwozie naczepy, platforma pod koła naczepy oraz rama wózków zostały podzielone na odpowiednią ilość brył sztywnych tak aby było możliwe wprowadzenie pomiędzy analizowanymi bryłami sztywności odzwierciedlających realne wartości podatności tych elementów.

Na rysunku 6 pokazano schemat wzajemnych powiązań kinematycznych brył sztywnych pojazdu.



Rys. 6 - Schemat mechaniczny pojazdu bimodalnego

Na podstawie opracowanego modelu mechanicznego zbudowano w programie SIMPACK model analizowanego pojazdu bimodalnego tak jak pokazano na rysunku 7.



Rys. 7 - Widok modelu platformy bimodalnej wraz z naczepą w programie SIMPACK

## 3 ANALIZA UZYSKANYCH PRZEBIEGÓW

Badanie stabilności ruchu pojazdu zostało wykonane na podstawie obserwacji odpowiedzi pojazdu na zadane wstępnie wychylenie od osi toru. Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 1. W pierwszej fazie badań poddano analizie skład załadowany pustymi naczepami. Przy prędkości 138 km/h, ruch pojazdu z pustymi naczepami jest stabilny. Ponieważ po wychyleniu zestawów kołowych z osi toru (przejazd przez odpowiednio przygotowany krótki odcinek toru) występują zanikające drgania, w efekcie pojazd wraca do osi toru. Wyniki uzyskane dla przejazdu z prędkością 145 km/h, w tej sytuacji ruch pojazdu jest już nie stabilny. Analogicznie w tej samej tabeli (tab. 1) pokazano otrzymane przebiegi wychylenia poprzecznego zestawów kołowych dla składu z naczepami załadowanymi przy prędkości odpowiednio 160 km/h oraz 165 km/h, przy pierwszej z podanych prędkości ruch pojazdu jest nadal stabilny. Z przedstawionych przebiegów można wnioskować że prędkość krytyczna pojazdu wynosi 138 km/h.

W celu sprawdzenia celowości zastosowania tłumików wężykowania przeprowadzono dodatkowy analizę stabilności ruchu modelu pojazdu z wyłączonymi tłumikami wężykowania. Prędkość krytyczna składu pustych pojazdu bez tłumików wężykowania wynosi 100 km/h.

Lp	Stan	Prędkość [km/h]	Przemieszczenie poprzeczne trzeciego zestawu kołowego pierwszego wagonu
1.	Naczepy puste z tłumikami	138	
2.	Naczepy puste z tłumikami	145	
3.	Naczepy załadowane z tłumikami	160	
4.	Naczepy załadowane z tłumikami	165	
5.	Naczepy puste bez tłumików	100	
6.	Naczepy puste bez tłumików	105	

Badania linowe zostały przeprowadzone na podstawie wytycznych zawartych w normie PN-EN 14363, zrealizowano scenariusz normalnej metody pomiarowej. Omawiane badania składają się z trzech części:

- bezpieczeństwo jazdy;
- obciążenie toru;
- własności dynamiczne (spokojność biegu).

Podczas badań wykonano serię symulacji przejazdu składu z pełnymi i pustymi naczepami po czterech odcinkach toru, realizujących charakterystykę zmierzoną na torze rzeczywistym.

Tory badawcze:

- tor 1, prosty odcinek toru;
- tor 2, łuk o dużym promieniu ( $R=800\text{m}$ , przechyłka 120mm);
- tor 3, łuk o małym promieniu ( $R=500\text{m}$ , przechyłka 150mm);
- tor 4, łuk o bardzo małym promieniu ( $R=250\text{m}$ , przechyłka 150mm).

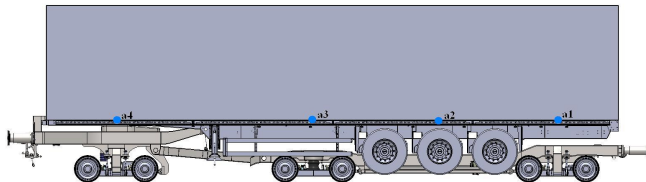
Na poszczególnych torach badawczych wykonano przejazdy z następującymi prędkościami:

- tor 1, 110%  $V_{\text{max}}=132\text{ km/h}$ ;
- tor 2, 122 km/h;
- tor 3, 105 km/h;
- tor 4, 72 km/h.

Lp	Punkt pomiarowy	Wyznaczone parametry [m/s <sup>2</sup> ]	Zarejestrowane przebiegi
1	a1	$a_{y\text{qst}}=0,66$ $a_{y\text{max}}=1,72$ $a_{y\text{rms}}=0,33$ $a_{z\text{max}}=0,88$ $a_{z\text{rms}}=1,08$	
2	a2	$a_{y\text{qst}}=0,66$ $a_{y\text{max}}=1,16$ $a_{y\text{rms}}=0,25$ $a_{z\text{max}}=0,50$ $a_{z\text{rms}}=1,13$	
3	a3	$a_{y\text{qst}}=0,65$ $a_{y\text{max}}=0,83$ $a_{y\text{rms}}=0,18$ $a_{z\text{max}}=0,43$ $a_{z\text{rms}}=1,13$	
	a4	$a_{y\text{qst}}=0,66$ $a_{y\text{max}}=0,59$ $a_{y\text{rms}}=0,18$ $a_{z\text{max}}=0,56$ $a_{z\text{rms}}=1,18$	

Dla przejazdów realizowanych na torze 2, 3 i 4 niezerównoważone przyspieszenie boczne wynosi  $0,66 \text{ m/s}^2$  ( $0,6 \text{ m/s}^2 + 10\%$ , odpowiada to niedoborowi przechyłki na poziomie  $99,6 \text{ mm}$ ).

Przykładowe wyniki przedstawione w tabeli 2 otrzymano w punktach pomiarowych z rysunku 8.



Rys. 8 - Rozmieszczenie punktów pomiarowych dla wagonu pierwszego (a), dla pozostałych wagonów punkty pomiarowe rozmieszczono analogicznie

#### 4 PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione badania symulacyjne zostały wykonane w oparciu o wymagania zawarte w normie PN-EN-14363.

W części dotyczącej badań liniowych wykonano serię przejazdów po rzeczywistym torze, zarówno prostym jak i w łuku. Wyniki uzyskane dla bezpieczeństwa jazdy spełniają wymagania zawarte w normie [1], gorsze parametry otrzymane podczas przejazdu po łuku, częściowo wynikają z wyczerpania luzu pomiędzy ramą wózka a odbijakami ograniczającymi przesuw poprzeczny wózka, co powoduje duży wzrost sztywności poprzecznej. Analiza stabilności ruchu pojazdu przeprowadzona metodą obserwacji odpowiedzi układu na wymuszenia impulsowe jak i poprzez analizę siły prowadzącej na zestawach kołowych podczas przejazdu przez tor rzeczywisty wykazała, że pojazd do prędkości maksymalnej  $120 \text{ km/h}$  (plus  $10\%$  wymagane przez normę) nie wykazuje tendencji do niestabilności ruchu, wyznaczona prędkość krytyczna pojazdu wynosi  $138 \text{ km/h}$ . W przypadku pojazdu niewyposażonego w tłumiki wężykowania maksymalna prędkość eksploatacyjna może wynosić tylko  $90 \text{ km/h}$  i wynika z pojawiania się niestabilności ruchu przy prędkości około  $100 \text{ km/h}$  dla platformy bimodalnej z pustymi naczepami.

Wyniki obliczeń symulacyjnych pojazdu bimodalnego przedstawione w niniejszym opracowaniu pozwalają pozytywnie ocenić obciążenie toru spowodowane przejazdem analizowanego pojazdu. Wszystkie wymagane wielkości odnoszące się do obciążenia toru są spełnione z dużym zapasem bezpieczeństwa.

Przeprowadzone symulacje wykazały że analizowany pojazd wykazuje wystarczającą spokojność biegu do prędkości maksymalnej. Podobnie jak w przypadku bezpieczeństwa jazdy nieco gorsze parametry uzyskano podczas przejazdu w łuku, wynikają one z wyczerpania luzu poprzecznego w zawieszeniu drugiego stopnia.

Podsumowując można stwierdzić że analizowany model pojazdu bimodalnego do prędkości  $120 \text{ km/h}$  ( $120 \text{ km/h} + 10\%$ ) spełnia wymagania zawarte w normie PN-EN-14363.

#### Bibliografia

- [1] PN-EN 14363: Kolejnictwo. Badania własności dynamicznych dla dopuszczenia (homologacji) pojazdów szynowych. Badania własności biegowych i próby stacjonarne. PKN, Warszawa 2007
- [2] Kodeks UIC 530-2: Wagony towarowe - Bezpieczeństwo jazdy, Międzynarodowy Związek Kolei UIC, 2011
- [3] Medwid M.: Polski system transportu kolejowo-drogowego (bimodalnego) typu TABOR, Wydawnictwo IPS "TABOR", Poznań 2006
- [4] Madej J., Medwid M.: Modułowy system transportu naczep siodłowych na wózkach kolejowych w ruchu kombinowanym kolejowo-drogowym, Pojazdy Szynowe, IPS "TABOR", Poznań 02/2013