

Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych zespołów pociągu bimodalnego typu TABOR

W artykule zaprezentowano wyniki optymalizacji parametrów konstrukcyjnych części składowych pociągu bimodalnego typu TABOR. Podstawowym celem przeprowadzonej optymalizacji było uzyskanie możliwie największej przestrzeni ładunkowej naczepy przy spełnieniu warunków minimalnej masy części składowych pociągu oraz podwyższonych przez EBA wymagań wytrzymałościowych w stosunku do postanowień karty UIC 597.

Wykonany w IPS Poznań w latach 1993+95 prototyp pociągu bimodalnego podlegał kolejnym modyfikacjom wynikającym z nabytych doświadczeń konstruktorów, oraz w oparciu o uwagi i wymagania stawiane przez spedytorów eksploatujących naczepy drogowe oraz bimodalne. Generalną tendencją widoczną w rozwoju naczep drogowych jest ciągle dążenie do zwiększania wysokości przestrzeni ładunkowej tych naczep. Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu nowych technologii w budowie naczep drogowych oraz ciągników siodłowych, a szczególnie stosowanie w naczepach i ciągnikach kół o coraz mniejszych średnicach. Zainteresowanie zagranicznych spedytorów, a zwłaszcza niemieckich, polskim taborem bimodalnym o parametrach spełniających stawiane przez nich wymagania, (m. in. EBA - Eisenbahnbundesamt- niemiecki urząd kolejowy dopuszczający do ruchu pojazdy szynowe na sieci DB) wymusiły na konstruktorach podjęcie działań zmierzających do optymalizacji konstrukcji polskiego taboru. Rozwiązania konstrukcyjne polskiego taboru po kolejnych modernizacjach zaprezentowano w pracy [2].

Nazwa typu „TABOR” pochodzi od nazwy Instytutu Pojazdów Szynowych w Poznaniu.

W artykule przedstawiono wyniki optymalizacji parametrów konstrukcyjnych taboru opisanego w pracy [2] w celu uzyskania maksymalnej wysokości przestrzeni ładunkowej naczepy bimodalnej dla systemu adapterowego taboru bimodalnego.

1. Adapter środkowy

Podstawowe wymagania postawione przez spedytorów to obniżenie wysokości siodeł adapterów z dotychczasowego poziomu 1235 mm od główki szyny do poziomu 1130 mm.

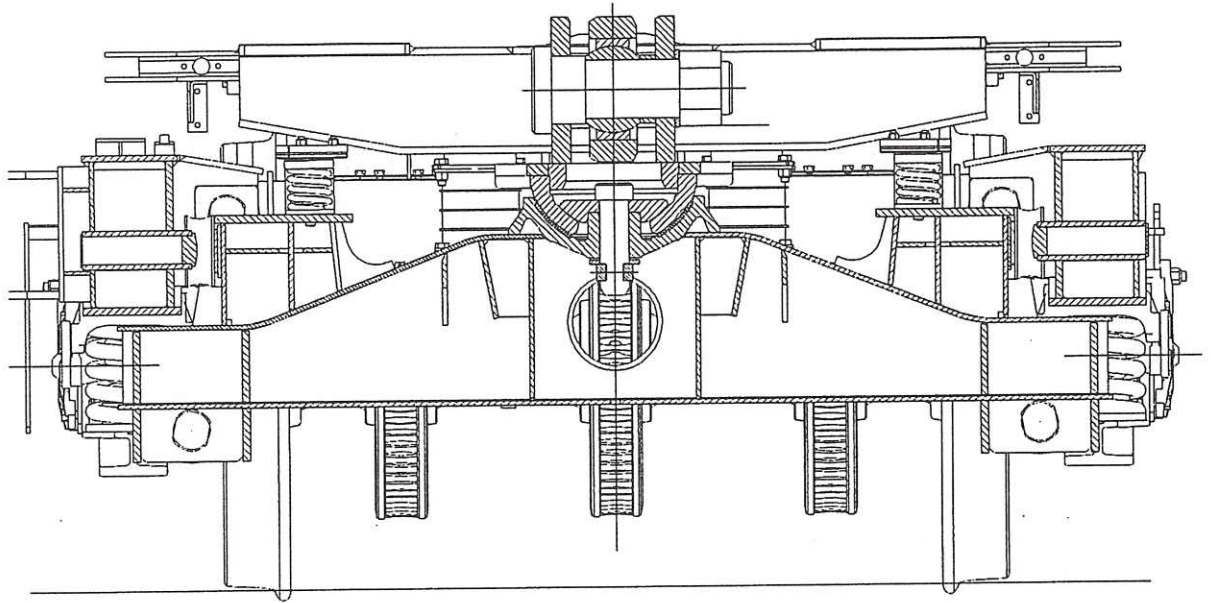
Cel ten osiągnięto wprowadzając dwa zabiegi konstrukcyjne modyfikujące adapter środkowy:

- zmieniono dotychczasowe rozwiązanie połączenia przegubowego obu części adaptera środkowego na rozwiązanie, w którym zastosowano seryjnie produkowany przegub kulisty,
- wprowadzono zmianę lokalizacji ślizgów bocznych podpierających adapter górny i dolny.

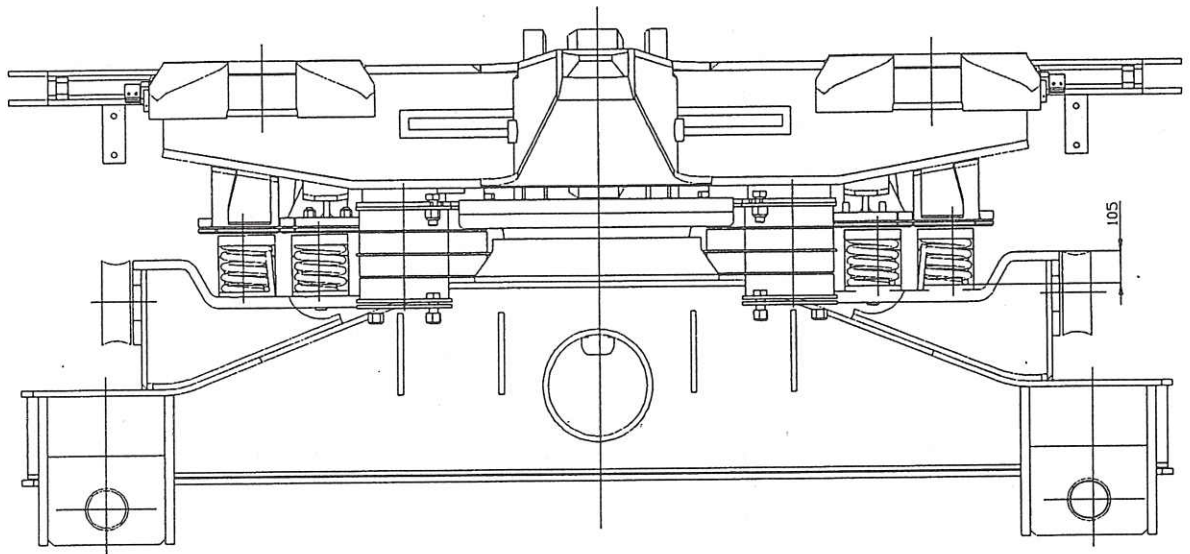
Stosując pierwszy zabieg zminimalizowano zapotrzebowanie na wysokość przestrzeni potrzebnej na połączenie adaptera górnego i dolnego. Dzięki temu jest możliwe wykonanie prostego, niezawodnego i tańszego rozwiązania konstrukcyjnego połączenia obu części adaptera środkowego, spełniającego wymaganie obniżenia siodeł adaptera o 105 mm, przy zachowaniu dotychczasowych podstawowych gabarytów belek nośnych obu części adaptera.

Konsekwencją wykonania pierwszego zabiegu jest konieczność zmiany lokalizacji ślizgów bocznych usytuowanych na belce bujkowej wózka. Problem ten przeanalizowano w dwóch wariantach:

- rozstawienie czterech ślizgów bocznych na promieniu okręgu dotychczasowego rozstawu ślizgów wewnętrznych, przyczym rozstaw poprzeczny ślizgów dobrano tak, aby były one pod belkami poprzecznymi adaptera górnego i dolnego (rys 1),
- pozostawienie czterech ślizgów w osi poprzecznej wózka z przestawieniem obecnych ślizgów zewnętrznych na wewnętrzne oraz obniżenie wysokości usytuowania ślizgów na belce bujkowej o 105 mm (rys 2).



Rys. 1. Zoptymalizowany adapter środkowy na wózku ze ślizgami bocznymi usytuowanymi pod belkami adaptera

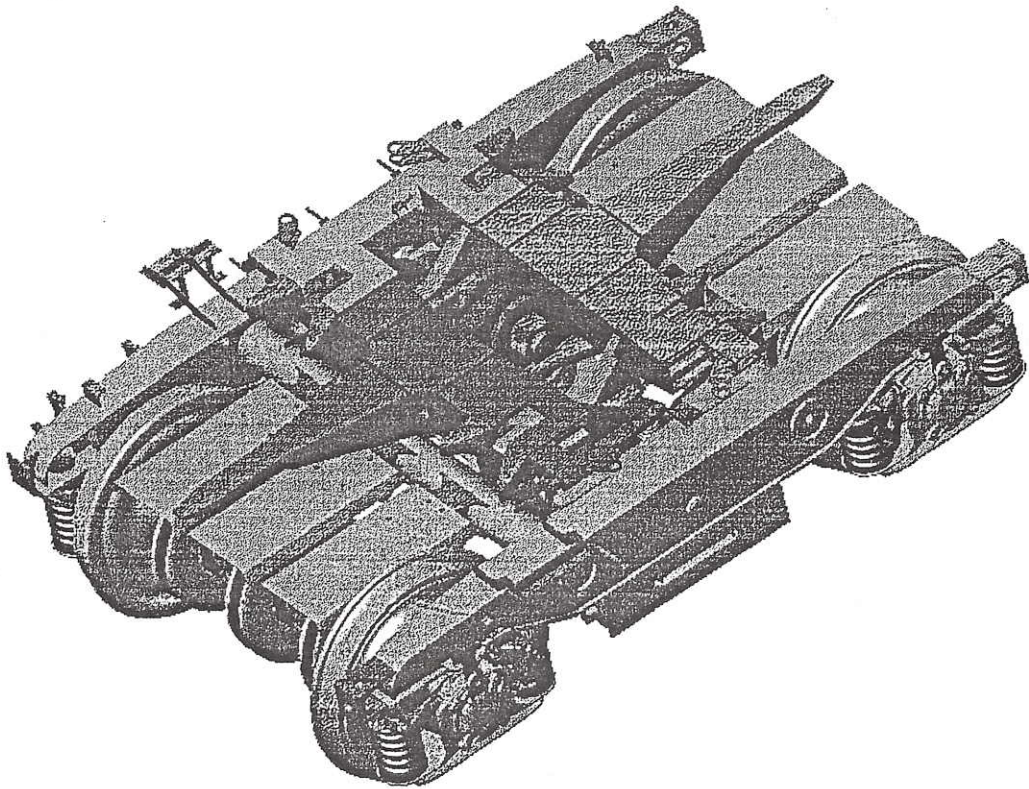


Rys. 2. Zoptymalizowany adapter środkowy na belce bujkowej wózka (ślizgi obniżone o 105 mm)

Pierwsze rozwiązanie jest nietypowe dla stosowanych standardowych rozwiązań, a ponadto przeniesienie ślizgów z osi poprzecznej wózka w inne położenie powoduje, że ślizgi stają się ogranicznikami pionowego przemieszczenia końca dyszla naprowadzającego adapter, co może prowadzić do ryzyka uszkodzenia ślizgów lub adaptera podczas łączenia i rozłączania naczepy z adapterem.

Drugie rozwiązanie nie jest obarczone tym ryzykiem, ponieważ ślizgi boczne pozostają nadal w osi poprzecznej wózka. Przeniesienie dotychczasowych ślizgów zewnętrznych na wewnętrzne powoduje zmianę momentu oporowego wózka. Biorąc pod uwagę fakt, że prototyp pociągu bimodalnego z dotychczasowym rozwiązaniem konstrukcyjnym ad-

apterów przeszedł z powodzeniem pełne badania ruchowe, po zmianie rozstawu ślizgów moment oporowy wózka pozostał w tym samym poziomie, przez dobór odpowiedniej sztywności pionowej sprężyn ślizgów bocznych. W ten sposób uniknięto potrzeby powtórzenia badań ruchowych na skutek zmiany parametrów konstrukcyjnych wózka. Odpowiednio pomniejszono również luz pionowy na ślizgach wewnętrznych, aby zachować dotychczasową kinematykę poprzeczną naczepy z uwagi na potrzebę utrzymania bezpiecznego luzu do skrajni kinematycznej w górnej części naczepy. Na rysunku 3 pokazano widok ogólny zoptymalizowanego adaptera środkowego w wariant 2 na wózku.



Rys. 3. Widok ogólny zoptymalizowanego adaptera środkowego na wózku

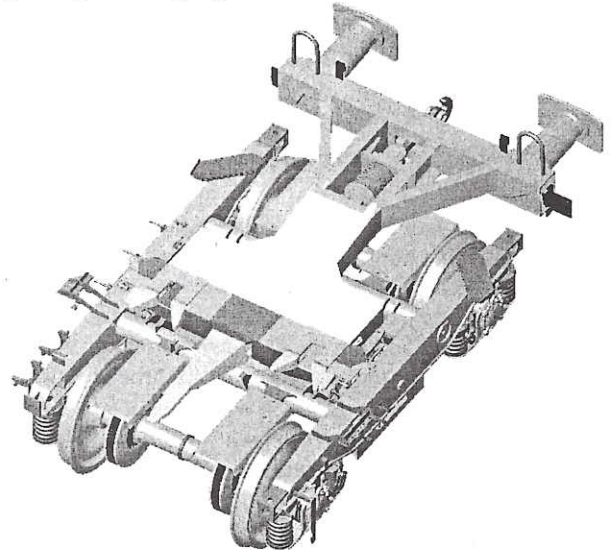
2. Adapter skrajny

Optymalizacja konstrukcji adaptera skrajnego jest konsekwencją obniżenia poziomu siodeł dla adaptera środkowego i potrzebą dopasowania wysokości siodeł adaptera środkowego i skrajnego. Z uwagi na to, że adapter skrajny jest zawsze obciążony połową obciążenia przypadającego na adapter środkowy, poziom siodeł adaptera skrajnego w stanie swobodnym obniżono o 119 mm to jest o 14 mm więcej niż dla adaptera środkowego, co jest konsekwencją mniejszego ugięcia statycznego wózka skrajnego. Część adaptera służąca do połączenia go z lokomotywą lub składem pociągu towarowego, pozostaje na niezmienionej wysokości ze względu na wymagania normy określającej wysokość położenia zderzaków i sprzęgu. Efektem optymalizacji adaptera jest maksymalna redukcja wysokości siodeł adaptera umożliwiającą jeszcze prawidłową współpracę kinematyczną adaptera z ramą wózka. Zoptymalizowany polski tabor bimodalny staje się taboroem o najniższej usytuowanych siódlach adapterów wśród znanych rozwiązań adapterowych taboru bimodalnego.

Poniżej podano wysokości poziomu siodeł adapterów od poziomu toru w stanie swobodnym (bez obciążenia) dla znanych i dopuszczonych do ruchu systemów bimodalnych.

Nazwa systemu	Wysokość adaptera środkowego w stanie swobodnym [mm]
Road – Railer	1212
Kombirail	1200
Transrailer	935
System bezadapterowy	wysokość czopa skrętu (tył naczepy)
Coda – E [Com(t)rail]	1240
TABOR	1235
TABOR I (po optymalizacji)	1130

Na rysunku 4 przedstawiono widok ogólny zoptymalizowanego adaptera skrajnego na wózku.

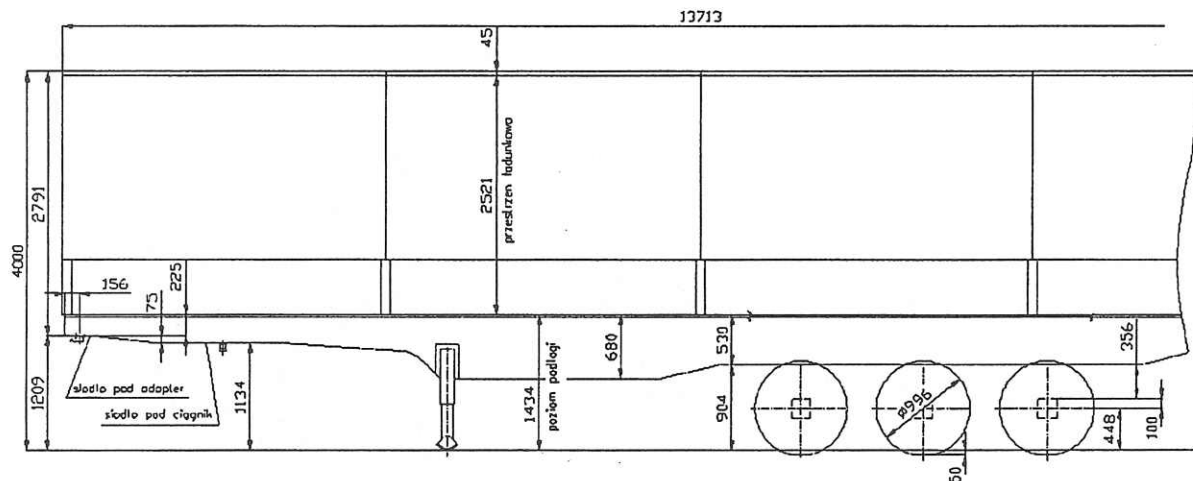


Rys. 4. Widok ogólny zoptymalizowanego adaptera skrajnego na wózku

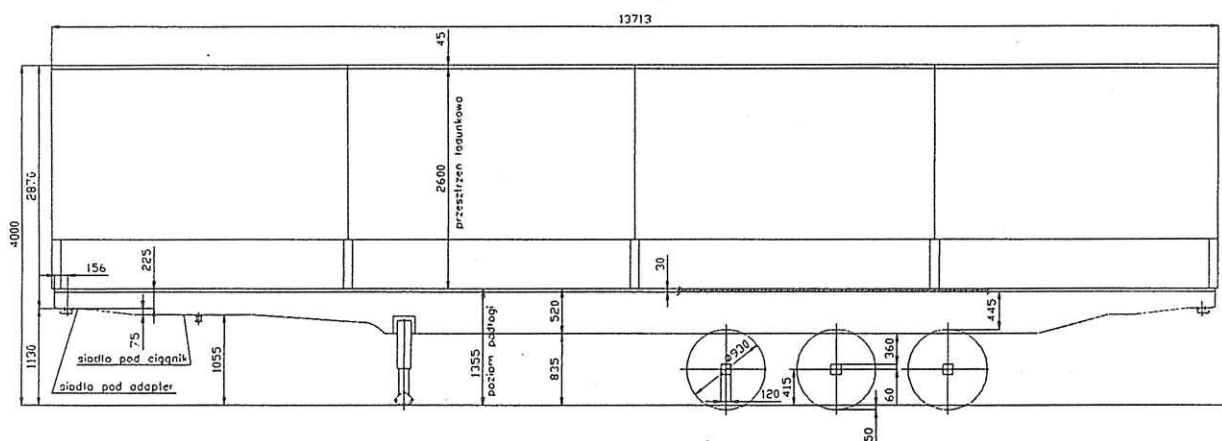
3. Naczepa bimodalna

W następstwie optymalizacji adapterów wózka środkowego i skrajnego zoptymalizowano parametry konstrukcyjne naczepy jak również uproszczono technologię wykonania belki centralnej ramy.

Naczepę w położeniu drogowym przed optymalizacją pokazano na rysunku 5, a na rysunku 6 przedstawiono naczepę zoptymalizowaną.



Rys. 5. Naczepa na drodze przed optymalizacją



Rys. 6. Naczepa na drodze po optymalizacji

- Uzyskane rezultaty optymalizacji naczepy są następujące:
- obniżono poziom siodeł kolejowego z wysokości 1209 mm na 1130 mm i odpowiednio poziom siodeł drogowego z wysokości 1134 mm na 1055 mm,
 - zastosowano koła drogowe naczepy o średnicy 930 mm,
 - obniżono poziom podłogi naczepy na drodze z wysokości 1434 mm na 1355 mm,
 - w efekcie wyżej wymienionych zabiegów zwiększono wysokość przestrzeni ładunkowej naczepy z 2521 mm, na 2600 mm to jest o 79 mm, przy wysokości siodeł ciągnika drogowego na poziomie 1055 mm oraz wysokości naczepy na drodze 4000 mm,
 - na centralnej belce ramy zlikwidowano wybrzuszenie ramy ku dołowi w przestrzeni pomiędzy nogą podporową, a kołami jezdnymi, i na całej długości części środkowej ramy wykonano belkę centralną o wysokości 520 mm.

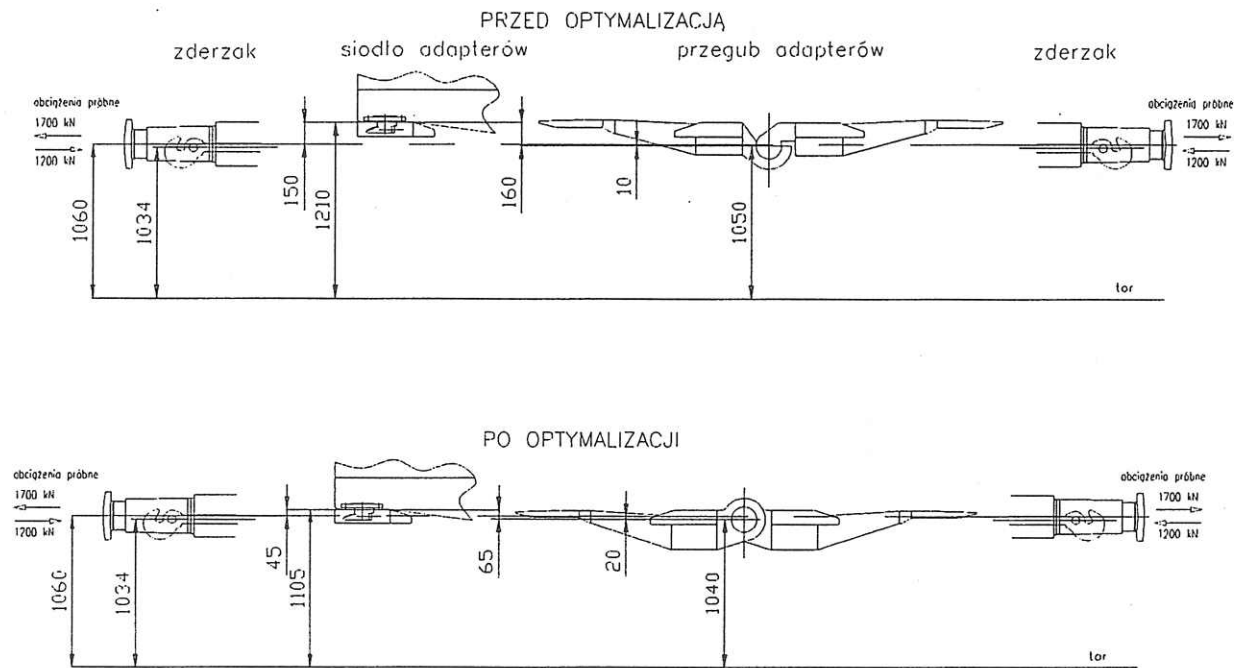
Obniżenie siodeł kolejowych naczepy do wysokości 1130 mm, takiej samej jak wysokość siodeł adaptera środkowego w stanie swobodnym, nie wymaga unoszenia naczepy podczas łączenia jej z adapterem, co znacznie upraszcza

proces łączenia naczepy z adapterem oraz skraca czas wykonania tej operacji.

Podobnie dopasowano poziom siodeł drogowego naczepy, który jest równy z poziomem siodeł ciągnika drogowego. Wyprostowanie części środkowej belki centralnej upraszcza technologię wykonania belki oraz likwiduje karby konstrukcyjne, podnosząc trwałość zmęczeniową ramy naczepy.

Korzyści powstałe w wyniku przeprowadzonej optymalizacji parametrów konstrukcyjnych adapterów i naczepy są również widoczne w uformowaniu kolejowym pociągu złożonego z naczep bimodalnych.

Jednym z uzyskanych efektów jest zmniejszenie różnicy wysokości między „elementami złącznymi” pociągu takimi jak: zderzaki, haki ciąglowe, zamki adapterów oraz przeguby łączące obie części adaptera środkowego, przez które przekazywane są wzdluzne siły sciskajace i rozciagajace wystepujace podczas eksploatacji pociagu. Zredukowanie różnicy wysokości między elementami złącznymi pociągu w znacznym stopniu wpływa na zmniejszenie obciążeń zginających, którym poddane są składowe części pociągu, takie jak adaptery i ramy naczep. Na rysunku 7 pokazano wysokość elementów złącznych pociągu pod próżnymi naczepami przed optymalizacją i po optymalizacji.



Rys. 7. Wysokość elementów złącznych pociągu

Różnica wysokości zderzaków i siodeł adaptera przed modernizacją pociągu wynosi 150 mm, a między wysokością położenia siodeł adaptera i wysokością przekazywania sił wzdłużnych przez przegub kulisty wynosi 160 mm.

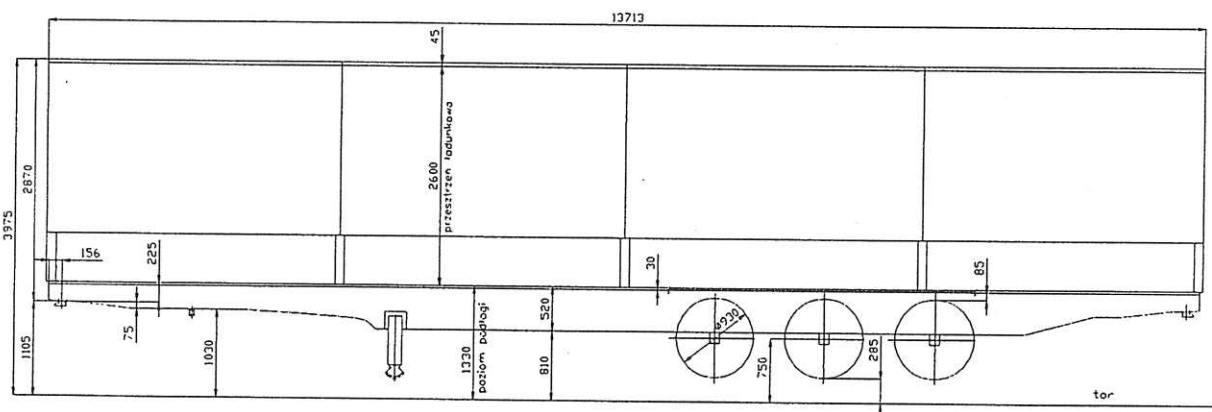
Natomiast po modernizacji pociągu różnice te odpowiednio wynoszą 45 mm i 65 mm.

W rzeczywistości siły poziome są przenoszone z siodeł adapterów na naczepę ~40 mm poniżej poziomu siodeł adapterów. Można więc przyjąć założenie nie obarczone dużym błędem, że siły poziome przekazywane są przez elementy złączne pociągu na tej samej wysokości mierząc od poziomu

toru, przy pociągu jednorodnym złożonym tylko z próżnych naczep lub naczep załadowanych.

W wyniku optymalizacji elementów składowych pociągu bimodalnego zmniejszono również wysokość położenia dachu naczepy w uformowaniu kolejowym z 4010 mm przed optymalizacją do 3975 mm po optymalizacji, co zmniejsza zagrożenie przekroczenia zarysu górnej części skrajni kolejowej.

Naczepę po optymalizacji w uformowaniu kolejowym pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Naczepa po optymalizacji w uformowaniu kolejowym

4. Dobór skoku miechów nośnych drogowego układu jezdnego naczepy

Optymalizacja wymiarów gabarytowych belki nośnej ramy jak i obniżenie poziomu dolnego pasa belki ramy w stosunku do poziomu drogi, oraz zmiana średnicy kół drogowych wymaga przeprowadzenia weryfikacji doboru skoku miechów nośnych drogowego układu jezdnego naczepy.

Przed modernizacją taboru różnica poziomu siodeł kolejowych naczepy oraz siodeł adaptera wynosiła 26 mm. W wyniku modernizacji adapterów i naczepy obniżono poziom adapterów o 105 mm, a poziom siodeł kolejowych naczepy o 79 mm, co doprowadziło do wyrównania poziomów siodeł kolejowych naczepy i adapterów.

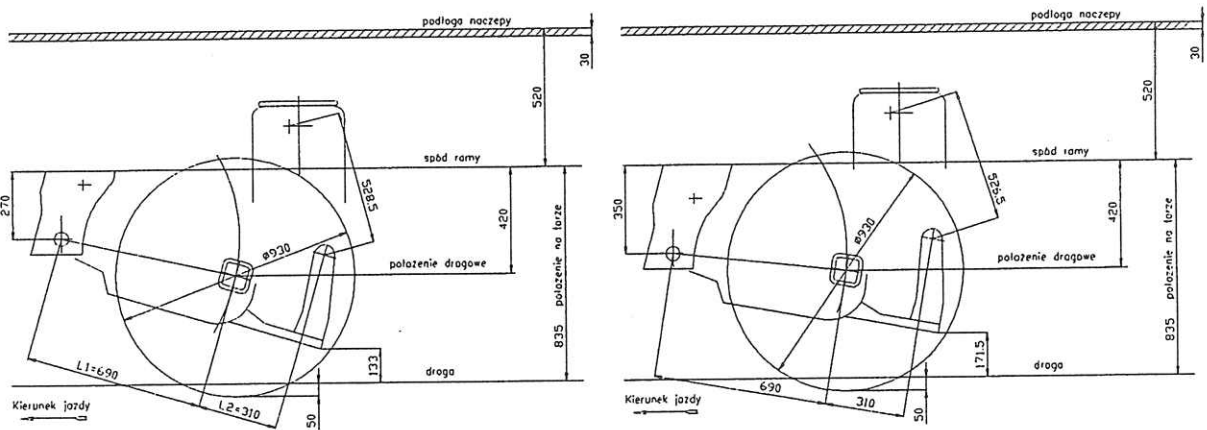
Po połączeniu naczepy z adapterem konieczne jest uniesienie kół drogowych naczepy na wysokość ~285 mm od główki szyny. Aby to było możliwe odległość osi drogowych od dolnego pasa belki centralnej ramy winna wynosić ~360 mm, przy czym:

- 285 mm – stanowi odległość opon od główki szyny,
- 25 mm – ugięcie usprężynowania wózka pod naczepą próżną,
- 50 mm – odprężenie opony podczas unoszenia osi.

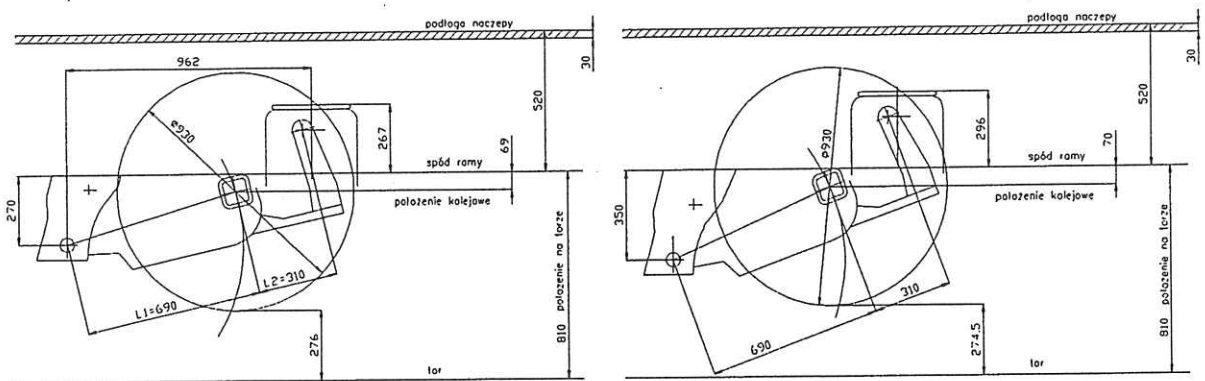
Na rysunku 9 pokazano położenie osi podczas jazdy drogowej, a na rysunku 10 podczas jazdy w uformowaniu kolejowym.

Na rysunku 9 i 10 przedstawiono analizę dwóch wariantów geometrii układu prowadzenia osi drogowych, różniących się wysokością wspornika mocującego wahacz osi drogowej. Po lewej stronie rysunku 9 i 10 pokazano położenia osi drogowej przy wysokości wspornika ~270 mm, tak jak to jest na wykonanym prototypie naczepy bimodalnej. W przypadku naczepy zoptymalizowanej przy kołach o średnicy 930 mm wymiar odległości końca wahacza od poziomu drogi wynosi 133 mm. Jest to zbyt mała odległość wahacza od podłoża, co w czasie jazdy drogowej po nierównym terenie może doprowadzić do uszkodzenia wahacza.

Po prawej stronie rysunku 9 i 10 pokazano przykładowo wpływ wydłużenia wspornika do wysokości 350 mm, co spowodowało zwiększenie odległości końca wahacza do 171,5 mm od podłoża oraz zmniejszenie kąta pochylenia wahacza do poziomu drogi. Szczegółową analizę kinematyki prowadzenia kół drogowych naczepy wykona producent osi drogowych naczepy.



Rys. 9. Geometria układu prowadzenia kół drogowych podczas jazdy drogowej



Rys. 10. Geometria układu prowadzenia kół drogowych w uformowaniu kolejowym

Z proporcji geometrycznych układu prowadzenia osi drogowych wynika, że aby unieść koło drogowe na wysokość ~285 mm od główki szyny potrzebny jest skok miecha:

$$\frac{(L_1 + L_2)}{L_1} \cdot 360 \approx 520 \text{ mm}$$

Podczas jazdy drogowej, z uwagi na dynamikę pionową nadwozia, zakłada się ~100 mm skoku miecha na odbicie. Tak więc łączne zapotrzebowanie na skok miecha wynosi 520 mm + 100 mm = 620 mm. Zapas skoku miecha na odbicie może być wykorzystany na ewentualne uniesienie tyłu naczepy przyłączeniowej naczepy z adapterem.

5. Wnioski końcowe

Przeprowadzona optymalizacja parametrów konstrukcyjnych adapterów i naczepy pozwoliła otrzymać tabor bimodalny spełniający wymagania konstrukcyjne karty UIC-597 [1] i EBA oraz oczekiwania eksploatacyjne spedytorów.

Zoptymalizowaną naczepę bimodalną należy zaliczyć do najbardziej zaawansowanych rozwiązań w dziedzinie adapterowego taboru bimodalnego. Uzyskanie wysokości 2600 mm przestrzeni ładunkowej dla naczep bimodalnych

(typu plandekowej lub kurtynowej), przy utrzymaniu strzałki ugięcia ~3,8‰ ramy naczepy obciążonej w uformowaniu kolejowym, jest wyjściem naprzeciw oczekiwaniom spedytorów, którzy walczą o przysłowiowy każdy centymetr wysokości przestrzeni ładunkowej naczep bimodalnych.

Uproszczenie procesu łączenia elementów składowych pociągu bimodalnego przez wyrównanie poziomu siodeł adapterów i naczep może znacznie skrócić czas formowania pociągu na terminalu, a obniżenie wysokości położenia dachu naczepy na torach daje operatorom taboru bimodalnego szersze możliwości wykorzystania skrajni kolejowej.

Literatura:

- [1] Karta UIC 597. System transportu kombinowanego szynowo – drogowego. Naczepy wózkowe. Charakterystyki. Wyd. 1 nakład z 01.07.1993.
- [2] Medwid M.: Zmodernizowany tabor do transportu bimodalnego przystosowany do prędkości 160 km/h. Pojazdy Szynowe 2/2002.