

MARIAN MEDWID, WŁODZIMIERZ STAWECKI, RAFAŁ CICHY\*

## INNOWACYJNE ROZWIĄZANIE SYSTEMU DO TRANSPORTU KOMBINOWANEGO KOLEJOWO-DROGOWEGO

---

## INNOVATIVE SOLUTIONS FOR COMBINED RAILWAY-ROAD TRANSPORT SYSTEM

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki kolejnego etapu prac koncepcyjnych prowadzonych w IPS „Tabor” nad rozwojem innowacyjnych systemów transportowych naczep drogowych w ruchu kombinowanym. Przedstawiono wybrane argumenty ekonomiczne uzasadniające potrzebę wdrożenia do eksploatacji istniejących systemów transportu kombinowanego naczep drogowych oraz wykazano główne bariery ograniczające rozpoczęcie tego procesu. Prace badawcze są finansowane ze środków budżetowych Ministerstwa Nauki, ramach realizacji projektu rozwojowego nr NR10006510.

*Słowa kluczowe: transport kombinowany*

### Abstract

The results of the railway stage of the conceptional works carried out in IPS “TABOR” on development of the innovative transport systems of road semitrailers in the combined traffic are presented in this paper. The selected economic arguments justifying the need of initiation in operating the existing systems of the combined transport of road semitrailers are presented and the main barriers limiting the starting of this process are shown. The research works are financed from the budget means of the Ministry of Science within the realization of the development project No. 10006510.

*Keywords: combined transport*

---

\* Prof. dr hab. inż. Marian Medwid, dr Włodzimierz Stawcki, mgr inż. Rafał Cichy, Instytut Pojazdów Szybowych „Tabor”.

## 1. Wstęp

Polska jest największym przewoźnikiem drogowym w Europie operującym na rynku krajowym i międzynarodowym [1]. W przewozach międzynarodowych wyprzedzamy Niemcy i Holandię zwłaszcza w przewozach drogowych w kierunku Wschód–Zachód. W Polsce działa 24 tysiące firm transportu międzynarodowego dysponujących 140 tysiącami naczep z ciągnikami siodłowymi. Według danych Eurostatu w 2009 roku polski transport drogowy miał 15% udziału w europejskich przewozach ładunków zrealizowanych w tej gałęzi transportu [1].

Przyjmując założenie, że 140 tys. tirów (w ruchu międzynarodowym) wykonuje pracę przewozową, pokonując dziennie ~400 km, oraz zakładając średnie zużycie paliwa przez ciągnik siodłowy ~29 l/100 km (dla silników o mocy ~450 KM), dzienne zużycie paliwa przez ciągniki siodłowe wyniesie ~16 mln litrów. W rzeczywistości ilość ciągników będących w eksploatacji jest mniejsza z uwagi na przeglądy, naprawy lub przestoje. Jeśli założymy, że 10% ciągników jest wyłączonych z eksploatacji, to pozostałe ciągniki zużyją ~14 mln litrów paliwa dziennie. Wykonana analiza nie uwzględnia zużycia paliwa przez ciągniki siodłowe eksploatowane tylko w ruchu krajowym.

Zapotrzebowanie na energię w ruchu kolejowym jest około dziesięciokrotnie mniejsze w odniesieniu do ruchu drogowego (mniejsze opory toczenia koła stalowego po szynie w porównaniu do oporów toczenia opony po drodze kołowej).

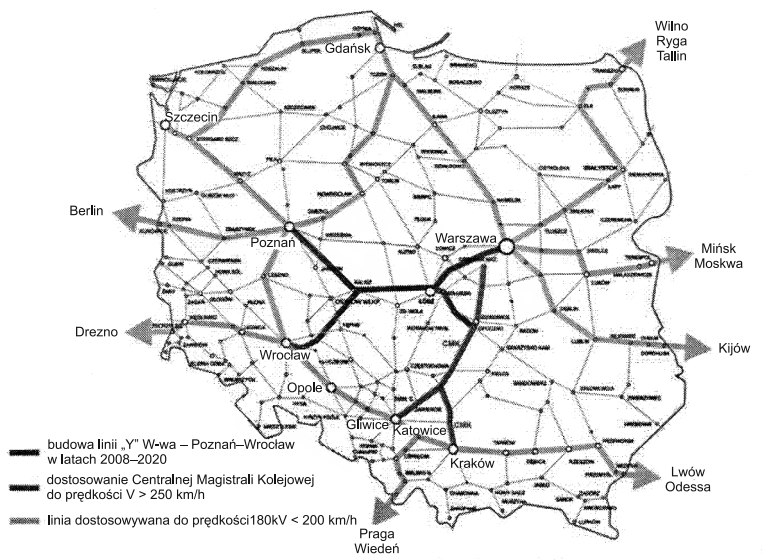
Zatem gdyby 140 tysięcy tirów transportować drogą kolejową, zużycie energii spadłoby dziesięciokrotnie. Jeśli tylko 20% naczep siodłowych przeniesiono by z drogi kołowej na kolejową, to roczne oszczędności zużycia oleju napędowego wyniosłoby ~844 mln litrów o wartości ponad 3,4 miliardy złotych. Wyżej omówiona symulacja jest uproszczonym przykładem teoretycznym, ukazującym skalę możliwej do osiągnięcia oszczędności zużycia energii. Jeżeli do wyżej wymienionych efektów ekonomicznych dodano by oszczędności wynikające z co najmniej czterokrotnie mniejszych kosztów zewnętrznych generowanych w kolejowej gałęzi transportowej w porównaniu do kosztów zewnętrznych transportu drogowego [2], to przeprowadzając globalny rachunek porównania efektywności ekonomicznej, wynik analizy byłby ostatecznie korzystny dla transportu kolejowego. Postawienie takiej tezy jest uprawnione na podstawie przeprowadzonych wcześniej badań teoretycznych, udziału kosztów zewnętrznych w ogólnych kosztach transportu w gałęzi drogowej i kolejowej. Uzyskane oszczędności mogłyby posłużyć jako subwencje państwowe wspierające rozwój transportu kombinowanego.

W obecnych warunkach gospodarczych Polski brakuje ekonomicznych motywacji dla spedytorów i przewoźników drogowych do korzystania z ruchu kombinowanego kolejowo-drogowego. Bariery stanowią przede wszystkim wysokie taryfy za korzystanie z infrastruktury kolejowej oraz brak odpowiedniego zaplecza logistycznego niezbędnego do organizacji transportu kombinowanego. Można jednak przewidywać, że ciągle dynamicznie rozwijający się transport drogowy doprowadzi do punktu granicznego wyznaczonego przez wydolność infrastruktury drogowej. Obecnie około 80% ładunków przewozi się transportem drogowym po zatłoczonych drogach [2], a szlaki kolejowe dysponują dużą rezerwą natężenia ruchu. Główne kierunki przewozów drogowych przebiegają równoległe do głównych kolejowych szlaków rys. 1 i 2.



Rys. 1. Główne kierunki przewozów drogowych [1]

Fig. 1. Main lines of road transport [1]



Rys. 2. Główne szlaki kolejowe

Fig. 2. Main railway routes

Polska jest technicznie przygotowana do wdrożenia przewozów naczep drogowych w ruchu kombinowanym. Prowadzone w IPS „Tabor” od 1990 roku prace badawczo rozwojowe przedstawione w opracowaniach [2, 3] doprowadziły do powstania prototypów wagonów niskopodłogowych – „ruchoma szosa” oraz taboru bimodalnego. Instytut prowadzi nadal prace badawcze nad rozwojem systemów transportu kombinowanego [4, 5]. Kolejne wyniki prac przedstawiono w dalszej części artykułu.

## 2. System transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych

Na świecie, a w szczególności w Stanach Zjednoczonych Kanadzie, Indiach, Tajlandii i Australii, w ruchu kombinowanym naczep drogowych korzysta się z transportu bimodalnego. W Europie zastosowano głównie system „ruchoma szosa” (Szwajcaria, Austria, Niemcy). Francuzi opracowali własny system Modalohr eksploatowany między Francją a Włochami przez Alpy. Konstrukcyjną analizę porównawczą tych systemów przedstawiono w pracy [2]. Zaprezentowane w niniejszym opracowaniu rozwiązanie konstrukcyjne ma pewne cechy systemu „ruchoma szosa” oraz bimodalnego. Główną cechą charakteryzującą system bimodalny to przenoszenie obciążeń wzdłużnych w uformowaniu kolejowym przez ramy nośne naczep, natomiast ważną zaletą systemu ruchoma szosa jest pozostawienie w tym samym miejscu podparcia ramy naczepy od dołu w ruchu drogowym i kolejowym, co ma decydujący wpływ na wielkość przekrojów i masy ramy nośnej naczepy.

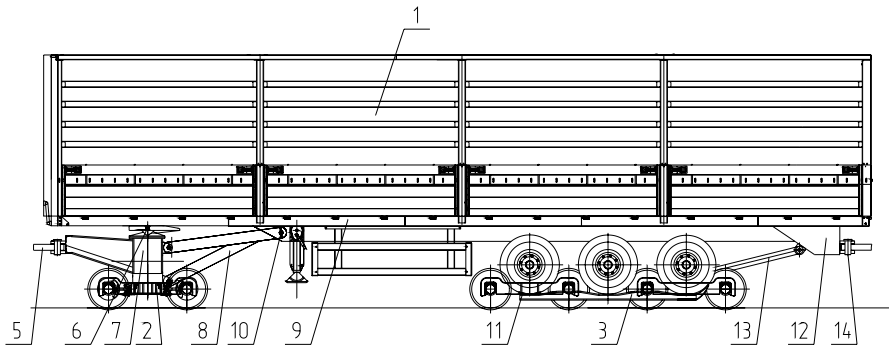
### 2.1. Struktura taboru

Na rysunku 3 pokazano pojedynczą naczepę na wózkach kolejowych. System transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych jest złożony z odpowiednio przystosowanej standardowej naczepy drogowej (1) przedniego wózka dwuosiowego (2) i tylnego wózka czterosiowego (3). Przedni wózek (2) może być wykonany jako wózek wyposażony w typowe urządzenia pociągowo-zderzne (4) (rys. 4) służące do połączenia z lokomotywą i składem pociągu, lub jako wózek wyposażony w sztywne urządzenie ciągłowe (5) (rys. 3), łączące przód naczepy z tyłem sąsiedniej naczepy, lub dwa tyły sąsiednich naczep.

Przód naczepy (1) oparto na siodle (6) typu „Jost” i zamocowano do kolumny wózka (7) za pomocą połączenia sworzniowego. Urządzenie ciągłowe (8) łączy w sposób sztywny kolumnę wózka (7) z ramą nośną naczepy (9) za pomocą sworzni (10) lub innego rodzaju urządzeń sprzęgowych.

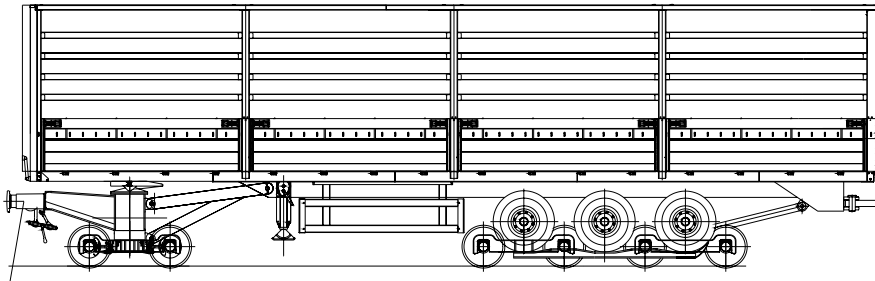
Tył naczepy (1) spoczywa na wózku tylnym (3) w ten sposób, że koła naczepy oparto na półkach ramy wózka i zabezpieczono klinami (11). Ramę wózka połączono ze wspornikiem (12) ramy naczepy za pomocą sztywnego ciągła (13) mocowanego przegubowo do wspornika (13) ramy naczepy.

Do wspornika (12) ramy naczepy zamocowano również urządzenie ciągłowe (5) łączące sąsiednie naczepy. Mocowanie urządzenia ciągłowego (5) w wsporniku (12) można zrealizować za pomocą urządzenia sworzniowego (14) lub innego rodzaju urządzenia sterowanego ręcznie lub automatycznie.



Rys. 3. Naczepa na wózkach kolejowych z wózkiem przednim przystosowanym do łączenia międzynaczepowego

Fig. 3. Semitrailer on the railway bogies with the frontal bogie adapted to the inter-semitrailer connection



Rys. 4. Naczepa na wózkach kolejowych z wózkiem przednim wyposażonym w typowe urządzenia pociągowo-zderzne

Fig. 4. Semitrailer on the railway bogies with the frontal bogie equipped with the typical buffing and draw gears

## 2.2. Montaż wózków pod naczepą

Przestawienie naczepy z traktacji drogowej na kolejową odbywa się na płaskim terminalu wyposażonym w tor prosty zabudowany tak, aby poziom terminalu był zrównany z poziomem główki szyn toru.

Na rysunku 5 pokazano kolejność montażu wózków kolejowych pod naczepą.

### Faza I (rys. 3a)

Ustawienie wózka tylnego na torze za kołami naczepy oraz zablokowanie wózka przed możliwością toczenia się po torze. Przygotowanie wózka do najazdu naczepy przez zamontowanie pochylni najazdowej

**Faza II (rys. 3b)**

Najazd kół naczepty na półki ramy nośnej wózka transportowego. Zamocowanie wózka do naczepty za pomocą sztywnego ciągła.

**Faza III (rys. 3c)**

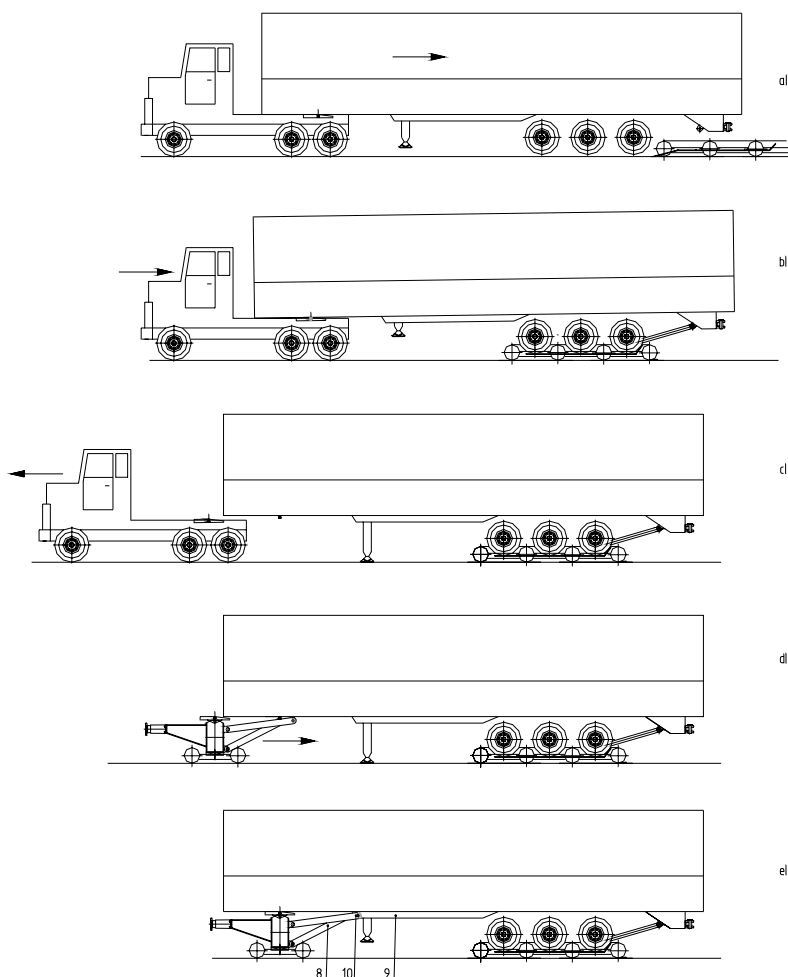
Opuszczenie nogi podporowej i wyjazd ciągnika spod naczepty.

**Faza IV (rys. 3d)**

Wtroczenie wózka przedniego pod przód naczepty.

**Faza V (rys. 3e)**

Oparcie przodu naczepty na siodle typu „Jost” i zaryglowanie zamka siodła. Zamocowanie wózka przedniego w ramie naczepty za pomocą urządzenia ryglującego. Podniesienie nogi podporowej naczepty.



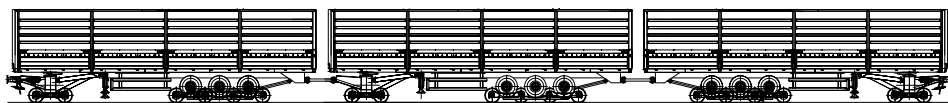
Rys. 5. Proces montażu wózków kolejowych pod naczeptą

Fig. 5. Assembly process of the railway bogies under the semitrailer

### 2.3. Alternatywne możliwości montażu składu pociągu

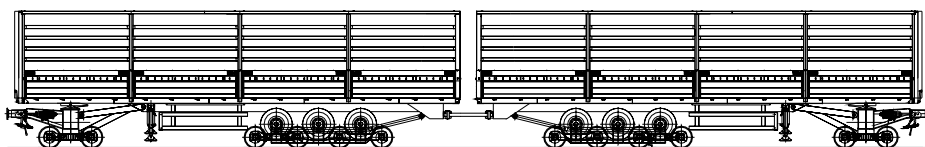
Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przykładowo dwie metody formowania składu pociągu złożonego z naczep na wózkach kolejowych. Pierwsza metoda (rys. 6) polega na jednokierunkowym łączeniu przyczep (z wyjątkiem ostatniej naczepy), w ten sposób, że pierwsza naczepa jest wyposażona w przedni wózek zaopatrzony w urządzenia pociągowo-zderzne, a kolejne naczepy w przednie wózki wyposażone w wspornik do montażu sztywnego cięgła, łączącego przód kolejnej naczepy ze wspornikiem zamontowanym w tyle naczepy poprzedniej. Natomiast ostatnia naczepa w składzie pociągu jest odwrócona tyłem do naczepy poprzedzającej, a przód naczepy jest wyposażony w wózek z urządzeniami pociągowo zderznymi.

Druga metoda (rys. 7) polega na tworzeniu dwuczłonowych zespołów naczep połączonych za pomocą urządzeń pociągowo-zderznych, dwie naczepy w członie łączą się za pomocą sztywnego wzdłużnie cięgła przenoszącego siły pociągowe i ściskające, działające podczas jazdy po torach kolejowych.



Rys. 6. Pociąg wyposażony na obu końcach w wózki z urządzeniami pociągowo-zderznymi oraz ze sztywnym połączeniem międzynauczepowym

Fig. 6. Train equipped on both ends with the bogies with the buffing and draw gears and with the rigid inter-semitrailer connection



Rys. 7. Moduł dwunaczepowy wyposażony na obu końcach w urządzenia pociągowo-zderzne

Fig. 7. Two-semitrailer module equipped on both ends with the buffing and draw gears

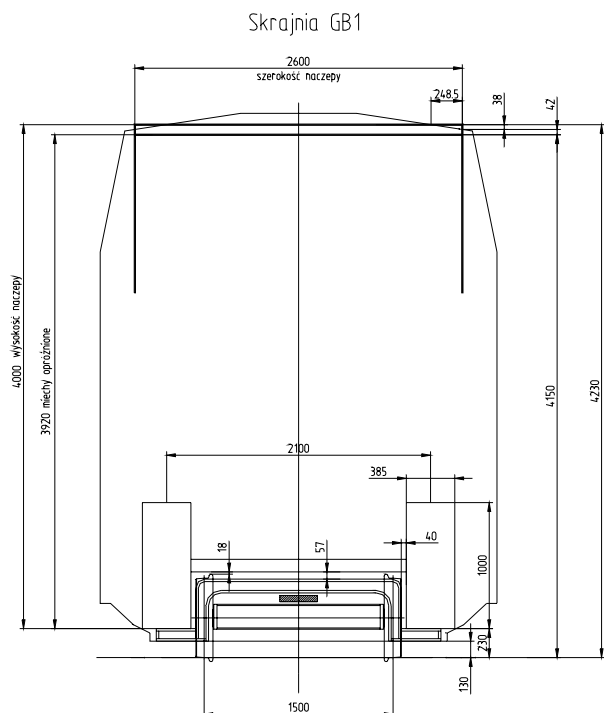
### 2.4. Zalety konstrukcyjne i eksploatacyjne systemu

1. Możliwość adaptacji standardowej naczepy drogowej.
2. Możliwość montażu naczep na wózki równocześnie dla kilku lub kilkunastu naczep, a po montażu połączenie ich w pociąg (skrócenie czasu formowania składu pociągu).
3. Możliwość wyłączenia ze składu lub włączenia do składu pociągu dowolnej naczepy, znajdującej się wewnątrz składu pociągu.
4. Łączenie naczep w składy dwuczłonowe, zaopatrzone na końcach w urządzenia pociągowo-zderzne pozwala na doczepienie składów dwuczłonowych na końcu pociągu towarowego (masa składu dwuczłonowego jest w przybliżeniu równa masie towarowego wagonu czteroosiowego ~ 80 t, zatem zderzaki są zdolne do przeniesienia i pochłonięcia energii przy nabieganiu składów dwuczłonowych na ostatni wagon pociągu towarowego).

5. Relatywnie mały rozstaw czopów skrętu między wózkiem przednim i tylnym tworzy lepsze warunki wpisywania się naczepy w zarys skrajni taboru w porównaniu do systemów ruchoma szosa, modalohr oraz bimodalnego.
6. Znaczące zmniejszenie masy pociągu w porównaniu do systemów ruchoma szosa i modalohr.
7. Wydłużenie przebiegów międzynaprawczych w odniesieniu do systemu ruchoma szosa.
8. Prosty terminal przeładunkowy, bez dodatkowej infrastruktury przeładunkowej.

### 3. Skrajnia kolejowa

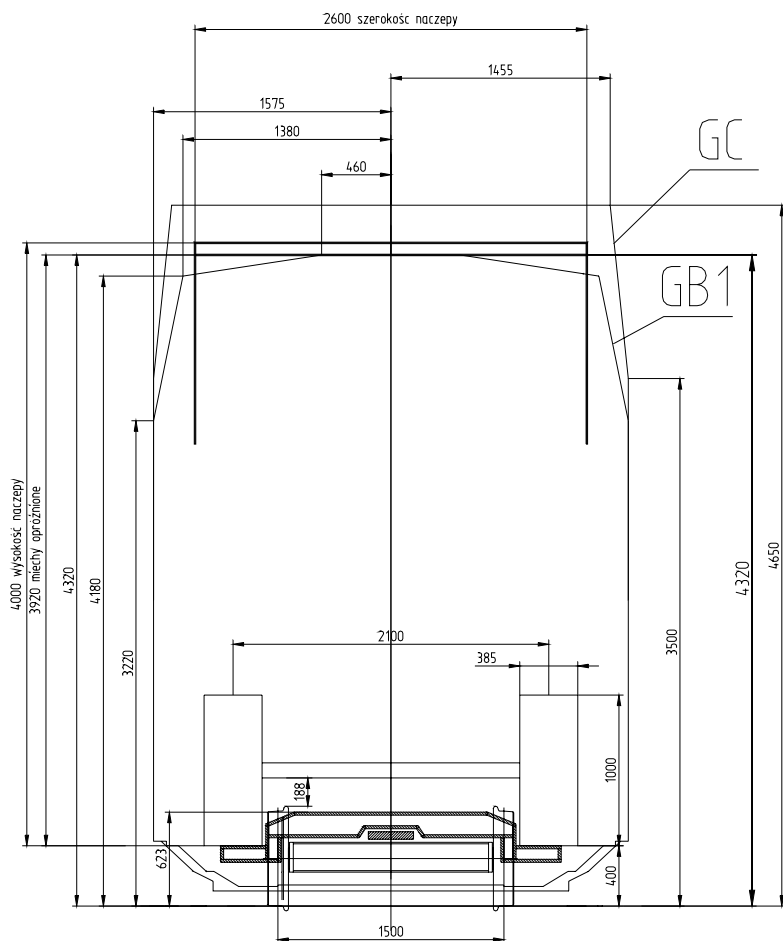
Jednym z założonych do osiągnięcia celów jest zaprojektowanie taboru kolejowego, na którym transportowana naczepa o standardowych wymiarach drogowych mieściłaby się w zarysie skrajni GB1. Wstępną uproszczoną analizę skrajni taboru wykonaną metodą graficzną przedstawiono na rysunkach 8 i 9.



Rys. 8. Gabaryt naczepy na wózku tylnym na tle zarysu skrajni GB1 z maksymalnym wykorzystaniem dolnego zarysu skrajni

Fig. 8. Overall dimensions of semitrailer on the rear bogie against a background of GB1 gauge outline with the maximum using the lower outline of gauge





Rys. 9. Gabaryt naczepy na tylnym wózku z uniesionymi na wysokość ~400 mm półkami ramy nośnej wózka

Fig. 9. Overall dimensions on the rear bogie with the lifted at height of ~ 400 mm racks of the carrying frame of bogie

W analizie uwzględniono przypadek transportu naczepy z wypełnionymi powietrzem miechami usprężynowania nadwozia naczepy oraz z miechami opróżnionymi z powietrza. W praktyce przewiduje się spuszczenie powietrza z miechów do oparcia na odbijakach gumowych zabudowanych w miechach. Taki sposób transportu naczep na wózkach kolejowych ogranicza kołysanie naczepy, co daje określone korzyści w przemieszczeniach poprzecznych górnej strefy nadwozia. Ponadto przy długotrwałej jeździe po torach kolejowych, na skutek nieszczelności układu pneumatycznego naczep można oczekiwać samoczynnego opróżniania miechów z powietrza w niektórych naczepach składu pociągu, co by prowadziło do zróżnicowania wysokości dachu naczep mierzonej od poziomu główki szyny.

Na wielkość przemieszczeń poprzecznych górnej strefy nadwozia naczepy ma szczególnie wpływ łączna, całkowita sztywność elementów sprężystych zabudowanych pomiędzy zestawami kołowymi a nadwoziem naczepy. W opracowywanej koncepcji systemu transportowego mogą wystąpić cztery stopnie usprężynowania:

I – między oprawą łożysk zestawów kołowych i ramą wózka,

II – między ramą wózka a ramą nośną, na której są oparte koła naczepy,

III – sprężystość opon naczepy,

IV – sprężystość odbijaków gumowych zabudowanych w miechach.

W konwencjonalnych pojazdach szynowych występują z reguły dwa stopnie sprężynowania, pierwszy między zestawem kołowym a ramą wózka, drugi między ramą i nadwoziem pojazdu.

Wysokie położenia dachu naczepy od poziomu główki szyny zależy przede wszystkim od wysokości położenia pólek ramy nośnej, na której spoczywają koła naczepy. W omawianej koncepcji taboru półki mogą być usytuowane na poziomie zbliżonym do zarysu dolnej części skrajni kolejowej (rys. 8). Aby maksymalnie wykorzystać kontur dolnej skrajni kolejowej, oś drogowej naczepy winna być tak zaprojektowana, aby żadna z zabudowanych części na osi drogowej nie zajmowała miejsca wyznaczonego przez kontur wewnętrzny opon i osi. Przykładowo, cylindry hamulcowe, które z reguły montowane są pod osią, należałoby zabudować nad osią. Takie rozwiązanie konstrukcji osi drogowych naczep są w praktyce również spotykane. W prezentowanej koncepcji taboru jest możliwy również transport naczep z urządzeniami zabudowanymi pod osią, jednak w takim przypadku gabaryt taboru przekracza skrajnię GB1 i wymaga skrajni typu C (rys. 9), gdzie poziom dachu naczepy osiąga wysokość 4320 mm, to jest o ~200 mm niżej niż w przypadku transportu naczep w systemie „ruchoma szosa”.

#### 4. Wnioski

Pierwszą koncepcję systemu przedstawioną w opracowaniu [5] zrealizowano na kołach o średnicy 450 mm, podobnie jak w znanym i eksploatowanym systemie „ruchoma szosa”. Zastosowanie małej średnicy kół jest korzystne ze względu odpowiednio niskie położenie dachu transportowanej naczepy. Przy tak małej średnicy kół w dalszej części realizacji koncepcji napotkano na trudności z zabudową hamulca na wózkach kolejowych.

W kolejnych analizach zastosowano koła o średnicy 630 mm, co pozwoliło na zbudowanie hamulca tarczowego z tarczami zamontowanymi na osiach oraz uzyskano odpowiednią ilość miejsca na rozmieszczenie urządzeń sterowania hamulcem (blok sterujący, zbiorniki powietrza itp.).

Zastosowanie kół o większej średnicy w porównaniu do systemu „ruchoma szosa” zwiększa poziom bezpieczeństwa ruchu taboru oraz eliminuje wady eksploatacyjne systemu „ruchoma szosa” to znaczy zwiększa przebiegi międzynaaprawcze zestawów kołowych i łożysk osiowych.

Jednym z przyjętych założeń przy realizacji projektu jest możliwość eksploatacji systemu z prędkością 100–120 km/h bez ograniczeń prędkości jazdy na łukach i rozjazdach, tak jak jest to wymagane dla systemu „ruchoma szosa”. Te optymistycznie przyjęte parametry eksploatacyjne taboru wynikają z przeprowadzonych wstępnych modelowych badań symulacyjnych bezpieczeństwa i dynamiki ruchu.

Prezentowane rozwiązanie umożliwia transport naczep o standardowych gabarytach na szlakach kolejowych ze skrajnią GB1, natomiast system „ruchoma szosa” wymaga skrajni o największych gabarytach typu C.

### Literatura

- [1] Grzeszak A., *Tiry narodowe*, Polityka, nr 6, 5 lutego 2011.
- [2] Medwid M., *Studium tworzenia intermodalnych środków technicznych transportu lądowego, w szczególności bimodalnego. Rozprawy*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008.
- [3] Medwid M., *Polski system transportu kolejowo-drogowego [bimodalnego] typu „TABOR”*, Wydawnictwo IPS „Tabor”, Poznań 2006.
- [4] Medwid M., Cichy R., *System transportu przyczep drogowych po torach kolejowych i tramwajowych*, Pojazdy Szynowe nr 2/2010, Wydawnictwo IPS „Tabor”.
- [5] Medwid M., Cichy R., Nowaczyk T., *Model strukturalny systemu transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych w ruchu kombinowanym, kolejowo-drogowym*, XIX Konferencja Naukowa – Pojazdy Szynowe, Targanice k. Andrychowa, wrzesień 2010.