

Marian Medwid

Tabor bimodalny do przewozów kombinowanych kolejowo-drogowych (1)

Transport bimodalny łączy dwa różne rodzaje transportu, np. drogowo-morski, kolejowo-drogowy, drogowo-powietrzny i inne. W artykule omówiono zagadnienia dotyczące pojazdów transportu kolejowo-drogowego. Technika przewozów bimodalnych, kolejowo-drogowych, została zainicjowana i rozwinięta w Stanach Zjednoczonych, gdzie szybko doceniono korzyści płynące ze stosowania tego systemu transportowego. Kiedy na początku lat 80. XX w. na deskach kreślarskich europejskich konstruktorów rodziły się projekty nowych technologii kolejowo-drogowego transportu kombinowanego, w Stanach Zjednoczonych był już z powodzeniem eksploatowany nowatorski, bimodalny system transportu naczep samochodowych na wózkach kolejowych, znany pod nazwą Roadrailer (rys. 1).

Wdrożenie systemu bimodalnego do eksploatacji skutkuje ograniczeniem liczby naczep samochodowych transportowanych drogą kołową, co przekłada się na zmniejszenie zatłoczenia dróg kołowych i ich degradacji, jak również obniżenie poziomu emisji spalin i hałasu, emitowanych do atmosfery przez ciągniki siodłowe z naczepami.

Bimodalna technika transportu naczep samochodowych ogranicza zapotrzebowanie na energię niezbędną do wykonania pracy przewozowej. Wynika to z mniejszych oporów toczenia kół stalowych po torach kolejowych w porównaniu do oporów toczenia opon naczep po drogach kołowych. Technika bimodalna charakteryzuje się również lepszym współczynnikiem stosunku masy transportowanego towaru do masy taboru w uformowaniu kolejowym. Wiele innych zalet i korzyści wynikających z bimodalnej techniki transportowej przedstawiono w pracach [1, 6, 8, 10, 13, 22, 25, 30].

Zmiany polityczne i strukturalne, jakie zaszły w ostatnim dziesięcioleciu w Europie, otworzyły gospodarcze rynki europejskie, umożliwiając swobodny przepływ towarów między krajami Europy. Wpłynęło to bezpośrednio na skokowy przyrost liczby naczep samochodowych na drogach i autostradach Europy, szczególnie Niemiec i Polski. W 1990 r. koleje niemieckie, w porozumieniu z przewoźnikami drogowymi, podjęły decyzję wprowadzenia amerykańskiego taboru Roadrailer do eksploatacji próbnej na sieci kolei DB (Deutsche Bahn). Na podstawie pozytywnych wyników badań amerykański tabor przystosowano



Rys. 1. Amerykański tabor bimodalny Roadrailer

do europejskich przepisów kolejowych UIC (*Union Internationale des Chemis de fer*) i wdrożono do eksploatacji na linii Hamburg – Weron. Europejska odmiana taboru amerykańskiego otrzymała nazwę Roadrailer Europa (rys. 2).

Jednocześnie w latach 1980–1990 powstało kilka prototypów europejskiego taboru bimodalnego, z których do najbardziej zaawansowanych pod względem walorów technicznych i eksploatacyjnych należy zaliczyć systemy:

- francusko-niemiecki – Kombirail (rys. 3),
- hiszpański – Transtrailer,
- niemiecki – Kombitrailer,
- holenderski – Coda-E.

Szczegółowy opis tych systemów przedstawiono w pracach [1, 5, 8, 32].

Dopuszczenie do eksploatacji na sieci kolei europejskiej, przez wpis do Karty UIC 597 [32], otrzymały systemy: Roadrailer Europa, Kombirail, Transtrailer oraz w ostatnim czasie (w 2004 r.) Coda-E.

Problem rosnącego zatłoczenia europejskich dróg i autostrad został dostrzeżony przez ekspertów Unii Europejskiej. W krajach starej Unii transport kolejowy w ostatnich latach tracił



Rys. 2. Tabor Roadrailer Europa

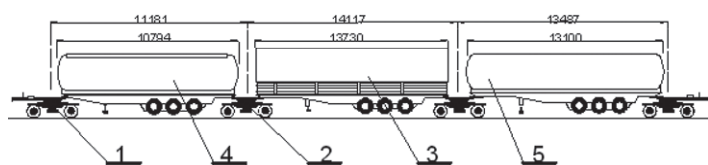


Rys. 3. System francusko-niemiecki – Kombirail

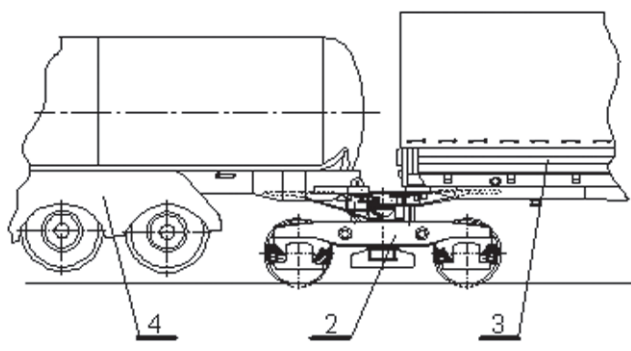
na znaczeniu. Jego udział zmniejszał się z 20% całkowitej masy towarów przewiezionych w 1970 r. do 8,3% w 1998 r. i 7,5% w 2003 r. [11]. Udział kolei w rynku przewozowym w dużej mierze przejął transport drogowy. Aby odwrócić tendencję spadkowej udziału kolei w przewozach towarowych, Komisja Europejska w 2002 r. zaproponowała wdrożenie programu Marco Polo wspierającego rozwój usług intermodalnych, zmniejszającego problem zatłoczenia europejskich szlaków drogowych.

Program Marco Polo obejmuje lata 2003–2006. Jego budżet to 100 mln euro dla 25 krajów członkowskich UE. Sukces programu Marco Polo zachęcił Komisję do stworzenia nowego, rozszerzonego projektu, którego realizacja rozpoczęłaby się w 2007 r.

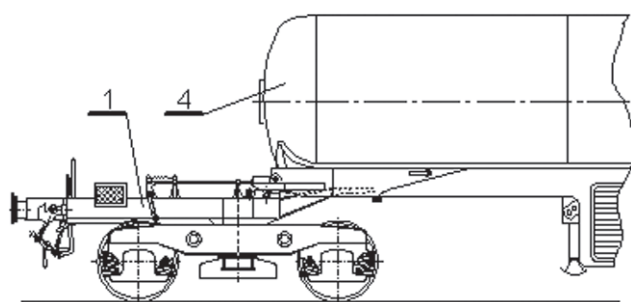
Program powinien pomóc przenieść oczekiwane zwiększenie międzynarodowych przewozów tirami (12 mld tkm rocznie) z zatłoczonych dróg na kolej i inne środki transportu.



Rys. 4. Zestaw nacze bimodalnych w uformowaniu kolejowym



Rys. 5a. Połączenie naczep z wózkiem adaptera środkowego



Rys. 5b. Połączenie naczep z wózkiem za pomocą adaptera końcowego



Rys. 6. Prototypowy pociąg bimodalny

Ze względu na centralne położenie Polski w Europie, duża część towarów będzie przewożona tranzytem, polskimi drogami. Już w chwili obecnej polskie drogi tranzytowe są nadmiernie eksploatowane. Założony program budowy autostrad może okazać się niewystarczający do wchłonięcia przewidywanego w najbliższych latach zwiększenia transportu masy towarów, czego przykładem mogą być Niemcy, gdzie rozbudowana infrastruktura autostrad jest nadal niewystarczająca do zapewnienia płynnego ruchu samochodów. Tymczasem tory kolejowe są ciągle nie wykorzystane, a istniejące tu rezerwy umożliwiają przeniesienie dużej liczby naczep samochodowych z dróg na tory kolejowe, przy wykorzystaniu kolejowo-drogowej bimodalnej techniki transportowej.

Wychodząc naprzeciw oczekiwany problemom komunikacyjnym, w Instytucie Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu, we współpracy z Instytutem Pojazdów Politechniki Warszawskiej oraz polskimi zakładami przemysłowymi, wykonano prototyp taboru bimodalnego z oryginalnym rozwiązaniem dwuczęściowego, przegubowego i symetrycznego adaptera środkowego, przystosowany do prędkości ruchu 160 km/h. Walory eksploatacyjne polskiego rozwiązania potwierdzono badaniami przeprowadzonymi w polskich i niemieckich ośrodkach badawczych. Polskie rozwiązanie konstrukcyjne uzyskało ochronę patentową patentem europejskim nr EP 0762965B109.09.1998.

Założenia dla eksperymentalnego pociągu bimodalnego typu „TABOR”

W latach 1993–1995 w Instytucie Pojazdów Szynowych w Poznaniu opracowano dokumentację konstrukcyjną taboru do transportu bimodalnego. Prace projektowe poprzedzono badaniami symulacyjnymi dynamiki ruchu pociągu, wykonanymi w Zakładzie Pojazdów Szynowych Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, w celu potwierdzenia właściwego doboru parametrów konstrukcyjnych zespołów pociągu bimodalnego, zwłaszcza parametrów układu biegowego. Wyniki prac zawarto między innymi w publikacjach [1, 15, 16, 17, 18]. Na podstawie opracowanej dokumentacji zbudowano eksperymentalny prototyp pociągu bimodalnego, pokazany fragmentarycznie na rysunkach 4, 5a i 5b. Pociąg jest złożony z trzech jednostek ładunkowych: skrzyniowej naczepy bimodalnej (3), cysterny bimodalnej (4) do przewozu benzyn i cysterny bimodalnej (5) do przewozu gazu skroplonego propan-butan. Jednostki ładunkowe zostały osadzone na czterech wózkach kolejowych: na dwóch wózkach z adapterami końcowymi (1) i na dwóch wózkach z adapterami środkowymi (2). Na rysunkach 5a i 5b przedstawiono połączenie naczep z adapterem środkowym oraz końcowym.

Prototypowe części składowe pociągu wykonano pod nadzorem IPS „Tabor” w następujących zakładach przemysłowych:

- adaptery końcowe i środkowe w Zastalu-Wagony,
- wózki wagonowe w Pafawagu-Wrocław,
- naczepę skrzyniową w Fabryce Pojazdów Ciężarowych Zreimb-Wrocław,
- cysterny do przewozu benzyn i gazu propan-butan w Przedsiębiorstwie Handlowo Produkcyjnym Zasta-Słupsk.

Montaż prototypu pociągu bimodalnego oraz wstępne próby ruchowe na torach wykonano w IPS „Tabor”.

Charakterystyka techniczna pociągu

Masa wózka środkowego z adapterem	8300 kg
Masa wózka końcowego z adapterem	8700 kg
Masa naczepy skrzyniowej	10 700 kg
Ładowność naczepy	26 300 kg
Gabaryty naczepy	
– wysokość	3900 mm (ścięte narożniki)
– szerokość	2430 mm
– długość	13 730 mm
Masa cysterny paliwowej	11 000 kg
Ładowność cysterny	26 000 kg
Długość cysterny	10 794 mm
Masa cysterny gazowej	15 000 kg
Ładowność cysterny	22 000 kg
Długość cysterny	13 100 mm
Rozstaw czopów skrętu	
– naczepy skrzyniowej	14 117 mm
– cysterny paliwowej	11 181 mm
– cysterny gazowej	13 487 mm
Maksymalny nacisk osi zestawu kołowego na tor	225 kN
Maksymalna prędkość pociągu	120 km/h przy nacisku osi 225 kN 160 km/h przy nacisku osi 180 kN
Przesuw poprzeczny belki bujawkowej wózka	50 mm
Wysokość siodeł adaptera środkowego w stanie swobodnym	1277 mm
Wysokość siodeł adaptera końcowego w stanie swobodnym	1263 mm
Minimalny promień łuku poziomego	75 m
Minimalny promień łuku pionowego	500 m
Minimalny łuk/kąt rampy promowej	120 m/1,5°
Maksymalna strzałka ugięcia naczepy skrzyniowej przy pełnym obciążeniu	5‰
Zdolność przenoszenia sił wzdłużnych pociągu przy maksymalnym obciążeniu pionowym	
– ściskanie	850 kN
– rozciąganie	850 kN

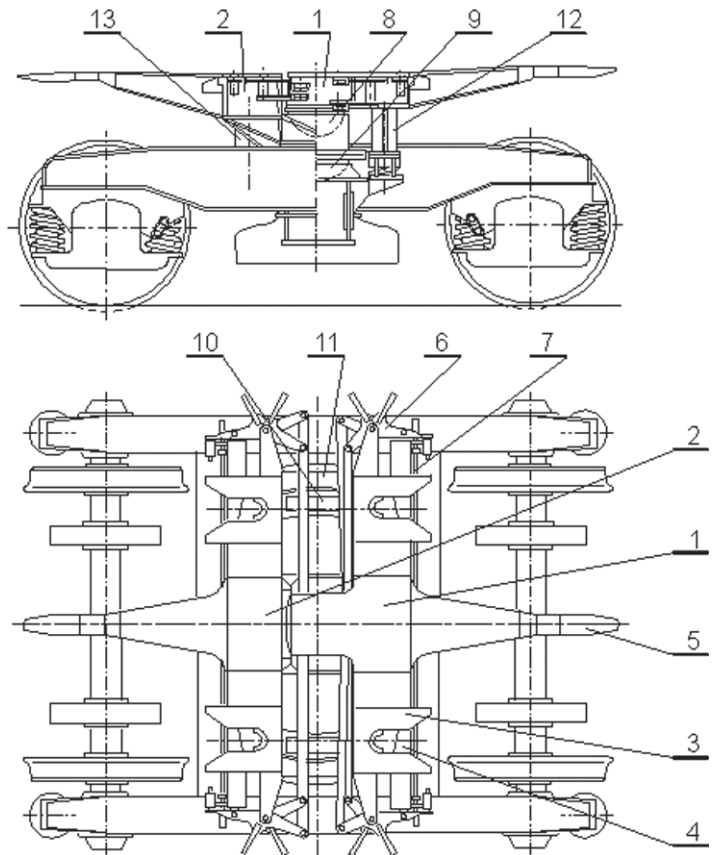
Części składowe pociągu Adapter wózka środkowego

Adapter wózka środkowego (międzynaczepowy) przedstawiono na rysunkach 7a i 7b. Jest on przeznaczony do transportowego połączenia naczep samochodowych z wózkami wagonowymi w uformowaniu kolejowym oraz służy do przeniesienia na wózki wagonowe sił wzdłużnych, poprzecznych i pionowych, występujących między adapterami a naczepami.

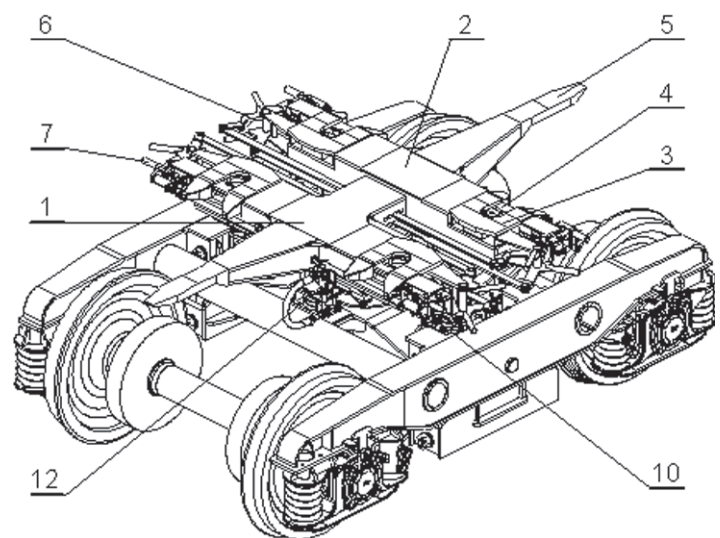
Konstrukcja adaptera zapewnia równy nacisk zestawów kołowych wózka na szyny przy różnych masach własnych naczep i obciążeniach naczep umocowanych na adapterze.

Kompletny adapter wózka środkowego jest złożony z dwóch części: póładaptera górnego (1) i póładaptera dolnego (2). Póładaptery górny i dolny są wykonane z blach zespawanych ze sobą tak, że tworzą konstrukcje przestrzenne, w których są umocowane podzespoły i mechanizmy spełniające różne funkcje. Obie części adaptera wózka środkowego są związane nieruchomo z końcami naczep za pomocą zamków (4) i stanowią przedłużenie naczep zakończone połączeniem przegubowym (8) między póładapterami górnym i dolnym, oraz połączeniem przegubowym (9) między póładapterem dolnym i wózkiem.

Każdy koniec naczepy opiera się na póładapterze (górnym lub dolnym) w trzech punktach, to jest na dwóch siódlach adaptera (3) oraz na końcu czopa naprowadzającego (5). Każdy z póładapterów, tzn. górny i dolny, opiera się z kolei na wózku za pośrednictwem czopów kulistych (8) i (9) oraz czterech spręży-



Rys. 7a. Dwudzielny adapter wózka środkowego



Rys. 7b. Adapter wózka środkowego

stych ślizgów bocznych (10) i (11), związanych odpowiednio z póładapterem górnym i dolnym.

Tak więc każdy z póładapterów, a tym samym każdy koniec naczepy, jest oparty na wózku kolejowym w sposób typowy dla wagonu towarowego, tzn. za pomocą czopa skrętu oraz dwóch sprężystych ślizgów bocznych.

Siły oddziaływania naczepy na wózek kolejowy są przenoszone z naczepy na adapter przez siodełka adaptera (3) i w niewielkim stopniu przez czop naprowadzający (5), a następnie z adaptera na wózek przez przegubowe połączenie (8) między

póładapterami i przez czop skrzytu wózka (9) oraz sprężyste ślizgi boczne (10) i (11).

Siły poziome (pociągowe, hamowania i siły boczne) są przenoszone z naczep na póładaptery za pomocą zamków (4) oraz połączenia przegubowego (8) między póładapterem górnym i dolnym, i dalej na wózek kolejowy przez czop skrzytu wózka (9). Każdy z póładapterów zarówno górny, jak i dolny, został wyposażony w dwa zamki mocujące każdy koniec naczepy do adaptera.

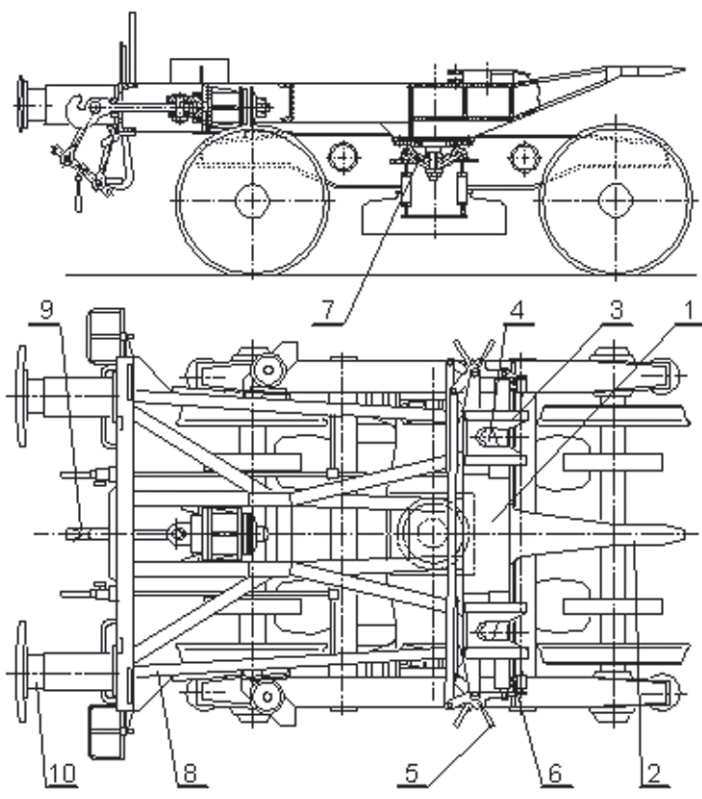
Zdwojony system ryglowania naczepy na adapterze ma istotne znaczenie eksploatacyjne, ponieważ podnosi stopień bezpieczeństwa ruchu na torach kolejowych. Jeśli w czasie jazdy nastąpi awaria jednego z zamków, to uszkodzenie to nie doprowadzi do rozerwania pociągu, ponieważ możliwa jest dalsza awaryjna jazda na jednym zamku.

Adapter wózka końcowego

Adapter wózka końcowego (rys. 8) służy do połączenia z wózkiem kolejowym skrajnych naczep składu pociągu oraz do połączenia bimodalnego składu pociągu z lokomotywą lub klasycznym składem towarowym.

Adapter końcowy składa się z dwóch części: część bimodalna umożliwia połączenie adaptera z naczepą; natomiast część sprzęgłowo-zderzna umożliwi połączenie adaptera z lokomotywą lub klasycznym składem wagonów towarowych.

Część bimodalną wykonano w postaci spawanej belki (1) z czopem naprowadzającym (2), siódlami (3), zamkami (4), mechanizmem dźwigniowym otwierania zamków (5), mechanizmem zabezpieczającym i blokującym (6). W dolnej części, belkę (1) zaopatrzono w typowy czop skrzytu (7) do zamocowania adaptera końcowego na wózku oraz jedną parę ślizgów bocznych. Wszystkie mechanizmy i elementy służące do połączenia



Rys. 8. Adapter wózka końcowego

adaptera z naczepą są takie same, jak dla każdego póładaptera wózka środkowego (międynaczepowego).

Część adaptera, umożliwiającą połączenie adaptera z lokomotywą, wykonano w kształcie kratowej ramy (8) wyposażonej w urządzenia pociągowo-zderzne w postaci haka pociągowego (9) i zderzaków (10). Adapter końcowy jest oparty na ramie wózka na typowym czopie skrzytu i dwóch ślizgach bocznych. Zespoły te zostały przedstawione w opisie adaptera środkowego. Dodatkowo, do utrzymania adaptera w stanie nieobciążonym w położeniu poziomym, adapter wyposażono w dwa podparcia sprężyste zamocowane do belek podłużnych ramy kratowej (8).

Naczepa bimodalna

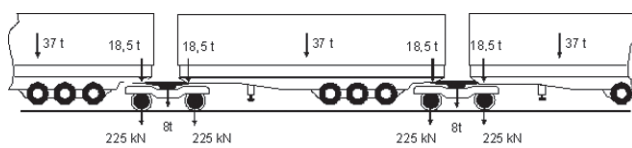
Przegubowa konstrukcja adaptera środkowego umożliwia transport dowolnego typu naczepy w systemie bimodalnym. Dlatego, w prototypowym zestawie bimodalnym składającym się z trzech naczep, wykonano jedną naczepę skrzyniową-otwartą, wiotką skrzętnie w płaszczyźnie ramy oraz dwie naczepy zbiornikowe, których konstrukcja charakteryzuje się bardzo dużą sztywnością skrzętną.

W przepisach dotyczących wymagań do projektowania i badań zespołów taboru bimodalnego – Karta UIC-597 – określono maksymalną masę naczepy bimodalnej na 38,5 t; w tym 1,5 t na ewentualne przeładowanie naczepy. Ograniczenie maksymalnej masy naczepy do 37 t + 1,5 t przeładowania wynika z konieczności spełnienia warunku nieprzekroczenia dopuszczalnego nacisku osi drogowej na drogę transportu kołowego, wynoszącego maksymalnie 90 kN oraz warunku nacisku dopuszczalnego osi wózka kolejowego na tor wynoszącego maksymalnie 225 kN.

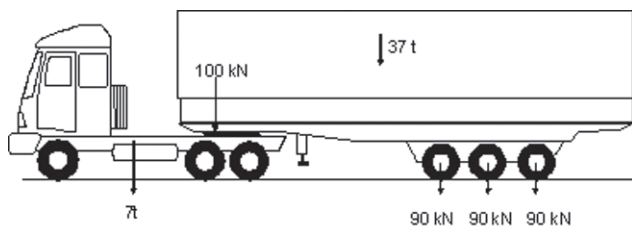
Warunki te zostają spełnione na drodze kołowej przy następujących założeniach:

- maksymalna masa ciągnika siodłowego 7 t,
- masa naczepy 37 t,
- nacisk na siódło ciągnika drogowego 100 kN.

Przy tych parametrach masowych maksymalna masa ciągnika drogowego wraz z naczepą wynosi 44 t. Bimodalna naczepa w uformowaniu kolejowym jest narażona na znaczne obciążenia wzdłużne, wynikające z istniejących w ruchu kolejowym sił pociągowych i hamowania.



Rys. 9. Rozkład mas i nacisków pojazdu drogowego



Rys. 10. Rozkład mas i nacisków w uformowanym zestawie kolejowym

W uformowaniu kolejowym zmienia się również sposób podparcia ramy naczepy:

- w ruchu drogowym rama naczepy opiera się na siodle ciągnika oraz osiach drogowych usytuowanych w pewnej odległości od końców naczepy;
- w ruchu kolejowym naczepa jest oparta na wózkach kolejowych za pośrednictwem adapterów, przy czym punkty oparcia naczepy są umieszczone na obu końcach ramy naczepy.

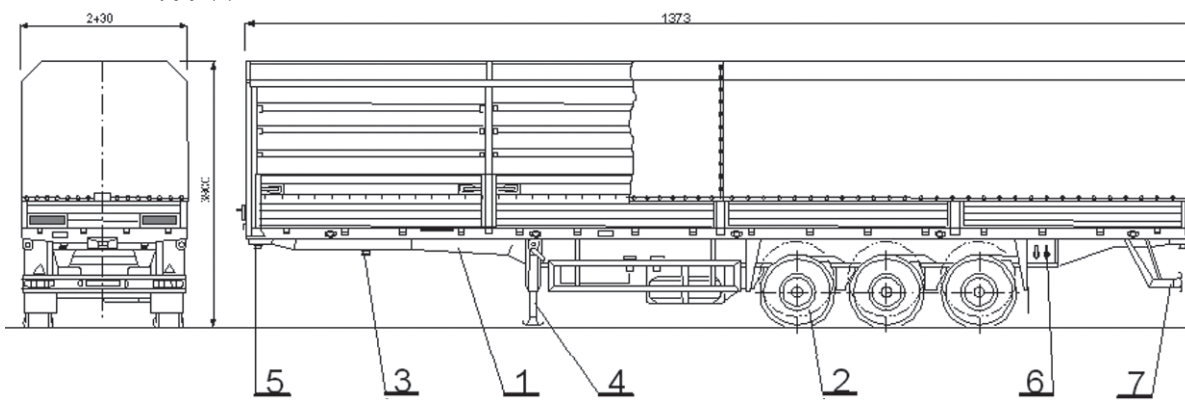
Zatem w uformowaniu kolejowym rozstaw podpór ramy naczepy jest dużo większy w porównaniu z rozstawem podpór ramy w ruchu drogowym. Przynosi to konsekwencje odnośnie wymaganej większej wytrzymałości i sztywności struktury nośnej naczepy bimodalnej, przez co naczepa bimodalna jest około 2,5 t cięższa od tradycyjnej naczepy drogowej.

Na pierwszy rzut oka nie widać różnicy w budowie naczepy bimodalnej w porównaniu z naczepą drogową. Istotne różnice charakteryzujące naczepę bimodalną to:

- struktura nośna naczepy o większej wytrzymałości i sztywności, spełniająca wymagania wytrzymałościowe Karty UIC-597;
- końce naczep przystosowane do połączenia z adapterami wózka kolejowego w postaci dwóch czopów sprzęgowych i otworu centrującego;
- usprężynowanie pneumatyczne naczepy na miechach o odpowiednio dużym skoku zapewniającym uniesienie tyłu naczepy w czasie łączenia z adapterem;
- zabudowane dodatkowe miechy do podnoszenia osi drogowych w uformowaniu kolejowym, w celu zachowania skrajni kolejowej;
- zabudowany system ryglowania osi drogowych w stanie uniesionym w uformowaniu kolejowym;
- zabudowany odchylny zderzak tylny naczepy;
- zabudowany przewód hamulcowy do hamulca kolejowego zakończony węzłami sprzęgu hamulcowego.

Na rysunkach 11, 12, 13, 14 przedstawiono budowę i elementy składowe skrzyniowej naczepy bimodalnej, gdzie poszczególne oznaczenia (wg rys. 11, 12, 13) wskazują następujące elementy:

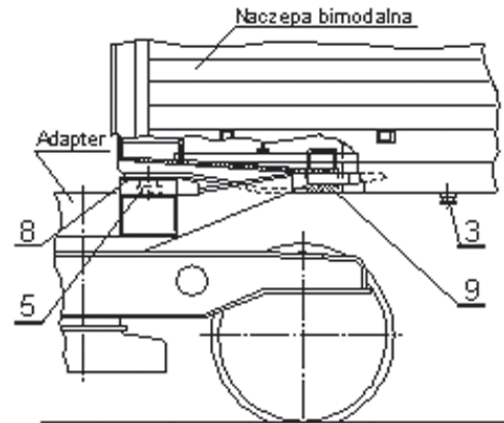
- struktura nośna naczepy (1),
- układ jezdny naczepy (2),
- czop drogowy (3),
- noga podporowa (4),
- sprzęgowe czopy kolejowe (5),
- układ zaworów sterujących układem zawieszenia (6),
- odchylany zderzak (7),
- siódła naczepy (8),
- otwór centrujący (9),



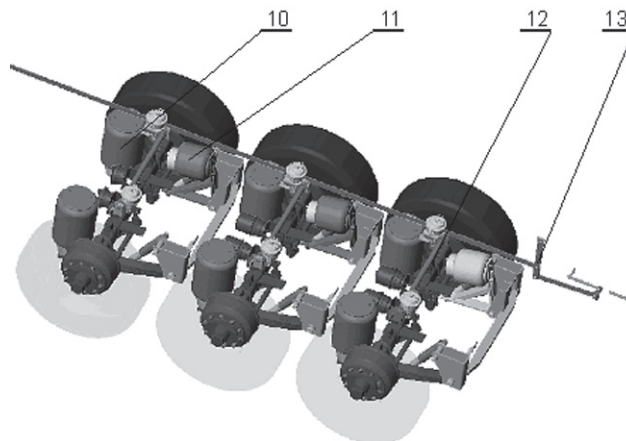
Rys. 11. Naczepa bimodalna

- miechy usprężynowania naczepy (10),
- miechy podnoszenia osi (11),
- układ ryglowania osi (12),
- układ blokady zaryglowania osi oraz wskaźnik zaryglowania osi (13).

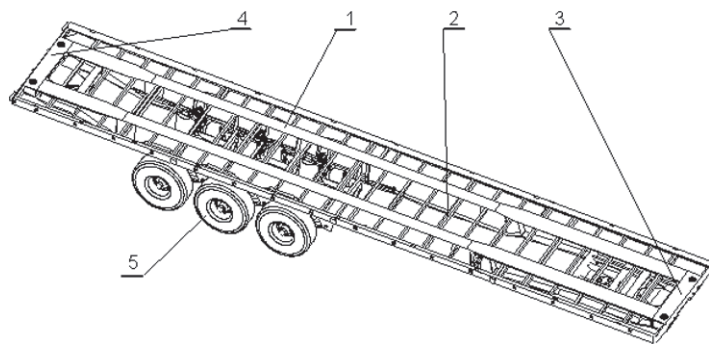
Na rysunku 14 pokazano konstrukcję nośną naczepy, na którą składają się dwie podłużnice (1) połączone belkami poprzecznymi (2). Przednią (3) i tylną (4) część konstrukcji nośnej przystosowano do połączenia naczepy z adapterem. Konstrukcja nośna naczepy umożliwia przeniesienie w uformowaniu kolejowym sił wzdłużnych o wartości do 100 kN, a strzałka ugięcia ramy nośnej naczepy obciążonej nie przekracza 5%. Na rysun-



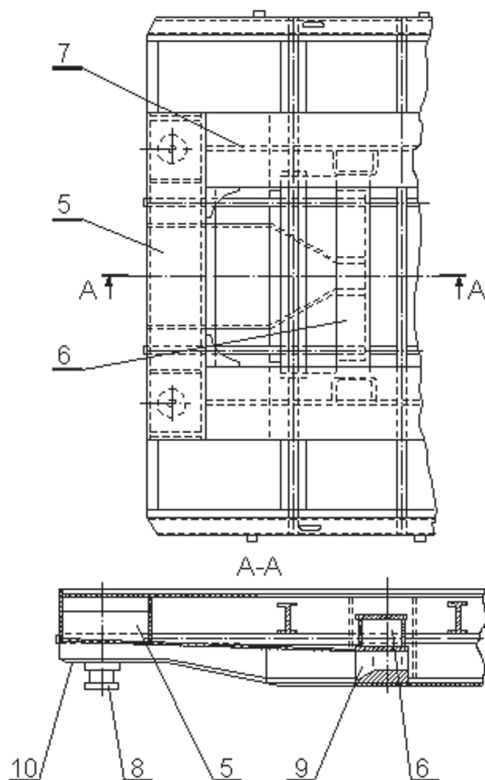
Rys. 12. Połączenie adaptera z naczepą



Rys. 13. Układ jezdny naczepy



Rys. 14. Ustrój nośny naczepy



Rys. 15. Naczepa bimodalna – rama, część przednia

ku 15 pokazano rozwiązanie przedniej i tylnej części konstrukcji nośnej.

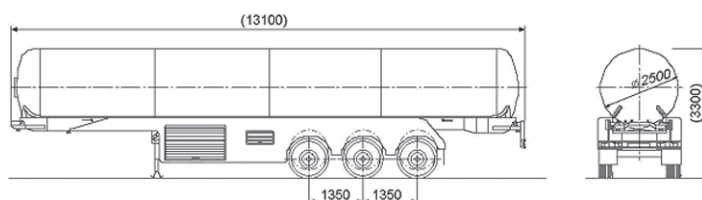
Każdy z tych podzespołów składa się z dwóch belek poprzecznych – belki zewnętrznej (5) i belki wewnętrznej (6) oraz dwóch belek podłużnych (7), będących przedłużeniem podłużnic (1) – rysunek 18. Belka poprzeczna zewnętrzna (5) ma na szerokości rozstawu średnic belek podłużnych (7) zamontowane dwa czopy kołnierzo-walcowe (8) typu Jost, o średnicy 3½". Czopy te służą do zamocowania naczepy na adapterach wózków kolejowych. Belka poprzeczna wewnętrzna (6) ma w swej części środkowej odpowiedni otwór centrujący (9), służący do zamocowania dyszla adaptera wózka kolejowego.

W okolicy czopów sprzęgowych (kołnierzo-walcowych) usytuowano siodła naczepy (10), na których koniec naczepy spoczywa na siodłach adaptera. Dwa czopy sprzęgowe (8) i siodła naczepy (10) współpracują z siodłami i urządzeniami ryglującymi adaptera, natomiast otwór centrujący (9) w belce poprzecznej (6) służy do umieszczenia w nim czopa naprowadzającego dyszla adaptera.

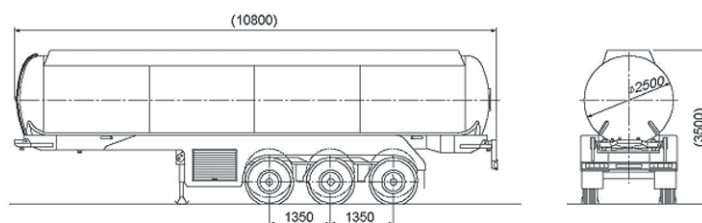
Obciążenie pionowe jest przenoszone z naczepy na adapter na dwóch siodłach naczepy w okolicy czopów sprzęgowych oraz przez powierzchnię dolną lub górną otworu w belce poprzecznej naczepy.

Sily pociągowe i poprzeczne między naczepą i adapterem są przekazywane za pośrednictwem czopów sprzęgowych naczepy oraz urządzeń ryglujących adaptera.

Przegubowa konstrukcja adaptera środkowego umożliwia bezpieczny przewóz w systemie bimodalnym naczep w postaci sztywnych brył, jakimi są naczepy zbiornikowe. Polska, jako pierwsza w Europie, pokazała na Międzynarodowych Targach Poznańskich w 1997 r. dwie naczepy bimodalne zbiornikowe do przewozu benzyny i skroplonego gazu propan-butan, przedstawione na rysunkach 16 i 17.



Rys. 16. Cysterna bimodalna do przewozu paliw



Rys. 17. Cysterna bimodalna do przewozu gazów

Kolejowy wózek bimodalny

Kolejowe wózki do przewozu naczep bimodalnych są budowane na bazie konwencjonalnych wózków wagonów towarowych, a zasadniczą różnicą między wózkiem bimodalnym a konwencjonalnym dotyczy wyposażenia hamulcowego. W przypadku wózka bimodalnego wszystkie urządzenia hamulcowe muszą być zabudowane na wózku. W polskim prototypie pociągu bimodalnego zastosowano nowoczesny, rozwojowy wózek o bazie 2300 mm typu 6TN i 6TN/1, którego rozwiązania konstrukcyjne pozwalają na uzyskanie eksploatacyjnej prędkości maksymalnej do 160 km/h, przy nacisku zestawu kołowego na tor 180 kN oraz 120 km/h, przy nacisku 225 kN.

Wózek oznaczony symbolem 6TN jest przeznaczony pod adapter środkowy i został wyposażony w cztery ślizgi boczne: dwa wewnętrzne – dla póładaptera górnego – i dwa zewnętrzne dla póładaptera dolnego.

Wózek oznaczony symbolem 6TN/1 jest przeznaczony pod adapter końcowy i jest wyposażony w dwa ślizgi boczne oraz płyty wspornikowe zamontowane na podłużnicach ramy, służące do sprężystego podparcia adaptera, w celu uzyskania poziomego ułożenia adaptera na wózku, w stanie nieobciążonym.

Proces eksploatacyjnego łączenia naczepy z adapterem

Przegubowe rozwiązanie adaptera środkowego stwarza możliwość przyłączania naczep do jego póładapterów zarówno na to-

rze prostym, jak i na łukach o promieniu $R_{min} = 200$ m. Dzięki symetrycznemu wykonaniu adaptera środkowego oraz końców naczep, polski system wyróżnia się z spośród znanych systemów europejskich operacyjną podatnością łączenia naczep z adapterami. Zachodnie systemy bimodalne charakteryzuje jednokierunkowość najazdu i łączenia naczep z adapterami. Polski system umożliwia dowolny sposób łączenia. Możliwe warianty kojarzenia naczepry z adapterem pokazano na rysunku 19.

Wariant I przedstawia najazd tyłu naczepry na dolny póładapter środkowy lub adapter końcowy. W wariacie II pokazano możliwość wtoczenia wózka pod stojącą naczepą i połączenia póładaptera dolnego z tyłem naczepry. Wariant III pokazuje możliwość wtoczenia wózka pod stojącą naczepą i połączenie przodu naczepry z póładapterem górnym. Opisane trzy warianty łączenia naczepry z adapterem mogą być również zrealizowane po obróceniu wózka, np. póładapterem dolnym w kierunku przodu naczepry, a adapterem górnym w kierunku tyłu naczepry. Jak wynika z przedstawionych przykładów, w polskim systemie nie jest wymagane obracanie wózka (lub adaptera) w celu przygotowania go do połączenia z naczepą. Polski system umożliwia kojarzenie dowolnej części póładaptera (dolnego lub górnego) z dowolnym końcem naczepry (przodem lub tyłem).

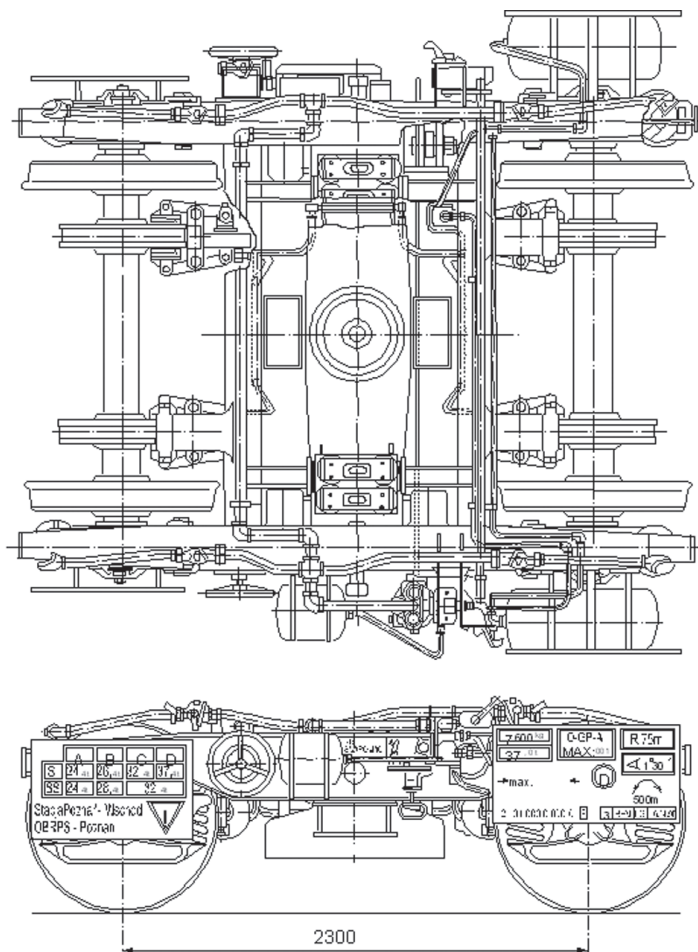
W praktyce stosuje się dwie technologie łączenia pociągu bimodalnego.

W pierwszym wariacie (rys. 20) formowanie pociągu rozpoczyna się od najazdu tyłem naczepry na wózek końcowy. Po opuszczeniu nogi podporowej naczepry i uniesieniu kół jezdnych naczepry, ciągnik drogowy wyjeżdża spod naczepry, a pod przód naczepry wtaczany jest wózek środkowy. W następnej kolejności tyłem drugiej naczepry najjeżdża się na drugą połowę adaptera środkowego i podobnie jak w przypadku pierwszej naczepry, opuszcza się nogę podporową naczepry, podnosi koła jezdne i pod przód naczepry podstawi się kolejny wózek środkowy. W ten sam sposób łączy się następne naczepy aż do uzyskania całego składu pociągu bimodalnego, złożonego maksymalnie z 50 naczepry.

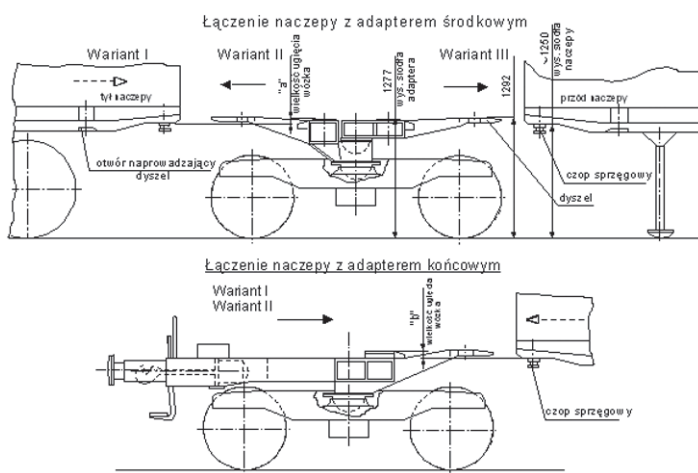
W drugim wariacie technologii formowania pociągu (rys. 21) pierwszą fazę formowania, tzn. najazd tyłu naczepry na wózek końcowy, wykonuje się podobnie jak w wariacie I. Dalsze czynności łączenia pociągu różnią się od wariantu I tym, że na stojącej przed pierwszą połączoną naczepą wózek najjeżdża się tyłem następnej naczepry i po połączeniu tyłu naczepry z jedną z połówek adaptera wózka środkowego, za pomocą ciągnika siodłowego, przepycha się naczepą, wraz z wózkiem kolejowym, w kierunku do przodu pierwszej naczepry, aż do momentu połączenia drugiej części adaptera środkowego z przodem naczepry. W tej technologii łączenia do prac manewrowych użyty jest ciągnik drogowy przyjeżdżający na terminal przeładunkowy wraz z naczepą.

W pierwszym wariacie łączenia niezbędne jest wykonanie dodatkowych czynności wtoczenia wózka środkowego pod przód naczepry za pomocą ciągnika wyposażonego w dyszel holowniczy.

Skrętność póładaptera górnego lub dolnego umożliwia najazd tyłu naczepry na adapter pod kątem 9° (rys. 22). Jednakże pozostawienie przodu naczepry pod tym kątem w stosunku do osi toru wyprowadza przód naczepry ze strefy umożliwiającej połączenie przodu naczepry z adapterem. Maksymalny kąt odchylenia



Rys. 18. Wózek środkowy typu 6 TN

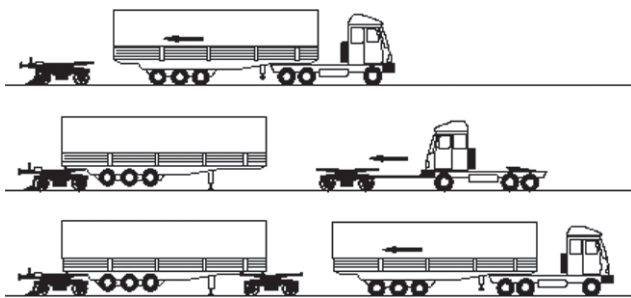


Rys. 19. Warianty łączenia naczepry z adapterami

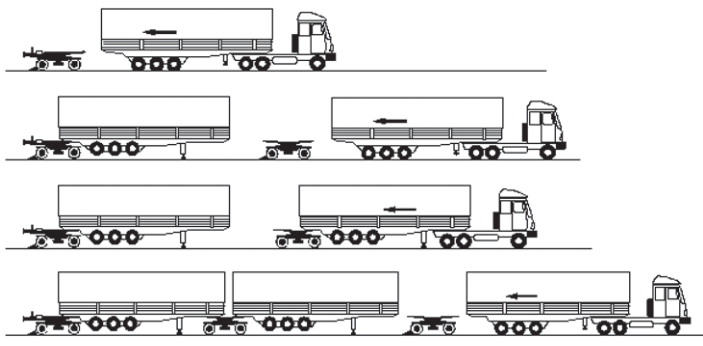
nia osi wzdłużnej naczepry od osi toru, przy którym możliwe jest jeszcze połączenie adaptera z przodu naczepry wynosi $1,4^\circ$.

Technika najazdu naczepry bimodalnej na adapter jest podobna do techniki łączenia naczepry drogowej z ciągnikiem drogowym. Wynika to z podobnego systemu ryglowania naczepry bimodalnej w adapterze i naczepry drogowej w siodle ciągnika.

W siodle ciągnika stosuje się ogólnie przyjęty zamek typu Jost. W siodłach adaptera zastosowano zamki działające na podobnej zasadzie. Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne zamka adaptera wymaga, aby najazd naczepry na adapter był wykonany



Rys. 20. Technologia łączenia naczep z adapterami – wariant I

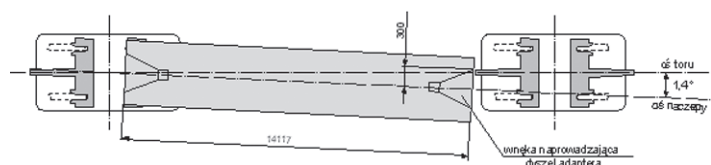


Rys. 21. Technologia łączenia naczep z adapterami – wariant II

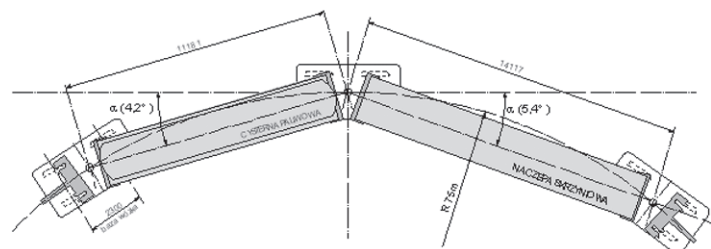
w ten sposób, że siodła naczepy w czasie najazdu są usytuowane dokładnie na poziomie siodła adaptera lub do 30 mm poniżej siodła adaptera. Wymaganą wysokość do połączenia tyłu naczepy z adapterem uzyskuje się podnosząc tył naczepy na miechach zawieszenia osi drogowych. Natomiast przód naczepy kierowca ciągnika powinien pozostawić na wymaganej wysokości, aby nie dopasowywać wysokości siodła naczepy za pomocą regulacji wysokości nóg podporowych naczepy. Zabieg ten jest bowiem uciążliwy, zwłaszcza przy naczepie załadowanej.

Kinematyka adaptera środkowego

Zgodnie z wymaganiami Karty UIC-597, rozwiązania konstrukcyjne adaptera środkowego powinny umożliwić przejazd pociągu bimodalnego przez tuki o promieniu minimalnym $R_{\min} = 75$ m, przez nieckę toru o promieniu $R_{\min} = 500$ m, oraz przez rampę promową na tuku $R = 120$ m i kącie pochylenia



Rys. 22. Maksymalne odchylenie końca naczepy, przy którym jest możliwe połączenie naczepy z adapterem



Rys. 23. Ustawienie cysterny paliwowej i naczepy skrzyniowej w torze o promieniu tuku 75 m

1°30'. Na rysunku 23 pokazano ustawienie najkrótszej naczepy (tj. cysterny paliwowej) i najdłuższej naczepy (skrzyniowej) w tuku toru $R = 75$ m. Kąt skrętu dla naczepy skrzyniowej $\alpha = 5,4^\circ$, zaś dla cysterny $\alpha = 4,2^\circ$.

Maksymalny kąt skrętu póładapterów górnego i dolnego w płaszczyźnie poziomej w przyjętym rozwiązaniu adapterowym $\alpha = \pm 7^\circ$ dla każdego póładaptera (rys. 24). Przy maksymalnym kącie skrętu $\alpha = 7^\circ$ odległość między narożami naczep o szerokości 2550 mm wynosi 40 mm.

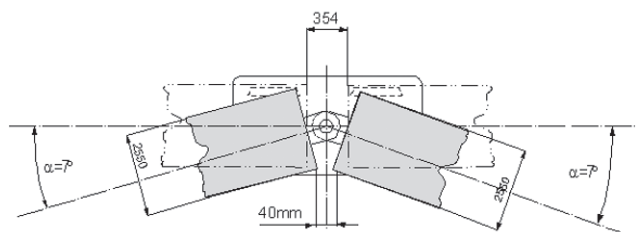
Podczas przejazdu po torze na tuku pionowym o promieniu $R = 500$ m, kąt skrętu w płaszczyźnie pionowej póładaptera związanego z cysterną paliwową (najkrótszą) wynosi 1,449°, natomiast kąt skrętu póładaptera związanego z naczepą skrzyniową (najdłuższą) wynosi 1,582°.

Maksymalny kąt skrętu w płaszczyźnie pionowej póładaptera górnego i dolnego $\beta = \pm 2,5^\circ$ (rys. 25). Jak z tego wynika, prototypowy pociąg bimodalny spełnia wymagania karty UIC 597 w zakresie przejazdu przez minimalny tuki, nieckę toru i rampę promową ze znacznymi zapasami w kinematyce adaptera środkowego.

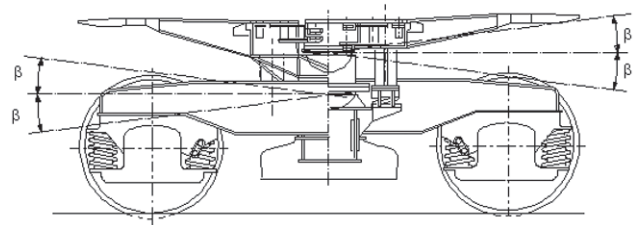
Skrajnia taboru

Każdy nowo projektowany pojazd szynowy, zwłaszcza jakościowo nowy rodzaj taboru, jakim jest tabor bimodalny, musi spełniać wymagania skrajni kinematycznej według karty UIC 505-1 [35]. Tabor bimodalny, a przede wszystkim naczepy bimodalne, charakteryzują się większą wysokością w porównaniu z typowymi wagonami towarowymi, co stwarza problem zachowania skrajni kinematycznej szczególnie w strefie górnego zarysu skrajni. Dlatego na podstawie porozumień międzynarodowych AGTC (European Agreement On Important International Combined Transport Lines And Related Installations) dla transportu bimodalnego wytypowano specjalne linie kolejowe, na których dopuszczono do eksploatacji tabor bimodalny o wysokości około 4 m od główki szyny, przy szerokości naczep od 2,5 do 2,6 m. Zapotrzebowanie wolnej przestrzeni w górnej strefie na tych liniach oblicza się na podstawie kryteriów określonych w karcie UIC 596-6 [37].

Prototypowa naczepa bimodalna ma wysokość około 3900 mm od główki szyny, a szerokość naczepy wynosi



Rys. 24. Ustawienie naczep przy maksymalnym skręcie póładapterów

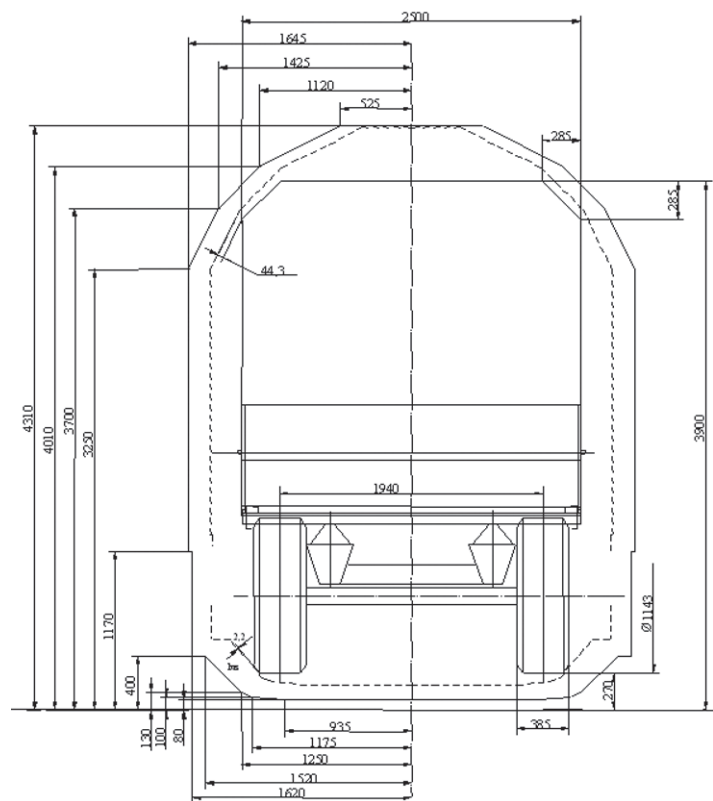


Rys. 25. Zakres swobody kinematycznej adapterów w płaszczyźnie pionowej

2500 mm. Przeprowadzone obliczenia koniecznych zwiężeń skrajni statycznej do określenia skrajni kinematycznej wykonano według zaleceń karty UIC 505-1. Do obliczeń wytypowano następujące przekroje elementów składowych pociągu bimodalnego:

- przekrój poprzeczny przez naczepę i koło drogowe najbliższe od przekroju środkowego naczep (rys. 26);
- przekrój poprzeczny przez cysternę do gazu w miejscu mocowania nogi podporowej cysterny i koło drogowe położone najbliżej przekroju środkowego, jak (w dalszym ciągu) pokazano na rysunku 27;
- przekrój poprzeczny przez wózek końcowy w miejscu mocowania stopni (rys. 28);
- przekrój poprzeczny przez wózek środkowy w miejscu mocowania zbiorników powietrza (rys. 29).

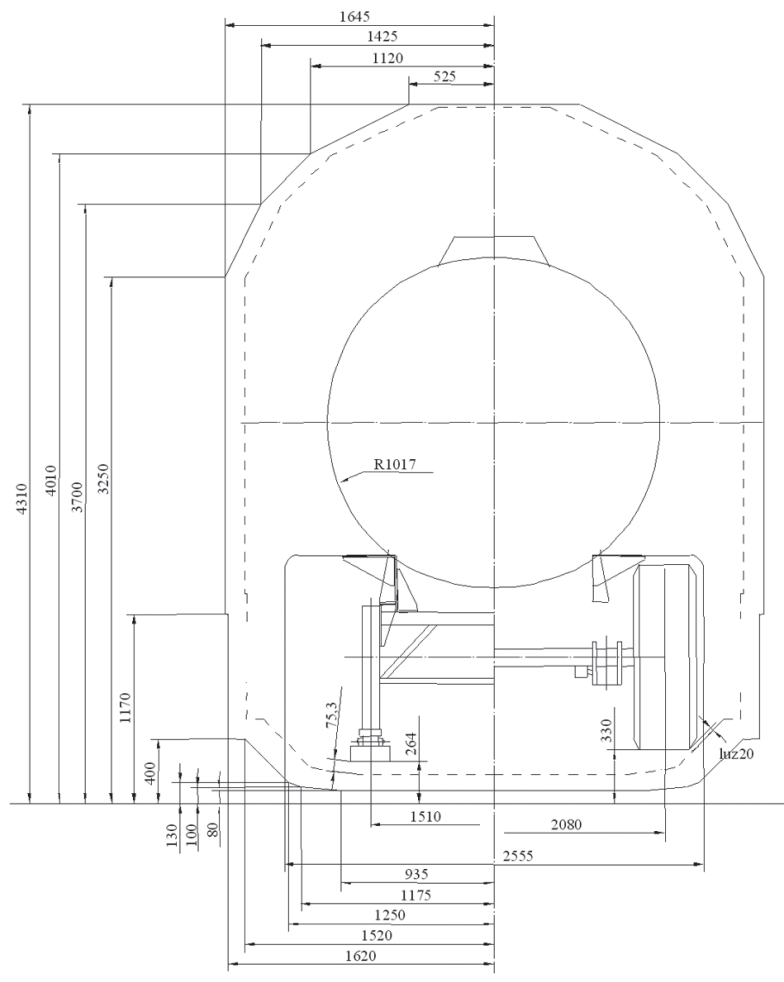
Z przedstawionych rysunków wytypowanych do obliczeń kontrolnych przekrojów zespołu bimodalnego wynika, że wszystkie zespoły pociągu spełniają wymagania karty UIC 505-1. Do spełnienia wymagań wymienionej karty, w górnej strefie naczepy niezbędne było wykonanie ścięć naroży naczepy. Zabieg ten niekorzystnie ogranicza przestrzeń ładunkową naczepy.



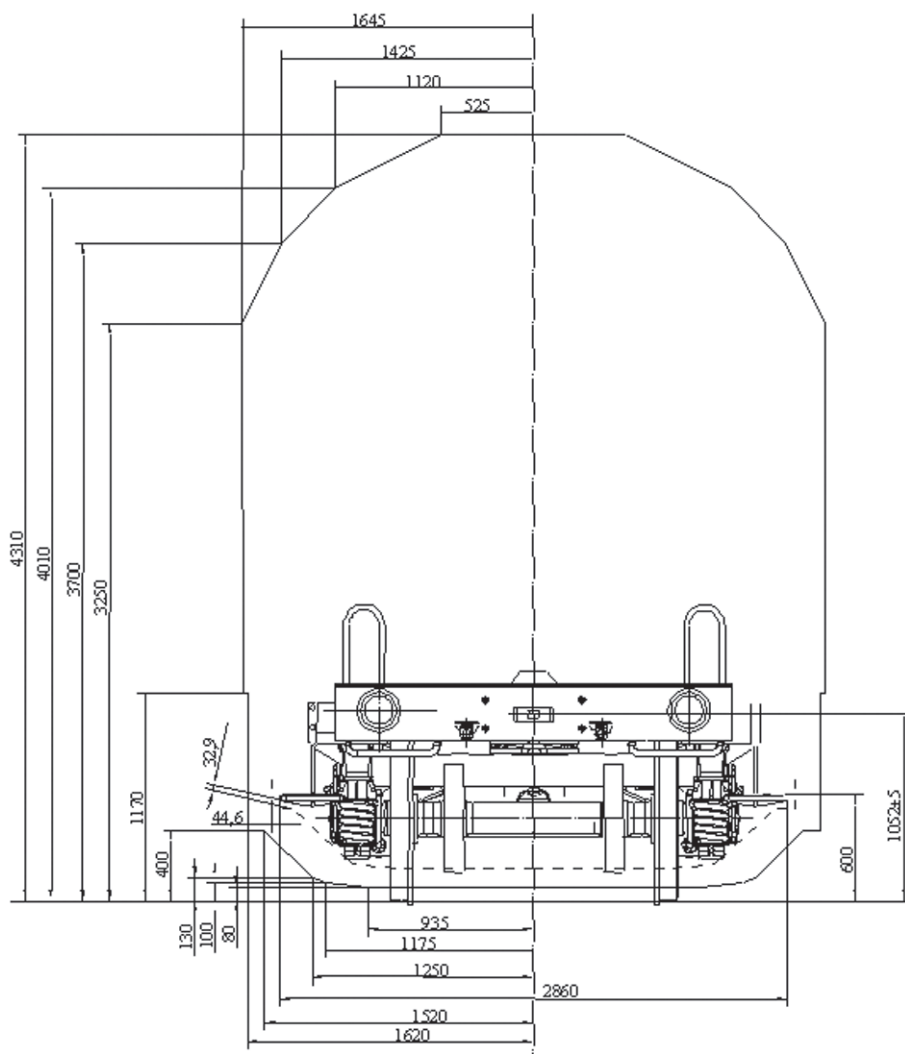
Rys. 26. Skrajnia naczepy skrzyniowej (nadwozie i koło drogowe)

Literatura:

- [1] Madej J.: *Technika taboru drogowo-szynowego (bimodalnego)*. Praca zbiorowa pod redakcją J. Madeja. Instytut Pojazdów Szynowych. Poznań 2000.
- [2] Tomaszczyk T.: *Opracowanie modelu fizycznego pociągu bimodalnego do obliczeń symulacyjnych dynamiki pociągu*. Warszawa. Grudzień 1993.
- [3] Tomaszczyk T., Dukwicz L.: *Dynamika wzdłużna pociągu złożonego z jednostek bimodalnych*. Prezentacja metodyki i wyników obliczeń. Ogólnopolskie Sympozjum Monotematyczne nt. „Techniczne środki transportu drogowo-szynowego (bimodalnego)”. Poznań – Skoki. Listopad 1993.
- [4] Piotrowski P.: *Kolejowo-drogowe przewozy materiałów niebezpiecznych – wymagania techniczne w świetle przepisów międzynarodowych*. Ogólnopolskie Sympozjum Monotematyczne „Techniczne środki transportu drogowo-szynowego (bimodalnego)”. Poznań – Skoki. Listopad 1993.
- [5] Kostro J.: *Budowa taboru bimodalnego i rozwój konstrukcji*. Ogólnopolskie Sympozjum Monotematyczne „Techniczne środki transportu drogowo-szynowego (bimodalnego)”. Poznań – Skoki. Listopad 1993.
- [6] Kuhla E.: *Trailerzug quo vadis*. ER Eisenbahntechnische Rundschau 7-8/1994.
- [7] Sobaś J.: *Obliczenia wstępne skrajni pociągu bimodalnego 2 Meganaczepy*. OR-8220 Listopad 2002. Archiwum IPS.
- [8] Lange von K., Czernetzki D.: *Bimodale Systeme „Sattelhänger auf Drehgestellen“ 6 Kurzbeschreibungen*. Glasers Annalen 115 9/1991.
- [9] *Sanh auf Drehgestellen – Zugzusammenstellung – Untersuchung der dynamischen Längskräfte in KLV – Zügen mit bimodalen Gruppen sowie bimodalen Ganzzügen*. Raport ER-RI B12/RP61. September 1998.
- [10] Weidemann H.J., Baier M.: *Technologien des Kombinierten Güterverkehrs. Wie kann die Strasse europweit wirkungsvoll und profitabel entlastet werden?* Glasers Annalen 128 9/2004.



Rys. 27. Skrajnia cysterny do gazów (nadwozie, koło gumowe i podpora)



Rys. 28. Skrajnia wózka końcowego (przekrój końcowy – stopień)

- [11] Klimkiewicz J.: *Unijna polityka transportowa ma być rozwiązaniem modelowym*. Rynek Kolejowy 5/2005.
- [12] Jakubowski L., Rybałtowski R.: *Normalizacja w dziedzinie transportu intermodalnego*. Normalizacja 5/2005.
- [13] Madej J.: *Techniczno-gospodarcze korzyści zastosowania techniki bimodalnej*. Materiały z Sympozjum „Transport kombinowany”. Zakopane 1997.
- [14] Madej J.: *Analiza obciążeń cystern bimodalnych w uformowaniu kolejowym*. Pojazdy Szynowe 1/1998.
- [15] Madej J., Matej J., Zabrowski J.: *Wybrane wyniki badań symulacyjnych na torze prostym uzyskane w programie Adams/Rail dla modelu prototypowego wagonu bimodalnego*. Pojazdy Szynowe 4/1999.
- [16] Madej J.: *Zasady weryfikacji modeli pociągu bimodalnego w zakresie quasistatyki i dynamiki*. Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 5/1999.
- [17] Madej J.: *Badanie stateczności grupy wagonów bimodalnych w ruchu po torze prostym*. Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 2(28)/1998.
- [18] Madej J., Matej J.: *Badania częstotliwościowe dynamicznych odpowiedzi modelu trójczłonowego zespołu bimodalnego na pionowe wymuszenia kinematyczne toru*. Zeszyty Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej 1/1997.
- [19] Medwid M., Pohl K.: *Dwudzielny adapter dla transportu drogowo-szynowego*. Sympozjum Monotematyczne. Techniczne środki transportu drogowo-szynowego. Poznań – Skoki 1993.
- [20] Medwid M.: *Wymagania do projektowania i badań taboru bimodalnego*. Sympozjum Monotematyczne. Techniczne środki transportu drogowo-szynowego. Poznań – Skoki 1993.
- [21] Medwid M.: *Nowa koncepcja rozwiązań konstrukcyjnych bimodalnego systemu transportu kombinowanego*. Przegląd Handlowy 29/1994.
- [22] Medwid M.: *Transport bimodalny – ekologia, ekonomia, bezpieczeństwo*. Spedycja i Transport 9/48/1995.
- [23] Medwid M., Pohl K.: *Polish Way to Bimodal Transportation*. Transport System Engineering Conference, Warszawa 1995.
- [24] Medwid M., Pohl K., Starczewski T., Staniuk M.: *Naczepa samochodowa do transportu bimodalnego*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Pojazdy Samochodowe. Problemy Rozwoju i Eksploatacji. AUTOPROGRES 95 – Jachranka 1995.
- [25] Medwid M.: *Nowoczesne systemy transportowe – Transport bimodalny*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Układ komunikacyjny województwa kaliskiego w powiązaniu z komunikacją krajową”. Kalisz 1995.
- [26] Gąsowski W., Medwid M.: *Prototypowy pociąg bimodalny z przegubowym symetrycznym adapterem środkowym*. Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Centra logistyczne dla obsługi transportu towarowego. Poznań 1996.
- [27] Medwid M.: *Atrybuty polskiej myśli technicznej w taborze bimodalnym*. Konferencja Naukowa „Wybrane problemy Transportu Szynowego w 150-lecie Kolei Polskich”. Kraków – Zakopane 1997.
- [28] Medwid M., Pohl K.: *Uwarunkowania rozwoju nowych systemów transportu kombinowanego, zwłaszcza bimodalnego*. I Konferencja – Transport Multimodalny Jastrzębia Góra – 1998.
- [29] Medwid M.: *Polski tabor do transportu bimodalnego – rozwiązania konstrukcyjne*. II Konferencja Transport Multimodalny. Gdańsk 1999.
- [30] Medwid M., Kardacz A.: *Nowoczesne technologie transportu kombinowanego szansą intensyfikacji ekologicznych przewozów w europejskich korytarzach transportowych*. I Kongres Kolejnictwa Europy Środkowo-Wschodniej. Warszawa, październik 2002.
- [31] Medwid M.: *Badania prototypowego składu pociągu bimodalnego*. XIX konferencja Naukowo-Techniczna „Przewozy materiałów niebezpiecznych”. Mierki, czerwiec 2005.
- [32] Karta UIC 597. *System transportu kombinowanego szynowo-drogowego. Naczepy wózkowe. Charakterystyki*. Wydanie 1 z 01.01.1991, nowy nakład z 01.07.1993, z 7 zmianą z 01.07.1995.
- [33] Karta UIC 429. *Warunki eksploatacji składów i pociągów formowanych z drogowych naczep siodłowych na wózkach kolejowych*.
- [34] Karta UIC 432. *Wagony towarowe. Prędkości jazdy. Warunki techniczne, które należy spełnić*. Wydanie 01.2002.

[35] Karta UIC 505 – 1. *Pojazdy kolejowe. Skrajnia pojazdów*. Wydanie 9 z sierpnia 2002.

[36] Karta UIC 505 – 4. *Wpływ zastosowania skrajni kinematycznych określonych w karcie 505 na rozmieszczenie budowli w stosunku do torów i na tory między sobą*. Wydanie 3 z dnia 01.01.1977.

[37] Karta UIC 596 – 6. *Transport pojazdów drogowych na wagonach towarowych. Organizacja techniczna. Warunki kodyfikacji jednostek ładunkowych w transporcie kombinowanym oraz linii transportu kombinowanego*. Wydanie 4. Kwiecień 2005.

[38] Karta UIC 506. *Przepisy dla zastosowania skrajni powiększonych GA, GB, GC*. Wydanie z 01.01.1987, z 4 zmianą z 01.06.1996.

[39] Karta UIC 518. *Badania ruchowe i dopuszczenie pojazdów szynowych ze względu na bezpieczeństwo, obciążenia oraz dynamika podczas jazdy*. Wydanie 1 z 01.07.1995.

[40] Karta UIC 530-2. *Wagony towarowe. Bezpieczeństwo biegu*. Wydanie 4 z 01.07.1997.

[41] Karta UIC 577. *Wagony towarowe. Obciążenia*. Wydanie z 01.01.1990.

[42] ERRI B12/Rp 17 wydanie 8. *Program badań wagonów towarowych z podwoziem i pudłem ze stali nadających się do zabudowy automatycznego sprzęgu ciągnowo-zderznego oraz wózków z ramą stalową*. Utrecht, 04.1998.

[43] Polska Norma PN-92/K-02504. *Tabor Kolejowy. Pomiar sztywności skrętnej*.

[44] Norma Europejska PrENV 14033:2001. *Bahnwendungen/Oberbau. Zulassungsanforderungen an Bau und Instandhaltungsmaschinen. Teil 1:Transport von Schienengebundenen. Maschinen*.

[45] ORE B55 Rp8. *Zapobieganie wykolejeniu się wagonów towarowych na wichrowatym torze*. Utrecht 1984.

[46] ORE B12 Rp.40 *Próby skręcania wagonu pod kątem zejścia koła z szyny długich wagonów dwuosioowych*. Wydanie 1984.

[47] Zakład Mechaniki Taboru CNTK Warszawa. *Badania bezpieczeństwa jazdy po torze wichrowatym. Sprawozdanie z badań*. Czerwiec 1999.

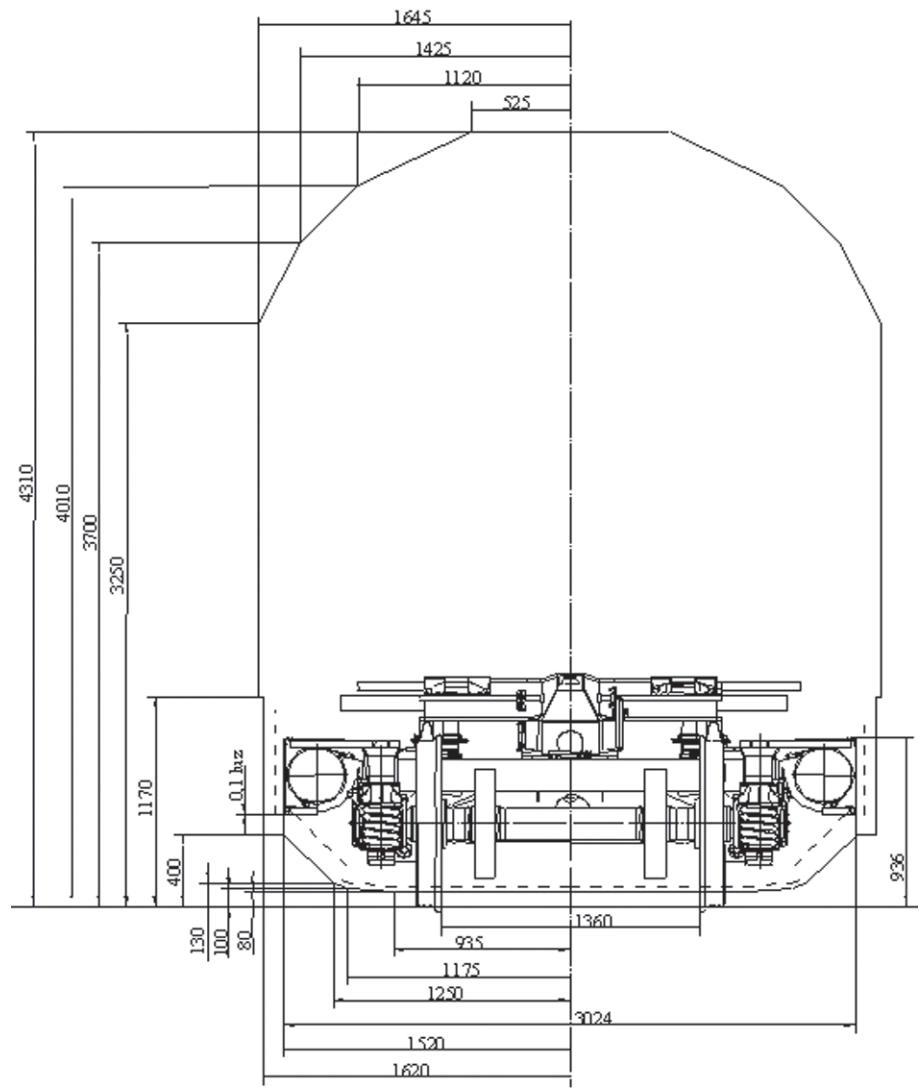
[48] Zakład Mechaniki Taboru CNTK Warszawa. *Badania bezpieczeństwa jazdy po łukach odwrrotnych typu S. Sprawozdanie z badań*. Sierpień 1999.

[49] Zakład Mechaniki Taboru CNTK Warszawa. *Badanie momentu oporowego wózków wespole bimodalnym oraz przejazdu przez łuk o promieniu 75 m. Sprawozdanie z badań*. Sierpień 1999.

[50] Zakład Mechaniki Taboru CNTK Warszawa. *Badania wytrzymałościowe prototypu pociągu bimodalnego. Sprawozdanie z badań*. Styczeń 2000.

[51] Zakład Mechaniki Taboru CNTK Warszawa. *Badanie spokojności biegu. Próba przejazdu przez nieckę torową oraz rampę promową. Ważenie. Sprawozdanie z badań*. Styczeń 2000.

[52] Geisler J.: *Etude de faisabilité. „Definition des conditions de placement d'unités modales dans les trains de fret”*. Projet. 15 janvier 2003.



Rys. 29. Skrajnia wózka środkowego

Autor
doc. dr inż. Marian Medwid
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”