



**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I TRANSPORTU



**mgr inż. Tomasz Nowaczyk**

**SYSTEM TRANSPORTU INTERMODALNEGO  
Z POZIOMYM, SKOŚNYM PRZEŁADUNKIEM  
NACZEP**

Promotor: dr hab. inż. Małgorzata Orczyk

**POZNAŃ 2022**

## SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE .....	3
ABSTRACT .....	4
WPROWADZENIE .....	5
1. ANALIZA KOLEJOWYCH PRZEWOZÓW INTERMODALNYCH W EUROPIE ORAZ W POLSCE.....	8
2. POCZĄTKI ROZWOJU TRANSPORTU INTERMODALNEGO.....	25
3. PRZEGLĄD KOLEJOWYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU INTERMODALNEGO I URZĄDZEŃ PRZEŁADUNKOWYCH .....	33
3.1. Klasyfikacja technologii transportu intermodalnego.....	33
3.2. Technologie transportu i przeładunku kontenerów .....	35
3.3. Technologie transportu i przeładunku nadwozi i pojemników wymiennych.....	40
3.4. Technologie transportu i przeładunku naczep siodłowych.....	42
3.5. Technologie transportu i przeładunku zestawów drogowych .....	55
4. PROBLEM BADAWCZY, CEL I ZAKRES PRACY .....	60
4.1. Problem badawczy.....	60
4.2. Cel i zakres pracy .....	63
5. MODEL INNOWACYJNEGO SYSTEMU INTERMODALNEGO Z PRZEŁADUNKIEM POZIOMYM – SKOŚNYM .....	67
5.1. Założenia projektowe modelu systemu .....	67
5.2. Struktura nowego systemu intermodalnego .....	68
5.3. Proces przeładunku nowego systemu transportu intermodalnego.....	74
6. WYBRANE ASPEKTY KONSTRUKCJI PODSYSTEMU – STANOWISKO PRZEŁADUNKOWE .....	82
6.1. Rozkład sił reakcji w podporach podnośników .....	82
6.2. Dobór urządzeń hydraulicznych i przekładni zębatej.....	86
6.3. Sumaryczny czas pracy układu przeładunkowego .....	109
7. CHARAKTERYSTYKI CZASOWE PRZEŁADUNKU PROPONOWANEGO SYSTEMU .....	113
7.1. Analiza ogólna charakterystyk czasowych transportu intermodalnego .....	113
7.2. Analiza porównawcza cyklu załadunkowego opracowanego systemu oraz wybranych systemów intermodalnych .....	116
8. PROPOZYCJE DALSZEGO ROZWOJU PRZEDSTAWIONEJ TECHNOLOGII....	141
9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE .....	154
LITERATURA .....	158

## STRESZCZENIE

Praca dotyczy koncepcji nowej konstrukcji systemu intermodalnego szynowo-drogowego z szczególnym uwzględnieniem zautomatyzowanego, poziomego procesu przeładunku standardowych naczep drogowych.

W pracy przeanalizowano strukturę kolejowych przewozów intermodalnych w Europie oraz w Polsce. Przeprowadzono szczegółową charakterystykę dotychczasowych rozwiązań intermodalnych technologii szynowo-drogowych. Przedstawiono również pierwsze na świecie rozwiązania techniczne wykorzystywane w transporcie międzygałęziowym.

Bazując na przeprowadzonym przeglądzie stanu techniki, w wyniku zrealizowanych analiz w podjętej rozprawie doktorskiej, stworzono koncepcyjny model innowacyjnego systemu intermodalnego, szynowo-drogowego, do przewozu i przeładunku standardowych naczep drogowych. W pracy zaprezentowano podstawowe składowe struktury systemu. Kompleksowość zaproponowanego nowego rozwiązania stanowi wagon kolejowy wraz z infrastrukturą przeładunkową.

Nowatorska technologia pojazdu szynowego i infrastruktury na terminalu umożliwia poziomy-skośny przeładunek, który odbywa się przy wykorzystaniu układu jezdnego naczepy siodłowej, bez znacznego unoszenia jednostki ładunkowej. W pracy skupiono się na przewozie naczep uniwersalnych, ponieważ jest to najczęściej stosowana jednostka ładunkowa w transporcie unimodalnym systemu drogowego.

Wrażliwym elementem transportu intermodalnego stającym na przeszkodzie uzyskania przewagi czasowej nad transportem drogowym jest konieczność dwukrotnego przeładunku na terminalu. W związku z tym w pracy przeprowadzono obliczenia mechanizmów stanowiska przeładunkowego w celu wyznaczenia kolejności czynności pracy oraz czasu pracy urządzeń podczas etapu przeładunku. Następnie wyznaczono sumaryczne czasy przeładunków dla trzech różnych wariantów opracowanego systemu i porównano z czasami przeładunków w istniejących, konkurencyjnych rozwiązaniach.

Podjęta analiza pozwoliła w końcowym etapie pracy zweryfikować system pod względem konkurencyjności wykorzystania. W związku z automatyzacją procesu formowania składu pociągu oraz innymi zaletami prezentowana technologia jest w stanie konkurować z transportem drogowym oraz innymi rozwiązaniami intermodalnymi. Konstrukcja wagonu oraz struktury przeładunkowej zostały zgłoszone do ochrony patentowej w Urzędzie Patentowym RP.

## ABSTRACT

The paper deals with the concept of a new design of a rail-road intermodal system with a special focus on an automated, horizontal process of transshipment of standard road semi-trailers.

The paper analyses the structure of rail-road intermodal transport in Europe and in Poland. A detailed characterisation of current solutions of rail-road intermodal technologies has been carried out. The world's first technical solutions used in intermodal transport are also presented.

Based on the review of the state of the technology, a conceptual model of an innovative rail-road intermodal system for the transport and reloading of standard road semi-trailers has been developed as a result of the analyses performed in the dissertation. The paper presents the basic components of the system structure. The complexity of the proposed new solution is represented by the railcar together with the transshipment infrastructure.

The innovative technology of the rail vehicle and the infrastructure at the terminal enables horizontal-angled transshipment, which takes place using the chassis system of the semi-trailer, without significant lifting of the cargo unit. This paper focuses on the carriage of multi-purpose semi-trailers, as this is the most commonly used loading unit in unimodal transport of the road system.

A sensitive element of intermodal transport that stands in the way of gaining a time advantage over road transport is the need to reload twice at the terminal. Therefore, in this paper, the transshipment bay mechanisms were calculated to determine the sequence of work activities and the equipment working time during the transshipment stage. Then, the total reloading times for the three different variants of the developed system were determined and compared with the reloading times in existing, competitive solutions.

The analysis undertaken allowed, in the final stage of the work, to verify the system in terms of competitiveness of use. Due to the automation of the train formation process and other advantages, the presented technology is able to compete with road transport and other intermodal solutions. The wagon and loading structure design has been registered for patent protection in the Patent Office of the Republic of Poland.

## WPROWADZENIE

Dla zrozumienia terminów używanych w pracy przedstawiono podstawowe definicje związane z transportem intermodalnym. Powiązane z transportem intermodalnym pojęcia zostały zdefiniowane na Europejskiej Konferencji Ministrów Transportu w glosariuszu pt. Terminologia transportu kombinowanego [48, 100].

**Transport intermodalny** jest to przemieszczanie ładunków przy użyciu środków przewozu różnych gałęzi transportu, jednakże w tej samej jednostce ładunkowej na całej trasie od nadawcy do odbiorcy.

**Transport multimodalny** to przewóz ładunku przy użyciu co najmniej dwóch różnych gałęzi transportu, przy czym towar może zmieniać jednostki ładunkowe, tzn. może być przeładowany do innej jednostki przy zmianie środka przewozu.

**Transport kombinowany** jest to transport intermodalny, gdzie większa część przewozu odbywa się koleją, żeglugą wodną śródlądową lub morską a wszelkie początkowe i / lub końcowe odcinki drogowe są możliwie najkrótsze.

Definicja Wspólnot Europejskich doprecyzowuje, że transport kombinowany jest to: przewóz towarów pomiędzy krajami członkowskimi gdzie samochód ciężarowy, przyczepa, naczepa, z lub bez jednostki ciągnącej, nadwozie wymienne lub kontener korzysta z drogi w początkowym i końcowym odcinku podróży a na innym odcinku o długości powyżej 100 km w linii prostej z usług transportu kolejowego lub wodnego śródlądowego lub morskiego, a początkowy i końcowy odcinek wykonywany jest przez transport drogowy w sposób następujący [12]:

- pomiędzy punktem gdzie towary są załadowane i najbliższą odpowiednią kolejową stacją załadunkową dla odcinka początkowego oraz pomiędzy najbliższą kolejową stacją wyładunkową a punktem, gdzie towary są wyładowywane dla końcowego odcinka, lub,
- w promieniu nie przekraczającym 150 km w linii prostej od portu żeglugi śródlądowej lub portu morskiego załadunku lub wyładunku.

Rosnąca aktywność usług transportowych jest ważnym czynnikiem wzrostu gospodarczego. W związku z coraz większą siatką połączeń istotną rolę odgrywa logistyka, która zwiększa wydajność łańcucha dostaw. Jednak nie rozwiązuje to problemu zmniejszenia negatywnych skutków wzrostu przewozów towarowych na świecie. Samodzielnie transport drogowy nie jest w stanie sprostać nowym potrzebom. Zaczęto

skupiać się nad promocją przyjaznych technologii transportu. Zwracając uwagę na kraje wysoko rozwinięte, można zauważyć, że jeśli istnieją dogodne warunki rozwoju nowoczesnych technologii, Państwa te korzystają z możliwie najszerszego wachlarza gałęzi transportu, dążąc do zrównoważonych przewozów.

W szczególności istotną rolę odgrywają przewozy intermodalne, umożliwiające łączenie różnych gałęzi transportu, wykorzystując ich zalety, często eliminując wady. Korzystając z jednych gałęzi jak na przykład transport kolejowy oraz morski na długich dystansach, a także z transportu drogowego w bliskim zasięgu, umożliwiając przewóz w systemie door to door. Transport intermodalny stanowi wachlarz usług mogący zaoferować dostawę ładunku wykorzystując przy tym szereg operacji dodatkowych, takich jak magazynowanie, przeładunek, konsolidacja, sortowanie. W Polsce podobnie jak na świecie zauważa się wzrost poziomu przewozów intermodalnych. Na wzrost przewozów intermodalnych wpływa przede wszystkim wysoki poziom globalizacji dostaw.

W Polsce, przez którą przebiegają I, II, III oraz VI paneuropejskie korytarze transportowe, także w związku z faktem szybkiej rozbudowy sieci połączeń transportowych Via Carpatia, Via Baltica, Rail Baltica, centralny port komunikacyjny oraz tzw. „dziesięć szprych kolejowych”, istnieją dogodne przesłanki intensywnego rozwoju transportu intermodalnego. Z pewnością będą miały na to wpływ takie czynniki jak konkurencyjny czas przewozu w transporcie intermodalnym (stan infrastruktury liniowej, punktowej i wprowadzane technologie) oraz koszt przewozu, który może być konkurencyjny m.in. poprzez dotacje państwa ze względu na niższe koszty zewnętrzne tegoż transportu.

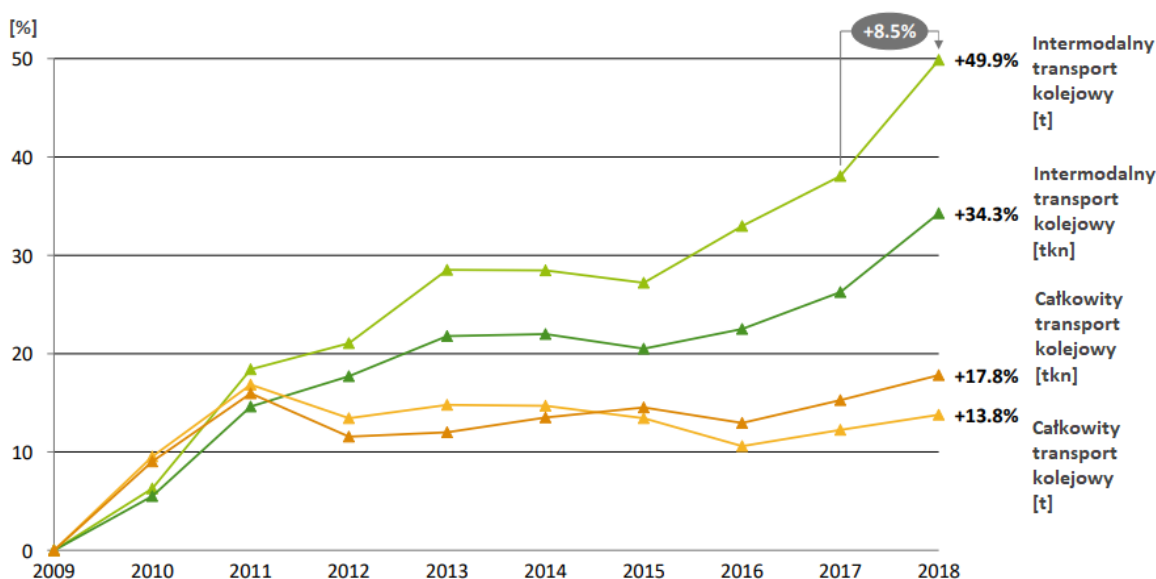
W transporcie intermodalnym najwięcej towarów przewożonych jest w kontenerach (w Polsce w 2020 r. przewozy kontenerowe stanowiły 96 %). Jednak nie można bagatelizować przewozów towarów w pozostałych jednostkach ładunkowych jak np. naczepy drogowe. Wybór jednostki ładunkowej wynika z wyposażenia terminali oraz przewoźnika w odpowiednie technologie, także z odpowiednich przepisów państwa promujących dane przewozy intermodalne. Przykładem jest Szwajcaria promująca przewozy zestawów drogowych kolejją.

Obecnie, szczególnie w Europie powstają nowe koncepcje technologii intermodalnych. Konstruktorzy mechanicy pracują nad ulepszeniem parametrów technicznych. Dąży się również do uproszczenia sposobu załadunku często poprzez stosowanie technologii poziomej ro-ro (roll on – roll of). W Polsce, w przeciwieństwie do krajów zachodniej Europy brakuje terminali, wykorzystujących w pełni zautomatyzowany

system przeładunku poziomego. W związku z przewozami intermodalnymi w Polsce, których średnia odległość przewozu nie przekracza 400 km istnieje potrzeba rozwoju nowoczesnych technologii usprawniających proces przeładunku, gdyż na krótkich odcinkach przewozów międzygałęziowych przeładunek stanowi istotny element procesu transportowego. W łańcuchu logistycznym przewozów towarowych ważnym parametrem jest czas. W transporcie drogowym czas przewozu w znacznym stopniu zależy od zdarzeń losowych (pogoda, kongestia), w transporcie szynowym podobnie lecz z mniejszym skutkiem. W transporcie intermodalnym ważnym elementem, którego efektywność można poprawić jest czas przeładunku. W pracy przedstawiono nowatorskie rozwiązanie systemu intermodalnego, w którym głównie skupiono się na infrastrukturze przeładunkowej. Zaproponowane rozwiązanie wychodzi na przeciw oczekiwaniom, jakim powinna sprostać nowa technologia przeładunku na terminalu.

## 1. ANALIZA KOLEJOWYCH PRZEWOZÓW INTERMODALNYCH W EUROPIE ORAZ W POLSCE

Transport intermodalny w Europie odgrywa coraz większą rolę w przewozach towarów. Można zauważyć to na podstawie wykresu przedstawionego na rysunku 1.1, na którym przedstawiono dynamikę rozwoju transportu kolejowego intermodalnego na tle ogólnych towarowych przewozów kolejowych w latach 2009–2018. W latach 2009–2011 całkowity przewóz towarów koleją w Europie (masa ładunku i praca przewozowa) charakteryzował się dużym wzrostem (powyżej 16 %). Jednak w kolejnych latach uległ stagnacji. Natomiast wielkość przewozów w transporcie kolejowym intermodalnym na przestrzeni lat 2009–2018 charakteryzuje się ciągłym wzrostem z niewielką stagnacją w latach 2013–2015. Największy wzrost odnotowano w przewozach masy ładunku, który na przestrzeni lat 2009–2018 wyniósł 49,9 %, średnio powyżej 5 % rocznie a w ostatnim roku aż 8,5 %.

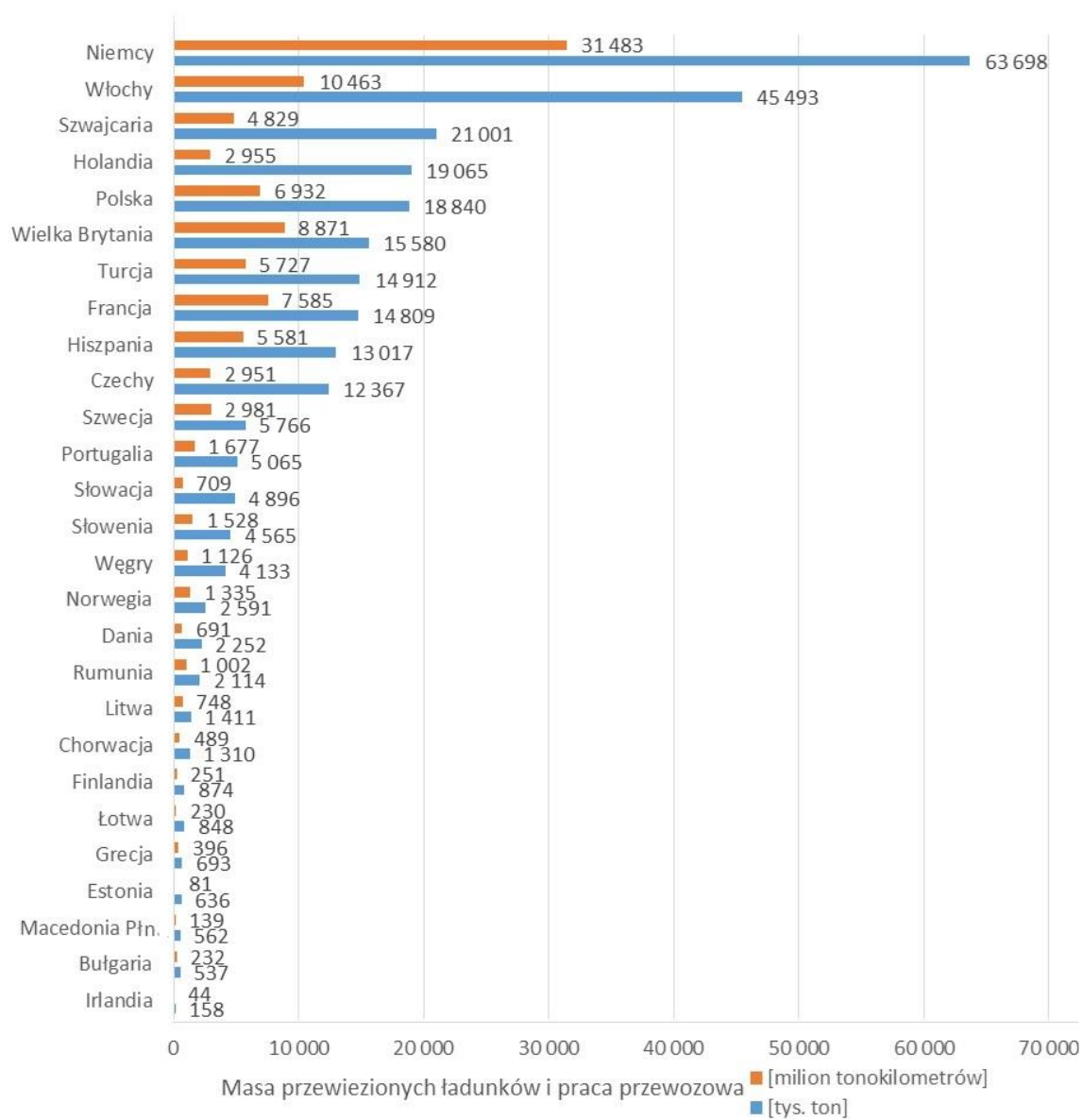


Rys. 1.1. Dynamika rozwoju kolejowego transportu intermodalnego na tle towarowych przewozów kolejowych w Europie w latach 2009–2018 [Opracowanie własne na podstawie [97]]

Na rysunku 1.2 przedstawiono wielkość kolejowych przewozów intermodalnych kontenerów i nadwozi wymiennych w europejskich krajach w 2019 r. Na podstawie wykresu można zauważyć, że najwięcej przewozów kontenerów i nadwozi wymiennych w Europie transportem kolejowym odbywa się w najbardziej uprzemysłowionym kraju –



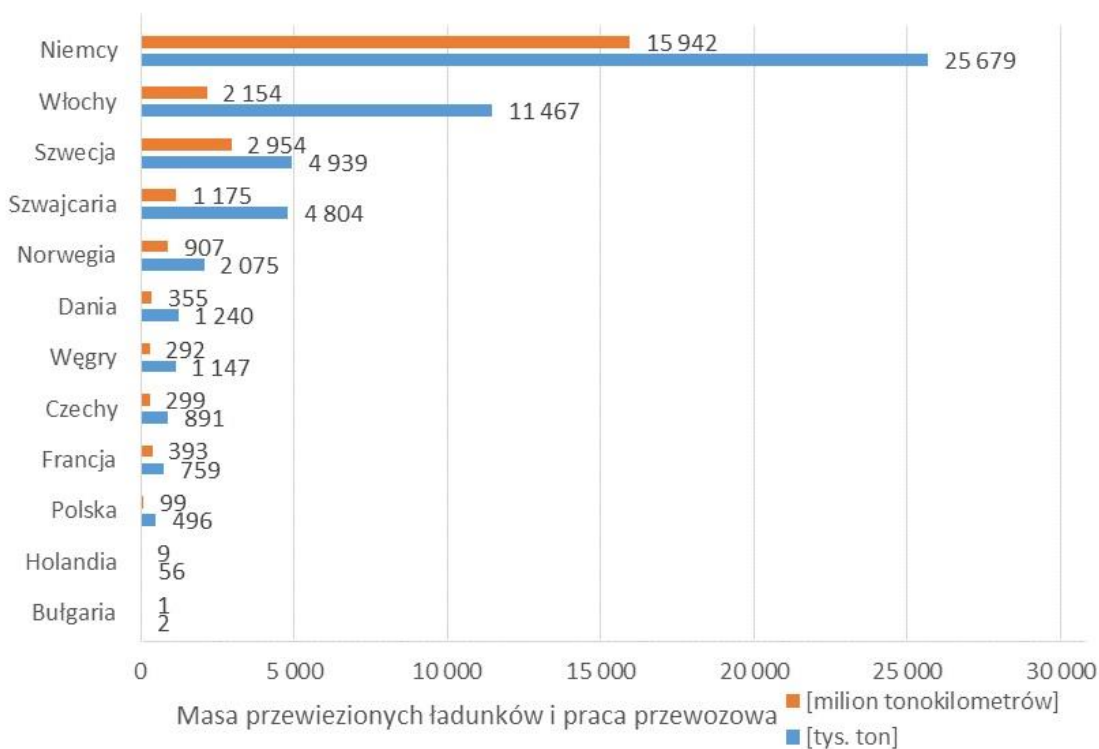
Niemczech (63,7 mln ton, 31,5 mld tonokilometrów). Również w dużej liczbie przewożone są kontenery i nadwozia wymienne w Polsce (18,8 mln ton, 6,9 mld tonokilometrów), zajmującej 5 miejsce w Europie (zarówno pod względem przewiezionej masy ładunku oraz pracy przewozowej). Polskę wyprzedzają jedynie Włochy (45,5 mln ton, 10,5 mld tonokilometrów), uwzględniając wyłącznie masę przewiezionego ładunku Szwajcaria (21 mln ton, 4,8 mld tonokilometrów), Holandia (19,1 mln ton, 3 mld tonokilometrów) oraz ujmując wyłącznie pracę przewozową Wielka Brytania (15,6 mln ton, 8,9 mld tonokilometrów) i Francja (14,8 mln ton, 7,6 mld tonokilometrów).



Rys. 1.2. Wielkość intermodalnych przewozów kontenerów i nadwozi wymiennych koleją w europejskich krajach w 2019 r. [Opracowanie własne wg danych Eurostatu [62]]

W pierwszej dziesiątce znajdują się także kraje przewożące kontenery i nadwozia wymienne na nieznacznie mniejszym poziomie jak Polska, są to Turcja (14,9 mln ton, 5,7 mld tonokilometrów), Hiszpania (13 mln ton, 5,6 mld tonokilometrów) i Czechy (12,4 mln ton, 3 mld tonokilometrów). Dane odnotowane w 2013 r. w Urzędzie Statystycznym Unii Europejskiej wskazują, że Austria zajmowała 3 miejsce w intermodalnych przewozach kontenerów i nadwozi wymiennych koleją (14,4 mln ton, 2,8 mld tonokilometrów). Również Belgia wykorzystuje swój potencjał, gdzie duża liczba kontenerów jest przeładowywana na wagony kolejowe w drugim największym w Europie porcie w Antwerpii. Dane Eurostatu z 2011 r. na temat przewozu kontenerów i nadwozi koleją w Belgii wskazują, masę przewiezionego ładunku wynoszącą 15,6 mln ton oraz pracę przewozową 2,1 mld tonokilometrów.

Na rysunku 1.3 przedstawiono wielkość kolejowych przewozów intermodalnych naczep siodłowych w krajach europejskich w 2019 r. Można zauważyć, że podobnie jak w przypadku przewozu kontenerów i nadwozi wymiennych, najwięcej intermodalnych przewozów kolejowych naczep drogowych w Europie, zarówno pod względem przewiezionej masy ładunku oraz pracy przewozowej odbywa się w Niemczech (25,7 mln ton, 15,9 mld tonokilometrów).



Rys. 1.3. Wielkość intermodalnych przewozów naczep siodłowych koleją w europejskich krajach w 2019 r. [Opracowanie własne wg danych Eurostatu [62]]

Na podstawie przedstawionych danych na rysunkach 1.2 oraz 1.3 można zauważyć, że przewóz kontenerów i nadwozi wymiennych w Niemczech, uwzględniając pracę przewozową w 2019 r., jest tylko 2-krotnie większy od przewozu naczep siodłowych. Polska zajmuje w Europie 10 miejsce (0,5 mln ton, 99 mln tonokilometrów). W oparciu o przedstawione dane na rysunkach 1.2, 1.3 można zauważyć, że przewóz naczep drogowych w Polsce, uwzględniając pracę przewozową w 2019 r., jest aż 70-krotnie mniejszy od przewozu kontenerów i nadwozi wymiennych. Wysoką pozycję w przewozach naczep zajmują kraje alpejskie oraz skandynawskie, kolejno Włochy (11,5 mln ton, 2,2 mld tonokilometrów), Szwecja (4,9 mln ton, 2,9 mld tonokilometrów), Szwajcaria (4,8 mln ton, 1,2 mld tonokilometrów), Norwegia (2,1 mln ton, 0,9 mld tonokilometrów), Dania (1,2 mln ton, 0,4 mld tonokilometrów) oraz Austria (6,4 mln ton, 1 mld tonokilometrów – ostatnie odnotowane wyniki na rok 2013).

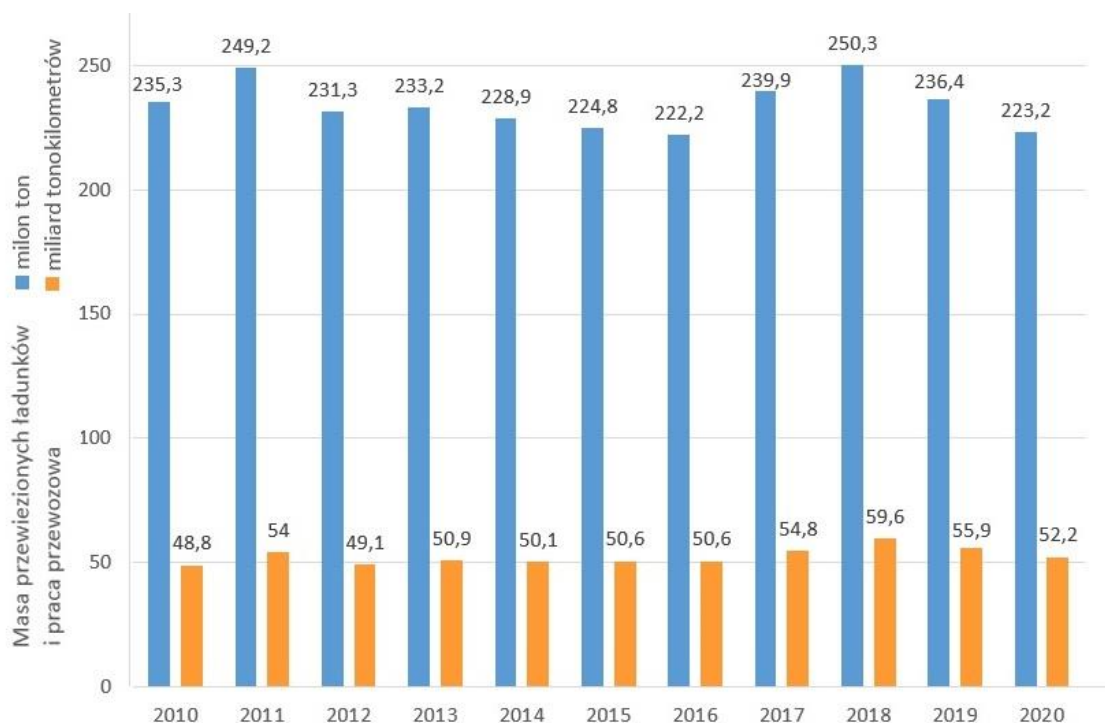
Na rysunku 1.4 przedstawiono wielkość kolejowych przewozów intermodalnych zestawów drogowych (ciągnik siodłowy z naczepą) w transporcie towarzyszącym w europejskich krajach w 2019 r. Najwięcej przewozów zestawów drogowych w Europie transportem kolejowym uwzględniając masę przewiezionego ładunku odbywa się we Włoszech (3,6 mln ton, 376 mln tonokilometrów) oraz uwzględniając pracę przewozową w Szwajcarii (2,85 mln ton, 600 mln tonokilometrów). Równie duże są przewozy naczep wraz z ciągnikami w Niemczech (2,8 mln ton, 169 mln tonokilometrów) zajmującej 3 miejsce w Europie (zarówno pod względem przewiezionej masy ładunku oraz pracy przewozowej). Kolejne 4 miejsce zajmuje Słowenia (0,8 mln ton, 15 mln tonokilometrów), posiadająca połączenia intermodalne „RoLa” na trasie Wels (Austria) – Maribor (Słowenia). Nieznaczny udział w przewozach intermodalnych towarzyszących mają Bułgaria oraz Dania, w których w 2019 r. przewiezionych zostało odpowiednio 2 tys. ton oraz 1 tysiąc ton masy ładunku, natomiast praca przewozowa w tych krajach wynosiła dużo poniżej jednego miliona tonokilometrów. W Europie oczywiście również ważną rolę w przewozach zestawów drogowych odgrywa Austria. Dane odnotowane w 2013 r. w Urzędzie Statystycznym Unii Europejskiej wskazują, że Austria miała największe przewozy w transporcie zestawów drogowych (7,2 mln ton, 1,1 mld tonokilometrów). W Polsce nie zarejestrowano przewozów towarzyszących w 2019 r. W 2003 roku na trasie nr 65 – LHS (Linia Hutnicza Szerokotorowa) firma Cargosped uruchomiła pociągi Ro-La w relacji Kijów – Sławków – Kijów. Jednak z powodu długiego czasu przejazdu, wysokiej ceny oraz niekorzystnego ustawodawstwa na Ukrainie przewoźnicy drogowi niechętnie korzystali z powyższej oferty i w 2005 roku przewozy zostały wycofane. Podsumowując

najwięcej zestawów drogowych w Europie przewożonych jest koleją w następujących krajach: Włochy, Szwajcaria, Niemcy, Austria, które czynnie wspierają przewozy towarzyszące poprzez odpowiednie programy subsydiujące przewozy Ro-La.



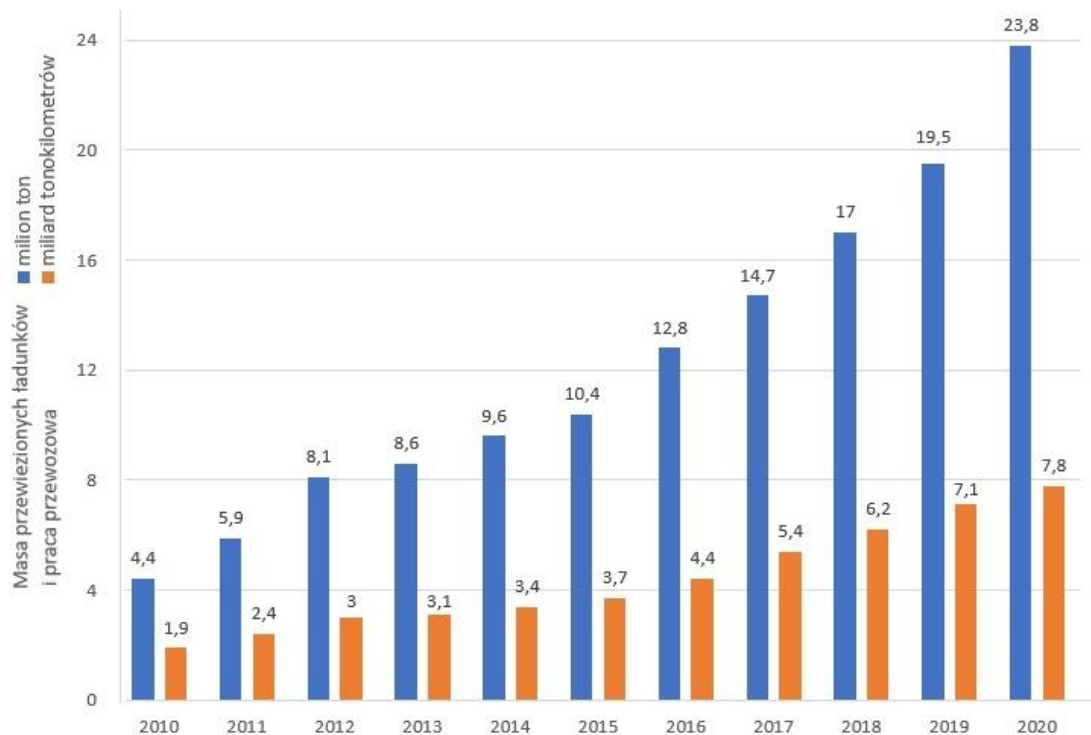
Rys. 1.4. Wielkość intermodalnych przewozów zestawów drogowych (ciągnik siodłowy z naczepą) koleją w europejskich krajach w 2019 r. [Opracowanie własne wg danych Eurostatu [62]]

Kolej w Polsce stanowi ważny środek transportu towarów i w wielkości przewozów ustępuje tylko transportowi samochodowemu. Na rysunku 1.5 przedstawiono wielkość kolejowych przewozów towarowych w Polsce w latach 2010–2020. Wielkość przewozów towarowych w transporcie kolejowym na przestrzeni ostatnich lat utrzymuje się na poziomie od 222,2 do 250,3 mln ton przewiezionej masy oraz od 48,8 do 59,6 mld tonokilometrów pracy przewozowej. W 2020 r. koleją przewieziono 223,2 mln ton ładunków, co stanowi spadek o 27,1 mln ton (10,8 %) w porównaniu do 2018 r. Praca przewozowa wyniosła 52,2 mld tonokilometrów w 2020 r. i była niższa o 7,4 mld tonokilometrów (12,4 %) niż w 2018 r. Na podstawie rysunków 1.1 oraz 1.5 można stwierdzić, że transport kolejowy towarów zarówno w Europie jak i w Polsce uległ stagnacji.



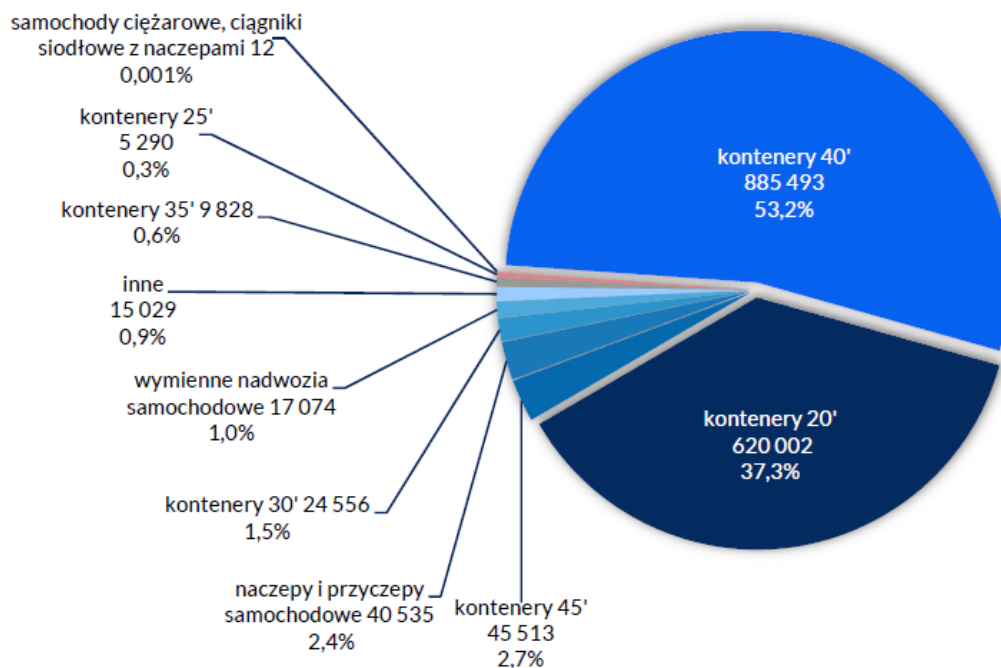
Rys. 1.5. Wielkość towarowych przewozów kolejowych w Polsce w latach 2010–2020.  
[Opracowanie własne na podstawie [102]]

Transport intermodalny w Polsce podobnie jak w Europie odgrywa coraz większą rolę. Można zauważyć to na podstawie wykresu przedstawionego na rysunku 1.6, na którym przedstawiono wielkość intermodalnych przewozów kolejowych w Polsce w latach 2010–2020. Na podstawie wykresu stwierdzono, że wielkość przewozów w transporcie kolejowym intermodalnym na przestrzeni ostatnich lat charakteryzuje się ciągłym wzrostem z 4,4 mln ton oraz 1,9 mld tonokilometrów w 2010 r. do 23,8 mln ton oraz 7,8 mld tonokilometrów w 2020 r. W przeciwieństwie do Europy gdzie odnotowano stagnację w latach 2013–2015 (rys. 1.1). W przeciągu ostatnich odnotowanych 10 lat wzrost intermodalnych przewozów masy ładunku w Polsce wyniósł 541 % a wzrost pracy przewozowej wyniósł 411 %. Jest to bardzo duży przyrost przyjmując na tak krótki okres. Na podstawie rysunków 1.5 oraz 1.6 zauważono, że przewozy intermodalne w Polsce stanowią niewielki procent przewozów koleją, lecz z roku na rok odnotowują coraz większy wzrost. W obecnym czasie propagowania tzw. zielonej energii, gdzie wydobywanie i transport kolejowy surowców kopalnianych jest ograniczany, przewozy intermodalne w zastępstwie mogą stanowić główny środek rozwoju transportu kolejowego.



Rys. 1.6. Wielkość intermodalnych przewozów kolejowych w Polsce w latach 2010–2020 [Opracowanie własne na podstawie [103]]

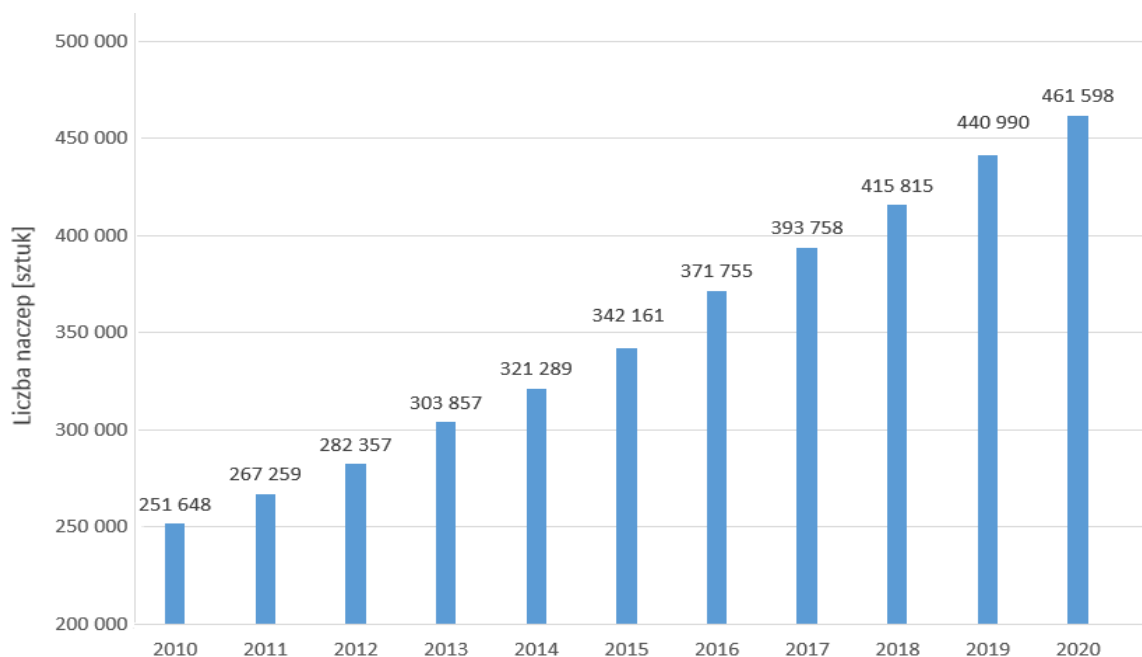
Na rysunku 1.7 przedstawiono udział poszczególnych jednostek transportowych w przewozach intermodalnych w Polsce w 2020 r.



Rys. 1.7 Udział poszczególnych jednostek transportowych w przewozach intermodalnych w Polsce w 2020 r. [103]

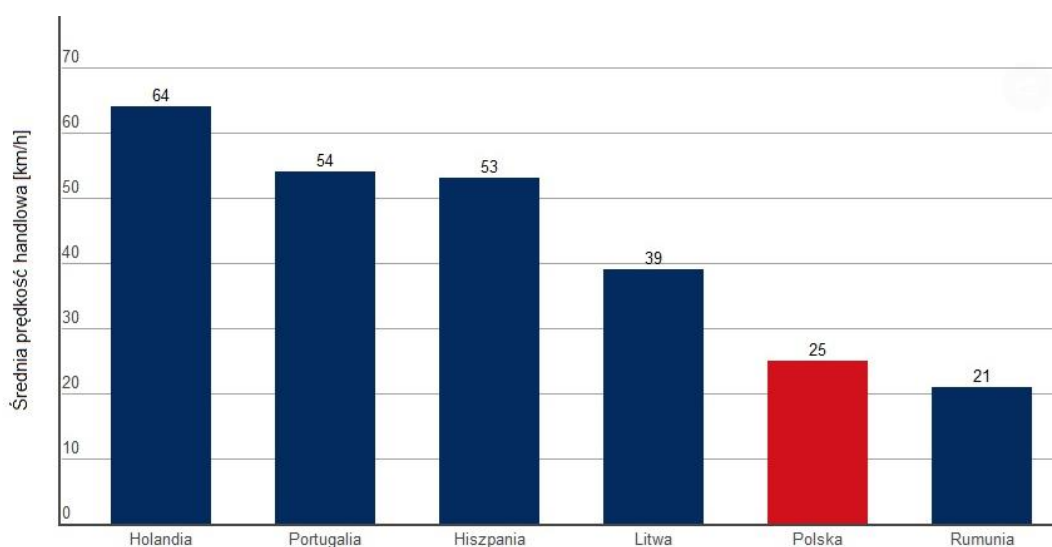
Przewóz kontenerów w ogólnej liczbie jednostek na koniec 2020 r. wyniósł 95,6 %. Najwięcej przewożono jednostek 20 i 40 stopowych, które stanowiły odpowiednio 37,3 % i 53,2 % ogólnej liczby. Udział pozostałych kontenerów wyniósł odpowiednio: 25 stopowych – 0,3 %, 30 stopowych – 1,5 %, 35 stopowych – 0,6 % i 45 stopowych – 2,7 %. Naczepy i przyczepy samochodowe stanowiły 2,4 % wykorzystywanych jednostek, wymienne nadwozia samochodowe 1,0 % a zestawy drogowe 0,001 % [103].

Transport kontenerów jest najbardziej rozpowszechniony przede wszystkim dlatego, że jest to uniwersalna jednostka ładunkowa dla każdej gałęzi transportu, dominująca w transporcie morskim. Jednak nie znaczy to, że przewóz naczep siodłowych w transporcie intermodalnym nie jest potrzebny, wręcz przeciwnie transport naczep nie musi konkurować z transportem kontenerów. Może stanowić jego uzupełnienie przyczyniając się do wzrostu przewozów intermodalnych (kolejowo-drogowych) względem przewozów unimodalnych, drogowych [44]. Najczęściej wykorzystywaną jednostką ładunkową w towarowych przewozach drogowych w Polsce jest naczepa siodłowa. Z przedstawionego wykresu na rysunku 1.8 można wywnioskować, że liczba zarejestrowanych naczep siodłowych w Polsce ma tendencję wzrostową, z 251 648 szt. w 2010 r. stan ten wzrósł do 461 598 szt. w 2020 r. Powyższa sytuacja prowadzi do coraz większego zatłoczenia dróg, czemu można przeciwdziałać promując przewóz naczep drogowych na wagonach kolejowych w transporcie intermodalnym.



Rys. 1.8. Liczba zarejestrowanych naczep siodłowych w Polsce w latach 2010–2020 [Opracowanie własne wg Centralnej Ewidencji Pojazdów [72]]

W transporcie intermodalnym ważnym parametrem jakościowym jest prędkość handlowa osiągnięta pomiędzy miejscem nadania a odbioru. Niewątpliwie kolej może mieć przewagę nad transportem drogowym, gdyż ograniczenie prędkości dla samochodu ciężarowego na autostradzie w Polsce wynosi 80 km/h, a dla pociągu uzyskanie 100–120 km/h nie powinno stanowić trudności. Jednak w Polsce często nie pozwala na to infrastruktura kolejowa. Występują częste ograniczenia prędkości spowodowane nienajlepszym stanem technicznym torowisk lub ich remontami. Również negatywny wpływ na średnią prędkość handlową ma zwiększenie pracy przewozowej. Prędkość handlowa pociągów towarowych w Polsce wg danych UTK (Urząd Transportu Kolejowego) na 2019 rok wynosi 25,5 km/h. Obecnie prowadzone są prace modernizacyjne, które mają na celu poprawę parametrów eksploatacyjnych linii kolejowych. Przewiduje się, że w ciągu kilku lat Polska osiągnie średnią europejską 40 km/h. Grupa Niezależnych Regulatorów Rynku Kolejowego IRG – Rail (ang. Independent Regulators’ Group – Rail) przedstawiła dane o średnich prędkościach handlowych pociągów towarowych w przykładowych krajach członkowskich w 2016 r. (rys. 1.9). Porównywane kraje łączą wspólne cechy, tranzytowe położenie oraz własne porty morskie.



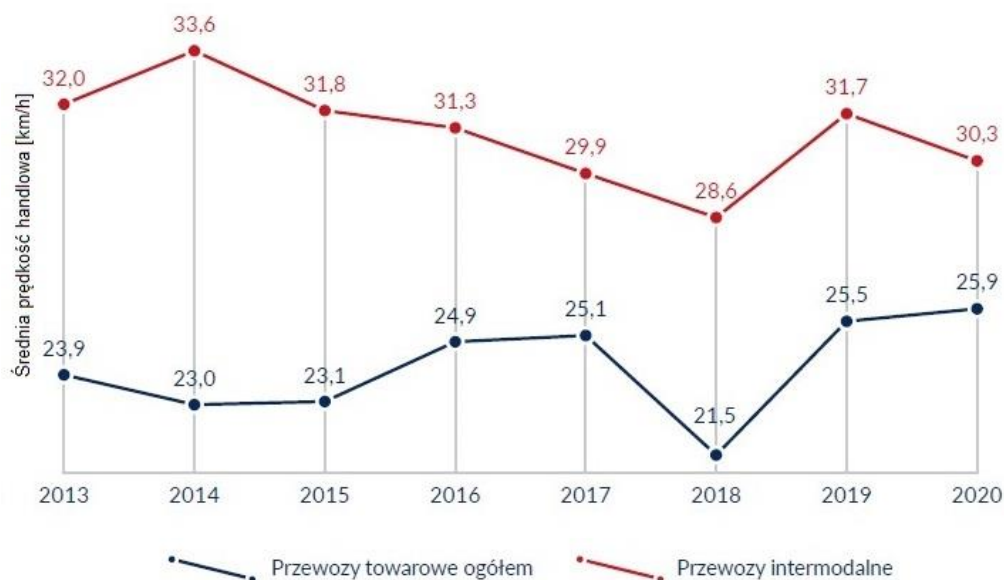
Rys. 1.9. Średnia prędkość handlowa pociągów towarowych w wybranych krajach europejskich w 2016 r. [73]

W Holandii średnia prędkość handlowa pociągów towarowych wynosi ok. 64 km/h. W związku z dużym zatłoczeniem sieci kolejowej w tym kraju w 2007 r. otwarto linię kolejową łączącą port w Rotterdamie z Niemcami przeznaczoną wyłącznie dla transportu towarowego, co poprawiło przepustowość oraz wpłynęło na zwiększenie prędkości



handlowej. W Portugalii zmodernizowano infrastrukturę kolejową prowadzącą do portów co wpłynęło na wzrost przewozów intermodalnych i morskiej wymiany handlowej oraz uzyskanie średniej prędkości handlowej na poziomie 54 km/h. W Hiszpanii prędkość handlowa wynosi 53 km/h. Jednak pomimo dużego udziału transportu intermodalnego stanowiącego 45 % wykonanej pracy przewozowej, transport kolejowy ma jedynie kilkuprocentowy udział w rynku. Również na Litwie przewozy towarowe charakteryzują się wyższą prędkością niż w Polsce, wynoszącą 39 km/h. W Rumuni pociągi rozwijają niższą prędkość niż w Polsce, na poziomie 21 km/h.

Na rysunku 1.10 Przedstawiono zestawienie średnich prędkości handlowych dla pociągów towarowych i pociągów intermodalnych w Polsce w okresie od 2013–2020 r.

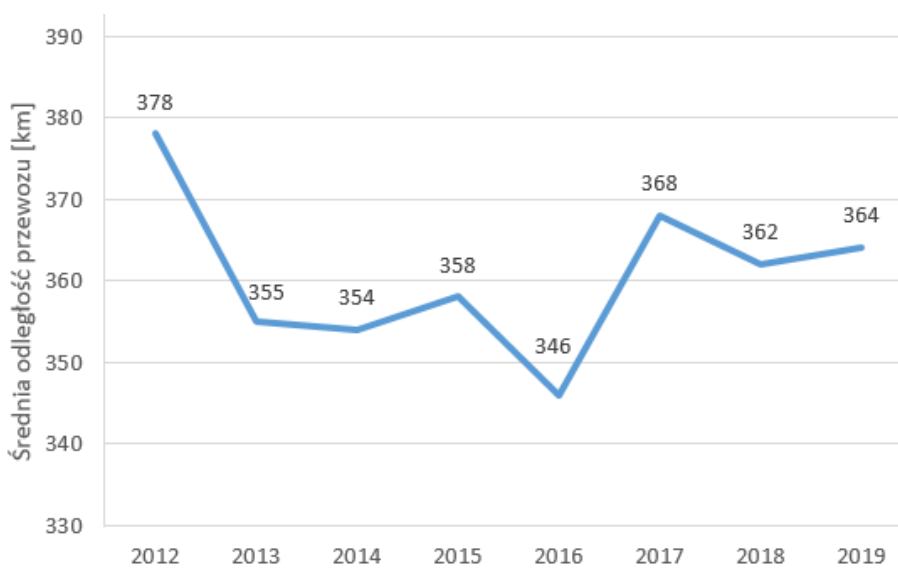


Rys. 1.10. Średnie prędkości handlowe pociągów towarowych i pociągów intermodalnych w Polsce w okresie 2013–2020 r. [104]

Na podstawie danych przedstawionych na wykresie można zauważyć, że średnie prędkości handlowe dla pociągów intermodalnych są wyższe niż dla pociągów towarowych. W 2020 r. średnia prędkość handlowa pociągów intermodalnych była wyższa o 4,4 km/h, jednak i tak dla przewozów intermodalnych prędkość 30,3 km/h była niższa od zakładanej prędkości rozkładowej szacowanej na poziomie 40 km/h. W 2020 r. średnia prędkość pociągów towarowych w stosunku do roku 2018 wzrosła o 4,4 km/h, a w przewozach intermodalnych o 2,7 km/h. 49,63 % wszystkich zrealizowanych przejazdów pociągów intermodalnych w Polsce w 2020 r. nie osiągnęło prędkości

30 km/h, 13,40 % osiągnęło prędkość w zakresie 40–60 km/h, 29,32 % osiągnęło prędkość w zakresie 30–40 km/h a tylko 7,65 % osiągnęło prędkość 60 km/h [103].

W związku z niską prędkością handlową oraz przeładunkami na terminalu, rentowność z wykorzystaniem kolei wzrasta wraz z długością przewozu. Na rys. 1.11 przedstawiono średnią odległość przewozu w kolejowym transporcie intermodalnym w Polsce w okresie 2012–2019 r.

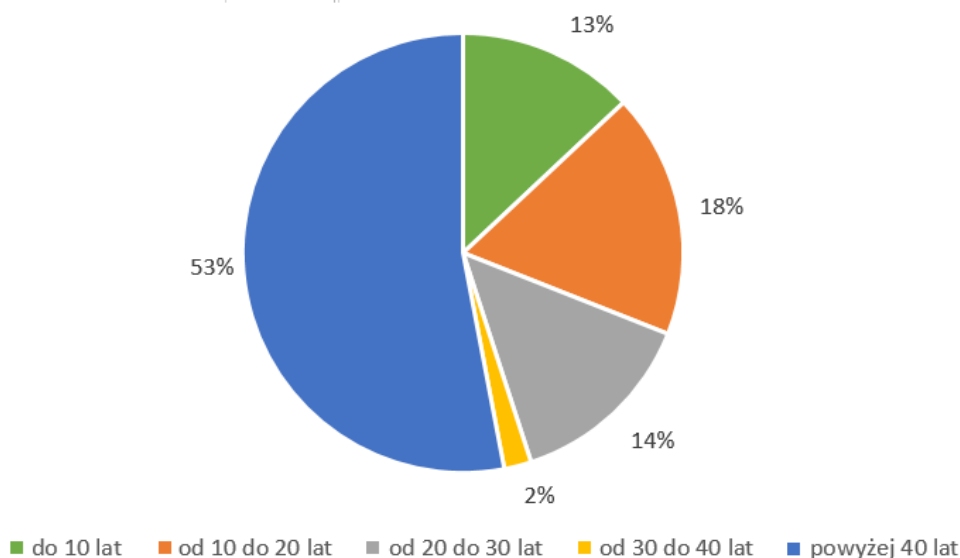


Rys. 1.11. Średnia odległość przewozu w kolejowym transporcie intermodalnym w Polsce w okresie 2013–2019 r. [Opracowanie własne na podstawie [32]]

Średnia odległość przewozu dla kolejowego transportu intermodalnego w Polsce w latach 2013–2019 kształtuje się na poziomie około 360 km. Najwyższą średnią odległość przewozu wynoszącą 378 km odnotowano w 2012 r. Następnie w latach 2013–2016 nastąpił spadek do nawet 346 km. W 2017 roku odnotowano ponowny wzrost średniej odległości przewozu do wartości 368 km. Do roku 2019 wartość ta utrzymała się na podobnym poziomie. Według podziału stref odległości w latach 2017–2019 najwięcej pracy przewozowej transportem kolejowym wykonano powyżej odległości 501 km (40,5 mld tonokilometrów), a najmniej – do 50 km (1,9 mld tonokilometrów). W przypadku transportu drogowego w latach 2017–2019 największą pracę przewozową wykonano na odległość 150–499 km (200,9 mld tonokilometrów), a najmniejszą – do 49 km (32,8 mld tonokilometrów).

Ważnym aspektem sprawnego funkcjonowania transportu intermodalnego jest liczba oraz wiek eksploatowanego taboru. Według Krajowego Rejestru Pojazdów

Kolejowych – NVR (ang. National Vehicle Register) w 2019 r. liczba taboru wykonującego przewozy intermodalne w Polsce wynosiła 4209 wagonów (w eksploatacji było 4012 wagonów). W stosunku do ogółu wagonów do przewozu towarów liczących 87207 szt., wagony intermodalne stanowiły jedynie 4,8 % parku taborowego. Z ogólnej liczby platform wykorzystywanych do przewozu kontenerów 61,2 % stanowią wagony uniwersalne do przewozów kontenerów oraz innych ładunków takich jak elementów konstrukcyjnych, dłużycy, wyrobów walcowanych, pojazdów. 20,4 % wagonów platform służy do przewozu samych kontenerów a 18,4 % wagonów platform używanych jest do przewozu zarówno kontenerów, naczep drogowych oraz wymiennych nadwozi samochodowych. Wagony platformy do przewozu kontenerów przystosowane są do ruchu S i SS. Do prędkości maksymalnej 120 km/h dostosowanych jest 22 % wagonów w eksploatacji. Tabor kolejowy w Polsce jest znacznie wyeksploatowany. Podział według wieku wagonów platform w Polsce w 2019 r. przedstawia rysunek 1.12.



Rys. 1.12. Podział według wieku wagonów platform w Polsce w 2019 r.  
[Opracowanie własne wg [32]]

Największą grupę obejmującą 53 % platform stanowią wagony w wieku powyżej 40 lat. Udział pozostałych grup wiekowych platform wyniósł odpowiednio: do 10 lat – 13 %, od 10 do 20 lat – 18 %, od 20 do 30 lat – 14 % i od 30 do 40 lat – 2 %. Średnia wieku wagonów intermodalnych wynosi ok. 30 lat. Największą grupę 51 % parku taborowego stanowią uniwersalne platformy typu Sgs a ich średni wiek wynosi 44 lata.

W ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014–2020, w związku z dużym zapotrzebowaniem planowane jest pozyskanie w Polsce do 2023 roku 4263 sztuk taboru, w tym wagony platformy do przewozu kontenerów, wagony kieszeniowe dostosowane do przewozu naczep oraz naczepy intermodalne dostosowane do przewozów kolejowo-drogowych [32].

Przebieg infrastruktury liniowej intermodalnego transportu kolejowego monitorowany jest stale przez państwa europejskie. Dnia 1 lutego 1991 r. w Genewie sporządzono umowę AGTC, która dotyczyła ważnych międzynarodowych linii transportu kombinowanego i obiektów towarzyszących [68]. W Polsce została zatwierdzona przez Radę Ministrów w dniu 14 stycznia 2002 r. Długość odcinków kolejowych transportu kombinowanego przebiegających w Polsce wynosi 4278 km. Polska ma istotne znaczenie komunikacyjne w Europie w związku z położeniem w centrum kontynentu oraz dostępem do Morza Bałtyckiego. Wytyczone szlaki wg umowy AGTC przebiegają przez następujące linie kolejowe w Polsce:

- linia kolejowa E 20 (Kunowice – Poznań – Warszawa – Terespol),
- linia kolejowa E 30 (Zgorzelec – Wrocław – Katowice – Kraków – Medyka),
- linia kolejowa E 59 (Świnoujście – Szczecin – Poznań – Wrocław – Opole – Bohumin),
- linia kolejowa C-E 59 (Szczecin – Wrocław – Międzylesie),
- linia kolejowa E 65 (Gdynia – Warszawa – Katowice – Zebrzydowice),
- linia kolejowa C-E 65 (Gdynia – Bydgoszcz – Katowice – Zwardoń),
- linia kolejowa E 75 (Warszawa – Trakiszki).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 913/2010 z dnia 22 września 2010 r. w sprawie europejskiej sieci kolejowej ukierunkowanej na konkurencyjny transport towarowy nałożyło na państwa członkowskie w tym Polskę obowiązek wdrożenia kolejowych korytarzy towarowych RFC (Rail Freight Corridors). Jest to europejska inicjatywa, której celem jest znalezienie właściwej równowagi między ruchem towarowym i pasażerskim wzdłuż RFC, zapewnienie odpowiedniej przepustowości, promowanie intermodalności między koleją a innymi rodzajami transportu, oraz włączenie terminali do procesu zarządzania korytarzem. W celu podjęcia działań zapewniających skuteczność połączeń transportowych Parlament Europejski oraz Rada EU w dniu 11 grudnia 2013 r. wprowadziły Rozporządzenie nr 1315/2013 w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej TEN-T (Trans-European Transport Networks). W skład sieci transportowej TEN-T wchodzi, szlaki kolejowe, drogowe,

rzeczne, morskie lotnicze. Celem projektu jest usprawnienie swobodnego przepływu osób oraz towarów. Wśród głównych wytycznych wskazano konieczność zapewnienia przez państwa członkowskie, aby gałęzie transportu łączyły się w terminalach towarowych, portach śródlądowych i morskich w celu umożliwienia intermodalnego transportu towarów. Integralnym elementem sieci bazowej TEN-T są kolejowe korytarze towarowe RFC [32, 79]. Przebieg tras linii RFC przedstawiono na rysunku 1.13.

Aktualnie w Europie jest 11 kolejowych korytarzy towarowych, w tym trzy przebiegające przez Polskę [70, 87]:

- Korytarz RFC5 Bałtyk – Adriatyk liczący 4825 km długości torów, przebiega przez Polskę, Czechy, Słowację, Austrię, Włochy i Słowenię. Korytarz łączy porty bałtyckie w Gdyni/Gdańsku (przez Warszawę, Łódź, Katowice) i Szczecinie/Świnoujściu (przez Wrocław, Poznań) z portami Morza Adriatyckiego: Port Wenecja, Port Rawenna, Port Triest, Port Koper. Na terenie Polski do RFC5 przylegają 32 terminale towarowe,
- Korytarz RFC8 Morze Północne – Morze Bałtyckie liczy 5986 km długości torów kolejowych. Podstawowym zadaniem korytarza jest połączenie zachodu ze wschodem Europy. Korytarz RFC8 przebiega przez miasta: Antwerpia, Rotterdam, Amsterdam, Wilhelmshaven, Bremenhaven, Hamburg/Akwizgran, Hannover, Berlin, Warszawa, Terespol, Kowno, Ryga, Tallin/Falkenberg, Praga, Katowice. Na terenie Polski do RFC8 przylega 14 terminali towarowych,
- Korytarz RFC11 Bursztynowy liczy 3358 km długości torów kolejowych, łączy południowo-wschodnią Polskę, Słowację, Węgry i Słowenię z granicą białoruską w Terespolu, a na południu z portem adriatyckim w Koper. Na terenie Polski do RFC8 przylegają 22 terminale towarowe.

W Polsce znajduje się 41 terminali intermodalnych. Rozmieszczenie terminali w Polsce przedstawiono na rysunku 1.14.

Wśród terminali intermodalnych w Polsce możemy wyróżnić :

- 6 terminali morskich, obsługujących przesyłki morze-kolej, morze-droga,
- 35 terminali lądowych, obsługujących przesyłki kolej-droga.



Rys. 1.13. Schemat europejskich kolejowych korytarzy towarowych RFC (Rail Freight Corridors) [71]



Rys. 1.14. Rozmieszczenie terminali intermodalnych w Polsce [16]

Wszystkie terminale w Polsce obsługują kontenery, rzadziej inne intermodalne jednostki ładunkowe. Łączna powierzchnia całkowita wszystkich terminali w Polsce wynosi 539,2 ha, łączna powierzchnia składowania wynosi powyżej 200 tys. TEU (Twenty Foot Equivalent Unit), natomiast roczna przepustowość wynosi ponad 9 mln TEU. Wśród urządzeń przeładunkowych w terminalach morskich dominują suwnice (111 szt.), natomiast w terminalach lądowych najczęściej występuje wozów (wysięgnikowe czołowe 61 szt., pozostałe 23 szt.). Pod względem liczby terminali intermodalnych Polska zajmuje 8 miejsce w Unii Europejskiej. Najwięcej terminali znajduje się w Niemczech – 144 i w Francji – 84. W Polsce w dalszym ciągu brakuje terminali przeładunkowych. Istniejące punkty przeładunkowe w większości są słabo wyposażone w nowoczesne rozwiązania technologiczne.

W niniejszym rozdziale przedstawiono strukturę kolejowych przewozów intermodalnych w Europie oraz w Polsce. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że:

- transport intermodalny w Europie odgrywa coraz większą rolę w przewozach towarów. W latach 2009–2018 odnotowano 50 % wzrost dla przewiezionej masy ładunku oraz 34 % wzrost dla pracy przewozowej,

- w 2020 roku średnie prędkości handlowe z jakimi były realizowane kolejowe przewozy towarowe w Europie wynosiły około 40 km/h,
- aktualnie w Europie jest wyznaczonych 11 kolejowych korytarzy towarowych RFC, w tym trzy przebiegające przez Polskę,
- najbardziej popularną jednostką ładunkową w transporcie intermodalnym są kontenery i nadwozia wymienne,
- kraje, w których przewozi się najwięcej ładunków przy wykorzystaniu transportu intermodalnego (kontenery, nadwozia wymienne, naczepy siodłowe i całe zestawy drogowe) to państwa wysoko rozwinięte, między innymi Niemcy, Austria, Włochy, Szwajcaria,
- w Polsce transport intermodalny także rozwija się bardzo dynamicznie. W latach 2010–2020 odnotowano 541 % wzrost dla przewiezionej masy ładunku oraz 411 % wzrost dla pracy przewozowej. Pomimo dużego wzrostu przewozy intermodalne w Polsce nadal stanowią niewielki procent ogólnych kolejowych przewozów towarowych. (11 % dla masy przewiezionego ładunku, 15 % dla pracy przewozowej),
- pomimo, że naczepa siodłowa jest najczęściej wykorzystywaną jednostką ładunkową transportu unimodalnego, drogowego w Polsce oraz ciągłego wzrostu liczby zarejestrowanych naczep (z 252 tys. sztuk w 2010 r. do 462 tys. sztuk w 2020 r.), w transporcie intermodalnym jest rzadko stosowana. Dzieje się tak w wyniku braku odpowiednich technologii umożliwiających przewóz i przeładunek powyższych jednostek ładunkowych,
- w 2020 r. w Polsce średnia prędkość handlowa towarowego transportu kolejowego wynosiła 26 km/h, intermodalnego transportu kolejowego 30 km/h,
- tabor kolejowy w Polsce jest mocno wyeksploatowany, przeważają wagony, które mają powyżej 40 lat (53 % intermodalnego parku taborowego). Do 2023 r. planowane jest pozyskanie 4263 sztuk wagonów,
- na terenie Polski znajduje się 41 terminali intermodalnych (6 terminali morskich oraz 35 terminali lądowych). Polska pod względem liczby terminali zajmuje 8 miejsce w Europie.



## 2. POCZĄTKI ROZWOJU TRANSPORTU INTERMODALNEGO

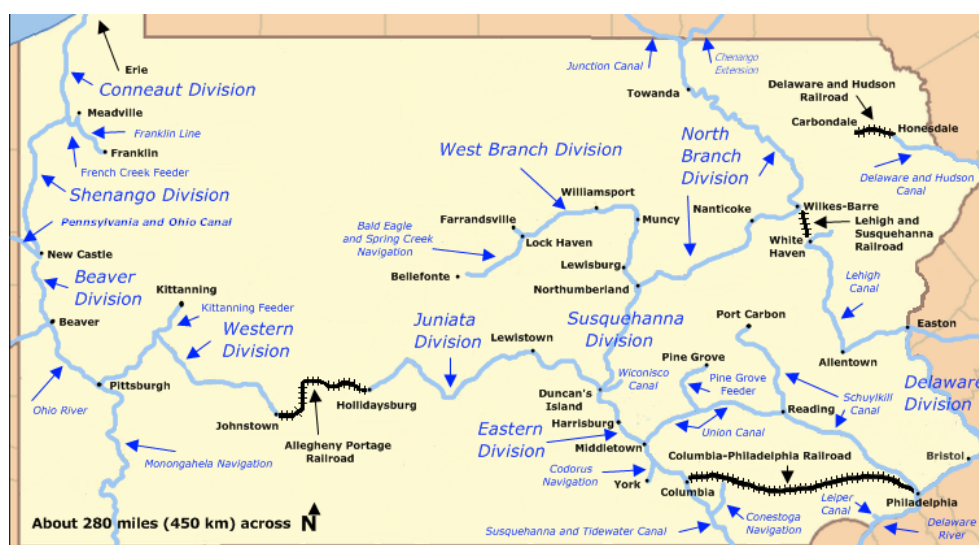
Początki transportu intermodalnego miały miejsce pod koniec XVIII wieku w Wielkiej Brytanii. W związku z wysokim rozwojem przemysłowym w Anglii narastał kryzys energetyczny spowodowany brakiem drewna. Zaczęto masowo wydobywać węgiel kamienny. Powyższa sytuacja spowodowała rozwój transportu zajmującego się przemieszczaniem wydobywanego paliwa. Ważnym ulepszeniem w transporcie węgla w podziemiach kopalni okazała się żeliwna szyna z kołnierzem, wynaleziona w 1776 r. przez John'a Curr'a, angielskiego inżyniera, zarządcy kopalni [7]. W 1788 r. wynalazek ten wykorzystał po raz pierwszy poza kopalnią (na powierzchni) właściciel huty, Joseph Butler z Killamarsh, do przewożenia węgla z kopalni w Wingerworth, w hrabstwie Derbyshire. Fakt ten opisany jest w angielskich archiwach i literaturze [3, 8, 37, 38], jednak informacje te są mało skonkretyzowane. Odłączane drewniane skrzynie (pierwsze kontenery) z węglem były przewożone za pomocą wagonu szynowego ciągniętego przez konie a następnie były przeladowywane za pomocą dźwigu na wozy drogowe (również konne) lub na barki pływające na kanale Chesterfield. Jednak pierwszym w pełni udokumentowanym transportem intermodalnym była linia Little Eaton Gangway (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Przeladunek między środkiem transportu szynowego i wodnego na linii Little Eaton Gangway [82]

Linie Little Eaton Gangway otworzył w 1795 r. angielski inżynier i przemysłowiec Benjamin Outram [8, 49, 75, 82]. Prawdopodobnie wzorował się on na linii otwartej przez Butler'a. Ciągnięte przez konie wózki z czterema żeliwnymi kołami, toczące się po szynach kołnierzowych, przewoziły drewniane skrzynie wypełnione węglem. Skład prowadzony był przez człowieka znajdującego się przed prowadzącym koniem. Pojemniki następnie można było przeładowywać za pomocą dźwigu do wąskich łodzi lub na wózki dwukołowe do przewozu drogowego.

Pracowano również nad nowymi rozwiązaniami intermodalnymi w północno-wschodniej części Stanów Zjednoczonych. W celu zapewnienia najlepszych środków transportu pomiędzy Filadelfią a Pittsburghiem powstał zbiór projektów kanałów i dróg kolejowych „Pennsylvania’s Main Line of Public Works” [57, 65]. Zbudowany w latach 1826–1834 przez Commonwealth of Pennsylvania. Łączył on prymitywne linie kolejowe z kanałowymi łodziami portowymi oraz kolejami linowymi (krótkie i wyjątkowo strome odcinki linii kolejowych obsługiwane przez system kabli zasilanych stacjonarnym silnikiem parowym). Rysunek 2.2 przedstawia mapę historyczną połączeń kanałów wodnych i dróg kolejowych stanu Pensylwania.

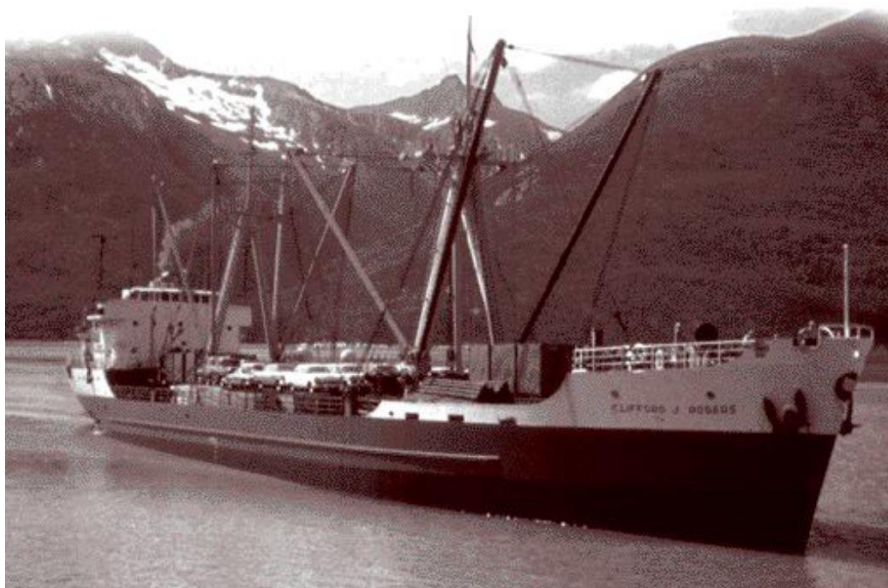


Rys. 2.2. Mapa historyczna połączeń kanałów wodnych i dróg kolejowych stanu Pensylwania [65]

Kanały skróciły czas podróży między Filadelfią a Pittsburghiem co najmniej z 23 do 4 dni. Wprowadzenie lokomotyw parowych wkrótce skróciło podróż do zaledwie 2 dni. Główna linia prac publicznych została ukończona w 1834 roku i została sprzedana do Pennsylvania Railroad 25 czerwca 1857 roku. W ciągu roku zastąpiono trasę z Filadelfii do Pittsburgha całkowicie systemem kolejowym. System kolejowy sprawdzał się bardziej

ponieważ utrzymanie kanałów latem nękanymi suszami, w zimie pokrytych lodem było bardzo kosztowne. Podróż koleją na całej trasie trwała tylko trzynaście godzin.

Od roku 1840 skrzynie drewniane zaczęto zastępować bardziej trwałymi żelaznymi pojemnikami. W 1886 r. w niemieckim czasopiśmie ukazało się jedno z pierwszych ilustrowanych ogłoszeń przedstawiających żelazny pojemnik przypominający ówczesny kontener, natomiast terminu kontener używać zaczęto prawdopodobnie dopiero na początku XX wieku. Pierwsze kontenery pojawiły się w transporcie morskim już w 1820 roku. Amerykański przedsiębiorca Frederic Tudor rozpoczął transport lodu z Bostonu do tropików, między innymi na wyspy Karaibskie oraz do Indii. Specjalnie zaprojektowane skrzynie do tego transportu były izolowane trocinami. Ponieważ skrzynie były zbyt wartościowe, wracały one do ponownego użycia. W 1929 r. przedsiębiorstwo Seatrain Lines przewoziło na swoich statkach całe wagony kolejowe pomiędzy Nowym Jorkiem i Kubą. Natomiast pierwszy na świecie kontenerowiec, Clifford J. Rodgers (rys. 2.3), wybudowano w 1955 r. w Montrealu. Dnia 26 listopada rozpoczął transport 600 kontenerów z Kolumbii Brytyjskiej do Skagway (południowa Alaska), gdzie pojemniki zostały wyładowane na platformy kolejowe, a następnie przewiezione do Jukon.



Rys. 2.3. Pierwszy na świecie kontenerowiec Clifford J. Rodgers [88]

Od roku 1955 nastąpił gwałtowny rozwój przewozów kontenerowych. W efekcie przedsiębiorca Malcom McLean oraz inżynier Keith Tantlinger skonstruowali stalowy kontener o wymiarach 10x8x8 stóp, który dzięki zaczepom zamontowanym od góry mógł być szybko załadowany na statek przy pomocy żurawi portowych. Kontenery były tak

zbudowane aby można było składować je piętrowo. Należący do McLean'a towarzystwo Sea-Land Service (wówczas znane jako Pan Atlantic Steamship Corporation) było pierwszym armatorem, który zajął się przewozem kontenerowym na skalę międzynarodową. Firma transportowała ładunki kontenerowe między portami wschodniego wybrzeża USA i Zatoki Meksykańskiej oraz Morza Karaibskiego. Pierwszy rejs należący do McLean'a kontenerowca o nazwie S.S. Ideal X odbył się 26 kwietnia 1956 roku [24, 88, 109]. Rysunek 2.4 przedstawia załadunek kontenera z zaczepami na kontenerowiec S.S Ideal X. Jak wynika z powyższych przykładów bez wątpienia to konteneryzacja zapoczątkowała a zarazem odegrała główną rolę i przyczyniła się do rozwoju transportu intermodalnego. Za główną przyczynę sukcesu konteneryzacji przyjmuje się znormalizowanie w skali światowej wymiarów i parametrów technicznych kontenerów przez International Organization for Standardization w 1968 r.



Rys. 2.4. Załadunek nowej konstrukcji kontenera z zaczepami na kontenerowiec S.S Ideal X, 1956 r. [69]

W rozwoju transportu intermodalnego nie można minimalizować także udziału przewozów typu Piggyback. Jedno z pierwszych zastosowań tego typu transportu odbyło się w 1872 roku kiedy to przedsiębiorca Phineas Taylor Barnum wykorzystał rampy najazdowe do załadunku i wyładunku na platformy kolejowe pojazdów cyrkowych. Dzięki tej metodzie utrwalił się początkowo w Ameryce termin „Załadunek Cyrkowy”, który odbywał się za pomocą ramp najazdowych. Rysunek 2.5 przedstawia zabytkowy pociąg cyrkowy.



Rys. 2.5. Zabytkowy pociąg cyrkowy [57]

W 1926 roku Chicago North Shore i Milwaukee Railroad rozpoczęły transport specjalnie zaprojektowanych 16 stopowych przyczep ciężarowych na platformach kolejowych. Rysunek 2.6 przedstawia skład pociągu z 1927 r. należący do Chicago North Shore i Milwaukee Railroad. Usługa piggyback została przyjęta w 1936 roku przez Chicago Great Western Railway oraz New Haven Railroad. Rysunek 2.7 przedstawia Wagon platformę z 1937 r. należący do Chicago Great Western Railway oraz New Haven Railroad. Również ten typ transportu w latach 30 XX wieku zaczął rozwijać się w Republice Weimarskiej (w ówczesnych Niemczech) [24, 57].

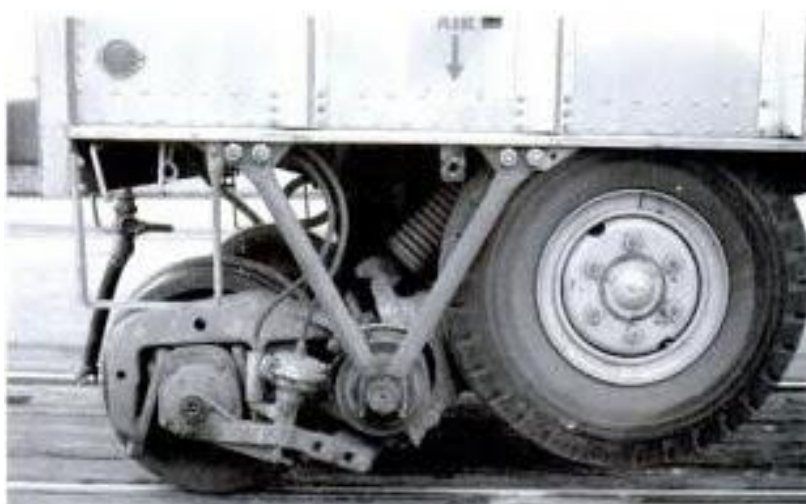


Rys. 2.6. Skład pociągu typu Piggyback należący do Chicago North Shore i Milwaukee Railroad, 1927 r. [76]



Rys. 2.7. Wagon platforma należący do Chicago Great Western Railway oraz New Haven Railroad, 1937 r. [61]

Dalszy rozwój transportu intermodalnego dotyczył rozwiązań uwzględniających najbardziej korzystny stosunek ładunku do masy własnej składu pociągu. W 1959 roku Linie kolejowe Chesapeake and Ohio wprowadziły pierwszy system bimodalny o nazwie Rail Van (rys. 2.8). Krótkie, 26 stopowe naczepy jednoosiowe wyposażono także w jednoosiowy szynowy zestaw kołowy i sprzęg kolejowy. Koła drogowe naczep podczas formowania składu pociągu unoszone były przez specjalny mechanizm. Na podstawie tej koncepcji powstawał w 1978 roku system Mark IV, w którym zastosowano już naczepy 48 stopowe [24, 39].



Rys. 2.8. Układ jezdny systemu Rail Van [59]

Na podstawie przeprowadzonej analizy początków oraz rozwoju transportu intermodalnego można zauważyć, że przewozy intermodalne miały swoje początki

głównie w Europie oraz Stanach Zjednoczonych. Pierwsze próby łączenia gałęzi transportu przy pomocy tej samej jednostki ładunkowej pojawiały się w relacji między kanałami wodnymi a prymitywną koleją lub pojazdami drogowymi. Obydwa środki transportu (drogowy i kolejowy) wówczas były napędzane siłą zwierząt (koni). W związku z coraz większym popytem na źródła energii pojawił się problem z nie nadążaniem transportu za rosnącymi potrzebami przemysłu. Wąskim gardłem przewozów stały się punkty przeładunkowe, w których towary zmieniały środki transportowe. To wpłynęło na tak szybki i wielokierunkowy rozwój transportu intermodalnego, gdzie towary były konsolidowane w coraz większe i bardziej doskonałe jednostki ładunkowe. Wpierw powstały prymitywne skrzynie drewniane, następnie wytrzymałe metalowe kontenery. Próbowano przewozów pojazdów drogowych środkami kolejowymi a nawet pojazdów kolejowych drogą morską.

Poniżej przedstawiono chronologicznie wydarzenia ważne z punktu widzenia powstawania i rozwoju transportu intermodalnego:

- 1776 r.; Opracowanie żeliwnej szyny z kołnierzem przez John'a Curr'a, angielskiego inżyniera,
- 1788 r.; Wynalazek żeliwnej szyny wykorzystano po raz pierwszy poza kopalnią do przewożenia węgla z kopalni w Wingerworth, w hrabstwie Derbyshire (prawdopodobnie pierwsza linia transportu intermodalnego na świecie),
- 1795 r.; Otwarcie pierwszej w pełni udokumentowanej linii transportu intermodalnego „Little Eaton Gangway”,
- 1834 r.; Powstanie zbioru projektów kanałów i dróg kolejowych „Pennsylvania's Main Line of Public Works”, przykład wczesnej egzystencji transportu intermodalnego w Stanach Zjednoczonych,
- 1872 r.; Jedno z pierwszych zastosowań przewozów typu Piggyback, przedsiębiorca Phineas Taylor Barnum wykorzystał rampy najazdowe do załadunku i wyładunku na platformy kolejowe pojazdów cyrkowych,
- 1886 r.; Przedstawienie w niemieckim czasopiśmie jednego z pierwszych ilustrowanych ogłoszeń obrazujących żelazny pojemnik przypominający ówczesny kontener,
- 1929 r.; Przedsiębiorstwo Seatrain Lines przewoziło na swoich statkach wagony kolejowe pomiędzy Nowym Jorkiem a Kubą,
- 1955 r.; Powstanie pierwszego na świecie kontenerowca Clifford J. Rodgers,

- 1955 r.; Przedsiębiorca Malcom McLean oraz inżynier Keith Tantlinger skonstruowali stalowy kontener o wymiarach 10x8x8 stóp, który dzięki zaczepom zamontowanym od góry mógł być szybko załadowany na statek przy pomocy żurawi portowych,
- 1956 r.; Pierwszy rejs należącego do McLean'a kontenerowca S.S. Ideal X wyposażonego w zaczepy pod kontenery,
- 1959 r.; Pierwszy system bimodalny o nazwie Rail Van wprowadziły linie kolejowe Chesapeake and Ohio w Stanach Zjednoczonych,
- 1968 r.; Znormalizowanie w skali światowej wymiarów i parametrów technicznych kontenerów przez International Organization for Standardization.

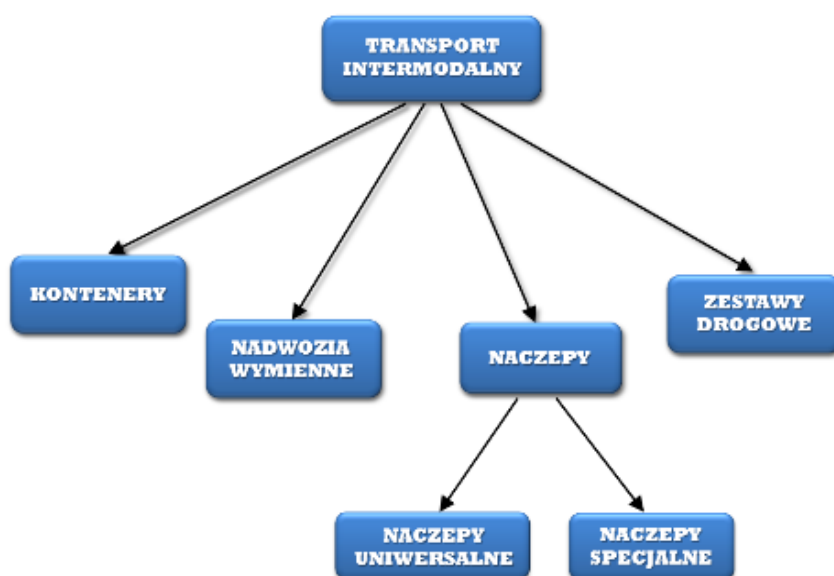
W obecnych czasach istnieje wiele opracowanych systemów transportu intermodalnego, a także powstają ciągle nowe ulepszone konstrukcje. Ten zaawansowany stan techniki w zakresie transportu intermodalnego zawdzięcza się między innymi przedstawionym próbom i pomysłom w zakresie transportu intermodalnego, które podejmowano już pod koniec XVIII wieku w Europie oraz Stanach Zjednoczonych [39].



### 3. PRZEGLĄD KOLEJOWYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU INTERMODALNEGO I URZĄDZEŃ PRZEŁADUNKOWYCH

#### 3.1. Klasyfikacja technologii transportu intermodalnego

Transport intermodalny ze względu na rodzaj przewożonej jednostki ładunkowej dzielimy na: przewóz kontenerów, nadwozi wymiennych, naczep oraz całych zestawów drogowych (ruchoma droga). Podstawowy podział przedstawia rysunek 3.1



Rys. 3.1. Podział transportu intermodalnego ze względu na stosowane jednostki intermodalne

Najbardziej rozpowszechniony na świecie jest przewóz towarów za pomocą kontenerów. **Kontener** (ang. container) definiuje się: „duży pojemnik wielokrotnego użycia, który służy jako opakowanie zbiorcze do przewozu mniejszych opakowań lub innych ładunków drobnicowych, półmasowych i masowych” [106]. Jednostką obliczeniową stosowaną przy określaniu ładowności pociągów i statków jest kontener 20' – TEU (Twenty Foot Equivalent Unit). Odpowiednio kontener 40' równa się 2 TEU. Kontenery znormalizowane przez ISO są dopuszczane do przewozów ładunków statkami. W przewozach lądowych występują również kontenery niepodlegające normalizacji ISO, posiadające lżejszą konstrukcję. Piętrzenie ich jest możliwe np. do 3 warstw, z powodu mniejszej wytrzymałości konstrukcyjnej [50]. Wyróżniamy również kontenery lotnicze

o dużo mniejszej masie oraz odmiennych kształtach, często przystosowanych do bryły samolotu. Odmienność kontenera lotniczego utrudnia zastosowanie w transporcie intermodalnym.

Ze względu na przeznaczenie i rozwiązania konstrukcyjne rozróżniamy kontenery:

- ogólnego przeznaczenia (ang. general purpose container),
- do ładunków suchych masowych (ang. bulk container, dry bulk container),
- izotermiczne, chłodnicze (ang. thermal container, refrigerated container),
- zbiornikowe (ang. tank container),
- z otwartym dachem (ang. open top / hard top container),
- o bokach otwartych (ang. open sided container),
- platformy (ang. platform container),
- typu płytowego, z otwartym dachem i bokiem (ang. flatrack container).

**Nadwozie wymienne** (ang. swap body) można scharakteryzować jako typ jednostki ładunkowej w formie skrzyni samochodowej, którą można odłączyć od podwozia i przewozić także na wagonie kolejowym. Nadwozia wymienne są lżejsze od kontenerów i przeważnie nie nadają się do piętrzenia. W odróżnieniu od kontenerów posiadają cztery nogi podporowe. Mogą występować w wersji boczno-drzwiowych oraz tylnodrzwiowych. Jednostki te posiadają dolne okucia mocujące, które są rozmieszczone zgodnie z wymiarami ISO odpowiadającymi kontenerom 20', 30', 40'. Umożliwia to wspólne mocowanie na wagonach i naczepach przeznaczonych do przewozów kontenerów [22].

Kolejną istotną jednostką ładunkową w transporcie intermodalnym jest **naczepa siodłowa** (ang. semitrailer). Przewóz naczep możemy podzielić na naczepy uniwersalne oraz naczepy specjalne [46]. Jednostki uniwersalne nie wymagają jakichkolwiek zmian w konstrukcji, są to standardowe, szeroko dostępne naczepy na rynku używane w transporcie drogowym. Natomiast naczepy specjalne, są odpowiednio przystosowane do przewozu kolejowego. Wśród nich możemy wyróżnić jednostki, które wymagają niewielkich zmian (wzmocnień) w konstrukcji umożliwiających odpowiedni przeładunek, jak np. naczepy do przewozu w wagonach kieszeniowych. Występują też jednostki wymagające większych zmian w konstrukcji, które w składzie kolejowym między podparciami na wózkach stanowią strukturę nośną oraz przenoszą wzdłużne siły kolejowe. Przykładem takiego zespołu jest system bimodalny, spełniający wymagania wytrzymałościowe Karty UIC-597 „System transportu kombinowanego szynowo-drogowego. Naczepy wózkowe. Charakterystyki”. W pracy skupiono się na przewozie

naczep uniwersalnych, które są najczęściej wykorzystywaną jednostką ładunkową transportu unimodalnego, drogowego.

Transport intermodalny możemy również podzielić na transport towarzyszący i transport nietowarzyszący. W transporcie towarzyszącym na platformie kolejowej przewożony jest kompletny **zestaw drogowy** (ciągnik wraz z naczepą). Podczas przejazdu pociągiem kierowca pozostaje w wagonie-kuszetce. Po przyjechaniu pociągu na terminal kierowca przejmuje zestaw drogowy i kontynuuje podróż do klienta. Zaletą tego systemu jest fakt, że kierowca może wypocząć podczas podróży. Czas przewozu koleją jest w większości państw ustawowo traktowany jako przerwa dla kierowcy. Przykładem transportu intermodalnego towarzyszącego są pociągi w systemie „ruchoma droga” (niem. Ro-La czyli Rollende Landstrasse, ang. rolling motorway). Transport nietowarzyszący, inaczej „na barana” (niem. Huckepack, ang. piggyback), który polega na transportowaniu koleją tylko jednostek ładunkowych, bez ciągnika siodłowego i bez asysty kierowcy pojazdu drogowego na trasie kolejowej. Ten rodzaj przewozów stanowi większość rynku intermodalnego. W transporcie intermodalnym szynowo-drogowym występują dwa podstawowe sposoby przeładunku jednostki ładunkowej pomiędzy środkiem transportu drogowego i kolejowego:

- przeładunek pionowy z ang. lift on-lift off (lo-lo),
- przeładunek poziomy z ang. roll on-roll off (ro-ro).

Przeładunek pionowy wymaga dostępu do pojazdów szynowych od góry, polega na wykorzystaniu suwnic oraz specjalistycznych wozów, które unoszą jednostkę ładunkową w celu przeładunku. Przeładunek poziomy natomiast odbywa się przy wykorzystaniu kół drogowych pojazdu, bez znacznego unoszenia jednostki ładunkowej. Przeładunek poziomy może odbywać się w osi prostopadłej, równoległej oraz skośnej do osi wagonu. Przeładunek pionowy jest wykonywany zwykle w osi prostopadłej do osi wagonu.

### **3.2. Technologie transportu i przeładunku kontenerów**

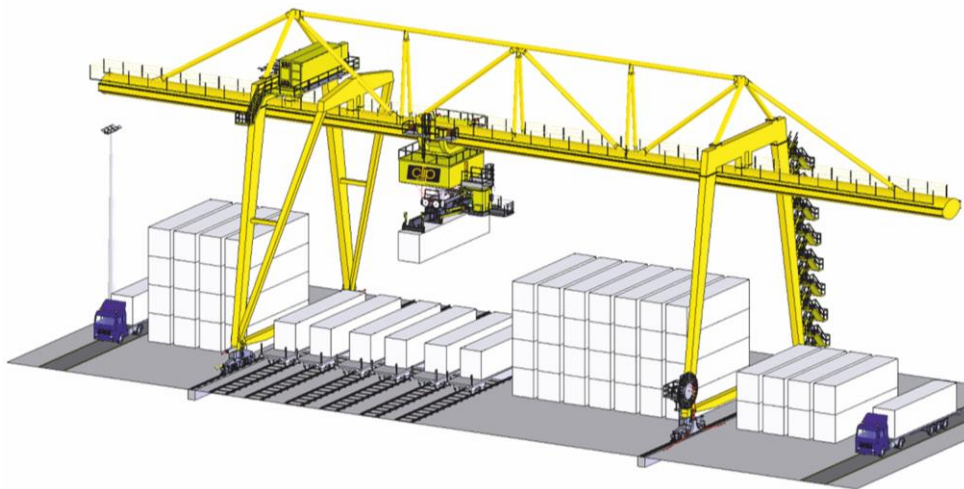
W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej za sprawą zwiększonej skrajni oraz dopuszczalnych nacisków dochodzących nawet do 400 kN/oś zestawu kołowego wagonu, kontenery przewożone są dwupoziomowo. W Europie zgodnie ze standardami technicznej specyfikacji interoperacyjności (ograniczenia skrajni oraz nacisk do 225 kN/oś) kontenery przewożone są koleją bez możliwości piętrzenia. Do przewozu kontenerów wykorzystywane są najczęściej wagony platformy kontenerowe (ang. container wagon),

które są najbardziej rozpowszechnionym spośród wszystkich kolejowych środków przewozowych w transporcie intermodalnym. Do przewozu kontenerów przystosowane są również wagony kieszeniowe (pocket wagon) oraz wagony niskopodwoziowe „Ro-La” (ang. low-floor wagon). Wszystkie ww. wagony wyposażone są w gniazda zaczepowe wiążące ramę platformy z kontenerem. Konstrukcje te nie posiadają dachu ani ścian bocznych. Na rysunku 3.2 przedstawiony jest uniwersalny 6-osiowy przegubowy wagon platforma 80’ typu 629Z serii Sggrss-K, produkcji Europejskiego Konsorcjum Kolejowego WAGON sp. z o. o., Ostrów Wielkopolski. Dwuczłonowy wagon odpowiada zasadniczym wymaganiom TSI WAG (techniczne specyfikacje interoperacyjności w zakresie podsystemu „wagony towarowe”), TSI NOI (techniczne specyfikacje interoperacyjności podsystemu „Tabor kolejowy hałas”), oraz warunkom eksploatacji i utrzymania dotyczącym podsystemów transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej, ogólnej umowie o użytkowaniu wagonów towarowych (AVV). Długość wagonu ze zderzakami wynosi 26700 mm. Natomiast długość ładunkowa wynosi 2 x 12375 mm. Masa konstrukcyjna wynosi 27,5 t. Wagon może przewieźć łącznie 4 jednostki TEU. Platforma 80’ typu 629Z serii Sggrss-K może przejeżdżać przez rampy promowe o kącie nachylenia mostka promowego 1°30’ przy promieniu łuku toru wynoszącym 120 m oraz tory rozrządowe o promieniu łuku toru co najmniej 75 m. Wagon może być stosowany jako pojedynczy lub jako pociąg wagonów zblokowanych. Wagon platforma 80’ typu 629Z serii Sggrss-K, w którym zastosowano wózki serii Y25Ls(s)d1-K o standardowej średnicy okręgu tocznego  $\varnothing 920$  mm, wyposażone w dwuwstawkowe klocki hamulcowe z kompozytowymi wstawkami (K). Wagon platforma 80’ typu 629Z serii Sggrss-K przeznaczony jest do eksploatacji po torach o szerokości 1435 mm przy maksymalnym nacisku 225 kN/oś w ruchu S (100 km/h) oraz 200 kN/oś w ruchu SS (120 km/h) do stałego użytkowania na liniach Ts (-25°C; +45°C). Wagon wyposażony jest w trzpienie do mocowania kontenerów 20’, 30’ i 40’, które umożliwiają transportowanie ładunków rozmieszczonych jednolicie lub różnorodnie na całej długości wagonu.



Rys. 3.2. Uniwersalny 6-osiowy przegubowy wagon platforma 80' typu 629Z serii Sggrss-K [64]

Przeładunek kontenerów na wagony odbywa się w systemie „lo-lo” przez zastosowanie urządzeń dźwigowych oraz w systemie „ro-ro” bezpośrednio z i na pojazd samochodowy. W przypadku systemu pionowego najczęściej stosowane są suwnice bramowe (rys. 3.3). Umożliwiają one obsługę przeładunkową do rozpiętości suwnicy i długości torów. Na obsługiwanej przestrzeni znajdują się najczęściej: tory ładunkowe, jezdnie naładunkowo-wyładunkowe dla samochodów oraz powierzchnie składowe dla kontenerów i nadwozi wymiennych.



Rys. 3.3. Suwnica bramowa, szynowa do przeładunku kontenerów, w tle przekrój obsługiwanego placu przeładunkowego [60]

Również powszechnie funkcję urządzeń przeładunkowych na terminalach kontenerowych szynowo-drogowych pełnią:

- samojezdny wóz podnośnikowy z wysięgnikiem teleskopowym, wyposażony w chwytne wierzchnią (ang. reach stacker),

- wóz masztowy do przeładunku pustych kontenerów (ang. empty container handler) lub ładownych kontenerów (ang. loaded container handler),
- kontenerowy wóz widłowy (container forklift).

Wozy te mogą występować w wersjach do przeładunku pustych lub ładownych kontenerów w zależności od masy własnej pojazdu (zwiększonej masy pojazdu dla bezpieczeństwa przeładunku). Również dociążane są wozy do przeładunku pustych kontenerów z możliwością bezpośredniego przeładunku dwóch a nawet trzech kontenerów lub z możliwością odległego zasięgu ramion załadowniczych. Wozy kontenerowe mogą posiadać podpory zmniejszające nacisk na przednią oś, zabezpieczające przed niekontrolowanym przechyleniem pojazdu w trakcie procesu przeładunku. Rodzaje wozów stosowanych na intermodalnych terminalach kolejowo-drogowych przedstawia rysunek 3.4.



wóz teleskopowy z chwytnią wierzchnią



wóz masztowy do przeładunku pustych kontenerów



wóz masztowy do przeładunku pełnych kontenerów

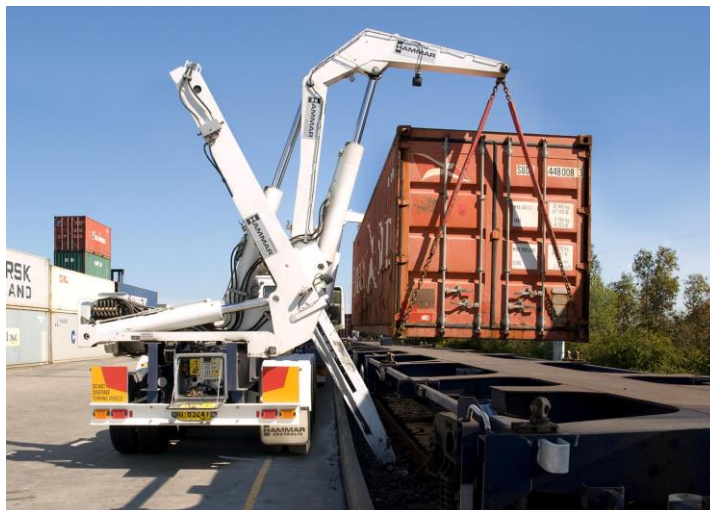


wóz widłowy do przeładunku kontenerów

Rys. 3.4. Rodzaje wozów stosowanych na intermodalnych terminalach kolejowo-drogowych [opracowanie własne na podstawie [67, 74, 83, 95]]

Wśród technologii ro-ro przeładunku kontenerów w transporcie kolejowo-drogowym popularne są naczepy drogowe samowładowcze i samozaładowcze. Podobnym działaniem charakteryzują się systemy Hammar oraz Steelbro Sidelifter. Praca urządzeń opiera się na urządzeniach hydrauliki siłowej. Naczepa wyposażona w taki system posiada dwa zespoły dźwigowe oraz podpory stabilizujące. Systemy te umożliwiają bezpośredni przeładunek kontenera między środkami transportu kolejowo-drogowego lub

załadunek/wyładunek między środkiem transportu a składowym na placu kontenerem. Najbardziej rozpowszechnione podwozie Hammar 151 HS przedstawia rys. 3.5. Ma możliwość przewożenia kontenerów w zakresie 20–40' o masie łącznej 36 ton.



Rys. 3.5. Proces załadunku kontenera w systemie poziomym, bezpośrednio na pojazd drogowy wyposażony w podwozie Hammar 151 HS [66]

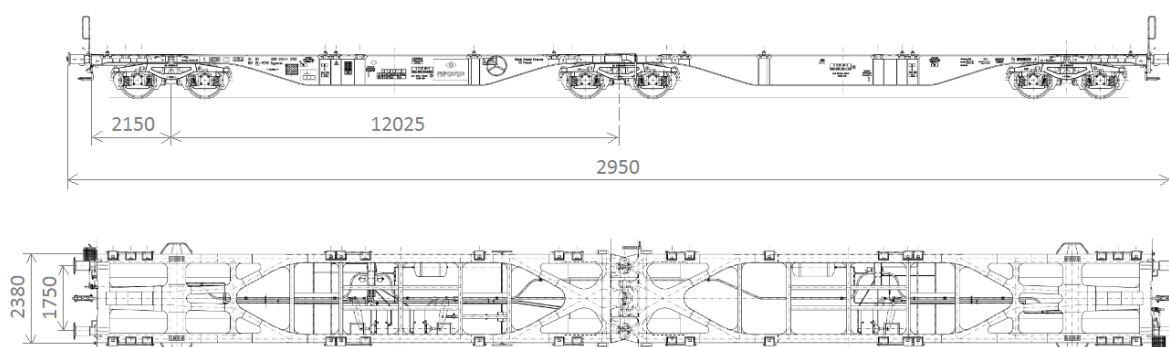
Kolejnym rozwiązaniem umożliwiającym przeładunek poziomy kontenerów jest system Mobiler. Jest to system zamontowany na samochodzie ciężarowym umożliwiający bezpośredni boczny przeładunek kontenera z samochodu ciężarowego na wagon kolejowy i odwrotnie. Nie ma możliwości jak w przypadku systemu Hammar załadunku kontenera z placu składowania. System składa się z konstrukcji w postaci dwóch ceowników włożonych jeden w drugi z możliwością regulacji w zakresie wysokości za pomocą układu hydraulicznego i ruchu przy pomocy przenośnika łańcuchowego [22, 47]. Technologia ta przedstawiona jest na rysunku 3.6. Na pierwszym planie uwidoczniłoby przenośnik łańcuchowy zabudowany na samochodzie ciężarowym.



Rys. 3.6. Przeładunek kontenera w systemie Mobiler [86]

### 3.3. Technologie transportu i przeładunku nadwozi i pojemników wymiennych

Nadwozia wymienne, podobnie jak kontenery można przewozić na przystosowanych wagonach platformach. Przykładem wagonu umożliwiającego przewóz nadwozi wymiennych jest uniwersalny sześćosiowy przegubowy wagon 90' typu 627Za serii Sgmrss-K, polskiej produkcji EKK WAGON (rys. 3.7), umożliwiający również przewóz kontenerów. Wagon odpowiada zasadniczym wymaganiom TSI WAG dla konwencjonalnego transeuropejskiego systemu kolejowego, ogólnej umowie o użytkowaniu wagonów towarowych (AVV). Dla przeładunku nadwozi wymiennych sposobem pionowym podobnie jak w przypadku kontenerów stosowane są suwnice bramowe, wozy podnośnikowe z wysięgnikiem teleskopowym, wozy masztowe oraz wozy widłowe.



Rys. 3.7. 6-osiowy przegubowy wagon platforma 90' typu 627Za serii Sgmrss-K [63]

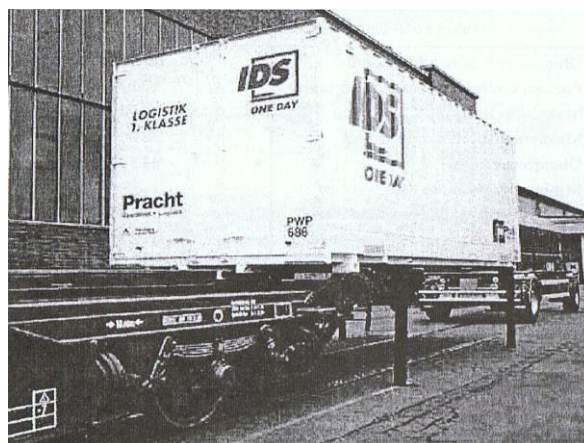


Do technologii wykorzystujących przeładunek ro-ro nadwozi wymiennych w transporcie kolejowo-drogowym zaliczamy m.in. system Mobiler (rys. 3.6), którym można także przeładowywać kontenery. Kolejnymi rozwiązaniami umożliwiającym przeładunek poziomy nadwozi wymiennych są systemy ACTS (Abroll Container Transport System) (rys. 3.8), bardziej rozpowszechniony oraz wagon czteroosiowy firmy Kockums Industries AG, działające na podobnej zasadzie. W powyższych systemach wagony kolejowe wyposażone są w ramy obrotowe umożliwiające przeładunek poziomy. Zasadnicza różnica między tymi systemami wynika z jednostki ładunkowej. System firmy Kockums służy do przewożenia standardowych nadwozi wymiennych klasy C, dwie jednostki przypadają na jeden wagon. Natomiast w systemie ACTS przewożone są mniejsze wymiarami pojemniki wymienne wyposażone na przedniej ścianie w uchwyt nośny, z drugiej strony od spodu pojemnik wyposażony jest w rozmieszczone po stronach bocznych rolki ułatwiające proces przesuwania pojemnika po ramie obrotowej wagonu. Pojemniki mogą występować w wersji otwartej lub zamkniętej od góry oraz jako cysterna. W technologii tej przewożone są 3 jednostki na czteroosiowej platformie kolejowej, istnieją także wagony wyposażone w dwa sloty. Przeładunek pojemnika na wagon zapewnia samochód z nośnikiem hakowym. System ACTS z powodzeniem stosowany jest w Szwajcarii, Austrii, Niemczech, Holandii, również w tym systemie swój udział ma PKP Cargo International realizując przewozy na terenie Republiki Czeskiej. System ten idealnie wpasowuje się w przewozy na krótkich odcinkach odpadów komunalnych, również nadających się do recyklingu oraz towarów sypkich.



Rys. 3.8. Załadunek pojemnika wymiennego ACTS na wagon [85]

Kolejne dwa rozwiązania, również mają wspólne, podobne cechy są to systemy WAS-Wagon (opracowany w 1994r. przez niemiecką firmę ABB Hensche) (rys. 3.9) oraz Kombilifter (również opracowany w 1994 r. przez firmy Mercedes Benz i Lohr).



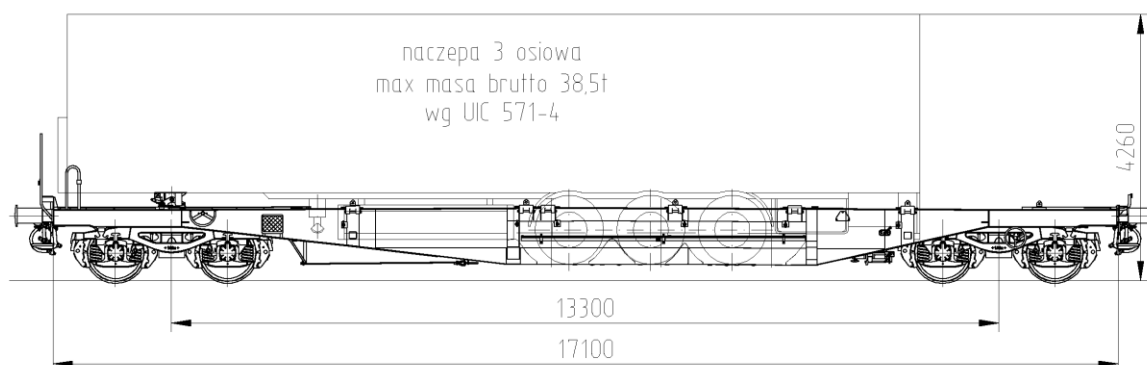
Rys. 3.9. Załadunek nadwozia wymiennego w systemie WAS-Wagon [22]

W tym przypadku odpowiednio przystosowana konstrukcja umożliwia przejazd wagonów pod ustawionymi w rzędzie (wzdłuż toru) nadwoziami wymiennymi stojącymi na nogach podporowych. Dla systemu WAS-Wagon platforma wyposażona jest pneumatyczny system podnoszący ramę względem wózków. Natomiast dla systemu Kombilifter w zależności od producenta zastosowano systemy podnoszenia pneumatyczny, hydrauliczny lub mechaniczny za pomocą podnośnika nożycowego. W celu szybkiego przeładunku nadwozia wymienne mogą być wyposażone automatycznie składane nogi podporowe. Konstrukcja tych wagonów jest skomplikowana i kosztowna.

### **3.4. Technologie transportu i przeładunku naczep siodłowych**

W Europie najbardziej rozpowszechnionym środkiem transportu kolejowego naczep drogowych jest wagon kieszeniowy (rys. 3.10). Wagon ten posiada odpowiednie wgłębienie (kieszneń), umożliwiając umieszczenie naczepy wewnątrz. W tym przypadku przewożona naczepa jest niestandardowa, posiada odpowiednie wzmocnienia umożliwiające przeładunek pionowy za pomocą suwnic oraz wozów z chwytnikami kleszczowymi. Podczas transportu koła drogowe spoczywają w zagłębionej części wagonu, z drugiej strony sworzeń królewski naczepy opiera się na siodle wagonu. Wagony kieszeniowe umożliwiają również przewóz kontenerów, jednak ze względu na

odpowiednią konstrukcję koszt wykonania wagonów kieszeniowych jest droższy od kosztu wykonania wagonów platform kontenerowych.



Rys. 3.10. Wagon kieszeniowy konstrukcji IPS „TABOR” [56]

Kolejnym bliźniaczym rozwiązaniem jest wagon koszowy, w przeciwieństwie do wagonu kieszeniowego umożliwia przewóz standardowych naczep. W tej technologii naczepa samochodowa jest wprowadzana za pomocą ciągnika siodłowego do tzw. „kosza”, który następnie wstawiany jest do wnętrza wagonu poprzez wykorzystanie przeładunku pionowego. Naczepa nie wymaga wzmocnień i uchwytów dla chwytaków kleszczowych. Dodatkowym elementem jest platforma „kosz”, która posiada uchwyty załadunkowe a wagon kolejowy przystosowany jest do jej umiejscowienia wewnątrz. Przeładunek pionowy odbywa się za pomocą suwnic lub wozów przy użyciu chwytaków kleszczowych. Jest to powszechnie używane rozwiązanie w Europie. Przykładem tej technologii jest przedstawiony na rys. 3.11 system NiKRASA (niem. Nicht Kranbare Sattelaufleger, czyli naczepy siodłowe, których nie można podnosić dźwigiem). System ten obecnie wykorzystywany jest w połączonych terminalach drogowych Padborg, Werona, Bettembourg i Triest. NiKRASA została sfinansowana przez bawarskie Ministerstwo Gospodarki, Infrastruktury, Transportu i Technologii oraz austriackie Ministerstwo Transportu, Innowacji i Technologii w ramach programu innowacji dla ruchu intermodalnego [46].



Rys. 3.11. Platforma z naczepą podczas załadunku na wagon koszowy systemu NiKRASA [46]

Niemiecki system CargoBeamer (rys. 3.12) umożliwia transport standardowych naczep siodłowych. Wymaga specjalnie przygotowanych terminali oraz zaawansowanej konstrukcji wagonów kolejowych z ruchomą platformą. W rozwiązaniu tym zastosowano poziomy, poprzeczny przeładunek, który odbywa się w sposób zautomatyzowany. Podczas wyładunku zabudowane w torze podnośniki unoszą platformę z naczepą na odpowiednią wysokość umożliwiającą wsunięcie przenośników poziomych. Następnie podnośniki opuszczają platformę w miejsce osadzenia na czopach przenośników, które przesuwają ją w kierunku prostopadłym do osi toru. Załadunek kolejnej platformy z naczepą na wagon może odbywać się równocześnie z wyładunkiem innej. Boczne ściany wagonów są opuszczane aby umożliwić wysunięcie/wsunięcie platformy wraz z naczepą bez ich znacznego unoszenia. Przeładunek może odbywać się również w sposób pionowy przy użyciu suwnic lub wozów wysokiego składowania z chwytakami kleszczowymi. System ten jest na bieżąco ulepszany i znajduje się w fazie wdrożeniowej [46].



Rys. 3.12. System CargoBeamer – doświadczalny plac przeładunkowy [46]

Rozwiązanie francuskie o nazwie Modalohr (rys. 3.13) jest przegubowym wagonem z dwoma obrotowymi platformami. W systemie tym można przewozić naczepy siodłowe w transporcie nietowarzyszącym a także kompletne zestawy drogowo (ciągnik siodłowy oraz naczepa siodłowa). Odłączając zestaw drogowy, naczepa jest ładowana na jedną platformę, natomiast na drugą ciągnik siodłowy ładowany jest wraz z ciągnikiem od następnego zestawu drogowego. Przeładunek odbywa się w technologii poziomej. Układy przeładunku wagonów znajdujące się na terminalu składają się z dwóch zespołów. Pierwszy, układ unoszenia umieszczony pomiędzy szynami zapewnia przejście ciężaru platformy. Drugi, układ wyposażony w napędzane rolki, które powodują obrót platformy. Obecnie uruchomione są 2 linie pilotażowe. Rozwiązanie to funkcjonuje na linii liczącej 1050 km, obsługiwanej przez firmę Lorry-rail łączącą terminal w Bettembourg (Luksemburg) z terminalem w Le Boulou koło Perpignan (Francja). Na linii łączącej Aiton (Francja) z Orbassano koło Turynu (Włochy), obsługiwanej przez firmę Ferroviaria Alpina, składy kurują na dystansie 175 km [46].



Rys. 3.13 System Modalohr w trakcie załadunku [46]

Kolejnym rozwiązaniem, opracowanym w Stanach Zjednoczonych jest system bimodalny, czyli transport specjalnych naczep samochodowych na wózkach kolejowych. Naczepa bimodalna oparta jest na wózku bimodalnym pośrednio poprzez zabudowany na nim adapter. Naczepa stanowi strukturę nośną przenoszącą wzdluzne siły kolejowe. Wymaga to specjalnej konstrukcji wzmocnionej ramy jednostki ładunkowej. W związku z powyższym wagon bimodalny w porównaniu do pozostałych systemów intermodalnych charakteryzuje się korzystniejszym współczynnikiem stosunku masy transportowanego towaru do masy taboru w uformowaniu kolejowym, jest bardziej energooszczędny. W latach 80 XX wieku w Stanach Zjednoczonych z powodzeniem eksploatowano system pod nazwą Roadrailer (rys. 3.14).

W 1990 r. na podstawie pozytywnych wyników badań amerykański tabor Roadrailer przystosowano do europejskich przepisów kolejowych UIC (Union Internationale des Chemis de fer) i wdrożono do eksploatacji na linii Hamburg-Werona. Europejska odmiana taboru amerykańskiego otrzymała nazwę Roadrailer Europa.

Równocześnie powstało kilka prototypów europejskiego taboru bimodalnego:

- system francusko-niemiecki – Kombirail,
- system hiszpański – Transtrailer,
- system niemiecki – Kombitrailer,
- system holenderski – Coda-E,
- system polski – Tabor.



Rys. 3.14. System bimodalny eksploatowany w Stanach Zjednoczonych [93]

W latach 1993–1995 w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny), pod kierunkiem prof. Mariana Medwida wykonano prototyp taboru bimodalnego, przystosowany do prędkości ruchu 160 km/h (rys. 3.15). Prototypowy pociąg bimodalny typu „TABOR” składa się z trzech jednostek ładunkowych: skrzyniowej naczepy bimodalnej, cysterny bimodalnej do przewozu benzyn i cysterny bimodalnej do przewozu gazu skroplonego. Polskie rozwiązanie konstrukcyjne uzyskało ochronę 30 patentów [25], w tym patent europejski nr EP0762965B1 [27]. Polski system wyróżnia się oryginalnym rozwiązaniem dwuczęściowego, przegubowego i symetrycznego adaptera środkowego. Adapter oparty jest na czopie skrzytu belki bujawkowej oraz na czterech ślizgowych więzach sprężystych. Rozwiązanie to dzięki kontrolowanemu wichrowaniu ram wózków umożliwia przewóz oprócz wiotkich naczep plandekowych, także sztywnych skrzętnie naczep cystern.



Rys. 3.15. Prototypowy system bimodalny typu „Tabor” [25]

W latach 2000–2002 Instytut Pojazdów szynowych „TABOR” współpracował z firmą spedycyjną z Monachium Bayerische Trailer Zug Gesellschaft für Bimodalne Güterverkehr mbH, która była zainteresowana zakupem polskiego taboru bimodalnego. W wyniku współpracy opracowano modernizację wcześniej zaprojektowanego taboru w celu dostosowania do wymagań przewoźnika niemieckiego. Walory eksploatacyjne systemu bimodalnego potwierdzono pozytywnymi wynikami badaniami przeprowadzonymi w polskich i niemieckich ośrodkach badawczych. Dało to podstawę do wystawienia czasowego świadectwa dopuszczenia do eksploatacji pojazdu kolejowego wydanego przez Urząd Transportu Kolejowego w Warszawie. Prowadzono również uzgodnienia z EBA (Eisenbahn-Bundesamt), odpowiednikiem polskiego UTK w sprawie dopuszczenia polskiego taboru bimodalnego do eksploatacji na niemieckiej sieci kolejowej. W 2003 r. firma BTZ Monachium zrezygnowała z prowadzenia działalności transportowej i współpraca techniczna i handlowa pomiędzy IPS „TABOR” a BTZ została rozwiązana. System bimodalny „TABOR” przystosowany do prędkości ruchu 160 km/h wymaga wyposażenia układu biegowego w hamulec tarczowy. Cena hamulca tarczowego podnosi koszt produkcji wózka.

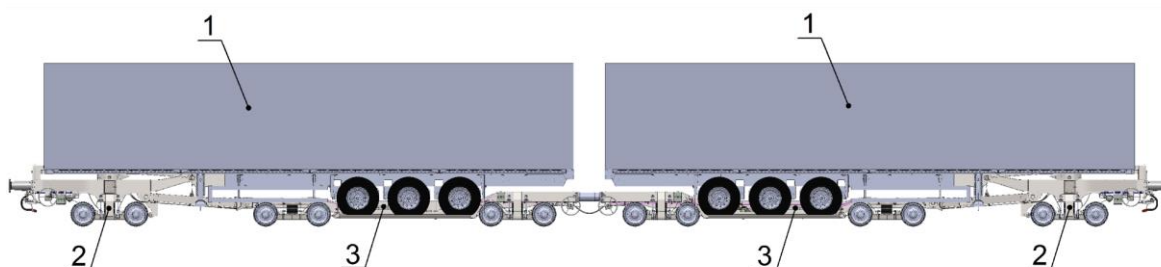
W Europie wagony towarowe w większości przystosowane są do ruchu S z prędkością 100 km/h oraz ruchu SS z prędkością 120 km/h. Dlatego w 2011r. w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” przystąpiono do opracowania systemu bimodalnego przystosowanego do ruchu S i SS. Zmodyfikowany system wyposażono w nowe adaptory oraz standardowe wózki typu Y25 z zabudowanym hamulcem klockowym. Wykorzystano naczepy zbudowane dla prototypu przystosowanego do prędkości 160 km/h. W nowym adapterze symetryczne części połączono za pomocą standardowego przegubu kulistego co pozwoliło zarówno na obniżenie masy własnej jak i kosztów produkcji, zwiększając przy tym niezawodność systemu. W nowym rozwiązaniu umieszczono asymetrycznie ślizgi boczne wózka względem osi poprzecznej ramy, umożliwiając obniżenie poziomu zabudowy siodła adaptera, przez co uzyskano większą rezerwę gabarytu górnej części naczepy do zarysu odniesienia skrajni GB1. Zwiększenie rezerwy pozwala na zastosowanie przestrzeni ładunkowej naczepy do wartości jaka jest stosowana w standardowych naczepach drogowych [25, 29].

Analizę skrajni kolejowej dla systemu bimodalnego „Tabor” podjęto w rozprawie doktorskiej pt. Kształtowanie cech konstrukcyjnych zestawu bimodalnego w aspekcie kryterium skrajni. W przedstawionej pracy Autor opracował nową metodę obliczania

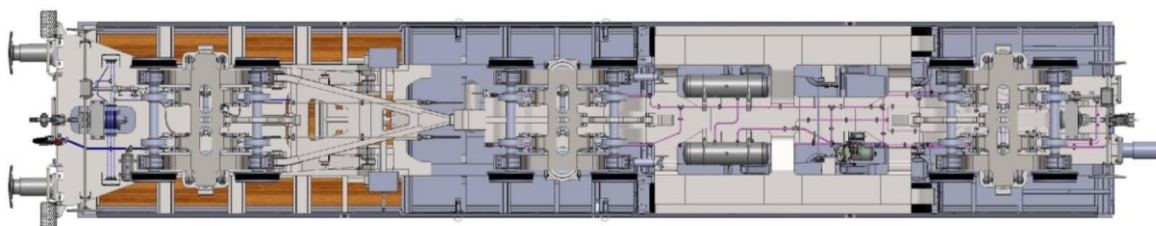


skrajni uwzględniającą rzeczywiste parametry pojazdu w celu uzyskania lepszej przestrzeni ładunkowej [4].

W Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu w wyniku realizacji projektu rozwojowego pt.: System transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym (w którym Autor pracy brał czynny udział), powstał projekt konstrukcji systemu modułu dwunaczepowego przedstawiony w widoku z boku na rysunku 3.16 oraz na widoku od dołu na rysunku 3.17. System składa się z dwóch niestandardowych naczep drogowych (poz. 1, rys. 3.16), dwóch przednich układów jezdných (poz. 2, rys. 3.16), chronionych numerem prawa wyłącznego Pat.227926 w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej [26] oraz dwóch tylnych układów jezdných (poz. 3, rys. 3.16). chronionych numerem prawa wyłącznego Pat.228630 w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej [40].



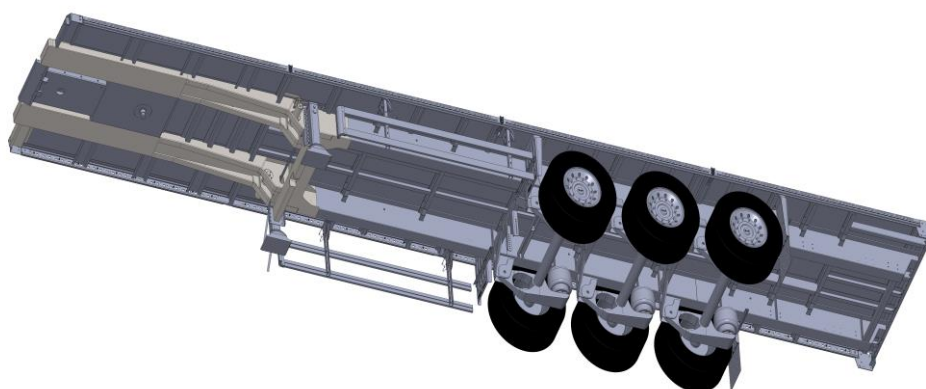
Rys. 3.16. Moduł dwunaczepowy (widok z boku)  
1-naczepa drogowa niestandardowa, 2-przedni układ jezdný, 3-tylny układ jezdný



Rys. 3.17. Widok z dołu na segment modułu (widok z dołu)

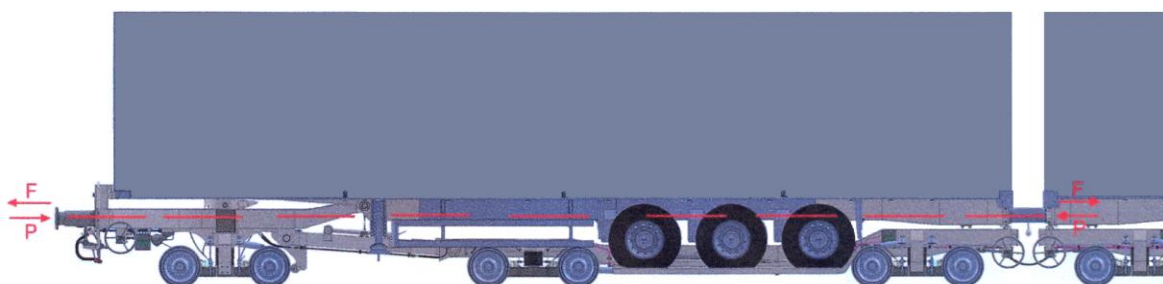
Przód naczepy oparto na siodle ramy adaptera przedniego układu jezdny. Ramiona adaptera zamocowano do wsporników ramy naczepy za pomocą sworzniowych urządzeń ryglujących. Pod ramą adaptera zamocowano obrotowo dyszel, który łączy przedni układ jezdny z wspornikiem ramy nośnej tylnego układu jezdny za pośrednictwem sworzniowego układu ryglującego. Koła drogowe naczepy spoczywają na półkach ramy nośnej tylnego układu jezdny. Przedni układ jezdny wyposażony jest w jeden wózek toczny, natomiast tylny układ jezdny wyposażony jest w dwa wózki toczne. Są to wózki dwuosiowe o średnicy kół 580 mm. Ramy nadwózkowe (adapter przedni, rama nośna tylna) oparte są na wózkach poprzez drugi stopień usprężynowania gumowo-metalowego. Wózki kolejowe połączone z ramami nadwózkowymi za pomocą cięgieł prowadzących (przekazujących wzdłużne obciążenia), zamocowanych poprzez kuliste przeguby gumowo-metalowe. Rama adaptera przedniego układu jezdny wyposażona jest w urządzenia pociągowo-zderzne przeznaczone do połączenia dwunaczepowego modułu z lokomotywą lub składem pociągu, a rama nośna tylnego układu jezdny w krótkospięte urządzenia pociągowo-zderzne do stałego połączenia obu części składowych modułu.

Obciążenie pionowe ramy naczepy w użytkowaniu drogowym i kolejowym pozostaje bez zmian ponieważ przedni oraz tylny układ jezdny stanowią punkty podparcia naczepy w tych samych miejscach jak podczas jazdy po drodze kołowej. Natomiast wzdłużne siły pociągowe wymuszają potrzebę wzmocnienia przedniej części konstrukcji naczepy (rys. 3.18). Belki standardowej ramy o przekroju dwuteowym zastąpiono profilem spawanym o zamkniętym przekroju skrzynkowym [45].



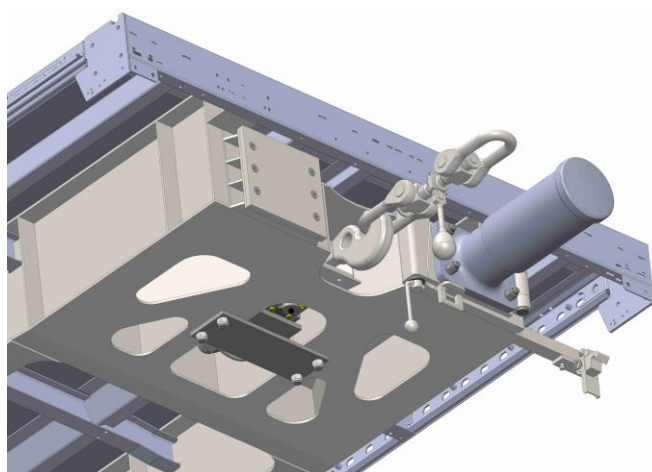
Rys. 3.18. Wzmocniona przednia część konstrukcji naczepy drogowej

Opracowano również drugi wariant systemu (rys. 3.19), w którym urządzenia pociągowo-zderzne łączące moduły systemu umieszczono na ramie naczepy. W tym rozwiązaniu siły wzdłużne ściskające  $P$  oraz rozciągające  $F$  są przekazywane z urządzeń pociągowo-zderznych na naczepy przez podłużnice ramy naczepy. Przedni i tylny układ jezdny przenosi obciążenia pionowe. Przednia część ramy naczepy zostaje uwolniona od momentu zginającego ramę pochodzącego od różnicy wysokości poziomu zderzaków występującego we wcześniej prezentowanym rozwiązaniu systemu [28].



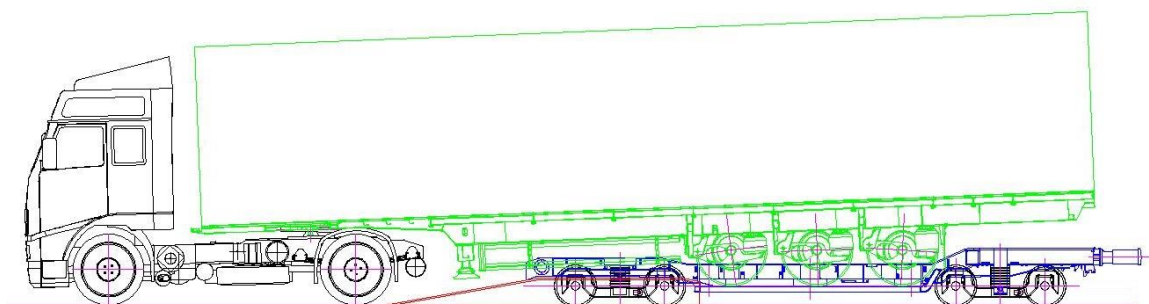
Rys. 3.19. Widok systemu ze zderzakami zabudowanymi na naczepie drogowej

Zespół urządzenia pociągowo-zderznego do modułowego systemu transportu kolejowego naczep drogowych w ruchu kombinowanym kolejowo-drogowym (rys. 3.20), chroniony jest prawem patentowym nr Pat.236272 w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej [41]. Do jazdy drogowej naczepy zderzak zostaje odblokowany, a następnie obrócony na zawiasie pod podwozie naczepy. Wadą tego rozwiązania jest konieczność zainstalowania na stałe jednego zderzaka i urządzenia pociągowego w tylnej części ramy naczepy oraz większa masa własna naczepy.

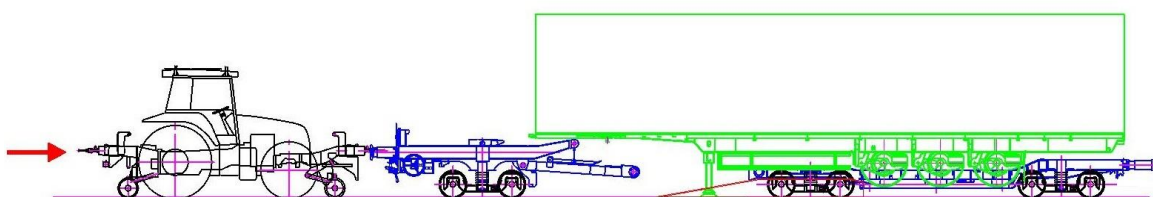


Rys. 3.20. Zabudowa zderzaka oraz elementów sprzęgowych w ramie naczepy

Przeładunek naczep systemu odbywa się w technologii poziomej (rys. 3.21, 3.22). Do przeładunku wymagane są pomosty najazdowe. Montaż modułu pociągu można przeprowadzić na terminalu, gdzie powierzchnia jezdni drogowej zrównana jest poziomem górnej powierzchni główki szyny. Ciągnik siodłowy wprowadza naczepę tyłem poprzez pomosty najazdowe na tylny układ jezdny. Następnie za pomocą pojazdu szynowo-drogowego lub lokomotywy manewrowej pod przód naczepy wprowadzany jest przedni układ jezdny do momentu połączenia ramion adaptera ze wspornikami ramy naczepy oraz dyszla przedniego układu jezdnego ze wspornikiem ramy nośnej tylnego układu jezdnego. Układ połączonej struktury kolejowej ryglowany jest za pomocą mechanizmów sworzniowych. Po sprzęgnięciu wagonu następuje podniesienie nogi podporowej naczepy i połączenie przewodów układów hamulcowych przedniego i tylnego układu jezdnego.



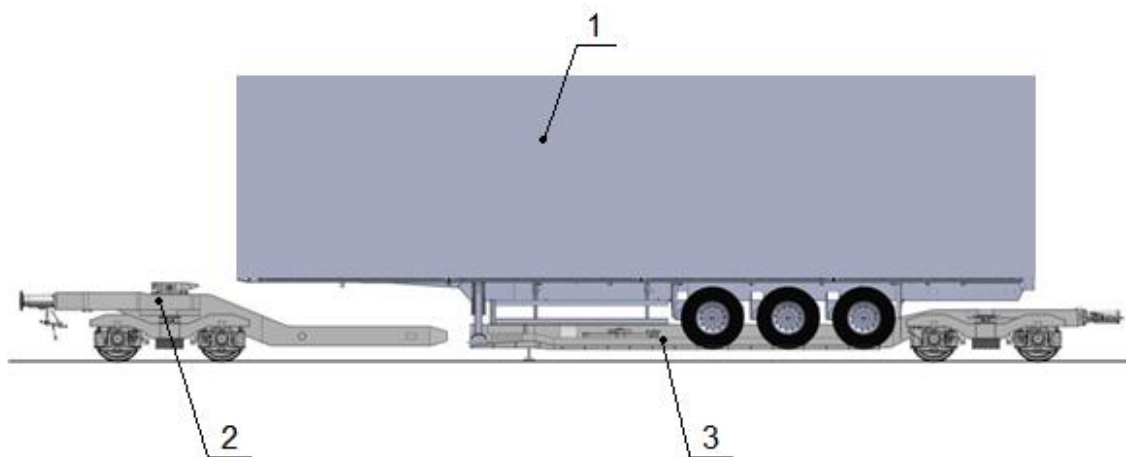
Rys. 3.21. Wprowadzenie naczepy za pomocą ciągnika samochodowego na tylny układ jezdny



Rys. 3.22. Wprowadzanie przedniego układu jezdnego pod przód naczepy

Kolejnym dwu-członowym wagonem intermodalnym jest rozwiązanie przedstawione w pracy doktorskiej pt. Nowy system transportu kolejowo-drogowego dla przewozów standardowych naczep samochodowych [6]. W pracy autor również przedstawił potencjalne możliwości wdrożenia taboru kombinowanego szynowo-drogowego

przeprowadzając analizę ekonomiczną i środowiskową. Na rysunku 3.23 przedstawiono pojedynczy człon wagonu. Każdy człon składa się z standardowej naczepy drogowej (poz. 1, rys. 3.23), zewnętrznego układu jezdnego wyposażonego w podparcie czopa naczepy (poz. 2, rys.3.23) oraz wewnętrznego układu jezdnego z podparciem na koła naczepy (poz. 3, rys. 3.23). Rozdzielny układ jezdny dwu-członowego systemu transportu kombinowanego kolejowo-drogowego (poz. 2, 3, rys. 3.23), chroniony jest prawem patentowym nr Pat.228172 w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej [5].



Rys. 3.23. System dwu-członowy do przewozu standardowych naczep, jeden człon wagonu w stanie rozłączonym [6]

1-naczepa drogowa, 2-zewnętrzny układ jezdny, 3-wewnętrzny układ jezdny

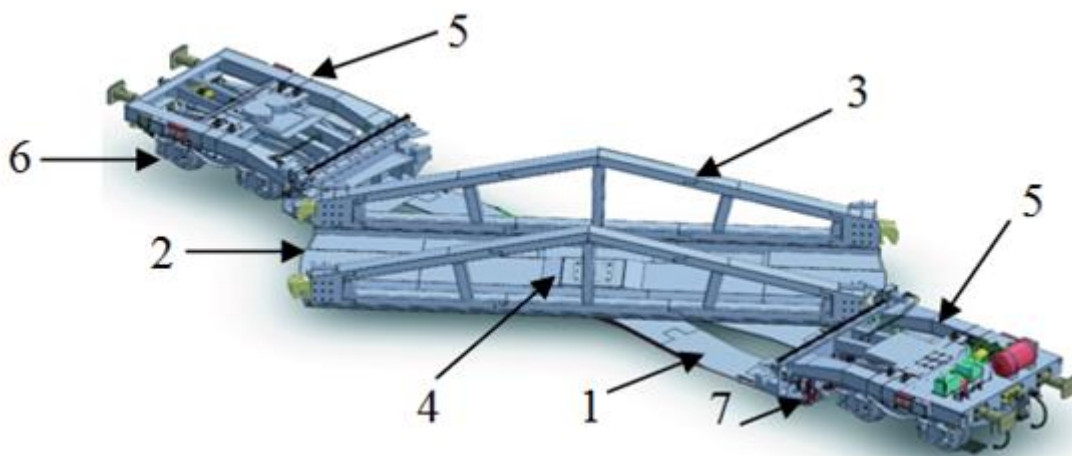
Każdy człon wagonu składa się z dwóch wózków tocznych o średnicy kół 760 mm, ostoji nośnej zewnętrznej i ostoji nośnej wewnętrznej. Osteje są spawanymi konstrukcjami skrzynkowymi. Belki nadwózkowe ostoji służą do zabudowy czopa skrótu oraz ślizgów bocznych które stanowią oparcie i mocowanie ostoji nośnej na ramie wózka. Do połączenia dwóch części wagonu wybrano koncepcję wsuwanych wzajemnie belek grzbietowych i blokowanie ich sworzniami. Część wewnętrzną wyposażono w podnośniki hydrauliczne stanowiące podporę po rozdzieleniu części wagonu. Symetryczne człony wagonu połączone są na stałe sprzęgiem krótkospiętym z diagonalnymi zderzakami. Na końcach jednostki zabudowano standardowe urządzenia pociągowo-zderzne.

Poza rozwiązaniami opracowanymi w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” także w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej powstała konstrukcja wagonu intermodalnego z nisko osadzoną obrotową platformą ładunkową do przewozu naczep drogowych. Wagon spełnia wymagania skrajni kolejowej

GB1. Konstrukcja wagonu chroniona jest poprzez przyznane patenty, krajowe nr Pat.216416 [34], Pat.219643 [36] i europejskie nr EP2388173 [33], EP2532562 [35].

Pojedynczy wagon (rys. 3.24) składa się z:

- nisko umieszczonej ramy podwozia (poz. 1, rys. 3.24),
- platformy obrotowej nadwozia, która stanowi przestrzeń ładunkową (poz. 2, rys. 3.24),
- burt wzmocniających platformy obrotowej (poz. 3, rys. 3.24),
- węzła obrotowego platformy umieszczonego w centralnej części wagonu (poz. 4, rys. 3.24),
- nadwózkowej konstrukcji nośnej wagonu (poz. 5, rys. 3.24),
- standardowych wózków jezdnych typu Y25 (poz. 6, rys. 3.24),
- stabilizacyjnych podpór hydraulicznych (poz. 7, rys. 3.24).



Rys. 3.24. Wagon kolejowy z obrotową platformą ładunkową konstrukcji WAT [19]  
1-rama podwozia, 2-platforma obrotowa, 3-przęsła wzmocniające, 4-czop obrotowy,  
5-nadwózkowa konstrukcja nośna, 6-wózki jezdne typu Y25, 7-stabilizacyjne podpory hydrauliczne

W wyniku zastosowania układu hydraulicznego oraz rolek jezdnych umożliwiających obrót platformy, opracowana technologia nie wymaga podczas przeładunku wykorzystania zewnętrznych urządzeń podnoszących na terminalu przeładunkowym. Przedstawione rozwiązanie umożliwia załadunek i rozładunek naczepy na terminalu z specjalnie przygotowanym peronem o odpowiednio utwardzonej powierzchni. Po obróceniu platformy naczepa może zostać wprowadzona na wagon przy pomocy ciągnika siodłowego.

### 3.5. Technologie transportu i przeładunku zestawów drogowych

Wśród technologii transportu zestawów drogowych (naczep drogowych wraz z ciągnikami siodłowymi stosowane są niektóre rozwiązania, służące w przypadku transportowania naczep samochodowych, np. system Modalohr (rys. 3.13). Do najbardziej rozpoznawanej konstrukcji, wykorzystywanej do przewozu zestawów drogowych można zaliczyć technologię wagonów rynnowych używaną pod nazwą „ruchoma droga” (niem. Ro-La czyli Rollende Landstrasse, ang. rolling motorway). W systemie tym stosowane są składy pociągów złożone z krótkospiętych wagonów tworzących przejezdnię powierzchnię ładunkową, które na końcach są wyposażone w typowe urządzenia pociągowo-zderzne.

Wagon Ro-La charakteryzuje się większą liczbą osi z kołami o mniejszych średnicach rzędu 380-450 mm. Mała średnica kół umożliwia zachowanie niskiego poziomu przejezdnej platformy wagonu. Dopuszczalny nacisk poniżej 100 kN na oś, wymaga stosowania większej liczby osi w stosunku do standardowych wagonów kolejowych z kołami o średnicy 920 mm. Do załadunku wagonu terminale są wyposażone w podjazdy klinowe, po których ciągniki z naczepami wjeżdżają z poziomu terminala na poziom podłogi wagonów. Wyładunek pojazdów odbywa się według zasady FIFO (First in First out). Podczas procesu za- i wyładunku jest możliwość pracy pod siecią trakcyjną. Przewozy Ro-La są dość powszechnie stosowane na kolejach zachodnioeuropejskich. Ich funkcjonowanie jest możliwe dzięki subwencjom rządowym, tworzonym w ramach promocji transportu kombinowanego [46, 58].

Również w Polsce opracowano wagon do transportu zestawów drogowych. W drugiej połowie lat 90-tych XX wieku w IPS „TABOR” powstała polska konstrukcja systemu Ro-La (rys. 3.25). Podstawą realizacji pracy była Decyzja Komitetu Badań Naukowych w sprawie wykonania prac badawczo-rozwojowych. Przygotowanie w pełnym cyklu dokumentacji technicznej prototypu wagonu ROLLENDE LANDSTRASSE zgodnego z Kartą UIC 571-4 do tras nizinnych, oraz przeprowadzenie badań stanowiskowych i ruchowych. Przedmiotem założeń konstrukcyjnych był niskopodwoziowy, wózkowy wagon towarowy do przewozu naczep siodłowych samochodowych i zestawów drogowych, spełniający następujące cechy funkcjonalne:

- możliwość samodzielnego załadunku samochodu ciężarowego lub osobowego na wagon przez jego kierowcę przy pomocy lekkiej ruchomej rampy czołowej o wysokości 600 mm,

- dodatkowa możliwość załadunku samochodowej naczepy siodłowej bez ciągnika drogowego przy pomocy belki podporowej wagonu i wozu widłowego,
- możliwość korzystania podczas za i wyładunku z dowolnej stacji kolejowej,
- możliwość tworzenia dowolnie długich, zgodnych z aktualnymi potrzebami składów wagonowych o swobodnej drodze przejazdowej ładunku wzdłuż składu.



Rys. 3.25. Wagon rynnowy 602S konstrukcji IPS „TABOR” [56]

Wagon wyposażony jest w dwa wózki czteroosiowe dwusegmentowe typu 13TN oraz w hamulec pneumatyczny systemu Oerlikon, sterujący pracą hamulca tarczowego wózków. Ostoja wykonana jest jako konstrukcja spawana, składa się z części poziomej (część jezdnia) oraz dwóch ostojnic. Część skrajna poziomej części ostoi składa się z czołownicy przystosowanej do diagonalnej zabudowy dolnego zderzaka, belki skrętowej i dwóch podłużnych belek przystosowanych do zabudowy dolnego aparatu pociągowego. Do połączenia wagonu 602S z lokomotywą względnie z wagonami standardowymi (posiadającymi zunifikowane urządzenia pociągowo-zderzne) zaprojektowano specjalną czołownicę odchylną-odejmowalną. Czołownicę zaprojektowano jako konstrukcję spawaną skrzynkową, przystosowaną do zabudowy urządzeń pociągowo-zderznych. Odchylenie czołownicy o kąt  $110^\circ$  umożliwia wjazd na podłogę wagonu pojazdów drogowych. Masa własna wagonu skrajnego (z jedną czołownicą odchylną-odejmowalną) wynosi 21,5 t, natomiast masa własna wagonu środkowego (bez czołownic odchylnych-odejmowalnych) wynosi 20,5 t. Ładowność wagonu wynosi max. 44 t. Maksymalna prędkość eksploatacyjna wagonu w stanie próżnym wynosi 120 km/h, natomiast w stanie pełnego załadunku 100 km/h.



Pomimo faktu, że założenia konstrukcyjne wagonu 602S powstały w oparciu o wytyczne karty UIC 571-4, uzyskano następujące prawa patentowe w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej na poszczególne podzespoły:

- łącznik wózków wagonu niskopodłogowego – Pat.180463 [51],
- prowadzenie czteroosiowego wózka dwusegmentowego względem nadwozia wagonu niskopodłogowego – Pat.177802 [52],
- rama dwuosiowego wózka kolejowego – Pat.177801 [53],
- tłumik cierny ruchów poziomych w zawieszeniu towarowego wagonu niskopodłogowego – Ru.058926 [54],
- zawieszenie nadwozia wagonu niskopodłogowego na wózkach – Pat.180452 [55].

Wykonawcą prototypu wagonu została Fabryka Wagonów „Świdnica” – S.A. W roku 2009 wagon został zmodernizowany. Modernizacja dotyczyła w głównej mierze poprawy warunków bezpieczeństwa (wskaźnika Y/Q). Obecnie wagon 602S jest dostępny w ofercie handlowej Europejskiego Konsorcjum Kolejowego WAGON Sp. z o.o., Ostrów Wielkopolski.

Kolejną technologią do przewozu zestawów drogowych jest szwedzkie rozwiązanie o nazwie Flexiwaggon (rys. 3.26). Wagon o długości ładunkowej 17,3 m i ładowności 82 t przystosowano do prędkości 160 km/h, Wózki wyposażono w koła standardowej średnicy 920 mm.



Rys. 3.26. Odchylona platforma wagonu Flexiwaggon podczas wyładunku [47]

Flexiwaggon posiada obrotową platformę usytuowaną między wózkami, otwieraną z obu stron. Automatyczny system otwierania i wychylania platformy sterowany jest

hydraulicznie za pomocą urządzeń zabudowanych na wagonie. System ten może transportować zestawy drogowe, może służyć również do transportu autobusów, kontenerów, nadwozi wymiennych. Rozwiązanie Flexiwaggon umożliwia opuszczenie i załadunek pojazdów wzdłuż trasy niezależnie od innych pojazdów przewożonych tym składem. Jest to dużą zaletą w stosunku do pojazdów rynnowych gdzie takiej operacji nie można wykonać. Do przeładunku na terminalu jedynie wymagana jest utwardzona nawierzchnia, która musi wytrzymać ciężar wychylonej platformy oraz zestawu drogowego. Technologia Flexiwaggon stosowana jest w Szwecji i sprawdza się jako pojedyncze wagony doczepiane do składu pociągu. System wyposażony jest w prądnice generującą prąd, który magazynowany jest w akumulatorach. Wagon posiada gniazda elektryczne na 240/400 V, 50-60 Hz, do których można podłączyć naczepy chłodnie podczas przejazdu koleją [25, 35, 78].

W niniejszym rozdziale przedstawiono podział technologii transportu intermodalnego oraz kolejowe środki transportu intermodalnego wraz z stosowanymi urządzeniami przeładunkowymi. Na podstawie przeprowadzonej analizy można zauważyć, że:

- transport intermodalny ze względu na rodzaj przewożonej jednostki ładunkowej można podzielić na przewóz kontenerów, nadwozi wymiennych, naczep oraz całych zestawów drogowych. W transporcie intermodalnym wyróżniamy technologie pionową i poziomą przeładunku pomiędzy środkiem transportu drogowego i kolejowego. Technologie przeładunku poziomego są mniej rozpowszechnione, często chronione prawami autorskimi,
- najbardziej powszechnym wagonem intermodalnym jest wagon platforma służący do przewozów kontenerów oraz nadwozi wymiennych. Urządzenia umożliwiające przeładunek pionowy z/na platformy to suwnice stosowane głównie w portach morskich oraz wozy wysięgnikowe stosowane najczęściej w terminalach lądowych. Rzadziej stosowane są systemy drogowe samowładowcze i samozaładowcze przeładunku poziomego typu Hammar, Steelbro Sidelifter oraz Mobiler,
- do technologii kolejowych wykorzystujących przeładunek poziomy nadwozi wymiennych wyróżniamy systemy ACTS, Mobiler, WAS-Wagon oraz Kombilifter,
- najbardziej powszechnym systemem transportu naczep drogowych jest wagon kieszeniowy, gdzie przewożona naczepa posiada wzmocnienia ramy umożliwiające przeładunek pionowy za pomocą suwnic i wozów z chwytami kleszczowymi. Bliźniaczym rozwiązaniem do wagonu kieszeniowego jest wagon koszowy gdzie standardowa naczepa wprowadzona jest do tzw. „kosza”, który następnie

załadowywany jest na wagon również za pomocą suwnic lub wozów z chwytnikami, kleszczowymi,

- popularne stają się również systemy CargoBeamer oraz Modalohr do przewozu standardowych naczep, umożliwiające przeładunek poziomy,
- system bimodalny również umożliwia przeładunek poziomy naczep, który jest mniej zautomatyzowany niż w przypadku systemów CargoBeamer i Modalohr. W dodatku jest to system opierający się na niestandardowych naczepach drogowych,
- w przewozach całych zestawów drogowych standardowym rozwiązaniem jest wagon rynnowy „Ro-La”, umożliwiający załadunek poziomy według zasady FIFO. Do załadunku wymagany jest jedynie utwardzony terminal oraz platforma najazdowa,
- kolejnymi rozwiązaniami umożliwiającymi przewóz zestawów drogowych są systemy Modalohr oraz Flexiwagon. System Flexiwaggon w stosunku do systemu Modalohr nie wymaga infrastruktury przeładunkowej na terminalu (urządzenia przeładunkowe znajdują się na wagonie).

W Polsce jedyną jednostką badawczą prowadzącą prace naukowe i rozwojowe w zakresie konstrukcji i badań transportu intermodalnego jest Instytut Pojazdów Szynowych TABOR (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny). W jednostce tej powstały łącznie 52 patenty krajowe oraz 1 patent europejski, które dotyczyły transportu intermodalnego. Do najważniejszych osiągnięć można zaliczyć:

- wykonanie prototypu taboru bimodalnego „TABOR” przystosowanego do prędkości ruchu 160 km/h, który otrzymał świadectwo dopuszczenia do eksploatacji,
- opracowania systemu bimodalnego przystosowanego do ruchu S i SS,
- w wyniku realizacji projektu rozwojowego pt.: System transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym powstał projekt konstrukcji systemu modułu dwunaczepowego,
- powstała polska konstrukcja wagonu rynnowego 602S w oparciu o wytyczne karty UIC 571-4,
- opracowano dokumentację wagonu kieszeniowego do przewozu naczep drogowych, kontenerów i nadwozi wymiennych, zgodnego kartą UIC 571-4.

## 4. PROBLEM BADAWCZY, CEL I ZAKRES PRACY

### 4.1. Problem badawczy

Analizując literaturę na temat transportu intermodalnego można zauważyć duże zainteresowanie pracami, które zwracają szczególną uwagę na perspektywy i koncepcje rozwoju tego rodzaju przewozów na świecie, w tym również w Polsce [2, 13, 31, 96, 105, 111]. W literaturze często promowany jest rozwój alternatywnych gałęzi transportu celem ograniczenia wzrostu usług transportem drogowym. Oczywiście perspektywy są duże, jednak w dalszym ciągu występuje dużo czynników hamujących wzrost transportu intermodalnego. Prace [1, 21, 101] przedstawiają bariery rozwoju spowodowane m.in. złym stanem technicznym infrastruktury liniowej (dróg szynowych), brakiem infrastruktury punktowej (centra logistyczne, place i punkty przeładunkowe, odpowiedni tabor), niskim poziomem usług, relatywnie wysokimi stawkami za dostęp do infrastruktury, brakiem systemu monitorowania przewozów oraz systemu umożliwiającego informowanie klientów o miejscu pobytu przesyłki.

W ostatnich latach w Polsce dużą rolę odgrywają projekty unijne zachęcające Państwo oraz firmy logistyczne do rozbudowy infrastruktury intermodalnej. Oprócz poprawy stanu infrastruktury liniowej, również stopniowo powstają i rozbudowują się terminale przeładunkowe wyposażane w nowoczesne technologie. Przykładowo we wrześniu 2019 r. Centrum Unijnych Projektów Transportowych zawarło z Centrum Logistyczno Inwestycyjnym Poznań II Sp. z o.o. umowę o dofinansowanie dla projektu pod nazwą „Rozbudowa intermodalnego terminalu kontenerowego w miejscowości Jasin koło Poznania”. Zakres projektu wartego niespełna 199 mln zł. obejmuje rozbudowę istniejącego terminala intermodalnego funkcjonującego obecnie w Swarzędzu/Jasinie oraz uzupełnienie wyposażenia w sprzęt do przeładunku ładunków intermodalnych. W wyniku założonej realizacji projektu w latach 2018–2022 poprawią się warunki operacyjne istniejącego terminala intermodalnego, czego rezultatem będzie poprawa efektywności kosztowej usług świadczonych na terminalu, a także zwiększenie jego przepustowości [77].

Autorzy w swoich pracach [14, 15, 20, 22] skupiają się również na kosztach oraz analizach czasowych przejazdów w transporcie intermodalnym, dokonując porównania z transportem drogowym. Przeprowadzone analizy wykazują, że transport intermodalny

szynowo-drogowy potrafi być konkurencyjny cenowo i czasowo z transportem samochodowym, szczególnie gdy odcinek transportu koleją jest stosunkowo długi (powyżej 300 km). Jednak w odstępstwie od reguły za przykład sprawnie funkcjonującego krótkiego odcinka kolejowego transportu intermodalnego można wskazać linię łączącą Aiton (Francja) z Orbassano koło Turynu (Włochy), obsługiwaną przez firmę Ferroviaria Alpina, gdzie składy kursują wahadłowo na dystansie 175 km. Otwarcie linii nastąpiło w 2003 roku, celem otwartego połączenia jest odciążenie trasy drogowej a szczególnie przejście (ze względu na prohibicję przejazdu tunelem Frejus) przewozów drogowych ładunków niebezpiecznych oraz ciężkich zestawów o masie 44 T. Dodatkową korzyścią jest redukcja niekorzystnego oddziaływania transportu drogowego na alpejskie środowisko. W tym przypadku okazuje się, że przewozy intermodalne można obsługiwać koleją z wymiernym skutkiem na tak krótkim odcinku a istotną rolę odgrywa tutaj sprawny przeładunek w systemie Modalohr.

W literaturze również zwraca się uwagę na ponoszone przez państwo koszty zewnętrzne związane z dominacją transportu drogowego, do których zaliczamy: wypadki drogowe, zanieczyszczanie środowiska, kongestia, niszczenie dróg przez ciężkie zestawy drogowe [9, 11, 17, 23, 47, 98, 99, 110]. Wypadki drogowe pochłaniają ofiary, wymuszają udział służb ratunkowych, służb porządkowych, straży pożarnej, policji, prowadzą do rozpraw sądowych, powodują blokadę dróg, wymuszają często naprawę infrastruktury. Zanieczyszczenia powietrza, wód oraz gleb w transporcie drogowym występują z powodu emisji szkodliwych związków do otoczenia takich jak tlenki węgla, dwutlenki węgla, tlenki azotu, podtlenki azotu, metan. Warto zaznaczyć, iż koszty zewnętrzne w transporcie drogowym nie są ponoszone przez kupującego ani firmy transportowe, lecz przez ogół społeczeństwa.

Na podstawie analizy literatury można wnioskować, iż transport intermodalny jest bardzo potrzebny i może nieść za sobą ogromne korzyści. Rozwój przewozów szynowo-drogowych jest niezbędny, szczególnie w krajach wysokorozwiniętych i rozwijających się, do takich krajów zaliczana jest Polska. Rozwój i wsparcie transportu intermodalnego na zachodzie Europy mogą być wzorem. Z pewnością są to inwestycje korzystne zarówno dla państwa jak i społeczeństwa. Komisja Europejska dąży do tego, aby do 2030 r. 30 % towarów przewożonych na dystansie ponad 300 km było transportowanych koleją lub wodą, a do 2050 r. Liczba ta powinna przekroczyć 50 %.

W nawiązaniu do zagadnienia konstrukcji pojazdów kolejowych transportu kombinowanego na zachodzie Europy oraz w Stanach Zjednoczonych temat ten

podejmowany jest głównie przez firmy transportowe i logistyczne we współpracy z biurami konstrukcyjnymi, instytucjami badawczymi i firmami produkcyjnymi, celem wdrożenia technologii do eksploatacji. Przykładem w pełni udanego wprowadzenia innowacyjnej technologii do eksploatacji jest system Modalohr, którego pociągi kursują z powodzeniem między Aiton (Francja) – Turyn Orbassano (Włochy) oraz między Perpignan (Francja) – Bettembourg (Luxemburg). Planowane są kolejne połączenia wzdłuż Francji co pozwoli na przeniesienie z dróg na tory około 85 tys. zestawów drogowych każdego roku. Koleje francuskie planują również rozbudowę infrastruktury punktowej w kierunku Niemiec oraz Hiszpanii.

Koleje niemieckie posiadają jednak własną zautomatyzowaną technologię, którą obecnie wdrażają w Europie. Niemiecka konstrukcja CargoBeamer stosowana jest od 2015 roku, dwa pociągi dziennie kursują na trasie Kaldenkirchen (na granicy niemiecko-holenderskiej) przez Szwajcarię do Domodossola (północne Włochy). Wagony przygotowane są do przeładunku poziomego jednak wyposażenie terminali pozwala jedynie na przeładunek pionowy. Grupa CargoBeamer jako dostawca usług logistycznych 12 lipca 2021 roku otworzyła wysoce innowacyjny obiekt przeładunkowy w bezpośrednim sąsiedztwie terminala promowego Calais i tunelu pod kanałem La Manche we Francji. Terminal CargoBeamer obsługuje pociągi nawet z 36 naczepami, w pełni zautomatyzowanym procesie przeładunku poziomego.

W Polsce, prace związane z rozwojem konstrukcji intermodalnych prowadzone są w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny. W jednostce tej powstał wagon niskopodłogowy typu „ruchoma szosa”, polski system bimodalny „Tabor” oraz wagon kieszeniowy [29, 30]. System „ruchoma szosa” i bimodalny mają szansę zaistnieć jedynie w krajach, które wspierają odpowiednimi subsydiami transport intermodalny. W 2008 r. zainteresowanie tematem technologii systemu kombinowanego wykazała również Wojskowa Akademia Techniczna (WAT) w Warszawie. W 2012 r. w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej powstał wstępny projekt wagonu specjalnego z obrotową platformą do transportu intermodalnego [19]. System ten rozwiązaniem przypomina konstrukcję Flexiwaggon, w którym wagon posiada ruchomą platformę a jej obrót realizowany jest w technologii poziomej za pomocą urządzeń hydraulicznych zamontowanych na wagonie. W przeciwieństwie do krajów zachodnich w Polsce brakuje systemu, który wykorzystywałby w pełni zautomatyzowany system przeładunku poziomego.

W transporcie intermodalnym najbardziej wrażliwym elementem procesu przewozowego jest konieczność dwukrotnego przeładunku na terminalu. Im krótszy czas przeładunku tym transport intermodalny staje się bardziej konkurencyjny. Sprawna organizacja procesu przeładunku wpływa korzystnie na atrakcyjność usług. Brak zasobów ludzkich oraz rosnące koszty pracy sprzyjają rozwojowi automatyzacji. Przegapienie momentu wprowadzenia odpowiednich technologii transportowych może negatywnie odbić się na gospodarce.

W Polsce i na świecie największy udział w transporcie intermodalnym ma przewóz kontenerów. Nie można jednak lekceważyć potencjału liczby zarejestrowanych standardowych naczep drogowych na polskim rynku, jest to najczęściej wykorzystywana jednostka ładunkowa transportu unimodalnego, drogowego. Na podstawie analizy kolejowych przewozów intermodalnych można zauważyć, że przewóz naczep siodłowych w Niemczech, uwzględniając pracę przewozową w 2019 r., jest tylko 2-krotnie mniejszy od przewozu kontenerów i nadwozi wymiennych. Natomiast w Polsce przewóz naczep drogowych, uwzględniając pracę przewozową w 2019 r., jest aż 70-krotnie mniejszy od przewozu kontenerów i nadwozi wymiennych.

#### **4.2. Cel i zakres pracy**

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozwiązań konstrukcyjnych systemów transportu intermodalnego i urządzeń przeładunkowych oraz analizy literatury z tego zakresu sformułowano następujący cel pracy:

**Celem pracy jest opracowanie nowego modelu systemu intermodalnego składającego się z podsystemów wagonu kolejowego oraz infrastruktury przeładunkowej, umożliwiających przewóz standardowych naczep drogowych oraz efektywniejszy przeładunek jednostek ładunkowych w układzie poziomym-skośnym.**

Dla tak zdefiniowanego celu pracy, niezbędnym jest zrealizowanie następujących zadań badawczych, które pozwolą na osiągnięcie powyższego celu pracy:

1. Przeprowadzenie analizy kolejowych przewozów intermodalnych oraz stanu techniki,
2. Opracowanie modelu innowacyjnego systemu intermodalnego z poziomym-skośnym przeładunkiem,

3. Wykonanie obliczeń konstrukcyjnych istotnych zespołów i podzespołów zaproponowanego systemu przeładunku intermodalnego,
4. Wyznaczenie podstawowych charakterystyk czasowych opracowanego systemu intermodalnego z poziomym-skośnym przeładunkiem i porównanie z istniejącymi podobnymi systemami.

Praca składa się z 8 rozdziałów merytorycznych, wprowadzenia, posumowania oraz spisu literatury.

W rozdziale pierwszym przeanalizowano strukturę kolejowych przewozów intermodalnych w Europie oraz w Polsce. Zwrócono uwagę na postępy rozwoju transportu intermodalnego. Przeprowadzono analizę wykazującą zastosowanie poszczególnych jednostek ładunkowych w transporcie intermodalnym w Polsce w porównaniu do krajów europejskich. Również zwrócono uwagę na średnie prędkości handlowe pociągów towarowych w Polsce na tle krajów europejskich. Przedstawiono średnie odległości przewozów koleją w transporcie intermodalnym w Polsce. Wykazano stan, rodzaj i wiek użytkowanego taboru intermodalnego w Polsce. Przedstawiono aktualną infrastrukturę liniową w Europie oraz infrastrukturę punktową w Polsce.

W rozdziale drugim przedstawiono chronologicznie wydarzenia ważne z punktu widzenia powstawania i rozwoju transportu intermodalnego. Zwrócono uwagę na pierwsze połączenia przewozów intermodalnych na świecie oraz pierwsze technologie wykorzystywane do przewożenia i przeładunku międzygałęziowego.

W rozdziale trzecim przedstawiono podział technologii transportu intermodalnego oraz kolejowe środki transportu intermodalnego wraz z stosowanymi urządzeniami przeładunkowymi. Szczególną uwagę skupiono na rodzajach przewożonych jednostek ładunkowych oraz dwóch podstawowych wariantach przeładunku. Przedstawiono najczęściej używane wagony i urządzenia przeładunkowe wykorzystywane do przewozu i przeładunku kontenerów, nadwozi wymiennych, naczep standardowych i modyfikowanych oraz zestawów drogowych. W rozdziale zwrócono uwagę na nowoczesne zautomatyzowane technologie usprawniające przeładunek, które obecnie znajdują się w fazie rozwoju lub wprowadzania na rynek. Przedstawiono również technologie, które są obecnie w ofercie produkcyjnej w Polsce oraz osiągnięcia polskich jednostek badawczych. Przeprowadzona analiza stanu techniki w Europie pozwala rozróżnić stosowane technologie oraz zalety i wady każdego z nich.



W rozdziale czwartym przedstawiono problem badawczy oraz cel i zakres pracy. Na podstawie analizy literatury wykazano, że transport intermodalny jest bardzo potrzebny i może nieść za sobą ogromne korzyści. Wskazano perspektywy oraz czynniki hamujące rozwój transportu intermodalnego. Wykazano obszary związane z transportem intermodalnym, które wymagają analizy, po czym wybrano obszar, w który Autor pracy może wnieść swój wkład. Następnie przedstawiono zadania badawcze, które pozwolą na osiągnięcie powyższego celu pracy.

W rozdziale piątym dla przyjętego celu pracy wyznaczono algorytm projektowania nowego modelu systemu intermodalnego. Na podstawie przeprowadzonej analizy w poprzednich rozdziałach zdefiniowano kryteria projektowe. Przyjęto program, pracujący w środowisku 3D CAD do celów projektowania oczekiwanego modelu oraz wskazano zalety projektowania w środowisku 3D. Następnie w wyniku prac i analiz koncepcyjnych przedstawiono zaprojektowany model systemu składający się z podsystemów wagonu kolejowego oraz infrastruktury przeładunkowej. Przedstawiono konstrukcje zespołów oraz podzespołów systemu. Następnie zilustrowano oraz opisano kolejno występujące po sobie operacje przeładunku dla zaprojektowanego systemu. W podsumowaniu rozdziału wskazano zalety systemu związane z odpowiednią konstrukcją wagonu oraz infrastruktury przeładunkowej.

W rozdziale szóstym przeprowadzono obliczenia mechanizmów stanowiska przeładunkowego w celu wyznaczenia kolejności czynności pracy oraz czasu pracy podczas etapu przeładunku. W pierwszym etapie rozdziału wyznaczono z równań sił i momentów reakcje w miejscach oparcia podnośników podczas procesu przeładunku. Znając wartość obciążeń oraz ich nierównomierny rozkład wyznaczono układ hydrostatyczny unoszenia i obrotu stanowiska przeładunkowego. Na podstawie powyższych obliczeń wyznaczono czas wysuwu klinów podnośników, czas podnoszenia lub opuszczania platformy oraz czas obrotu platformy. Przedstawione wyniki w rozdziale szóstym umożliwiają przeprowadzenie w rozdziale siódmym analizy porównawczej cyklu załadunkowego opracowanego systemu względem wybranych, istniejących na rynku systemów intermodalnych.

W rozdziale siódmym przeprowadzono analizę ogólnych charakterystyk transportu intermodalnego, zwrócono uwagę na czynniki wpływające na konkurencyjność czasową transportu intermodalnego względem transportu drogowego. Wykazano, że ważnym elementem procesu przewozowego jest konieczność dwukrotnego przeładunku na terminalu. W celu porównania opracowanego systemu załadunku z innymi stosowanymi

systemami, przeanalizowano 10 wariantów przeładunków dla różnych systemów, w tym 3 propozycje dla autorskiego systemu transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem. W przeprowadzonej analizie dla wybranego skład pociągu wyznaczono czasy poszczególnych operacji przeładunku, przedstawiono dane w postaci wykresów realizacji następujących po sobie operacji oraz obliczono czasy przeładunku dla każdego z wariantów. Wyznaczone czasy dla zaprojektowanego systemu porównano z pozostałymi systemami intermodalnymi.

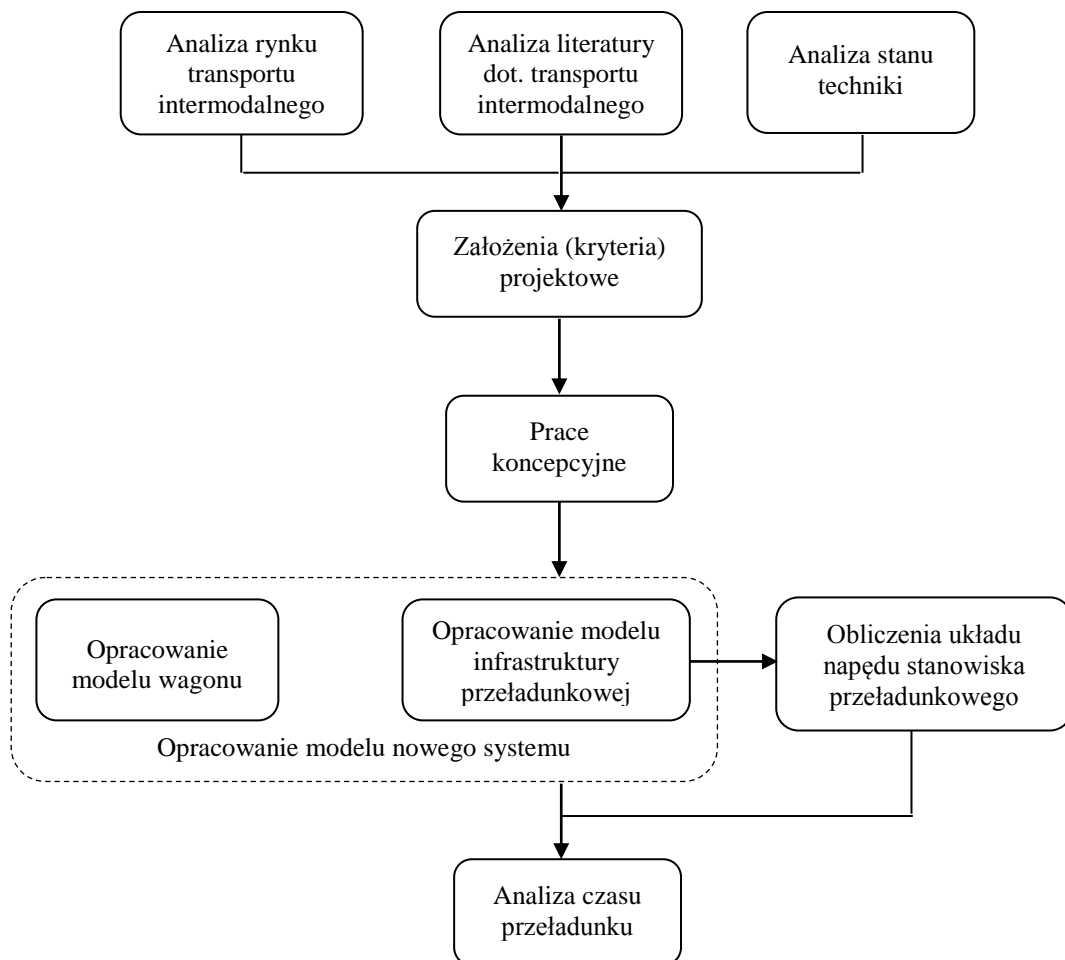
W rozdziale ósmym przedstawiono proponowane dalsze możliwości rozwoju autorskiego systemu intermodalnego. Dążąc do stanu, w którym proponowany system stałby się bardziej konkurencyjny zaprezentowano drugi wariant konstrukcji składającej się z wagonu dwuczłonowego. Przedstawiono porównanie parametrów wagonu jednoczłonowego i dwuczłonowego oraz składu pociągu o długości 600 m sprzęgniętego z wagonów jednoczłonowych lub dwuczłonowych.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono podsumowanie badań, sformułowano wnioski poznawcze oraz utylitarne. Przedstawiono możliwe dalsze prace nad modelem systemu.

## 5. MODEL INNOWACYJNEGO SYSTEMU INTERMODALNEGO Z PRZEŁADUNKIEM POZIOMYM – SKOŚNYM

### 5.1. Założenia projektowe modelu systemu

Podstawowym celem pracy jest opracowanie modelu nowego systemu transportu intermodalnego służącego do przewożenia standardowych naczep, charakteryzującego się zautomatyzowanym oraz szybkim procesem przeładunku poziomego. Algorytm projektowania nowego modelu systemu intermodalnego przedstawia rysunek 5.1.



Rys. 5.1. Algorytm projektowania nowego modelu systemu intermodalnego, z założeniem szybkiego procesu przeładunku

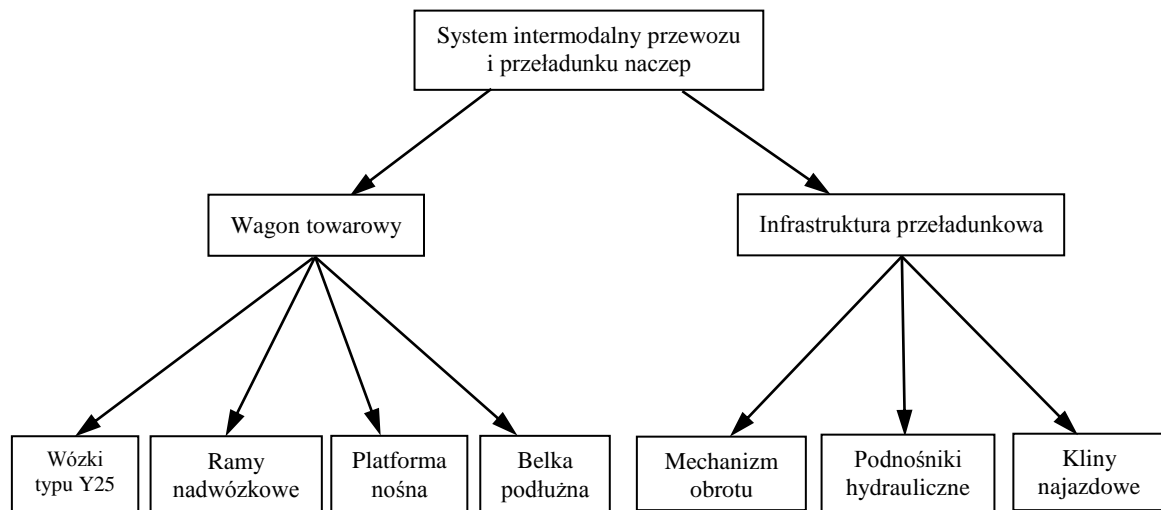
W pierwszym etapie pracy przeprowadzono analizę rynku transportu intermodalnego, stanu techniki oraz literatury dotyczącej transportu intermodalnego. Na podstawie przeprowadzonej analizy zdefiniowano kryteria projektowe. Głównym zdefiniowanym kryterium projektu jest możliwość przewożenia na wagonie kolejowym standardowych naczeł drogowych (nie podlegających modyfikacji) oraz krótszy czas procesu przeładunku naczeł w stosunku do obecnych systemów w Polsce.

System powinien charakteryzować się prostą konstrukcją wagonu i infrastruktury przeładunkowej oraz niskim ciężarem wagonu przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniej wytrzymałości. Nowe rozwiązanie powinno być konkurencyjne w odniesieniu do użytkowanych obecnie konstrukcji pod względem funkcjonalności za i rozładunku. Wagon intermodalny należy projektować zgodnie z obowiązującymi normami. W następstwie jedynie końcowa struktura konstrukcji pozwala z pewnością określić wszystkie cechy systemu, jednak projektując wstępny model można ukierunkować go na spełnienie w wersji ostatecznej określonych założeń.

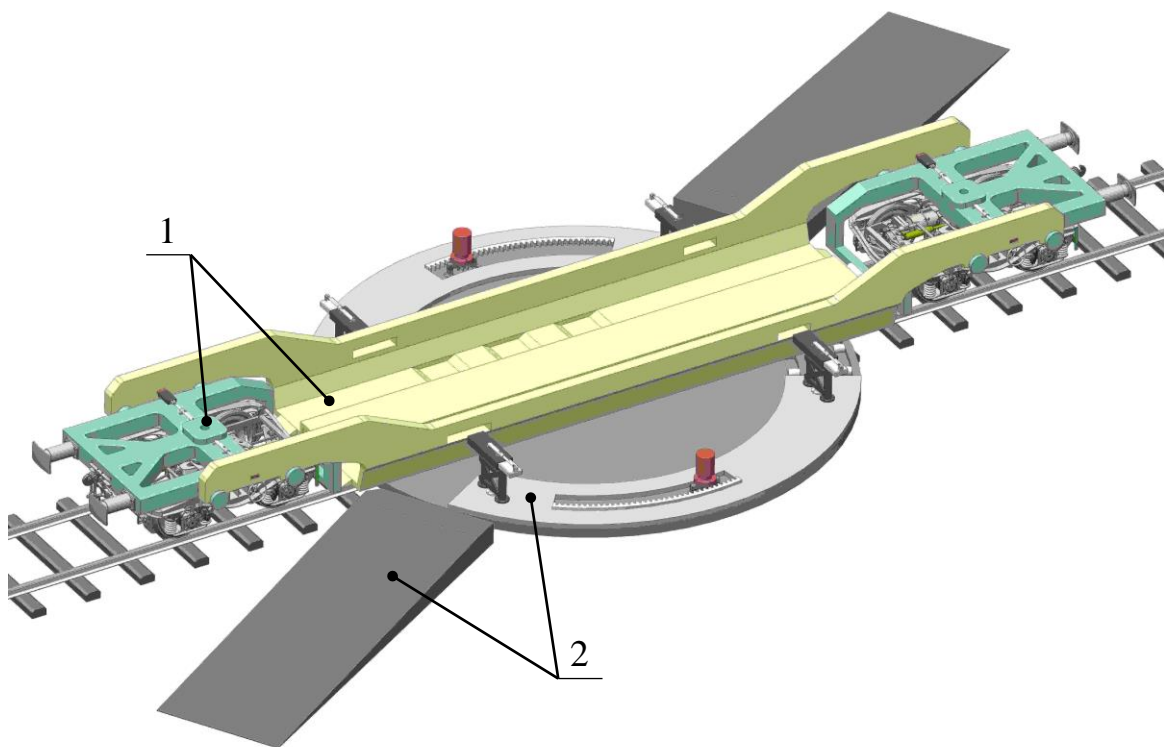
Do celów projektowych wykorzystano program Solid Works, pracujący w środowisku 3D CAD (ang. three dimensional computer aided design). Projektowanie modelu w środowisku 3D ułatwia przestrzenną analizę obiektu oraz pozwala eliminować ewentualne kolizje w węzłach współpracujących zespołów. Tworzenie profilu modelu przestrzennego ułatwia w ewentualnym dalszym etapie prace konstrukcyjne. Ponadto zaprojektowanie modelu 3D znacznie ułatwia przeprowadzenie analiz przeładunku. W pracy przeprowadzono podstawowe obliczenia układu stanowiska przeładunkowego, których wynikiem są czasy pracy operacji poszczególnych zespołów układu za i rozładunku, na podstawie których opracowano analizę czasów przeładunku naczeł drogowych między środkiem transportu kolejowego i drogowego.

## **5.2. Struktura nowego systemu intermodalnego**

W wyniku przeprowadzonych analiz, wyznaczonych założeń konstrukcyjnych oraz prac koncepcyjnych powstał autorski system intermodalny, którego podstawowe elementy składowe zostały przedstawione na rysunku 5.2. Na podstawie schematu można zauważyć, że system złożony jest z dwóch podsystemów przedstawionych na rysunku 5.3, zbudowanych z podstawowych zespołów opisanych na rysunkach 5.4-5.9. Podsystemy wagon towarowy (poz.1, rys. 5.3) oraz infrastruktura przeładunkowa (poz.2, rys. 5.3) zostały zgłoszone do ochrony patentowej w Urzędzie Patentowym RP [42, 43].



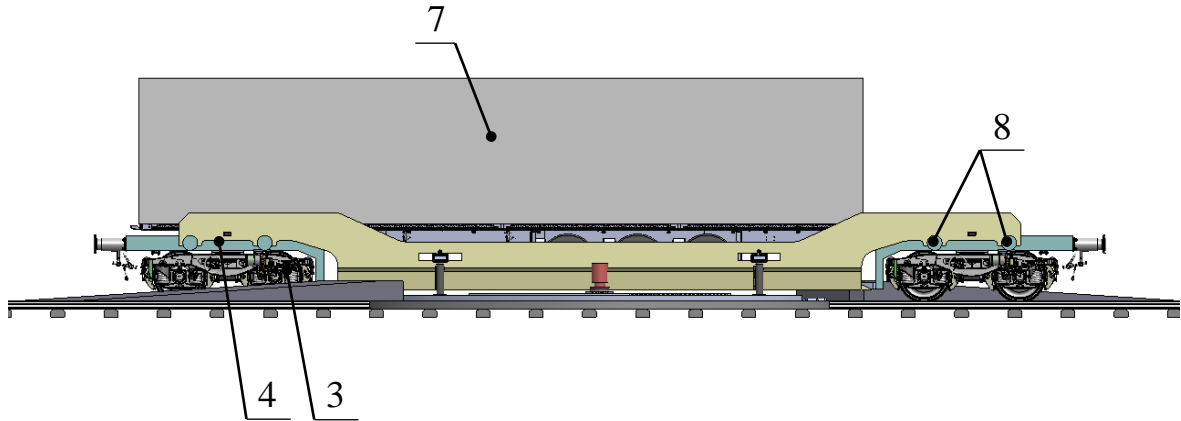
Rys. 5.2. Schemat blokowy przedstawiający podsystemy oraz zespoły wchodzące w skład systemu intermodalnego



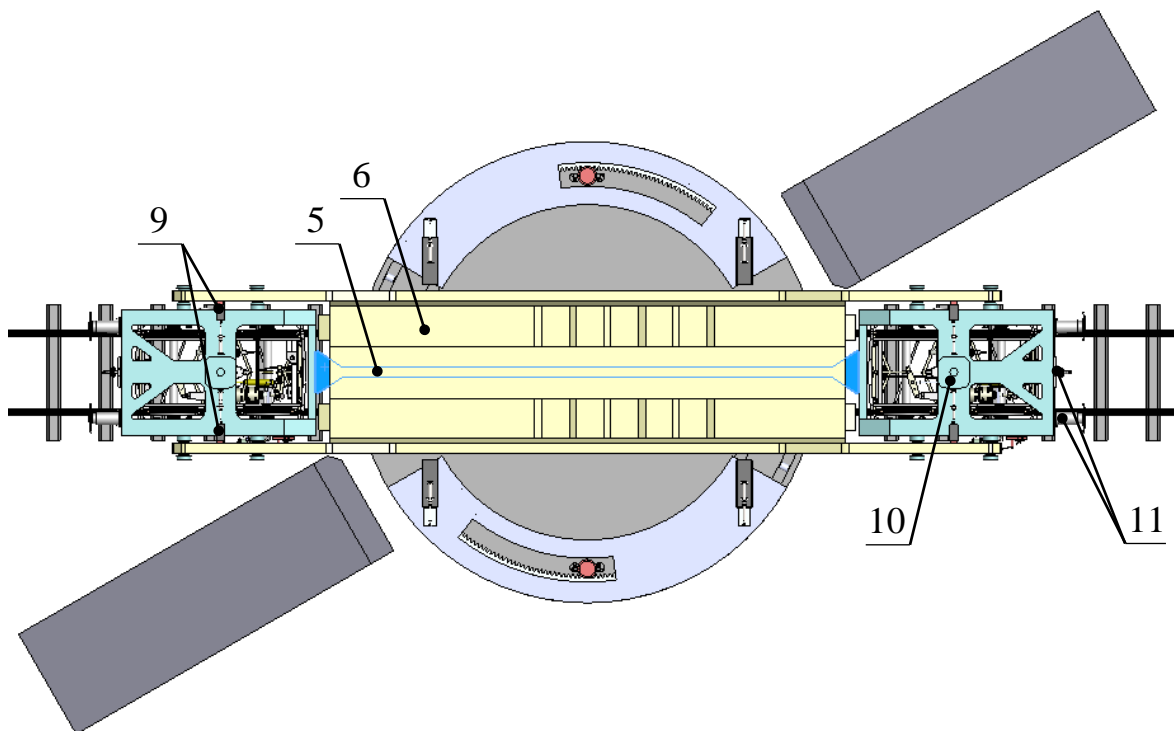
Rys. 5.3. Model systemu intermodalnego do przewozu i przeładunku standardowych naczep drogowych  
1-wagon towarowy, 2-infrastruktura przeładunkowa

Na rysunku 5.4 przedstawiono wagon w widoku z boku oraz na rysunku 5.5 przedstawiono wagon w widoku z góry. Wagon chroniony jest numerem patentowym Pat.237854 [43]. Składa się z dwóch identycznych wózków tocznych dwuosiowych

(poz. 3, rys. 5.4). Zaletą opracowanego systemu jest zastosowanie wózków standardowych do wagonów towarowych typu Y25 o średnicy okręgu tocznego kół  $\varnothing 920$ . Powyżej wózków znajdują się ramy nadwózkowe (poz. 4, rys. 5.4), połączone przegubowo belką podłużną (poz. 5, rys. 5.5) oraz odejmowalną platformą nośną (koszem) (poz. 6, rys. 5.5).



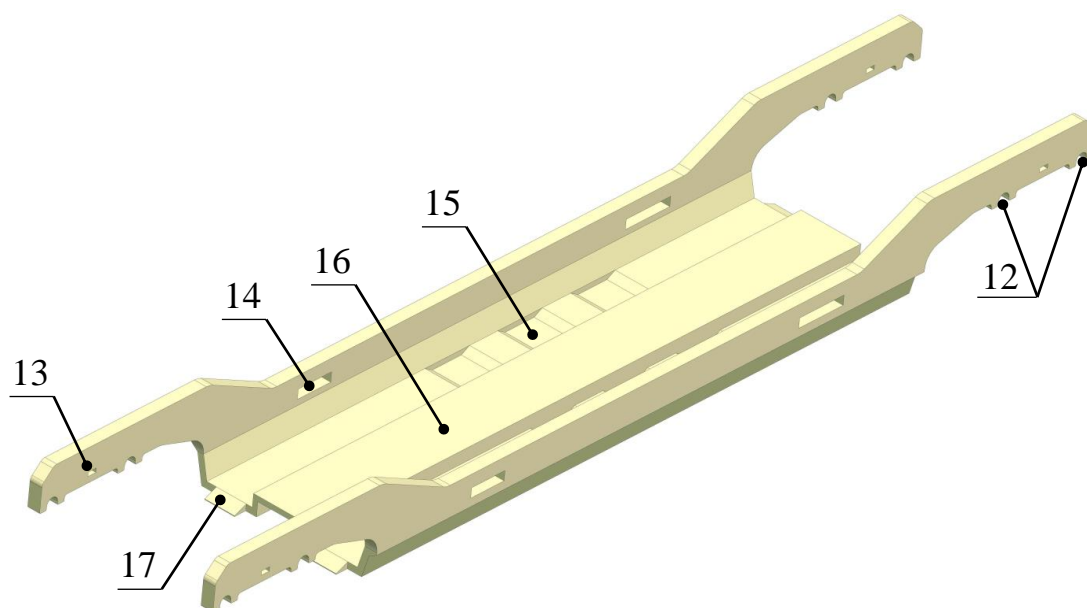
Rys. 5.4. Podsystem-wagon do przewozu standardowych naczep drogowych, widok z boku wagonu wraz z załadowaną naczepą  
3-wózki toczne, 4-ramy nadwózkowe, 7-naczepa siodłowa, 8-czopy kołnierzowe



Rys. 5.5. Podsystem-wagon do przewozu standardowych naczep drogowych, widok z góry wagonu, bez naczepy siodłowej  
5-belka podłużna, 6-platforma nośna, 9-urządzenia ryglujące, 10-siodło oparcia naczepy, 11-urządzenia pociągowo-zderzne

Kosz stanowi miejsce, w którym ulokowana jest naczepa siodłowa (poz. 7, rys. 5.4). Po bocznych stronach ram nadwózkowych na belkach podłużnych przewidziano po dwa odpowiednio rozstawione czopy kołnierzowe (poz. 8, rys. 5.4) służące do oparcia platformy. Wzdłuż osi symetrii wózków również na ramach nadwózkowych znajdują się prowadzone w obudowie suwliwej (przesuwnej) urządzenia ryglujące kosz na wagonie (poz. 9, rys. 5.5). Urządzenia te są napędzane siłownikami pneumatycznymi. Na centralnej belce poprzecznej ramy umiejscowiono siodło (poz. 10, rys. 5.5) do oparcia przodu naczepy w miejscu sworznia królewskiego. Na czołownicach wagonu zabudowano standardowe urządzenia pociągowo-zderzne (poz. 11, rys. 5.5).

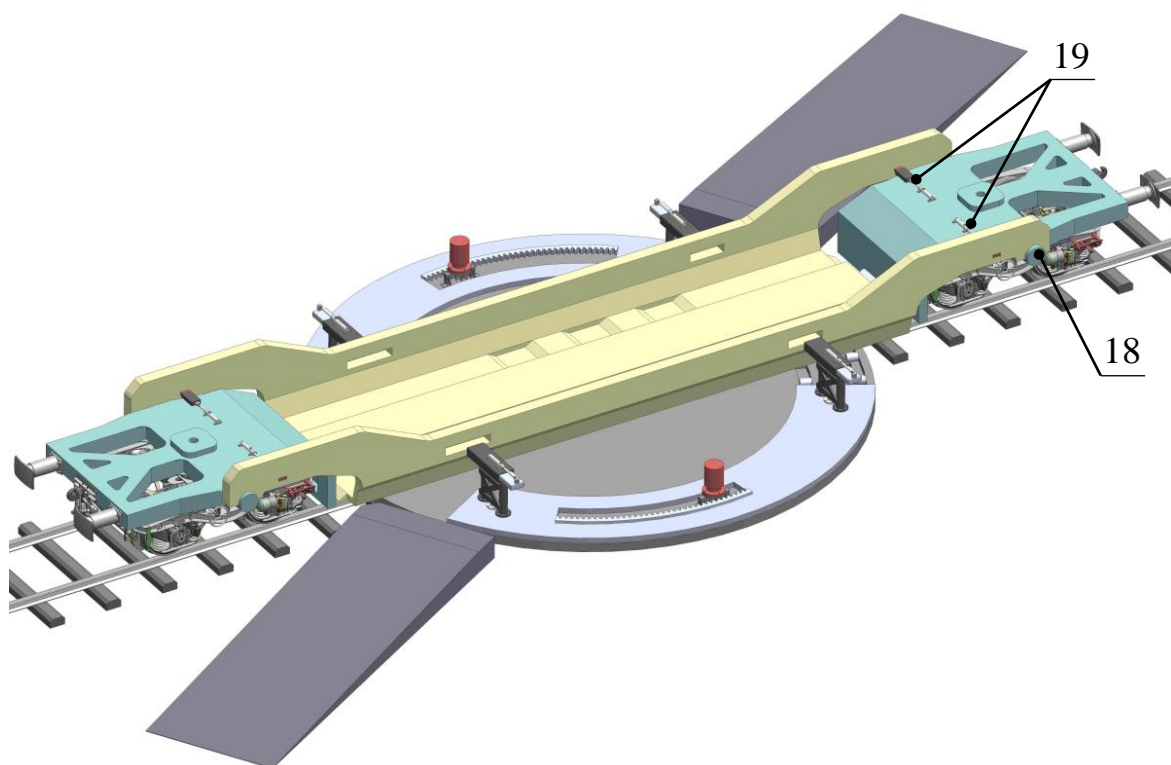
Platforma wagonu (rys. 5.6) jest konstrukcją spawaną złożoną z ścian bocznych oraz podłogi. Na końcach ścian bocznych (ramionach) przewidziano promieniowe gniazda (poz. 12, rys. 5.6) pod oparcie platformy na czopach wagonu oraz prostokątne otwory (poz. 13, rys. 5.6) pod zamki ryglujące. W ścianach bocznych w odpowiedniej odległości od płaszczyzny poprzecznej symetrii wykonano wzmocnione w górnej części prostokątne otwory (poz. 14, rys. 5.6), które są wykorzystywane do unoszenia i obrotu platformy. W częściach bocznych podłogi wykonano po trzy zagłębienia (poz. 15, rys. 5.6) pod koła naczepy a w części środkowej od strony dolnej wykonano odpowiednio ukształtowany kanał (poz. 16, rys. 5.6) dla przechodzącej dołem belki podłużnej spinającej ramy. Na końcach bocznych części podłogi przewidziano kliny najazdowe dla ciągnika siodłowego oraz naczepy (poz. 17, rys. 5.6).



Rys. 5.6. Platforma nośna (kosz) wagonu

12-gniazda czopów, 13-otwory pod zamki ryglujące, 14-gniazda przeładunkowe, 15-zagłębienia pod koła naczepy, 16-kanał belki podłużnej, 17-kliny najazdowe

Na rysunku 5.7 pokazano drugi wariant sposobu zamocowania kosza, w którym ramę nadwózkową wyposażono w jeden czop kołnierzowy po każdej stronie ramy (poz. 18, rys. 5.7). Czopy umieszczone są w poprzecznej płaszczyźnie symetrii wózka, w wyniku tego urządzenia ryglujące (poz. 19, rys. 5.7) umieszczono w odpowiedniej odległości od płaszczyzny mocowania czopów w kierunku do środka wagonu (osi poprzecznej wagonu).

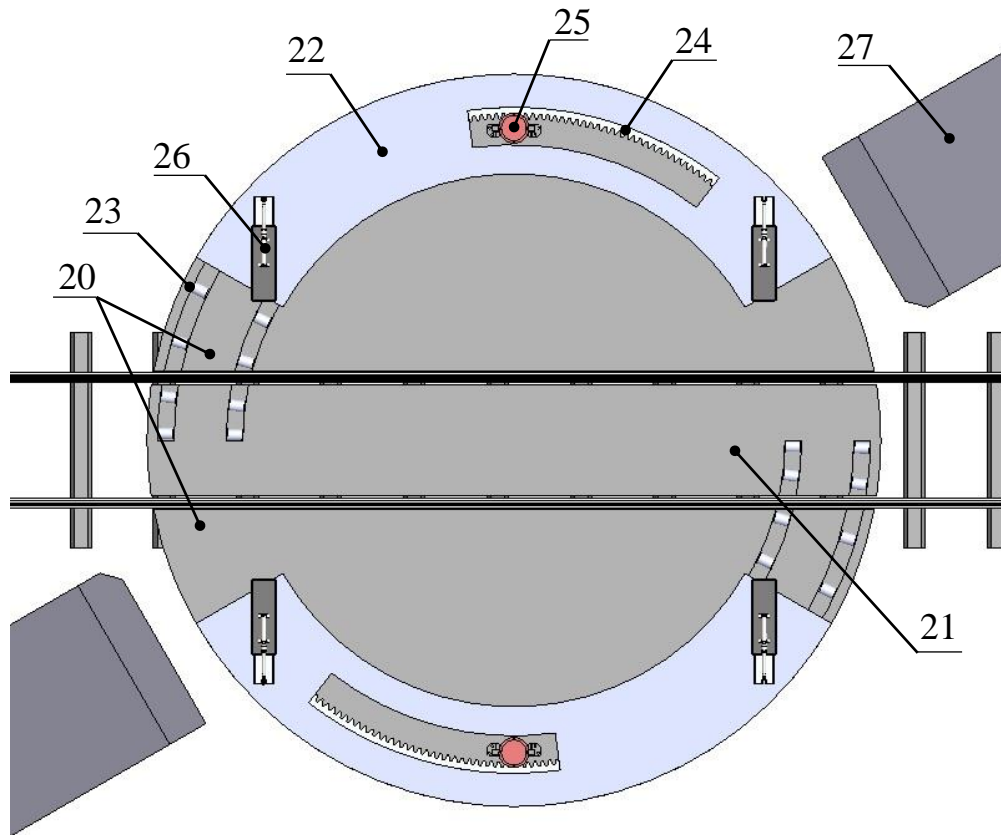


Rys. 5.7 Wagon systemu w odmianie z oparciem na jednym czopie z każdej strony ramy  
18-czop kołnierzowy, 19-urządzenia ryglujące

Na rysunku 5.8 przedstawiono podsystem – infrastruktura przeładunkowa w rzucie z góry, chroniony numerem patentowym Pat.234922 [42]. Mechanizm przeładunkowy składa się z dwóch płyt dolnych zewnętrznych (poz. 20, rys. 5.8) oraz jednej płyty dolnej wewnętrznej (poz. 21, rys. 5.8) umieszczonej między szynami toru. Na płytach dolnych oparto dwie płyty górne (poz. 22, rys. 5.8) za pośrednictwem promieniowych łożysk tocznych (poz.23, rys. 5.8). Płyty górne wyposażono w promieniowe zębátki (poz. 24, rys. 5.8), z którymi zazębione są koła zębate silników hydraulicznych (poz. 25, rys. 5.8) zamocowanych do płyt dolnych. Na płytach górnych ustawiono cztery podnośniki hydrauliczne (poz. 26, rys. 5.8), po dwa na każdej płycie. Z dwóch stron toru,



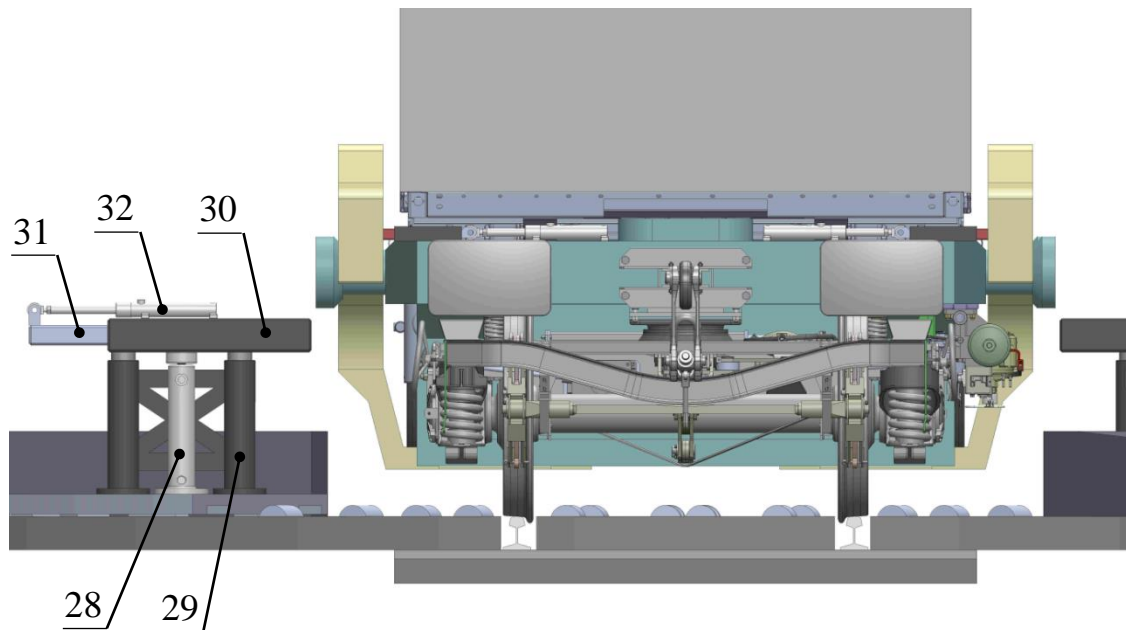
po przekątnej znajdują się kliny najazdowe (poz. 27, rys. 5.8) umożliwiające wjazd zestawu drogowego na platformę,



Rys. 5.8. Mechanizm obrotu w rzucie z góry

20-płyty dolne zewnętrzne, 21-płyta dolna wewnętrzna, 22-płyty górne, 23-łożyska toczne, 24-promieniowe zębatki, 25-silniki hydrauliczne, 26-podnośniki hydrauliczne, 27-kliny najazdowe

Na rysunku 5.9 przedstawiono podnośniki w widoku od strony czoła wagonu. Podnośnik zamocowany do płyty górnej jest zbudowany z ustawionego w pionie siłownika hydraulicznego (poz. 28, rys. 5.9) oraz kolumn prowadzących (poz. 29, rys. 5.9) odpowiednio usztywnionych poprzeczkami. Na wewnętrznych słupach kolumn zamocowano prowadnię (poz. 30, rys. 5.9), w której umieszczono suwliwy klin (poz. 31, rys. 5.9). Na górnej powierzchni prowadnicy zamocowano poziomo siłownik hydrauliczny (poz. 32, rys. 5.9), którego tłoczyisko połączono ze wspornikiem wysuwanego klina.



Rys. 5.9. Podnośniki hydrauliczne w widoku od strony czoła wagonu  
 28-pionowy siłownik hydrauliczny, 29-kolumny prowadzące, 30-prowadnia klina,  
 31-suwliwy klin, 32-poziomy siłownik hydrauliczny

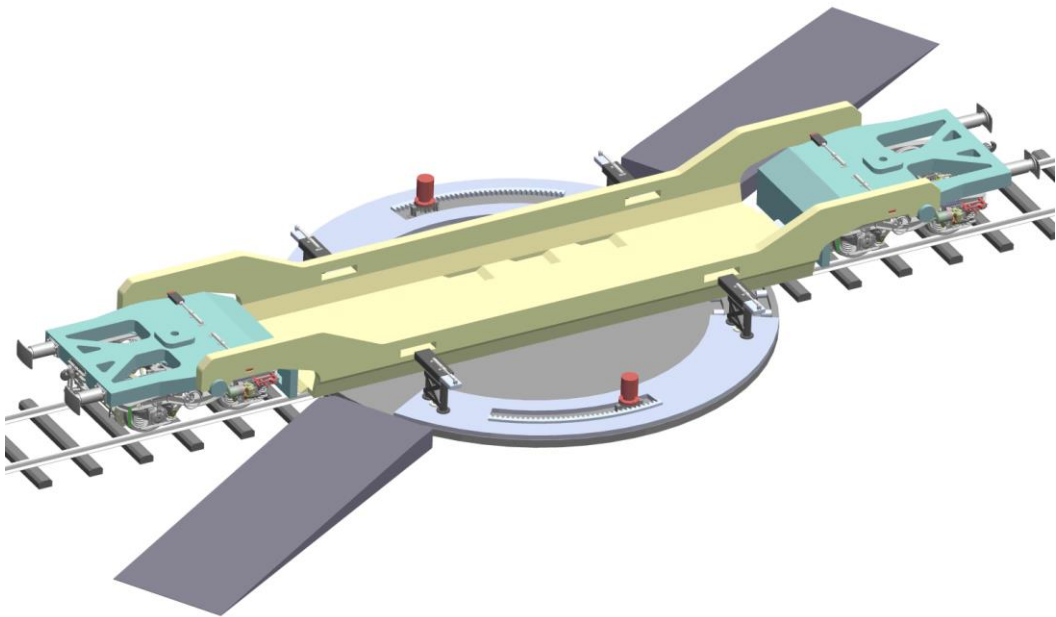
Zaprezentowana nowa oryginalna koncepcja systemu intermodalnego, do przewozu i przeładunku naczeł drogowych charakteryzuje się niską masą taboru (brak urządzeń przeładunkowych na wagonie, prosta konstrukcja z wytrzymałych nowoczesnych stali), uniwersalnością systemu i bezpieczeństwem ruchu (standardowe wózki Y25 o średnicy okręgu tocznego kół  $\varnothing 920$ ) załadunkiem poziomym (skrócony czas obsługi na terminalach). Prezentowany mechanizm przeładunkowy pozwala na zautomatyzowany proces przeładunku naczeł.

### 5.3. Proces przeładunku nowego systemu transportu intermodalnego

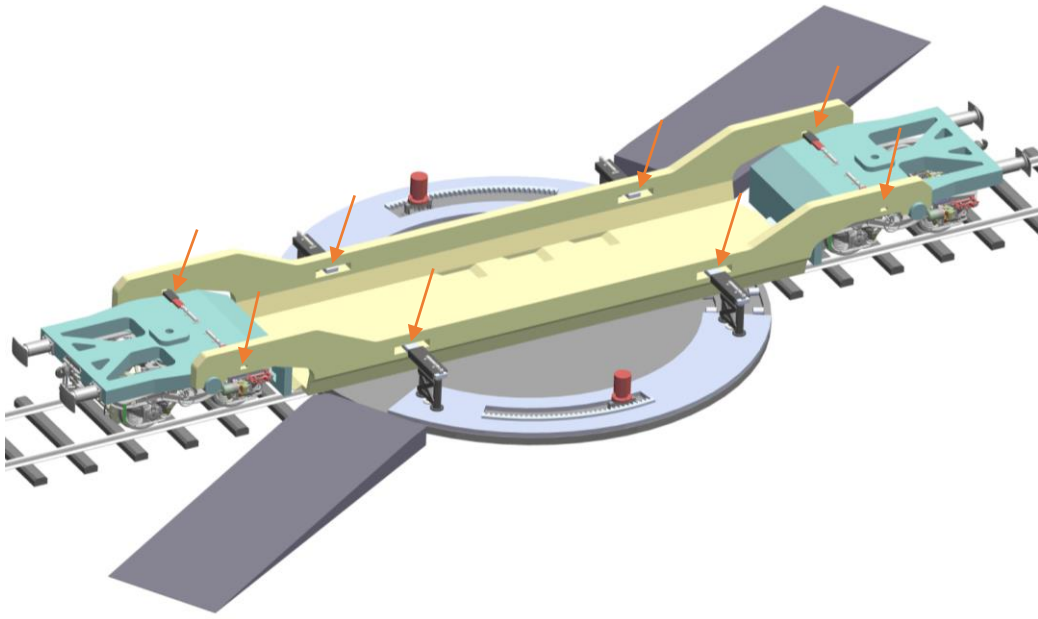
Do załadunku i wyładunku naczeł w zamodelowanym systemie transportu intermodalnego terminal przeładunkowy wyposażony jest w mechanizm obrotu oraz pomosty najazdowe. Proces załadunku składa się z ośmiu przedstawionych poniżej następujących po sobie etapów:

- ETAP I (rys. 5.10): ustawienie składu pociągu tak aby prostokątne otwory w ścianach bocznych platformy znajdowały się naprzeciw podnośników hydraulicznych,
- ETAP II (rys. 5.11): odryglowanie zabezpieczenia kosza na wagonie oraz wsunięcie prostokątnych klinów podnośników w otwory w ścianach bocznych,

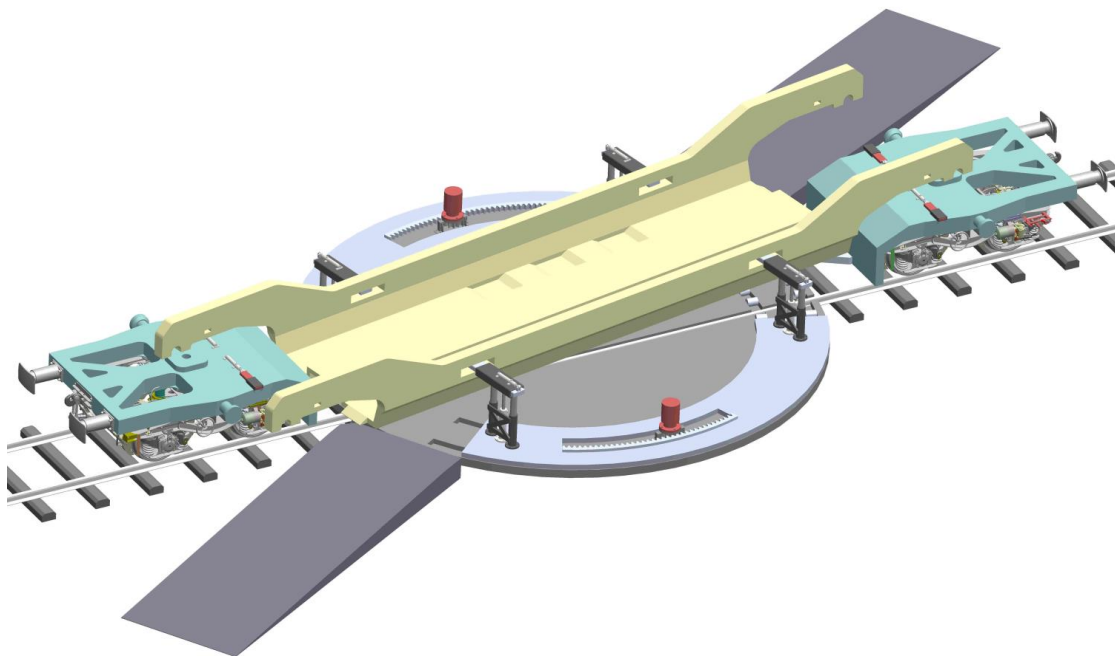
- ETAP III (rys. 5.12): uniesienie kosza na wymaganą wysokość 350 mm oraz jego obrót przy pomocy silników hydraulicznych,
- ETAP IV (rys. 5.13): oparcie odchylonej platformy na pomostach najazdowych,
- ETAP V (rys. 5.14): wprowadzenie naczepy do kosza za pomocą ciągnika siodłowego,
- ETAP VI (rys. 5.15): osadzenie kół naczepy w zagłębieniach platformy, wysunięcie nóg podporowych naczepy, wypięcie sworznia królewskiego i następnie zjazd ciągnika po klinie najazdowym,
- ETAP VII (rys. 5.16): uniesienie oraz obrót kosza z załadowaną naczepą do pokrycia osi wzdłużnej kosza z osią toru,
- ETAP VIII (rys. 5.17): opuszczenie kosza do pozycji oparcia ramion ścian bocznych kosza na walcowych czopach ramy nadwózkowej oraz równoczesnego oparcia przodu naczepy w miejscu sworznia królewskiego na siodle ramy nadwózkowej. Zaryglowanie połączonego wagonu oraz wycofanie prostokątnych klinów podnośników z otworów w ścianach bocznych kosza.



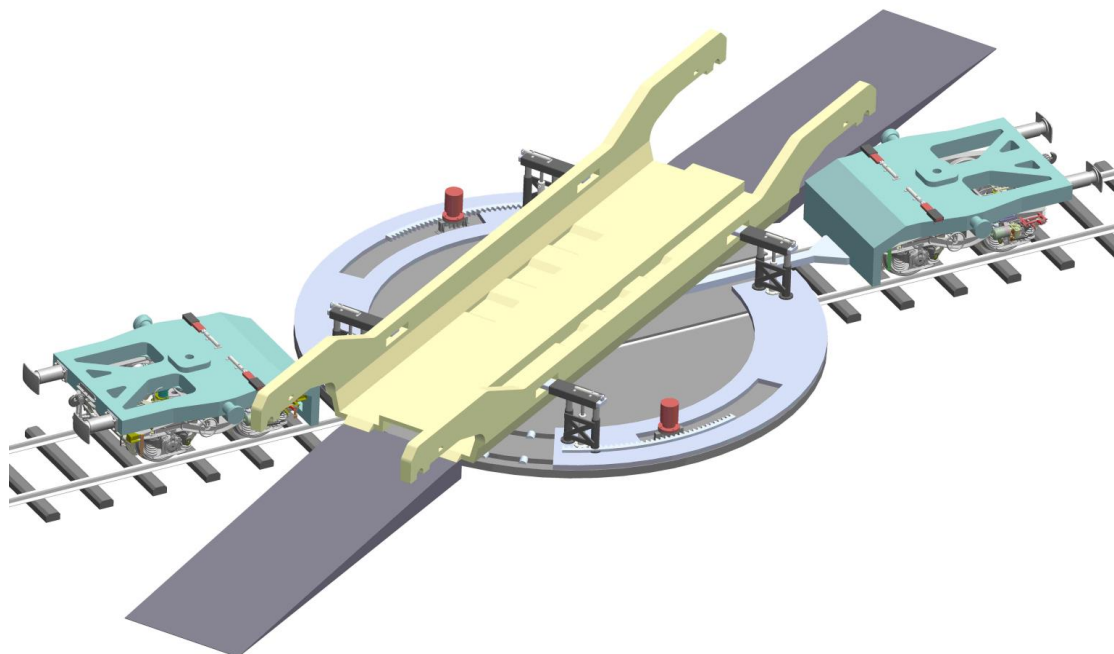
Rys. 5.10. Ustawienie składu pociągu, wagon na stanowisku przeładunkowym – Etap I



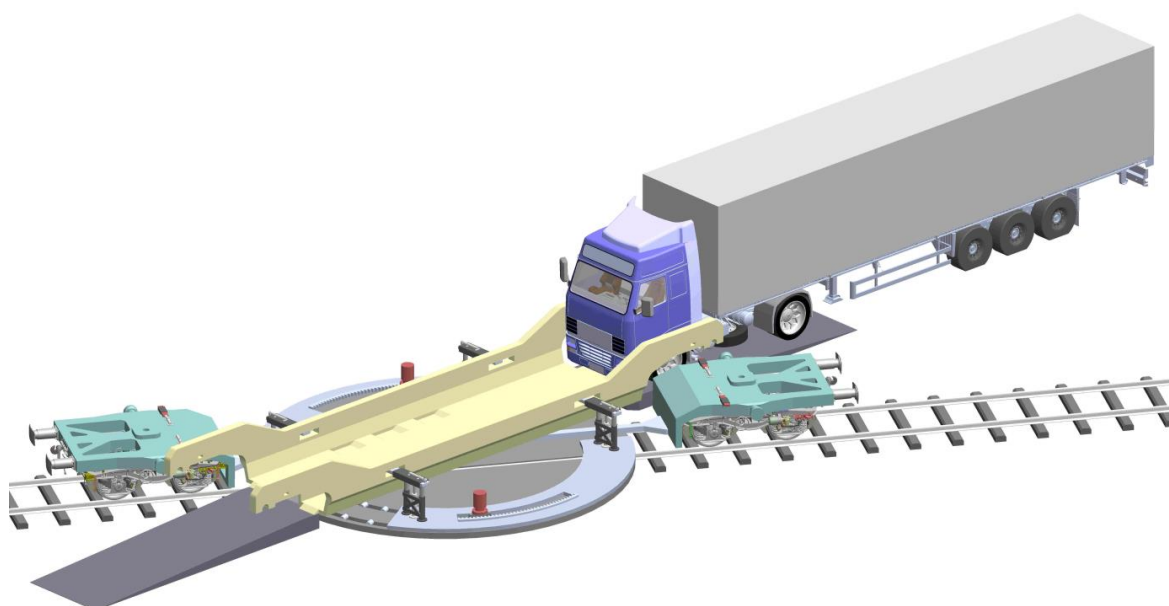
Rys. 5.11. Odryglowanie zabezpieczenia kosza na wagonie, wsunięcie prostokątnych klinów podnośników (strzałkami wskazano miejsca ryglowania i wprowadzania klinów podnośników) – Etap II



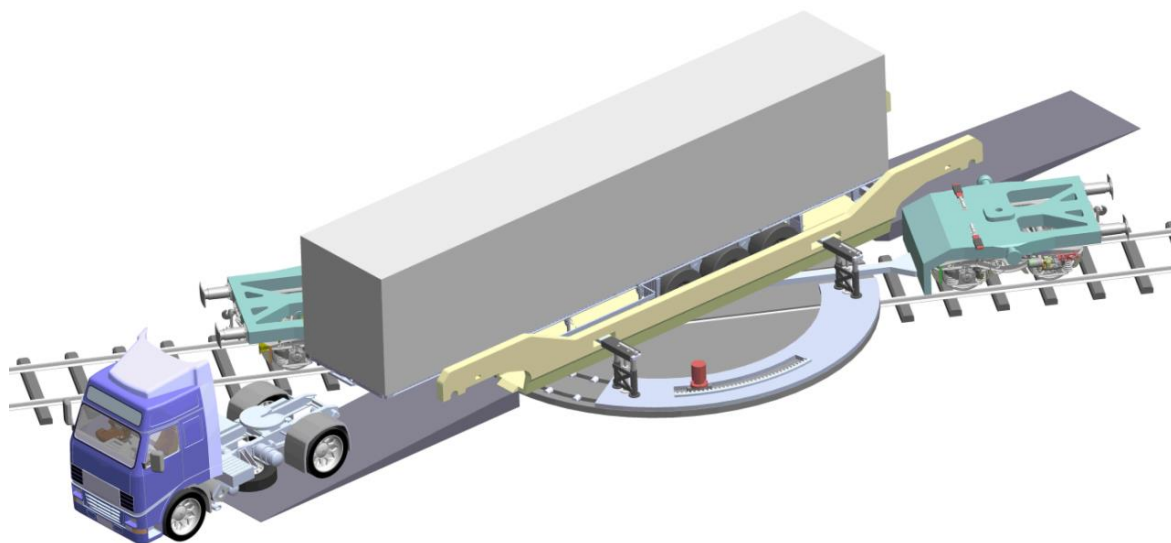
Rys. 5.12. Uniesienie kosza na wymaganą wysokość 350 mm oraz jego obrót – Etap III



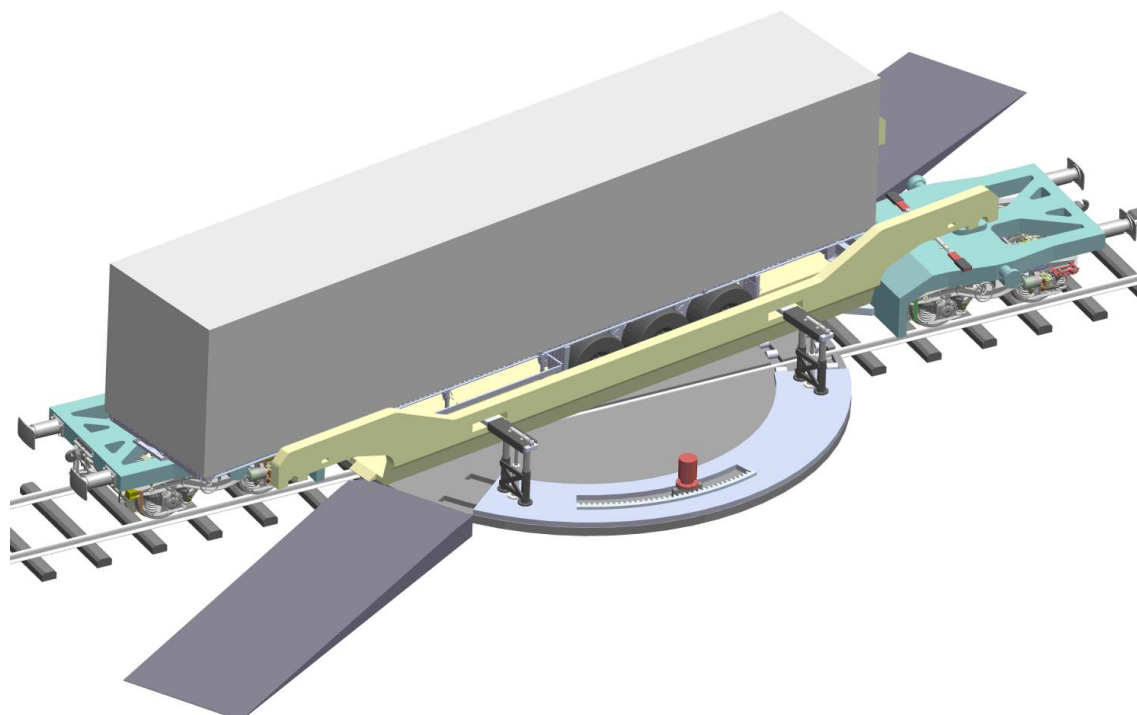
Rys. 5.13. Oparcie odchylonej platformy na pomostach najazdowych – Etap IV



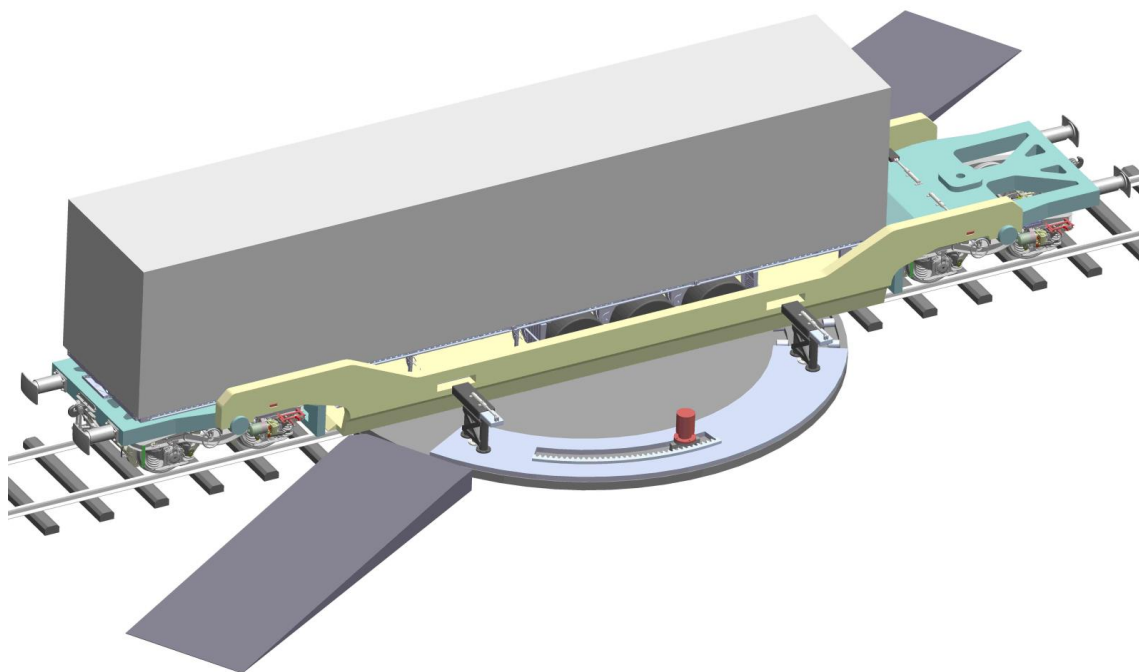
Rys. 5.14. Wprowadzenie naczepy do kosza za pomocą ciągnika siodłowego – Etap V



Rys. 5.15. Osadzenie kół naczepy w zagłębieniach platformy, wypięcie oraz zjazd ciągnika po klinie najazdowym – Etap VI



Rys. 5.16. Uniesienie oraz obrót kosza z naczepą do pokrycia osi wzdłużnej kosza z osią toru – Etap VII



Rys. 5.17. Osadzenie i zaryglowanie kosza w wagonie oraz wycofanie klinów podnośników –  
Etap VIII

Przebieg wyładunku naczepy pojazdu samochodowego odbywa się w odwrotnej kolejności przedstawionych powyżej, następujących po sobie kolejno etapów załadunku. Równocześnie podczas cyklu wyładunku może odbywać się załadunek, co jest znaczącym elementem wpływającym na skrócenie czasu i rozładunku naczepy samochodowej.

Proces przeładunku odbywa się całkowicie w sposób zautomatyzowany. Do obsługi wymagany jest jedynie kierowca ciągnika siodłowego oraz odpowiednio przeszkolona osoba obsługująca mechanizm podnoszenia i obrotu za pomocą zdalnego pulpitu sterowniczego. Na mniejszych terminalach przeładunkowych proces przeładunku może być przeprowadzony w całości przez jedną osobę. Pulpit sterowniczy może znajdować się przy każdym stanowisku lub/i jeden pulpit obsługujący zbiorczo wszystkie lub wybrane stanowiska. System w zależności od odpowiedniego wyposażenia terminala pozwala na równoczesny załadunek wszystkich wagonów wchodzących w skład pociągu. Możliwa jest również budowa terminala z mniejszą liczbą stanowisk przeładunkowych, wówczas przeładunek całego składu odbywa się z dodatkowym przetaczaniem wagonów.

Wyposażenie terminala daje możliwość przeładunku poziomego bez używania dodatkowych niestacjonarnych urządzeń przeładunkowych. Jednak istnieje również

możliwość konstrukcyjnego dostosowania ramy wagonu do przeładunku pionowego za pomocą wozu widłowego bądź suwnicy, tak aby proponowane wagony mogły być stosowane również na terminalach niewyposażonych w zaprojektowaną technologię przeładunku poziomego. Wagon jest prostą i typową konstrukcją nie posiadającą urządzeń przeładunkowych. Korzystniej jest gdy infrastruktura przeładunku poziomego (system załadunku i rozładunku) jest integralną częścią terminala a nie wagonu. Wagon z dodatkowymi urządzeniami jest droższy i posiada większą masę własną. Ponadto przewożenie urządzeń przeładunkowych sprawia, że podczas transportu nie są one używane (stanowią w tym czasie zamrożony kapitał), natomiast urządzenia przebywające na terminalu mogą być używane dla wielu składów pociągów.

Infrastruktura przeładunku poziomego znajdująca się na terminalu sprawdza się dla pociągów wahadłowych. Przykładem jest francuski system Modalohr, którego dwa terminale przeładunku poziomego naczepek drogowych znajdują się na terenie Francji oraz jeden w Luxemburgu i we Włoszech. Wagony z urządzeniami hydraulicznymi sprawdzają się natomiast jako pojedyncze jednostki doczepiane do pozostałych wagonów towarowych czy nawet pasażerskich, Przykładem jest system Flexiwaggon, który obecnie w taki sposób wykorzystywany jest w Szwecji do przewozu całych zestawów drogowych (ciągnik siodłowy z naczepą drogową) a także autobusów.

W związku z automatyzacją procesu formowania składu pociągu prezentowany model systemu umożliwia szybki przeładunek. Prezentowana technologia jest w stanie konkurować z rozwiązaniami niemieckimi i francuskimi jak CargoBeamer czy Modalohr. Przy czym proponowane polskie rozwiązanie charakteryzuje się prostszą konstrukcją, w związku z czym powinno być tańsze w budowie wagonu i infrastruktury przeładunkowej. Pozytywną cechą systemu jest możliwość łatwego demontażu zakotwiczonego stanowiska przeładunkowego i przeniesienie go w inne miejsce na tym samym lub innym terminalu przeładunkowym. Zaletą systemu jest również możliwość przeładunku pod siecią trakcyjną. Nie ma potrzeby odsuwania sieci lub zamiany lokomotywy z elektrycznej na spalinową. W efekcie skraca się liczba operacji stosowanych w przeładunku, co oznacza również dodatkowy zysk czasu. Wprowadzenie opracowanej technologii z pewnością pomogłoby przenieść znaczną część naczep drogowych z dróg kołowych na kolej, również na krótkich odcinkach przewozu dzięki sprawnemu i szybkiemu przeładunkowi.

Podsumowując, prezentowany autorski system charakteryzuje się następującymi cechami:



- prosta konstrukcja (niedroga w wytworzeniu i eksploatacji, brak skomplikowanych mechanizmów na wagonie),
- lekka konstrukcja wagonu (brak urządzeń przeładunkowych na wagonie),
- uniwersalność (zastosowanie standardowych wózków towarowych Y25),
- wysoki poziom bezpieczeństwa (standardowe koła kolejowe o średnicy okręgu tocznego  $\varnothing 920$ , nie ma potrzeby zmniejszenia średnicy kół jak w przypadku niektórych technologii intermodalnych),
- zautomatyzowany przeładunek (możliwość ograniczenia obsługi przeładunku do jednej osoby, skrócony czas obsługi),
- możliwość budowy różnych wariantów terminali (w zależności od liczby przeładunków i czasu przeładunku, można zastosować różną liczbę stanowisk przeładunkowych),
- możliwość zastosowania zarówno przeładunku poziomego jak i pionowego,
- skrajnia kolejowa UIC 505-1, UIC GB1 (spełnienie skrajni dzięki nisko zawieszony podłodze wagonu na wysokości około 225 mm oraz dzięki zastosowaniu mniejszej grubości przekrojów konstrukcji na wskutek zastosowaniu nowoczesnych, wytrzymałych stali,
- umożliwia przewóz standardowych naczep drogowych (nie ma potrzeby modyfikacji konstrukcji naczepy celem zwiększenia wytrzymałości czy uniknięcia kolizji naczepy na wagonie, nie ma ograniczania pojemności ładunkowej),
- prosta konstrukcja infrastruktury przeładunkowej (zastosowanie podnośników hydraulicznych, możliwość przenoszenia mechanizmu przeładunkowego w inne miejsce),
- możliwość przeładunku pod siecią trakcyjną (na czas przeładunku nie ma potrzeby odsuwania sieci trakcyjnej czy dodatkowych operacji zamiany lokomotywy elektrycznej na manewrową lokomotywę spalinową).

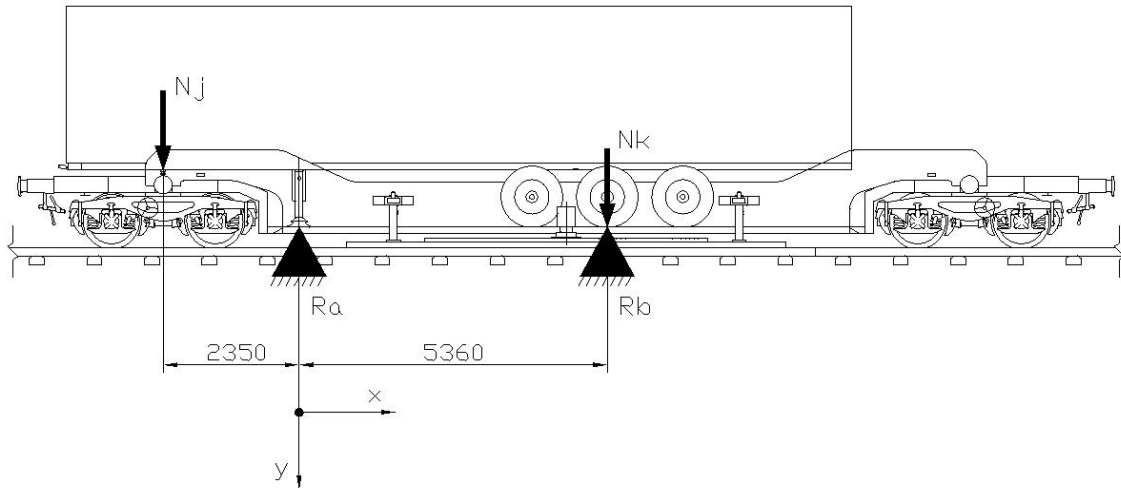
## **6. WYBRANE ASPEKTY KONSTRUKCJI PODSYSTEMU – STANOWISKO PRZEŁADUNKOWE**

### **6.1. Rozkład sił reakcji w podporach podnośników**

Do obliczeń projektowanego układu w celu doboru granicznych parametrów roboczych urządzeń przyjęto najbardziej wymagające (skrajne) warunki, związane z przeładunkiem platformy z maksymalnie obciążoną naczepą drogową. Wymiary oraz dopuszczalne masy pojazdów drogowych przeznaczonych do transportu towarów reguluje dyrektywa rady 96/53/EU z dnia 25 lipca 1996 roku. Dyrektywa w większości krajów europejskich określa maksymalną długość zestawu drogowego (ciągnik siodłowy z naczepą) do 16,5 m oraz dopuszczalny ciężar całkowity do 400 kN. Ciężar własny ciągnika siodłowego dwuosiowego wynosi około 70 kN. Producenci naczep siodłowych w Europie: Krone, Wielton, Schmitz Cargobull, Schwarzmüller oraz Kögel produkują naczepy standardowe 3-osiowe, których dopuszczalny ciężar całkowity wynosi w zakresie 280–350 kN.

Do obliczeń przyjęto zatem, że całkowity ciężar załadowanej naczepy wynosi 350 kN i rozkłada się w proporcjach 110 kN przypadających w miejscu sworznia królewskiego oraz 80 kN na każdą z osi naczepy siodłowej. Podczas procesu unoszenia platformy z naczepą za pomocą podnośników hydraulicznych, ciężar naczepy przypadający w miejscu sworznia królewskiego przejmowany jest przez podpory naczepy, opierające się w momencie podnoszenia na podłodze platformy.

Wobec tego w pierwszym etapie znając powyższe dane można obliczyć z równań sił i momentów reakcje w miejscach oparcia naczepy na platformie podczas procesu przeładunku. Rysunek 6.1 przedstawia rozkład obciążeń załadowanego wagonu naczepą (przypadające w miejscach oparcia sworznia królewskiego na siodle wagonu oraz oparcia kół naczepy na podłodze platformy) oraz reakcje w miejscach oparcia naczepy podczas unoszenia platformy w procesie przeładunku (przypadające w miejscach oparcia naczepy na nogach podporowych oraz oparcia kół naczepy na podłodze platformy).



Rys. 6.1. Rozkład obciążeń od naczepy załadowanego wagonu oraz reakcje w miejscach oparcia naczepy na platformie (koszu) podczas procesu przeładunku

Suma wszystkich sił i momentów działających na obiekt w stanie spoczynku (statycznym) musi się równoważyć. Z równań sił i momentów wyznaczono reakcje w miejscach oparcia naczepy na platformie podczas procesu przeładunku wg następującej zależności:

$$\sum F_y = 0 \quad (6.1)$$

$$\sum F_y = N_j + N_k - R_a - R_b \quad (6.2)$$

$$\sum M_a = 0 \quad (6.3)$$

$$\sum M_a = N_j \times 2350 \text{ mm} + R_b \times 5360 \text{ mm} - N_k \times 5360 \text{ mm} \quad (6.4)$$

gdzie:  $\sum F_y$  – suma rzutów sił w kierunku osi y,

$\sum M_a$  – suma momentów względem początku układu współrzędnych,

$N_j$  – ciężar przypadający w miejscu sworznia królewskiego,

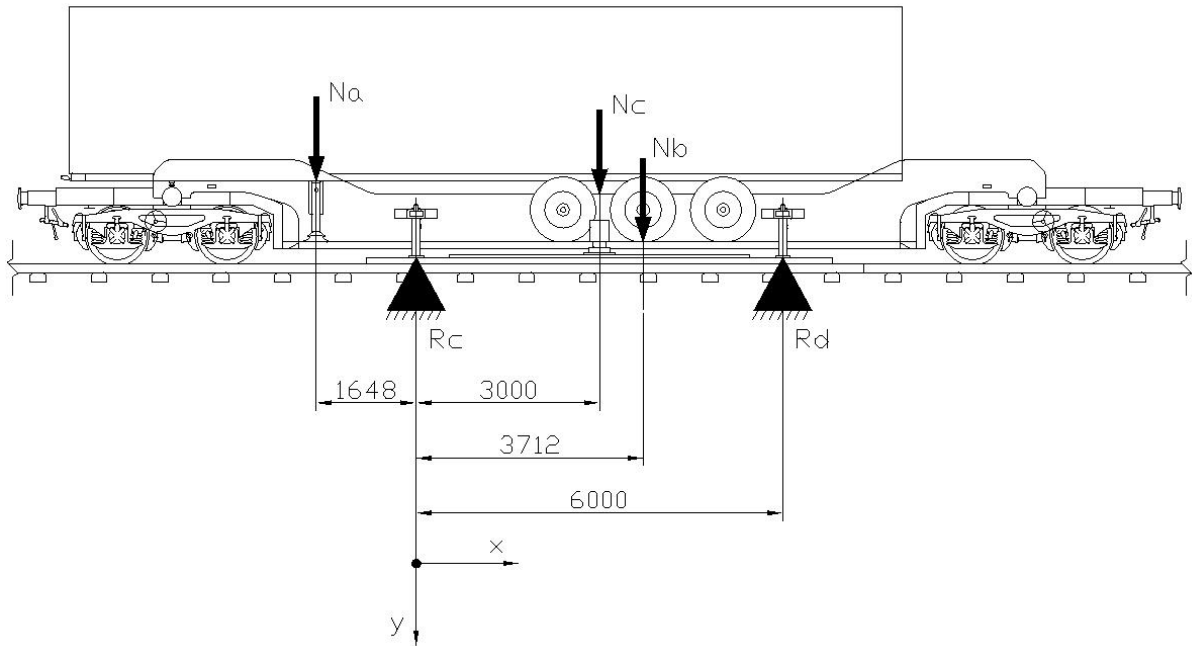
$N_k$  – wypadkowy ciężar przypadający na osie naczepy w momencie oparcia naczepy na siodle wagonu,

$R_a$  – reakcja w miejscu oparcia podpór naczepy na platformie,

$R_b$  – reakcja w miejscu wypadkowej sumarycznego nacisku kół naczepy.

Dla przyjętego stanu obciążeń  $N_j = 110 \text{ kN}$ ,  $N_k = 240 \text{ kN}$  (rys. 6.1) oraz analizowanego przypadku, wyznaczone wartości sił są następujące:  $R_a = 158 \text{ kN}$ ,  $R_b = 192 \text{ kN}$ .

W kolejnym etapie obliczeń posiadając obliczone naciski (reakcje) w miejscach oparcia naczepy na platformie podczas etapu załadunku, wyznaczono z równań sił i momentów reakcje w miejscach oparcia podnośników hydraulicznych, unoszących platformę o ciężarze 70 kN wraz z w pełni obciążoną naczepą. Rysunek 6.2 przedstawia rozkład obciążeń naczepy przypadających na platformę, ciężar samej platformy oraz reakcje w miejscach podparcia siłowników hydraulicznych.



Rys. 6.2. Rozkład obciążeń naczepy przypadających na platformę, ciężar platformy oraz reakcje w miejscach oparcia podnośników hydraulicznych podczas procesu przeładunku

Z równań sił i momentów wyznaczono reakcje w miejscach oparcia podnośników hydraulicznych podczas procesu przeładunku:

$$\sum F_y = 0 \quad (6.5)$$

$$\sum F_y = N_a + N_c + N_b - R_c - R_d \quad (6.6)$$

$$\sum M_c = 0 \quad (6.7)$$

$$\sum M_c = N_a \times 1648 \text{ mm} - N_c \times 3000 \text{ mm} - N_b \times 3712 \text{ mm} + R_d \times 6000 \text{ mm} \quad (6.8)$$

gdzie:  $\sum F_y$  – suma rzutów sił w kierunku osi y,

$\sum M_c$  – suma momentów względem początku układu współrzędnych,

$R_a = N_a$  – ciężar przypadający w miejscu oparcia podpór naczepy na platformie,

- $R_b = N_b$  – wypadkowy ciężar przypadający na osie naczepy w momencie oparcia naczepy na podporach,  
 $N_c$  – ciężar platformy kolejowej,  
 $R_c$  – reakcje w miejscach podparcia podnośników hydraulicznych podnoszących lewą stronę platformy,  
 $R_d$  – reakcje w miejscach podparcia podnośników hydraulicznych podnoszących prawą stronę platformy.

Dla przyjętego stanu obciążeń  $N_a = 158 \text{ kN}$ ,  $N_b = 192 \text{ kN}$ ,  $N_c = 70 \text{ kN}$  (rys. 6.2) oraz analizowanego przypadku wyznaczone wartości sił są następujące:  $R_c = 310 \text{ kN}$ ,  $R_d = 110 \text{ kN}$ .

Urządzenie przeładunkowe wyposażone jest w cztery podnośniki (dwa na stronę). Dla jednego podnośnika w danej podporze reakcje wynoszą:

$$R_{c1} = \frac{R_c}{2} \quad (6.9)$$

$$R_{d1} = \frac{R_d}{2} \quad (6.10)$$

gdzie:  $R_{c1}$  – ciężar przypadający na jeden siłownik hydrauliczny podnoszący lewą stronę platformy,  
 $R_{d1}$  – ciężar przypadający na jeden siłownik hydrauliczny podnoszący prawą stronę platformy,

Dla analizowanego przypadku wyznaczone wartości sił są następujące:  $R_{c1} = 155 \text{ kN}$ ,  $R_{d1} = 55 \text{ kN}$ .

Na podstawie analizy wyników obliczeń stwierdzono, że podczas unoszenia platformy z naczepą maksymalnie obciążoną (maksymalne warunki), dla podnośników z lewej strony występują większe siły podnoszenia (155 kN obciążenia przypada na jeden podnośnik) niż dla podnośników z prawej strony (55 kN obciążenia przypada na jeden podnośnik). Wynika to z nierównomiernego rozłożenia ciężaru naczepy na platformie podczas etapu przeładunku. Wyznaczone reakcje są niezbędne do przeprowadzonych obliczeń w rozdziale 6.2.

## 6.2. Dobór urządzeń hydraulicznych i przekładni zębatej

W związku z stosunkowo dużymi obciążeniami występującymi podczas procesu przeładunku zaprojektowano układ hydrauliczny (hydrostatyczny), wykorzystujący energię ciśnienia cieczy roboczej celem podnoszenia i obrotu platformy. Zasadnicze zalety układów hydraulicznych to [108]:

- możliwość uzyskania bardzo dużych sił, w prosty sposób przy małych wymiarach urządzeń, co zarazem jest nieosiągalne przy innych rodzajach napędu,
- spokojny i płynny ruch prostoliniowy i obrotowy, wolny od drgań,
- możliwość uzyskiwania bezstopniowej zmiany prędkości ruchu nawet w czasie wykonywanej pracy,
- łatwość i prostota zabezpieczenia przed przeciążeniem, co poprawia warunki bezpieczeństwa pracy i zmniejsza awaryjność,
- zmniejszenie siły bezwładności przy hamowaniu i rozruchu,
- możliwość użycia małych sił do sterowania nawet ciężkich maszyn,
- łatwość obsługi urządzeń sterowniczych z dowolnego stanowiska,
- samoczynne smarowanie wewnętrznych części ruchomych maszyny,
- długotrwałość pracy elementów napędowych i sterowniczych,
- budowanie układów z typowych powtarzalnych elementów, co upraszcza konstrukcję i sprawia, że jest tańsza,
- ekonomiczna eksploatacja, gdyż przy zachowaniu wymaganych warunków technologicznych zwiększa się trwałość napędu nawet do kilkudziesięciu lat (wymaga wymiany tylko wkładów filtrów i oleju).

W pierwszym etapie przyjęto siłownik hydrauliczny podnośnika o następujących parametrach: średnica tłoka 80 mm, średnica tłoczyska 45 mm oraz wymagany skok tłoczyska 350 mm. Długość skoku tłoczyska dobrano odpowiednio ze względu na podniesienie platformy na wymaganą wysokość podczas etapu przeładunku, tak aby po uniesieniu odbył się bezpieczny obrót platformy (bezkolizyjnie w stosunku do pozostałych elementów wagonu, znajdujących się w górnej części ram nadwózkowych i w dolnej części belki podłużnej wagonu spinającej ramy nadwózkowe).

Po wstępnym przyjęciu podstawowych parametrów siłownika wyznaczono z poniższych zależności przekrój powierzchni od strony tłoka siłownika oraz przekrój powierzchni od strony tłoczyska siłownika:

$$A_1 = \frac{\Pi D^2}{4} \quad (6.11)$$

$$A_2 = \frac{\Pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (6.12)$$

gdzie:  $A_1$  – przekrój powierzchni od strony tłoka siłownika,  
 $A_2$  – przekrój powierzchni od strony tłoczyska siłownika,  
 $D$  – średnica tłoka,  
 $d$  – średnica tłoczyska.

Dla przyjętych wartości średnicy tłoka  $D = 80$  mm oraz średnicy tłoczyska  $d = 45$  mm, wyznaczone wartości przekrojów powierzchni są następujące:  $A_1 = 5024$  mm<sup>2</sup>,  $A_2 = 3434$  mm<sup>2</sup>.

W kolejnym etapie wyznaczono ciśnienia robocze w siłownikach znajdujących się po lewej stronie układu przeładunkowego oraz w siłownikach znajdujących się po prawej stronie układu przeładunkowego. Ze względu na duże obciążenia podczas podnoszenia platformy z naczepą do obliczeń przyjęto powierzchnię przekroju tłoka.

$$p_1 = \frac{R_{c1}}{A_1} \quad (6.13)$$

$$p_2 = \frac{R_{d1}}{A_1} \quad (6.14)$$

gdzie:  $p_1$  – ciśnienie robocze dla jednego siłownika znajdującego się po lewej stronie mechanizmu przeładunkowego, dla podnoszenia platformy z maksymalnie obciążoną naczepą,  
 $p_2$  – ciśnienie robocze dla jednego siłownika znajdującego się po prawej stronie mechanizmu przeładunkowego, dla podnoszenia platformy z maksymalnie obciążoną naczepą.

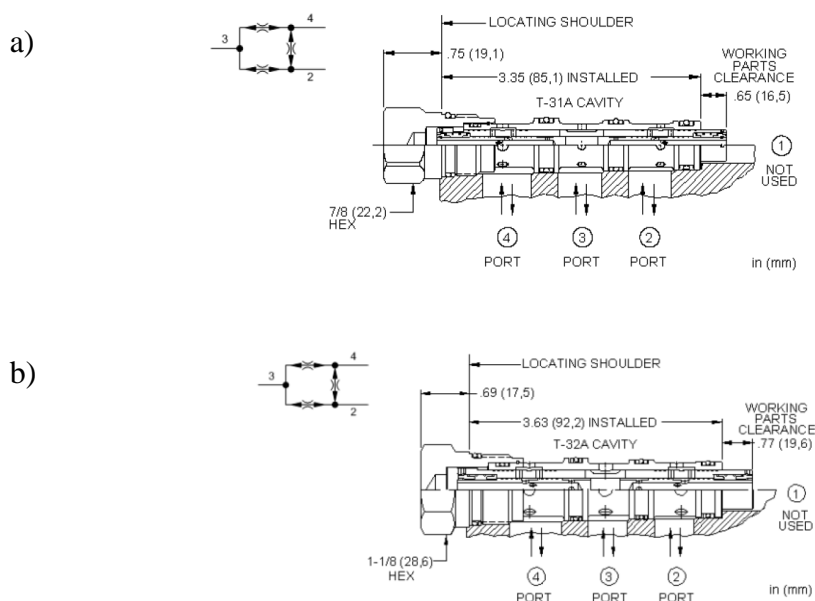
Dla przyjętych wartości sił  $R_{c1} = 155$  kN,  $R_{d1} = 55$  kN, wyznaczone wartości ciśnień roboczych są następujące:  $p_1 = 30,9$  MPa,  $p_2 = 10,9$  MPa.

Max ciśnienie robocze przy podnoszeniu platformy z maksymalnie obciążoną naczepą występuje w siłowniku po lewej stronie (równanie 6.13):

$$p_1 = p_{\max} = 30,9 \text{ MPa} \quad (6.15)$$

gdzie:  $p_{\max}$  – maksymalne ciśnienie robocze siłownika.

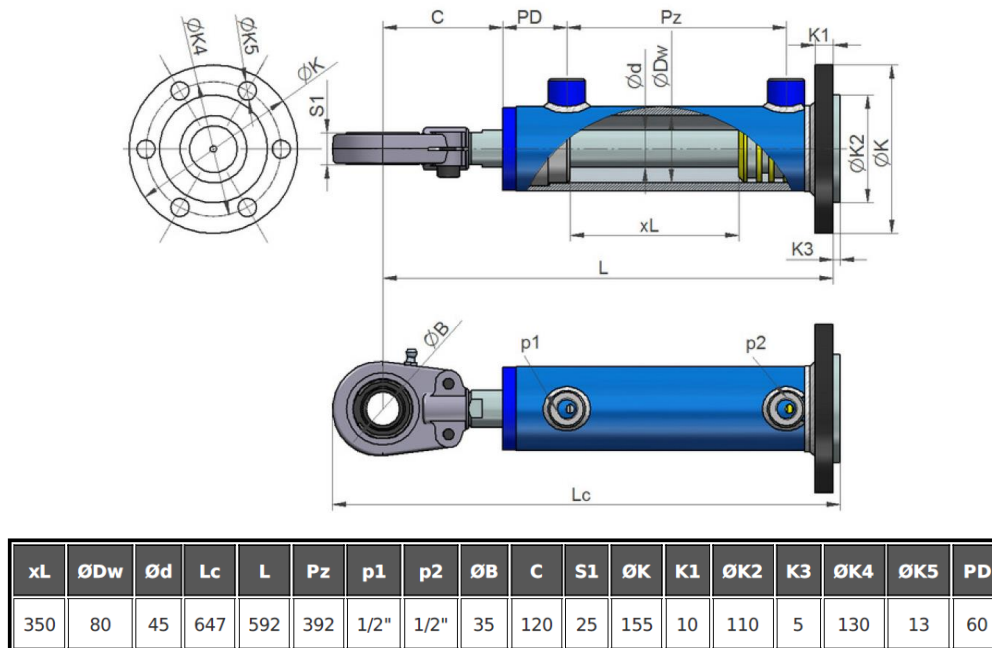
Aby cztery cylindry podnosiły platformę z naczepą lub samą platformę z równą prędkością zastosowano zawory wyrównujące, zwane synchronizatorami prędkości. Wybrano dwa zawory typu FSBS-XAN (rys. 6.3a) o przepływie od 2,5 do 12 l/min i ciśnieniu max 350 bar oraz jeden zawór typu FSDS-XAN (rys. 6.3b) o przepływie od 12 do 60 l/min i ciśnieniu max 350 bar. Zawory te charakteryzują się w miarę równą pracą w przedziale od 7–35 MPa (max nierówność pracy przy 35 MPa wynosi  $\pm 2,5\%$  wydajności).



Rys. 6.3. Schemat synchronizatorów prędkości, a) zawór FSBS-XAN, b) zawór FSDS-XAN [89]

Dobrano cztery siłowniki podnoszące platformę typu WHC 0521-80x45x350-B o wymiarach przedstawionych na rysunku 6.4. Wykonanie siłownika należy traktować jako specjalne zamówienie, na warunkach uzgodnionych z producentem.





Rys. 6.4. Widok siłownika WHC 0521-80x45x350-B, dla podnośników platformy z podanymi parametrami [94]

Objętość skokową podczas podnoszenia i opuszczania ramienia tłoczyska siłownika wyznaczono z zależności:

$$V_1 = \frac{\Pi D^2}{4} H \quad (6.16)$$

$$V_2 = \frac{\Pi(D^2 - d^2)}{4} H \quad (6.17)$$

gdzie:  $V_1$  – objętość skokowa podczas podnoszenia ramienia tłoczyska,  
 $V_2$  – objętość skokowa podczas opuszczania ramienia tłoczyska,  
 $H$  – skok tłoczyska siłownika podnoszenia.

Dla przyjętych wartości średnicy tłoka  $D = 80$  mm, średnicy tłoczyska  $d = 45$  mm oraz skoku tłoczyska  $H = 350$  mm, wyznaczone wartości objętości skokowej są następujące:  $V_1 = 1,76 \text{ dm}^3$ ,  $V_2 = 1,20 \text{ dm}^3$ .

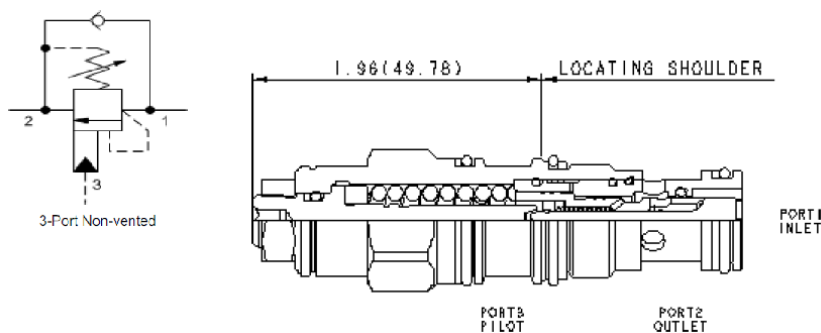
Ze względów bezpieczeństwa przesuwu pełnych naczip przyjęto prędkość podnoszenia nie większą niż 0,015 m/s. Stąd czas podnoszenia platformy wagonu wyznaczono z zależności:

$$t_p = \frac{H}{v_p} \quad (6.18)$$

gdzie:  $t_p$  – czas podnoszenia platformy wagonu,  
 $v_p$  – prędkość przesuwu tłoczyska siłownika podnoszenia.

Dla przyjętych wartości skoku tłoczyska  $H = 350$  mm oraz prędkości przesuwu tłoczyska  $v_p = 0,015$  m/s, wyznaczona wartość czasu podnoszenia platformy wagonu wynosi  $t_p = 23$  s.

Dodatkowo każdy z siłowników powinien mieć zabudowane po dwa zawory hamulcowe typu CBCG-LJN (rys. 6.5) do wyhamowania końcowych faz ruchu tłoczyska.



Rys. 6.5. Schemat zaworu hamulcowego CBCG-LJN [90]

Ciśnienie wytworzone w górnej komorze cylindra podczas opuszczania ciężaru może zachowywać się jak podciśnienie, bowiem siła ciężenia opuszczanej masy będzie zgodna z kierunkiem podawanego oleju. Ciśnienie wytworzone w górnej komorze podczas opuszczania platformy z maksymalnie obciążoną naczepą można wyznaczyć z zależności:

$$p_o = \frac{R_{c1}}{A_2} \quad (6.19)$$

gdzie:  $p_o$  – ciśnienie wytworzone w górnej komorze podczas opuszczania platformy z maksymalnie obciążoną naczepą.

Dla przyjętych wartości siły  $R_{c1} = 155$  kN oraz przekroju powierzchni siłownika od strony tłoczyska  $A_2 = 3434$  mm<sup>2</sup>, wyznaczona wartość ciśnienia wytworzonego w górnej komorze podczas procesu opuszczania platformy z maksymalnie obciążoną naczepą wynosi  $p_o = 45,1$  Mpa.

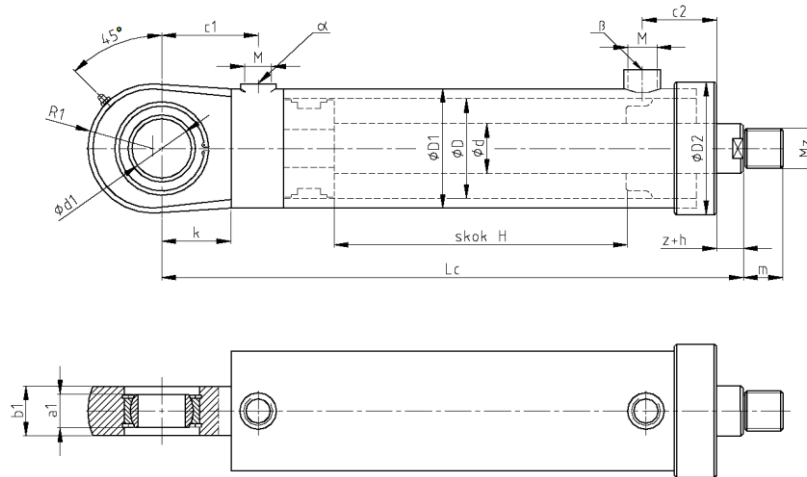
Podczas procesu opuszczania wystąpi tak duże podciśnienie, że układ może zachowywać się niestabilnie zwłaszcza, że w dolnej komorze ciśnienie będzie bliskie zeru (pomijając opory przepływu). Wytworzy się wówczas podciśnienie w górnej komorze, wymuszone naciskającym ciężarem, co spowoduje nie w pełni kontrolowane przemieszczanie w dół. Znacznie korzystniejszym byłoby kontrolowanie fazy opuszczania przy pomocy zaworu dławiącego regulowanego (z możliwością wyregulowania podciśnienia na powrocie). W pracy zaproponowano zawór MK10G13 [107].

$$p_{z\min} \geq p_0 - p_{dop} \quad (6.20)$$

gdzie:  $p_{z\min}$  – minimalne wymagane ciśnienie ustawione na zaworze dławiącym,  
 $p_{dop}$  – dopuszczalne maksymalne ciśnienie pracy siłownika.

Dla przyjętych wartości ciśnienia wytworzonego w górnej komorze siłownika  $p_0 = 45,1 \text{ Mpa}$  oraz dopuszczalnego maksymalnego ciśnienia roboczego siłownika  $p_{dop} = 35 \text{ Mpa}$  wyznaczona wartość minimalnego wymaganego ciśnienia ustawionego na zaworze dławiącym wynosi  $p_{z\min} \geq 10,1 \text{ Mpa}$ .

Następnie dobrano cztery siłowniki standardowe pracujące w poziomie, przesuwające kliny zaczepowe podnośnika, wsuwające się w otwory w platformie wagonu. Dobrano siłownik tłokowy WHC 2-40x25x300/495x0-0/0-B dwustronnego działania z mocowaniem za pomocą ucha z łożyskiem przegubowym. Wymiary oraz widok siłownika przedstawiono na rysunku 6.6.



D	d	D1	D2	d1 H8	L	Mz	M	R1	a1	b1	c1	c2	k	m	z
40	$\frac{20}{25}$	50	57	20	195	M16x1,5	M12x1,5	25,5	16	20	38	60	22	18	29

Rys. 6.6. Siłownik WHC 2-40x25x300/495x0-0-0-B, klinów zaczepowych podnośnika z odpowiadającymi parametrami [107]

Następnie wyznaczono z poniższych zależności przekrój powierzchni od strony tłoka siłownika oraz przekrój powierzchni od strony tłoczyska siłownika:

$$A_1 = \frac{\Pi D^2}{4} \quad (6.21)$$

$$A_2 = \frac{\Pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (6.22)$$

gdzie:  $A_1$  – przekrój powierzchni od strony tłoka siłownika,  
 $A_2$  – przekrój powierzchni od strony tłoczyska siłownika,  
 $D$  – średnica tłoka,  
 $d$  – średnica tłoczyska.

Dla przyjętych wartości średnicy tłoka  $D = 40$  mm oraz średnicy tłoczyska  $d = 25$  mm, wyznaczone wartości przekrojów powierzchni są następujące:  $A_1 = 1256$  mm<sup>2</sup>,  $A_2 = 765$  mm<sup>2</sup>.

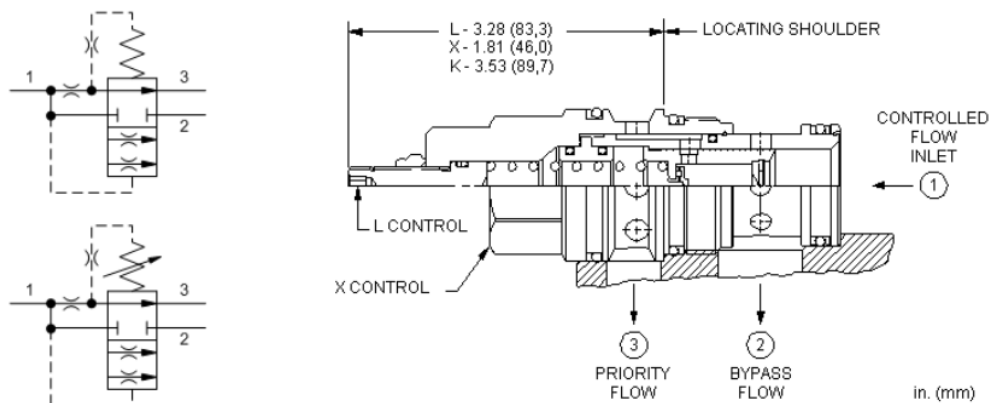
Czas pełnego wysuwu klina podnośnika wyznaczono z zależności:

$$t_w = \frac{H}{v_p} \quad (6.23)$$

gdzie:  $t_w$  – czas pełnego wysuwu klina podnośnika,  
 $v_p$  – prędkość przesuwu tłoczyska siłownika poziomego,  
 $H$  – skok tłoczyska siłownika przesuwu klina zaczepowego.

Dla przyjętych wartości skoku tłoczyska  $H = 300$  mm oraz prędkości przesuwu tłoczyska  $v_p = 0,03$  m/s, wyznaczona wartość czasu pełnego wysuwu klina podnośnika wynosi  $t_w = 10$  s.

Następnie przystąpiono do obliczeń w celu doboru pompy hydraulicznej napędu siłowników. Obliczenia i dobór pompy przeprowadzono uwzględniając największe zapotrzebowanie oleju w układzie hydraulicznym a więc dla czterech największych siłowników. Mniejsze siłowniki (do przesuwu klinów zaczepowych), pracujące w cyklu niezależnym (zasilane z tej samej pompy) będą miały zredukowaną wydajność zasilania zaworem priorytetowym FREA (rys. 6.7).



Rys. 6.7. Schemat zaworu priorytetowego FREA [91]

Z poniższych zależności wyznaczono chłonność oleju przez siłowniki pionowe podczas procesu podnoszenia i opuszczania platformy wagonu:

$$Q_{cp} = \frac{V_1}{t_p} \quad (6.24)$$

$$Q_{co} = \frac{V_2}{t_p} \quad (6.25)$$

gdzie:  $Q_{cp}$  – chłonność oleju przez siłowniki pionowe podczas procesu podnoszenia,  
 $Q_{co}$  – chłonność oleju przez siłowniki pionowe podczas procesu opuszczania.

Dla przyjętych wartości objętości skokowej tłoczyska  $V_1 = 1,76 \text{ dm}^3$ ,  $V_2 = 1,20 \text{ dm}^3$  oraz czasu podnoszenia platformy wagonu  $t_p = 23 \text{ s}$ , wyznaczone wartości chłonności oleju przez siłowniki pionowe są następujące:  $Q_{cp} = 4,4 \text{ l/min}$ ,  $Q_{co} = 3,0 \text{ l/min}$ .

Wydajność pompy hydraulicznej przyjęto jako sumaryczną chłonność czterech siłowników podnoszących platformę z naczepą:

$$Q_p = 4Q_{cp} \quad (6.26)$$

gdzie:  $Q_p$  – wydajność pompy hydraulicznej.

Dla przyjętej wartości zapotrzebowania oleju przez siłowniki pionowe podczas procesu podnoszenia  $Q_{cp} = 4,4 \text{ l/min}$ , wyznaczono wydajność pompy hydraulicznej  $Q_p = 17,6 \text{ l/min}$ .

Stąd geometryczną objętość skokową pompy hydraulicznej (wydajność na jeden obrót) wyznaczono z równania na wydajność pompy hydraulicznej:

$$Q_p = v_g n_s \eta_v \quad (6.27)$$

$$v_g = \frac{Q_p}{n_s \eta_v}$$

gdzie:  $v_g$  – geometryczna objętość skokowa pompy,  
 $n_s$  – obroty synchroniczne silnika elektrycznego napędu pompy,  
 $\eta_v$  – sprawność objętościowa pompy.

Dla przyjętych wartości wydajności pompy hydraulicznej  $Q_p = 17,6 \text{ l/min}$ , obrotów synchronicznych silnika elektrycznego napędu pompy  $n_s = 1500 \text{ obr/min}$  oraz sprawności objętościowej pompy  $\eta_v = 0,93$ , wyznaczona wartość geometrycznej objętości skokowej pompy wynosi  $v_g = 12,6 \text{ cm}^3$ .

Zapotrzebowanie mocy pompy hydraulicznej wyznaczono z poniższej zależności:

$$N_p = \frac{pQ_p}{60\eta} \quad (6.28)$$

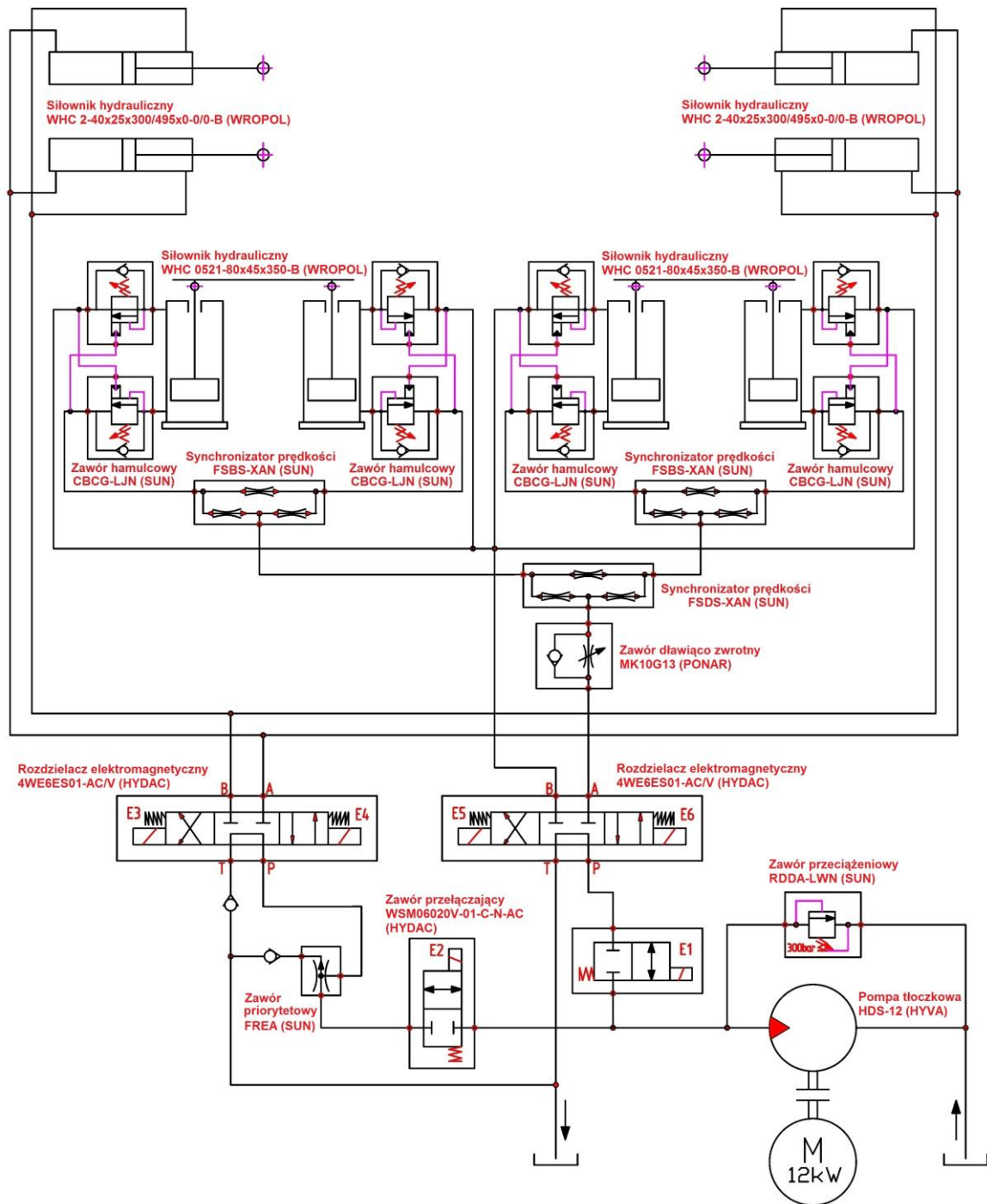
gdzie:  $N_p$  – moc potrzebna do napędu pompy układu hydraulicznego podnoszenia,  
 $p$  – ciśnienie robocze pompy,  
 $\eta$  – sprawność całkowita pompy.

Dla przyjętych wartości ciśnienia roboczego pompy  $p = 35 \text{ MPa}$ , wydajności pompy hydraulicznej  $Q_p = 17,61/\text{min}$  oraz sprawności całkowitej pompy  $\eta = 0,86$ , wyznaczona wartość mocy potrzebnej do napędu pompy układu hydraulicznego podnoszenia wynosi  $N_p = 11,9 \text{ kW}$ .

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dobrano pompę hydrauliczną napędu siłowników. Do napędu cylindrów hydraulicznych przewiduje się zastosowanie pompy tłoczkowej typu HDS-12 [84]. Pompa hydrauliczna napędzana jest poprzez sprzęgło elastyczne z silnika elektrycznego o mocy ok. 12 kW i obrotach znamionowych 1500/min. Wybrana pompa charakteryzuje się następującymi parametrami:

- geometryczną objętością skokową: 12,62 cm<sup>3</sup>/cykl,
- ciśnieniem ciągłym: 350 bar,
- ciśnieniem chwilowym: 400 bar,
- prędkością obrotową bez obciążenia: 3000 obr/min,
- prędkością obrotową pod obciążeniem: 2300 obr/min,
- minimalną prędkością obrotową: 300 obr/min.

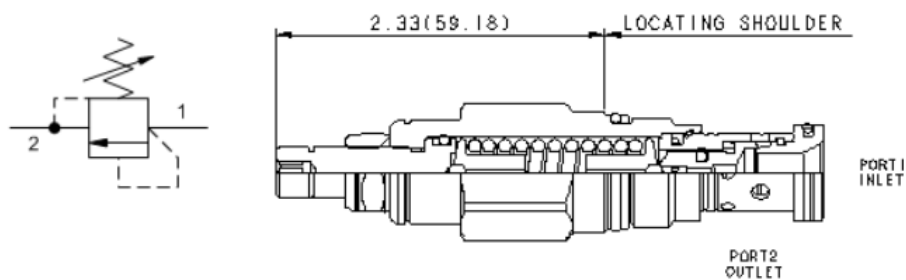
Na podstawie przyjętych urządzeń (elementów składowych podsystemu hydraulicznego napędu podnoszenia), opracowano schemat hydrauliczny układu podnoszenia (rys. 6.8) Na schemacie przedstawiono zestaw czterech siłowników wysuwu klinów podnośników (WHC 2-40x25x300/495x0-0/0-B) oraz 4 siłowników podnoszenia platformy (WHC 0521-80x45x350-B). Siłowniki napędzane są za pomocą pompy hydraulicznej tłoczkowej (HDS-12) zasilanej silnikiem elektrycznym. W celu prawidłowej pracy układu zastosowano szereg zaworów sterujących kierunkiem, natężeniem przepływu oraz sterujące ciśnieniem.



Rys. 6.8. Schemat hydrauliczny układu podnoszenia stanowiska przeładunkowego

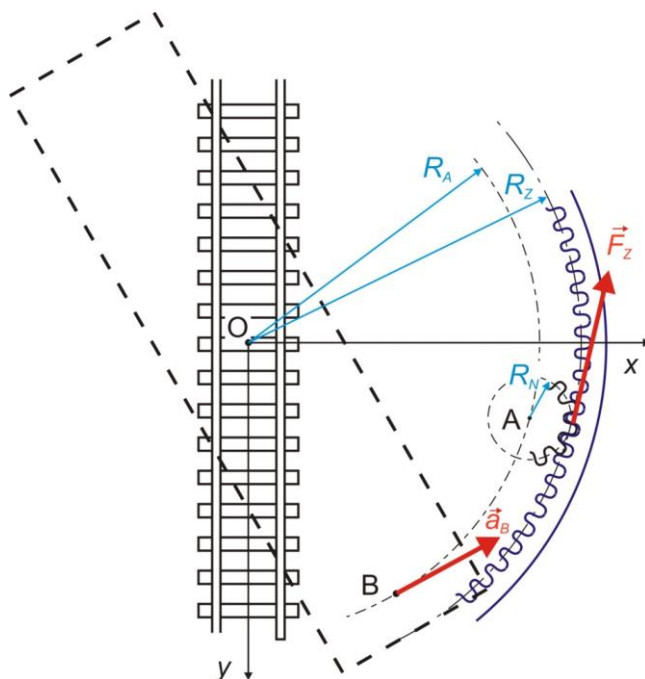
Zaprojektowany układ hydrauliczny dodatkowo zabezpieczono przed przeciążeniem zaworem przelewowym RDDA-LWN (rys. 6.9), chroniąc urządzenia hydrauliczne przed uszkodzeniem.





Rys. 6.9. Schemat zaworu przelewowego RDDA-LWN [92]

W kolejnym etapie przystąpiono do obliczeń i doboru przekładni zębatej mechanizmu obrotowego podsystemu infrastruktury przeładunkowej. W pierwszej kolejności wyznaczono siłę w zazębieniu współpracujących kół zębatych. Rozkład sił na obwodzie kół zębatych platformy obrotowej przedstawiono na rysunku 6.10.



Rys. 6.10. Schemat układu przekładni zębatej platformy obrotowej

Maksymalne przyjęte przyspieszenie należące do układu punktu B podczas ruszania (dla chwilowego przeciążenia) może wynosić  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Podsystem platformy obrotowej obraca się wokół osi z, prostopadłej do płaszczyzny toru. Moment potrzebny dla uzyskania przyjętego przyspieszenia wynosi:

$$M = I_z \varepsilon = I_z \frac{\vec{a}_B}{R_A} \quad (6.29)$$

gdzie:  $M$  – moment obrotowy potrzebny w celu uzyskania przyśpieszenia punktu B względem osi z,

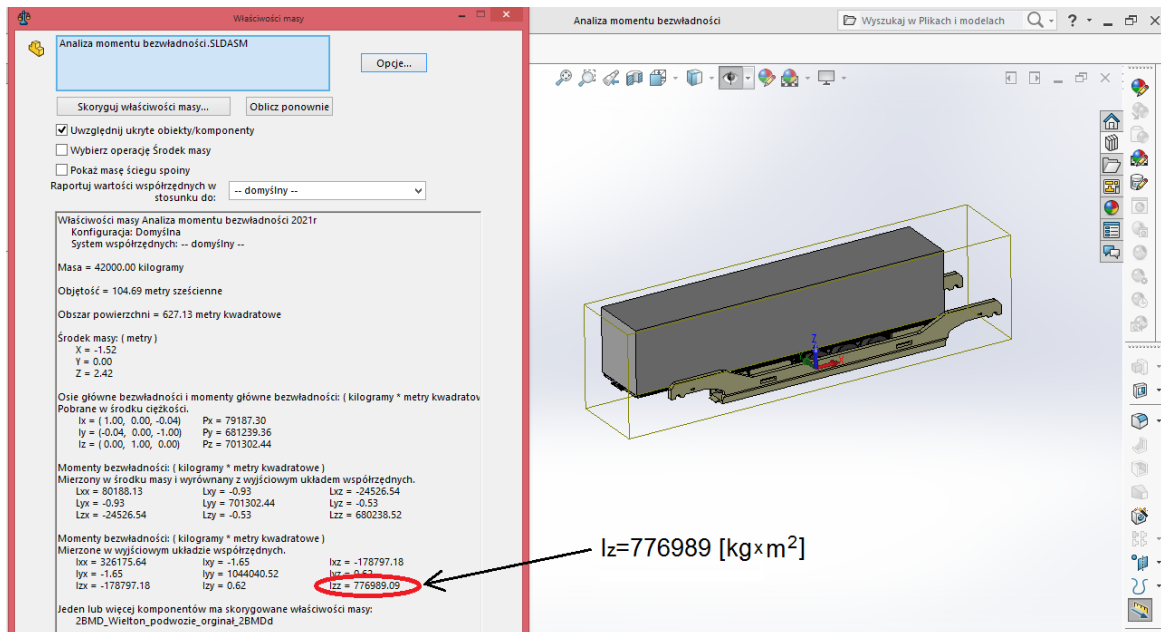
$I_z$  – moment bezwładności bryły układu względem osi z,

$\varepsilon$  – przyśpieszenie kątowe w ruchu obrotowym,

$\vec{a}_B$  – liniowe przyspieszenie styczne w punkcie B,

$R_A$  – promień środka odległości rolek prowadzących obrót układu.

Moment bezwładności  $I_z$  został wyznaczony za pomocą programu SolidWorks 2017 (rys. 6.11). Obliczeń dokonano dla najbardziej niekorzystnego wariantu, w którym suma mas układu (masa platformy oraz masa naczepy maksymalnie obciążonej) wynosi 42000 kg. Dla przyjętych danych wynik obliczeń momentu bezwładności wyniósł  $I_z = 776989 \text{ [kg}\times\text{m}^2]$ .



Rys. 6.11. Zrzut ekranu obliczeń momentu bezwładności dla przedstawionego układu

Podsystem przeładunkowy wyposażony jest w dwa silniki hydrauliczne oraz w dwie przekładnie zębate. Wg powyższego, moment obrotowy podsystemu jest wynikiem działania sił  $2\vec{F}_Z$  powstających w zazębieniu (na rysunku 6.12 widoczna siła działająca po jednej stronie układu przeładunkowego). Zatem siła w zazębieniu spełnia zależność:

$$M = 2\vec{F}_Z R_z \quad (6.30)$$

gdzie:  $\vec{F}_Z$  – siła w zazębieniu przekładni zębatej,

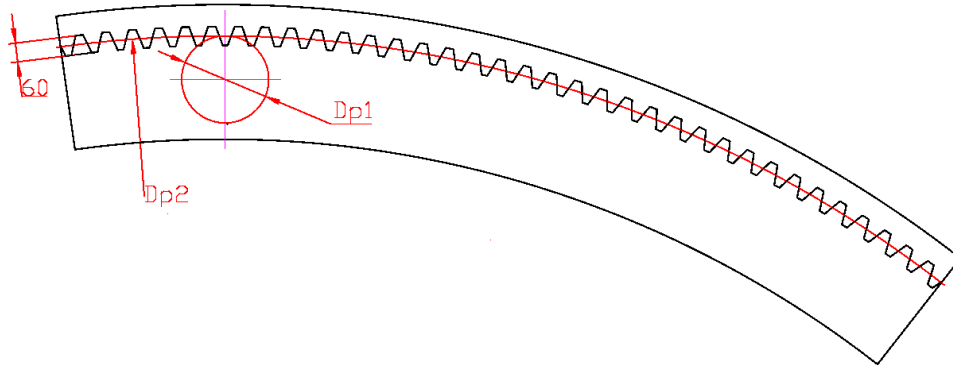
$R_z$  – konstrukcyjnie przyjęty promień dużego koła zębatego.

Stąd siła w zazębieniu dla przyjętych danych wynosi:

$$\vec{F}_Z = \frac{\vec{a}_B I_z}{2R_A R_z} \quad (6.31)$$

Dla przyjętych wartości liniowego przyspieszenia  $\vec{a}_B = 0,5 \text{ m/s}^2$ , momentu bezwładności  $I_z = 776989 \text{ kg}\times\text{m}^2$  oraz promieni  $R_A = 3,8 \text{ m}$ ,  $R_z = 4,2 \text{ m}$ , wyznaczona wartość siły w zazębieniu przekładni zębatej wynosi  $\vec{F}_Z = 12,2 \text{ kN}$ .

Dla podsystemu obrotowego przyjęto przekładnię zębatą czołową, walcową o zębach prostych (rys 6.12). Mniejsze koło zębate o średnicy  $D_{p1}$  osadzone na czopie silnika hydraulicznego posiada uzębienie zewnętrzne, natomiast współpracujące większe koło zębate o średnicy  $D_{p2}$  osadzone na płytach górnych posiada uzębienie wewnętrzne.



Rys. 6.12. Przekładnia zębata podsystemu przeładunkowego

Całkowita wysokość zębów przyjęta konstrukcyjnie wynosi 60 mm. Dla zębów normalnych (najpowszechniej stosowanych) współczynnik wysokości zęba wynosi  $y = 1$ . Luz wierzchołkowy wynosi  $l_w = 0,2 \text{ m}$ . Ze wzoru na całkowitą wysokość zęba można wyznaczyć moduł znormalizowany uzębienia:

$$h_z = 2ym + l_w \quad (6.32)$$

$$m = \frac{h_z}{2y + 0,2}$$

gdzie:  $h_z$  – całkowita wysokość zęba,  
 $y$  – współczynnik wysokości zęba,  
 $m$  – moduł znormalizowany uzębienia, zaokrąglony wg normy PN-78/M-88502,  
 $l_w$  – luz wierzchołkowy.

Dla przyjętych wartości całkowitej wysokości zęba  $h_z = 60 \text{ mm}$ , współczynnika wysokości zęba  $y = 1$  oraz luzu wierzchołkowego  $lw = 0,2$ , a wyznaczona wartość modułu znormalizowanego uzębienia wynosi  $m = 28 \text{ mm}$ .

Graniczna liczba zębów dla uzębienia normalnego ( $y = 1$ ) oraz kąta przyporu  $\alpha = 20^\circ$  wynosi  $z_g \geq 17$ , stąd przyjęto liczbę zębów małego koła  $z_1 = 20$ . Znając liczbę zębów, można obliczyć ze wzoru średnicę podziałową małego koła. Również można wyznaczyć liczbę zębów dużego koła z poniższej zależności:

$$D_{p1} = mz_1 \quad (6.33)$$

$$z_2 = \frac{D_{p2}}{m} \quad (6.34)$$

gdzie:  $D_{p1}$  – średnica podziałowa małego koła zębatego,  
 $D_{p2}$  – średnica podziałowa dużego koła zębatego,  
 $z_1$  – liczba zębów małego koła zębatego,  
 $z_2$  – liczba zębów dużego koła zębatego.

Dla przyjętych wartości modułu znormalizowanego uzębienia  $m = 28 \text{ mm}$ , liczby zębów małego koła zębatego  $z_1 = 20$  oraz średnicy podziałowej dużego koła zębatego  $D_{p2} = 8400 \text{ mm}$ , wyznaczono wartości średnicy podziałowej małego koła zębatego  $D_{p1} = 560 \text{ mm}$  oraz liczby zębów dużego koła zębatego  $z_2 = 300$ .

Współczynnik szerokości wieńca dla kół (przyjęto jako odlewane) wynosi  $\psi < 10$ , więc dla przyjętej wartości współczynnika szerokości wieńca  $\psi = 5$  wyznaczono szerokość wieńca:

$$b = \psi m \quad (6.35)$$

gdzie:  $b$  – szerokość wieńca przekładni zębatej,  
 $\psi$  – współczynnik szerokości wieńca.

Dla przyjętych wartości współczynnika szerokości wieńca  $\psi = 5$  oraz modułu znormalizowanego uzębienia  $m = 28 \text{ mm}$ , wyznaczona wartość szerokości wieńca przekładni zębatej wynosi  $b = 140 \text{ mm}$ .

Wyznaczono również przełożenie przekładni zębatej wg wzoru:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (6.36)$$

gdzie:  $i$  – przełożenie przekładni zębatej.

Dla przyjętych wartości liczby zębów małego koła zębatego  $z_1 = 20$  oraz liczby zębów dużego koła zębatego  $z_2 = 300$ , wyznaczona wartość przełożenia przekładni zębatej wynosi  $i = 15$ .

Po wyznaczeniu podstawowych parametrów przekładni zębatej przystąpiono do podstawowych obliczeń wytrzymałościowych przekładni. Obciążenie działające na ząb koła oblicza się z zależności:

$$P_{zast} = F_z C_p C_v \quad (6.37)$$

$$C_v = 1 + \frac{\sqrt{v}}{4} \quad (6.38)$$

gdzie:  $P_{zast}$  – obciążenie zastępcze,

$C_p$  – współczynnik przeciążenia wg Henriota,

$C_v$  – współczynnik nadwyżek dynamicznych, dla prędkości obwodowej

z zakresu  $v = 0 - 3$  m/s,

$v$  – liniowa prędkość obwodowa przekładni.

Dla przyjętych wartości siły w zazębieniu przekładni zębatej  $\vec{F}_z = 12,2$  kN, współczynnika przeciążenia wg Henriota  $C_p = 1,25$  (dla pracy do 12 h/dobę przy II fazie obciążenia), liniowej prędkości obwodowej przekładni  $v = 0,15$  m/s, wyznaczono wartości współczynnika nadwyżek dynamicznych  $C_v = 1,1$  (dla prędkości obwodowej z zakresu  $v = 0 - 3$  m/s) oraz zastępcze obciążenie  $P_{zast} = 16,8$  kN.

Obciążenie zęba siłą przyłożoną u wierzchołka zęba powoduje naprężenia u podstawy. Gdy stopień pokrycia czołowego jest większy od wartości 1 (najkorzystniej gdy wynosi  $\varepsilon_\alpha = 1,4$ ) obciążenie rozkłada się w pierwszych momentach zazębienia na dwa sąsiednie zęby. Wobec tego przyjmuje się tzw. obciążenie obliczeniowe za pomocą równania:

$$P_{obl} = \frac{P_{zast}}{\varepsilon_\alpha} \quad (6.39)$$

gdzie:  $P_{obl}$  – obciążenie obliczeniowe,  
 $\varepsilon_\alpha$  – stopień pokrycia zębów (liczba przyporu).

Dla przyjętych wartości obciążenia zastępczego  $P_{zast} = 16,8 \text{ kN}$  oraz stopnia pokrycia zębów  $\varepsilon_\alpha = 1,4$ , wyznaczona wartość tzw. obciążenia obliczeniowego wynosi  $P_{obl} = 12 \text{ kN}$ .

Następnie z poniższej zależności można wyznaczyć zastępcze naprężenie zginające występujące u podstawy zęba pod działaniem przyjętego tzw. obciążenia obliczeniowego:

$$\sigma_g = \frac{P_{obl}}{bm\lambda} \leq k_{go} \quad (6.40)$$

gdzie:  $\sigma_g$  – zastępcze naprężenie zginające,  
 $\lambda$  – współczynnik wytrzymałości zęba u podstawy,  
 $k_{go}$  – naprężenie dopuszczalne przy obciążeniu obukierunkowym.

Dla przyjętych wartości tzw. obciążenia obliczeniowego  $P_{obl} = 12 \text{ kN}$ , szerokości wieńca przekładni zębatej  $b = 140 \text{ mm}$ , modułu znormalizowanego uzębienia  $m = 28 \text{ mm}$  oraz współczynnika wytrzymałości zęba u podstawy  $\lambda = 0,375$  ( dla liczby zębów  $z = 20$  i dla współczynnika przesunięcia zarysu zęba  $x = 0$ ), wyznaczona wartość zastępczego naprężenia zginającego wynosi  $\sigma_g = 8,2 \text{ MPa}$ . Dla naprężenia dopuszczalnego przy obciążeniu dwukierunkowym  $k_{go} = 0,2R_m = 110 \text{ MPa}$  (dla stali konstrukcyjnej o wytrzymałości na rozciąganie  $R_m = 550 - 650 \text{ MPa}$ ), wyznaczona wartość zastępczego naprężenia zginającego spełnia warunek  $\sigma_g = 8,2 \text{ MPa} \leq 110 \text{ MPa}$

Najniebezpieczniejszym momentem podczas współpracy pary kół zębatych jest przypadek gdy całkowite obciążenie zastępcze jest przenoszone tylko przez jeden ząb, zjawisko to występuje w okolicy koła tocznego (podziałowego). Dla tego przypadku można wyznaczyć maksymalne naprężenie wg Hertza:

$$\sigma_{H \max} = C_{m,\alpha} \sqrt{\frac{P_{zast}}{bD_{p1}} (1+i)} \leq k_H \quad (6.41)$$

gdzie:  $\sigma_{H \max}$  – maksymalne naprężenie wg Hertza,  
 $C_{m,\alpha}$  – współczynnik uzależniony od zestawu materiałów i kąta przyporu współpracujących kół,  
 $k_H$  – naprężenie dopuszczalne na docisk wg Hertza.

Dla przyjętych wartości współczynnika  $C_{m,\alpha} = 438$  (dla materiału kół ze stali i kąta przyporu  $\alpha = 20^\circ$ ), obciążenia zastępczego  $P_{zast} = 16,8 \text{ kN}$ , szerokości wieńca przekładni zębatej  $b = 140 \text{ mm}$ , średnicy podziałowej małego koła zębatego  $D_{p1} = 560 \text{ mm}$  oraz przełożenia przekładni zębatej  $i = 15$ , wyznaczona wartość maksymalnego naprężenia wg Hertza wynosi  $\sigma_{H_{max}} = 811 \text{ MPa}$ . Dla naprężenia dopuszczalnego na docisk wg Hertza  $k_H = 1200 \text{ MPa}$  (zależnego od materiału kół, liczby cykli obciążeń oraz lepkości oleju), wyznaczona wartość maksymalnego naprężenia wg Hertza spełnia warunek  $\sigma_{H_{max}} = 811 \text{ MPa} \leq 1200 \text{ MPa}$

Na podstawie analizy wyników obliczeń wytrzymałościowych stwierdzono, że zaprojektowana przekładnia zębata spełnia warunki wytrzymałościowe a głównymi parametrami, które wpływają na odpowiednią wytrzymałość tego podsystemu są obciążenia działające na ząb, dobrany materiał współpracujących kół zębatach, liczba zębów, szerokość wieńca, liczba cykli pracy (zakładana żywotność).

Następnie w celu doboru napędu obrotu platformy z poniższej zależności wyznaczono moment napędowy przekazywany za pomocą koła zębatego obracającego się wokół punktu A (rys. 6.10):

$$M_N = \vec{F}_Z R_N \quad (6.42)$$

gdzie:  $M_N$  – moment napędowy (obrotowy) na kole zębatym silnika hydraulicznego,  
 $R_N$  – promień małego koła zębatego (połowa średnicy podziałowej koła).

Dla przyjętych wartości siły w zazębieniu przekładni zębatej  $\vec{F}_Z = 12,2 \text{ kN}$  oraz promienia małego koła zębatego  $R_N = 0,28 \text{ m}$ , wyznaczona wartość momentu napędowego na kole zębatym silnika hydraulicznego wynosi  $M_N = 3,42 \text{ kNm}$ .

Po przeprowadzeniu analizy rodzajów napędu platformy obrotowej przyjęto zastosowanie dwóch silników gerotorowych typu VIS 45 (rys. 6.13), o następujących parametrach:

- geometryczną objętością skokową: 805 cm<sup>3</sup>/cykl,
- ciśnieniem ciągłym: 310 bar,
- ciśnieniem chwilowym: 345 bar,
- max prędkość obrotowa ciągła: 198 obr/min,

- max prędkość obrotowa chwilowa: 220 obr/min,
- moment obrotowy ciągły: 3555 Nm,
- moment obrotowy chwilowy: 3722 Nm,
- przepływ ciągły: 70 l/min,
- przepływ chwilowy: 189 l/min.



Rys. 6.13. Widok dobranego silnika gerotorowego typu VIS 45 [10]

W celu doboru pompy hydraulicznej napędu obrotu platformy przeprowadzono następujące obliczenia. Prędkość liniowa koła zębatego na silniku hydraulicznym zależy od obrotów silnika, wyznaczono ją z poniższej zależności:

$$V_{\max} = \pi D_{p1} n_{s\max} \quad (6.43)$$

gdzie:  $V_{\max}$  – maksymalna prędkość liniowa,  
 $n_{s\max}$  – maksymalna prędkość obrotowa ciągłą.

Dla przyjętych wartości średnicy podziałowej małego koła zębatego  $D_{p1} = 560$  mm oraz maksymalnej prędkości obrotowej ciągłej  $n_{s\max} = 198$  obr/min, wyznaczona wartość maksymalnej prędkości liniowej wynosi  $V_{\max} = 5,8$  m/s.

Jest to prędkość liniowa zbyt duża, ze względu, że obracany układ posiada duże obciążenia i przy dużych masach bezwładności powstawałyby niekontrolowane uderzenia podczas faz rozruchu i hamowania. Najmniejsza prędkość obrotowa, którą można uzyskać na silniku gerotorowym wynosi w przedziale od 5 obr/min do 10 obr/min. Stąd minimalna prędkość liniowa wynosi:



$$V_{\min} = \pi D_{p1} n_{s\min} \quad (6.44)$$

gdzie:  $V_{\min}$  – minimalna prędkość liniowa,  
 $n_{s\min}$  – minimalna prędkość obrotowa.

Dla przyjętych wartości średnicy podziałowej małego koła zębatego  $D_{p1} = 560 \text{ mm}$  oraz minimalnej prędkości obrotowej  $n_{s\min} = 5 \text{ obr/min}$ , wyznaczona wartość minimalnej prędkości liniowej wynosi  $V_{\min} = 0,15 \text{ m/s}$ .

Chłonność silników hydraulicznych wyznaczono z poniższych zależności:

$$Q_{s1} = \frac{v_g n_{s\min}}{1000 \eta_v} \quad (6.45)$$

$$Q_s = 2Q_{s1} \quad (6.46)$$

gdzie:  $Q_{s1}$  – chłonność jednego silnika hydraulicznego,  
 $Q_s$  – chłonność dwóch silników hydraulicznych,  
 $v_g$  – geometryczna objętość skokowa silnika hydraulicznego,  
 $\eta_v$  – sprawność wolumetryczna silnika.

Dla przyjętych wartości geometrycznej objętości skokowej silnika hydraulicznego  $v_g = 8051$ , minimalnej prędkości obrotowej  $n_{s\min} = 5 \text{ obr/min}$  oraz sprawności wolumetrycznej silnika  $\eta_v = 0,93$ , wyznaczona wartość chłonności jednego silnika hydraulicznego jest równa  $Q_{s1} = 4,31 \text{ l/min}$ , natomiast sumaryczna wartość chłonności dwóch silników hydraulicznych wynosi  $Q_s = 8,61 \text{ l/min}$ .

Geometryczna objętość skokowa pompy zasilającej wg równania wynosi:

$$v_p = \frac{1000 Q_s}{n_e \eta_p} \quad (6.47)$$

gdzie:  $v_p$  – geometryczna objętość skokowa pompy,  
 $n_e$  – obroty znamionowe silnika elektrycznego,  
 $\eta_p$  – sprawność wolumetryczna pompy.

Dla przyjętych wartości chłonności dwóch silników hydraulicznych  $Q_s = 8,61 \text{ l/min}$ , obrotów znamionowych silnika elektrycznego  $n_e = 1500 \text{ obr/min}$  oraz sprawności

wolumetrycznej pompy  $\eta_p = 0,95$ , wyznaczona wartość geometrycznej objętości skokowej pompy wynosi  $v_p = 6 \text{ cm}^3$ .

Do napędu obrotu przewiduje się zastosowanie hydraulicznej pompy tłoczkowej typu HDS-12. Moc pompy tłoczkowej obliczono z zależności:

$$N_o = \frac{p_c Q_s}{60\eta} \quad (6.48)$$

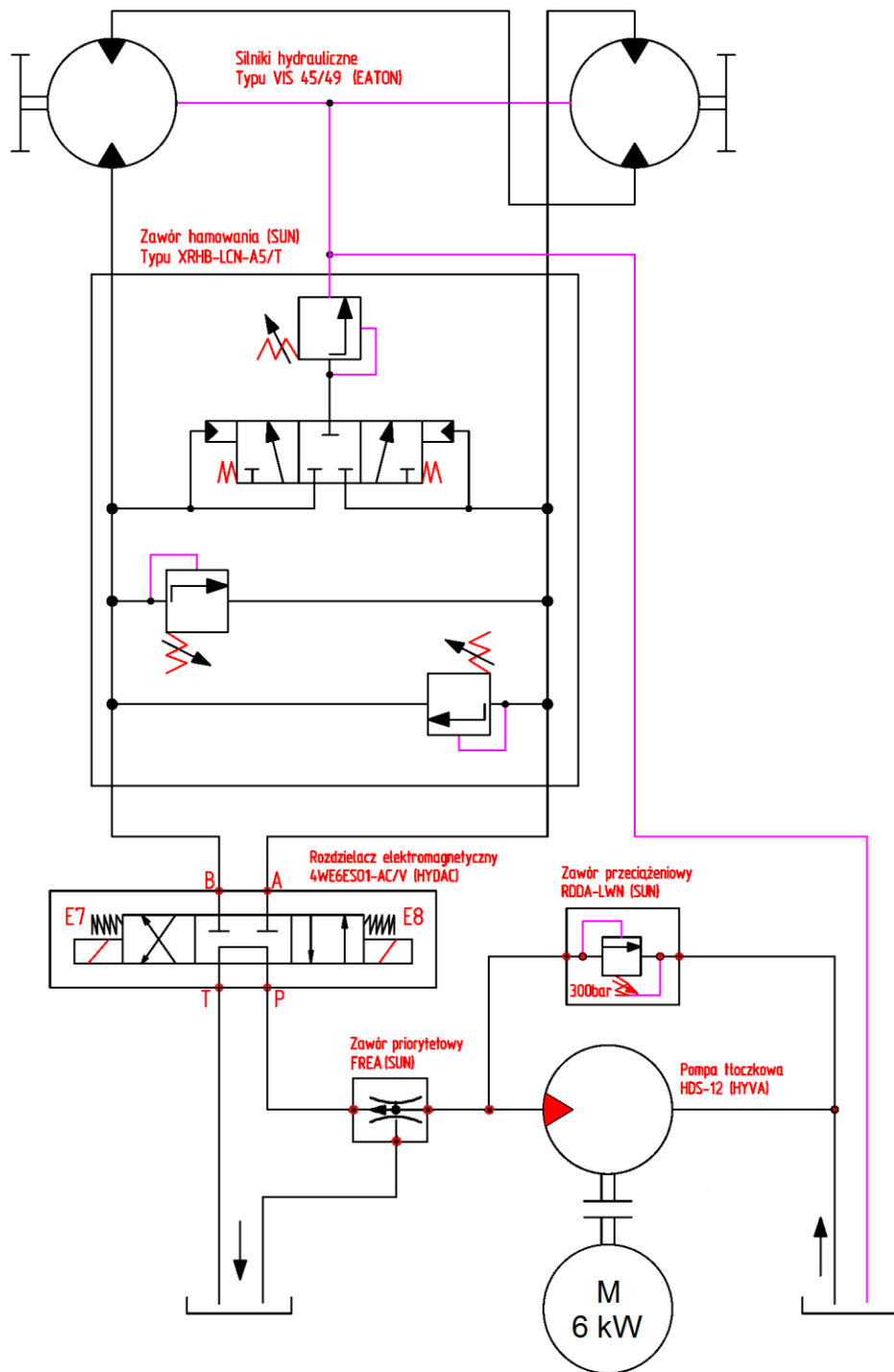
gdzie:  $N_o$  – moc potrzebna do napędu pompy układu hydraulicznego obrotu,

$p_c$  – ciśnienie robocze pompy,

$\eta$  – sprawność całkowita pompy.

Dla przyjętych wartości ciśnienia roboczego pompy  $p_c = 35 \text{ MPa}$ , chłonności dwóch silników hydraulicznych  $Q_s = 8,61/\text{min}$  oraz sprawności całkowitej pompy  $\eta = 0,86$ , wyznaczona wartość mocy potrzebnej do napędu pompy układu hydraulicznego obrotu wynosi  $N_o = 5,8 \text{ kW}$ .

Pompa hydrauliczna napędzana jest silnikiem elektrycznym o mocy ok. 6 kW i obrotach znamionowych 1500 obr/min poprzez sprzęgło elastyczne. Schemat hydrauliczny układu obrotu stanowiska przeładunkowego przedstawiono na załączonym rysunku 6.14 Na schemacie przedstawiono zestaw dwóch połączonych szeregowo silników hydraulicznych obrotu podsystemu platformy wagonu. Silniki napędzane są za pomocą pompy hydraulicznej napędzanej silnikiem elektrycznym. W celu prawidłowej pracy układu zastosowano zawór hamowania w celu eliminacji szarpnięć podczas rozruchu oraz spokojnego wyhamowywania fazy końcowej obrotu. Układ dodatkowo zabezpieczono przed przeciążeniem zaworem przelewowym RDDA-LWN, dla ochrony urządzenia hydraulicznego przed uszkodzeniem. Istnieje możliwość zastosowania jednej wspólnej pompy HDS-12 napędzanej silnikiem elektrycznym 12 KW dla układu podnoszenia stanowiska przeładunkowego (rys. 6.8) i układu obrotu stanowiska przeładunkowego (rys. 6.14). Dla tak przyjętego rozwiązania zastosowano zawór przełączający między dwoma układami.



Rys. 6.14. Schemat hydrauliczny układu obrotu stanowiska przeładunkowego

Wielkość zbiornika oleju hydraulicznego zależy od wydajności zainstalowanych pomp w układzie, spodziewanego nagrzewania cieczy, ilości zainstalowanych na zbiorniku elementów hydraulicznych oraz objętości cieczy w układzie. Dla zapewnienia niezawodnej pracy układu ilość cieczy w zbiorniku po napełnieniu całej instalacji nie powinna być

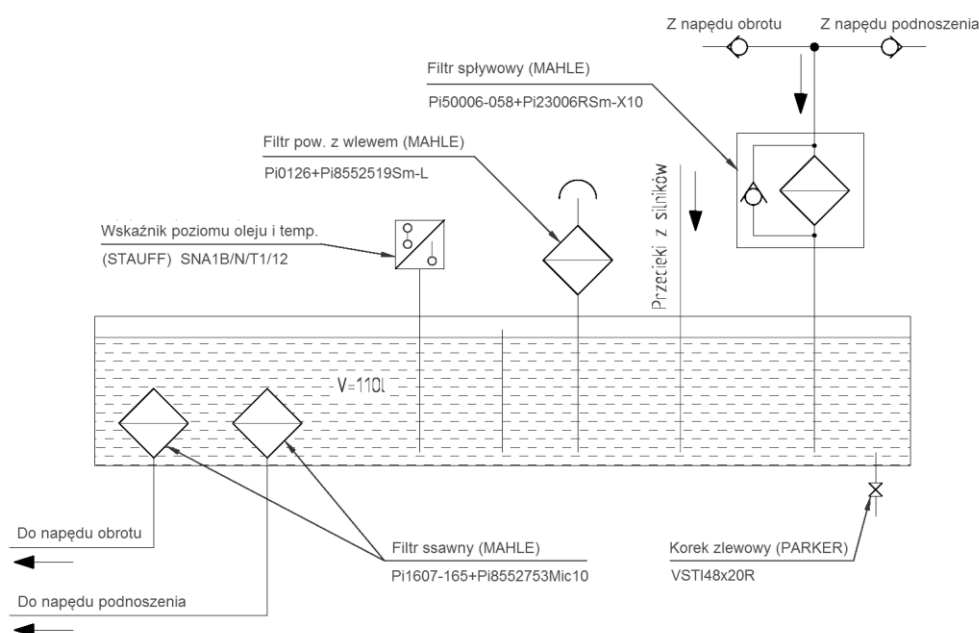
mniej od 3÷5 krotnej minutowej wydajności wszystkich zainstalowanych pomp w układzie [18]. Pojemność zbiornika wyznaczono z poniższej zależności:

$$V_z = 4(Q_p + Q_s) \quad (6.46)$$

gdzie:  $V_z$  – pojemność zbiornika oleju hydraulicznego.

Dla przyjętych wartości wydajności pompy hydraulicznej układu podnoszenia  $Q_p = 17,6 \text{ l/min}$  oraz chłonności dwóch silników hydraulicznych układu obrotu  $Q_s = 8,6 \text{ l/min}$ , wyznaczona pojemność zbiornika oleju hydraulicznego wynosi  $V_z = 110 \text{ l}$ .

Schemat hydrauliczny dobrego zbiornika oleju hydraulicznego przedstawia rysunek 6.15



Rys. 6.15. Schemat hydrauliczny zbiornika oleju

Z analizy zaproponowanego układu (rys. 6.15) wynika, że istotnym warunkiem określającym konstrukcję zbiornika są wymagania wynikające z zabudowy na zbiorniku filtrów oraz oprzyrządowania sygnalizacyjnego (wskaźników poziomu cieczy i temperatury). Również należy uwzględnić przestrzeń powietrzną nad zwierciadłem cieczy wynoszącą 10–15 % objętości cieczy w zbiorniku.

Harmonogram sterowania cewkami elektrozaworów i rozdzielaczy elektromagnetycznych w funkcji pracy poszczególnych zespołów napędowych przedstawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1

Harmonogram sterowania cewkami zaworów

L.p.	Funkcje pracy		Cewki elektromagnetyczne							
	Mechanizm	Cykl pracy	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1	Pompa podnoszenia	załączenie	X							
2	Siłowniki poziome	wysuw tłoczyska		X	X					
3	Siłowniki pionowe	podniesienie	X				X			
4	Siłowniki pionowe	opuszczenie	X					X		
5	Siłowniki poziome	wsuw tłoczyska		X		X				
6	Pompa podnoszenia	w załączeniu	X							
7	Pompa obrotu	załączenie								
8	Silniki obrotu	obrót w prawo								X
9	Silniki obrotu	obrót w lewo							X	
10	Pompa obrotu	w załączeniu								

W tabeli oznaczono impuls zasilania prądem danej cewki znakiem X. Harmonogram ma na celu określić wytyczne do opracowania programu sterowania elektrycznego jedno lub wielostanowiskowego mechanizmu hydraulicznego do przeładunku naczip.

### 6.3. Sumaryczny czas pracy układu przeładunkowego

W układzie podnoszenia i obrotu nie ma opóźnień hydraulicznych, gdyż olej jest medium nieściśliwym a zabezpieczony układ zaworami zwrotnymi zapobiega wypływowi oleju hydraulicznego do zbiornika. Nie dotyczy to pierwszego uruchomienia instalacji, w którym występują opóźnienia w wyniku wypełnienia układu olejem, nie mają one jednak wpływu na wydłużenie czasu pracy podczas przeładunku. W sumarycznym czasie sterowania układem hydraulicznym należy uwzględnić dodatkowe czasy przesterowywania cewek elektromagnetycznych poszczególnych rozdzielaczy i zaworów. Według firmy Hydac opóźnienia przełączania dla zaworu przełączającego (numer katalogowy WSM06020V-01-C-N-AC) wynoszą ok. 40 ms [80], natomiast dla rozdzielacza elektromagnetycznego (numer katalogowy 4WE6ES01-AC/V) opóźnienia wynoszą ok. 20-70 ms [81]. Opóźnienia te są stosunkowo niewielkie i nie mają znaczącego wpływu na wydłużenie czasu pracy układu hydraulicznego. Dodatkowo należy uwzględnić przyrost czasu spowodowany opóźnieniem pracy cylindrów przez zawory hamulcowe

w fazie rozruchu i hamowania oraz zawór dławiąco zwrotny w trakcie opuszczania siłownika. W zależności od regulacji nastawienia zaworów opóźnienia mogą mieć różny zakres. Praca zaprojektowanego układu składa się z kilku czynności. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń w rozdziale szóstym można obliczyć czasy pracy poszczególnych operacji układu podnoszenia i obrotu:

- czas wysuwu prostokątnych klinów podnośników (wsuwanych w otwory w ścianach bocznych platformy kolejowej) wyznaczono z zależności:

$$t_w = \frac{l_w}{v_w} \quad (6.47)$$

gdzie:  $t_w$  – czas wysuwu klina podnośnika,  
 $l_w$  – długość wysuwu klina podnośnika,  
 $v_w$  – prędkość wysuwu klina podnośnika.

Dla przyjętych wartości długości wysuwu klina podnośnika  $l_w = 0,3$  m oraz prędkości wysuwu klina podnośnika  $v_w = 0,03$  m/s, wyznaczony czas wysuwu klina podnośnika wynosi  $t_w = 10$  s.

- czas podnoszenia lub opuszczania platformy wyznaczono z zależności:

$$t_p = \frac{h_p}{v_p} \quad (6.48)$$

gdzie:  $t_p$  – czas podnoszenia lub opuszczania platformy,  
 $h_p$  – wysokość podnoszenia lub opuszczania platformy,  
 $v_p$  – prędkość podnoszenia lub opuszczania platformy.

Dla przyjętych wartości wysokości podnoszenia lub opuszczania platformy  $h_p = 0,35$  m oraz prędkości podnoszenia lub opuszczania platformy  $v_p = 0,015$  m/s, wyznaczony czas podnoszenia lub opuszczania platformy wynosi  $t_p = 23$  s.

W związku z podnoszeniem i opuszczaniem platformy, wraz z obciążoną naczepą, przyjęto bezpieczną prędkość przesuwu tłocznika. Dla uzyskania danej równomiernej prędkości zastosowano w układzie hydraulicznym zawory hamujące oraz zawór dławiąco zwrotny.

- czas obrotu platformy (obrotu koła zębatego napędzanego silnikiem hydraulicznym) wyznaczono z zależności:

$$t_o = \frac{l_o}{v_o} \quad (6.49)$$

gdzie:  $t_o$  – czas obrotu platformy (koła zębatego napędzanego silnikiem hydraulicznym),  
 $l_o$  – długość odcinka średnicy podziałowej dla obrotu platformy,  
 $v_o$  – prędkość liniowa koła zębatego.

Dla przyjętych wartości długości odcinka średnicy podziałowej dla obrotu platformy  $l_o = 2,5$  m oraz prędkości liniowej koła zębatego  $v_o = 0,15$  m/s, wyznaczony czas obrotu platformy wynosi  $t_o = 17$  s.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (6.47–6.48) przedstawiono w tabeli 6.2 zestawienie dotyczące realizowanych czynności oraz czasów pracy układu hydraulicznego podczas procesu przeładunku.

Tabela 6.2

Operacje i czasy procesu technologicznego układu hydraulicznego podczas etapu przeładunku

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [s]
1.	Wsunięcie prostokątnych klinów podnośników w otwory w ścianach bocznych wagonu.	10
2.	Uniesienie platformy wagonu na odpowiednią wysokość.	23
3.	Obrót platformy przy pomocy silników hydraulicznych.	17
4.	Opuszczenie oraz oparcie odchylonej platformy na pomostach najazdowych.	23
5.	Uniesienie platformy na odpowiednią wysokość.	23
6.	Obrót powrotny platformy z załadowaną naczepą.	17
7.	Opuszczenie i oparcie platformy na wagonie.	23
8.	Wycofanie prostokątnych klinów podnośników z otworów w ścianach bocznych platformy.	10
	<b>Sumaryczny czas pracy układu podnoszenia i obrotu.</b>	<b>146</b>

Z tabeli 6.2 wyznaczono sumaryczny czas pracy układu hydraulicznego podczas jednego cyklu przeładunku, który wynosi 146 s tj. 2 min 26 s. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń oraz analizując stan techniki infrastruktury przeładunkowej w transporcie intermodalnym można stwierdzić, że czas pracy układu hydraulicznego podczas etapu przeładunkowego jest krótki. Wspomniane wcześniej zalety stosowanego układu hydraulicznego jak możliwość uzyskania dużych sił (duży ciężar kosza wagonu wraz z załadowaną w pełni naczepą), spokojny, płynny ruch, zmniejszenie siły

bezwładności przy rozruchu i hamowaniu (mniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia towaru) odpowiednie zabezpieczenia oraz ekonomiczna eksploatacja sprawiają, że zastosowanie hydrauliki wpasowuje się bardzo dobrze w projektowanym układzie przeładunkowym.

Podsumowując, w prezentowanym rozdziale szóstym „Wybrane aspekty konstrukcji podsystemu – stanowisko przeładunkowe” przeprowadzono obliczenia mechanizmów stanowiska przeładunkowego w celu wyznaczenia kolejności czynności pracy oraz czasu pracy podczas etapu przeładunku.

Na początku rozdziału wyznaczono z równań sił i momentów reakcje w miejscach oparcia podnośników podczas procesu przeładunku. Znając wartość obciążeń oraz ich nierównomierny rozkład wyznaczono układ hydrostatyczny pracy stanowiska przeładunkowego, który podoła pracy w powyższych warunkach.

Prace obliczeniowe podsystemu przeładunkowego podzielono na dwie grupy. W pierwszej części wyznaczono układ podnoszenia stanowiska przeładunkowego, składający się z podstawowych składowych: siłowników hydraulicznych wysuwu klinów podnośników, siłowników hydraulicznych unoszenia platformy, pompy tłoczkowej oraz silnika elektrycznego. W drugiej części wyznaczono układ obrotu stanowiska przeładunkowego, składający się z podstawowych składowych: przekładni zębatej platformy obrotowej, silników hydraulicznych obrotu przekładni, pompy tłoczkowej oraz silnika elektrycznego.

Na podstawie powyższych obliczeń wyznaczono czas wysuwu prostokątnych klinów podnośników, czas podnoszenia lub opuszczania platformy oraz czas obrotu platformy. Dla przeprowadzonych obliczeń sporządzono tabelę, w której zamieszczono realizowane czynności oraz czasy podczas etapu przeładunku.

Uwzględniając korzystne czasy oraz pozytywne aspekty pracy hydrostatyki można stwierdzić, że zastosowanie zaprojektowanego układu spełnia korzystne warunki wykorzystania systemu na terminalu przeładunkowym.

Przedstawione wyniki w rozdziale szóstym umożliwiają przeprowadzenie w rozdziale siódmym analizy porównawczej cyklu załadunkowego opracowanego systemu względem wybranych, istniejących na rynku systemów intermodalnych.



## **7. CHARAKTERYSTYKI CZASOWE PRZEŁADUNKU PROPONOWANEGO SYSTEMU**

### **7.1. Analiza ogólna charakterystyk czasowych transportu intermodalnego**

W transporcie intermodalnym jednym z głównych warunków rozwoju jest uzyskanie przewagi nad innymi unimodalnymi gałęziami transportowymi w zakresie czasu realizacji usługi w systemie „door to door”. W praktyce przykładem, w którym dominującym czynnikiem wyboru jest czas, mogą być pociągi intermodalne (kontenerowe), które coraz częściej docierają z Chin do Polski, m.in. z chińskiego miasta Xi'an do terminalu w Sławkowie, który jest najbardziej wysuniętym w Europie na zachód portem przeładunkowym, do którego prowadzi szerokotorowa linia kolejowa. Czas transportu koleją z Chin wynosi 10 dni. Również pociągi intermodalne z terminalu Xi'an docierają do Portu w Gdańsku, po ówczesnym przeładunku z linii szerokotorowej na normalnotorową na terminalu w Małaszewiczach. W tym przypadku transport trwa 12 dni. Dla porównania czas transportu kontenera z portu w Szanghaju do Gdańska drogą morską wynosi około 30–33 dni, w niektórych przypadkach nawet dłużej. Pomimo faktu, iż transport kontenera drogą morską jest 2 razy tańszy, coraz więcej towarów przewożonych jest koleją w systemie intermodalnym z uwagi na znacznie krótszy czas transportu drogą lądową. Należy jednakże podkreślić, że przeładunki kontenerów znacznie wydłużają czas przewozu. W Chinach występuje taki sam rozstaw torów jak w Europie, stąd pociąg szerokotorowy wyjeżdża z Alaszanku na granicy między Chinami a Kazachstanem, gdzie znajduje się duży terminal przeładunkowy, skąd czas transportu do Sławkowa wynosi 7 dni, bez potrzeby przeładunku na trasie.

Na lądzie przewozom intermodalnym szczególnie trudno jest konkurować z transportem drogowym. Na rysunku 7.1 przedstawiono schemat procesu transportowego między nadawcą a odbiorcą w przypadku realizacji transportu drogowego oraz systemem intermodalnym, drogowo-kolejowym. Z schematu wynika, że przewaga czasowa systemu intermodalnego może być uzyskana w przypadku, gdy średnia prędkość przewozu koleją jest większa niż średnia prędkość przewozu samochodem. Jednakże różnica ta może być tym mniejsza, im większa jest odległość transportu koleją oraz krótszy czas przeładunku.

Wynika stąd, że uzyskanie przewagi czasowej transportu intermodalnego zależy od [20]:

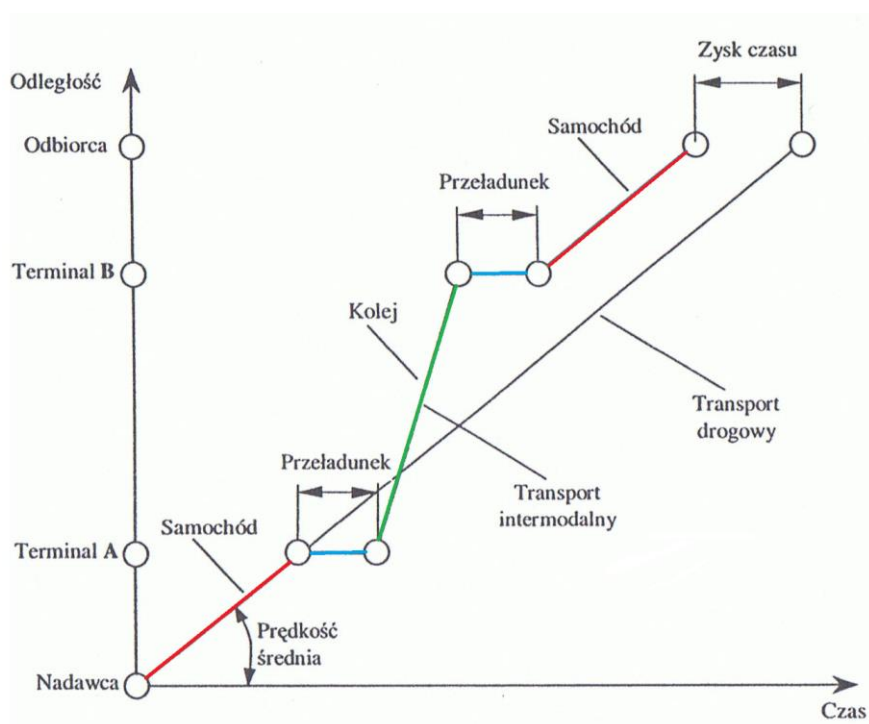
- sprawnego przeładunku,
- dużej prędkości przewozów kolejną,
- odpowiednio dobranej odległości przewozu kolejną.

Natomiast sprawność systemu przeładunkowego zależy od:

- sposobu uformowania jednostek ładunkowych,
- odpowiadającej im technologii przeładunkowej,
- użytych maszyn i urządzeń do procesu przeładunku,
- zakresu i szybkości pozyskiwania informacji,
- organizacji pracy na terminalu przeładunkowym.

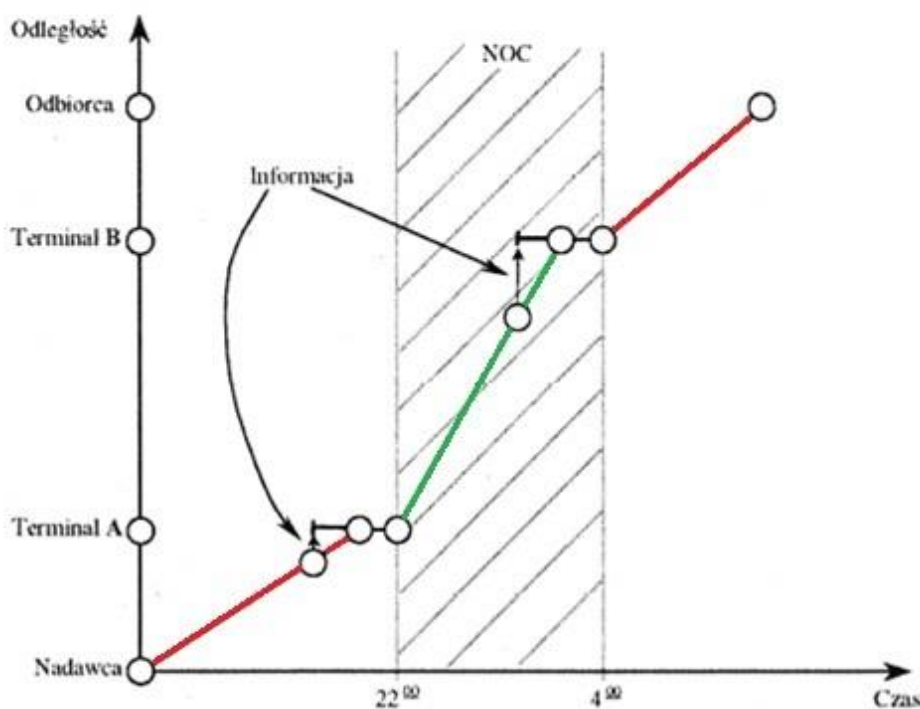
W ramach usprawnienia procesu przeładunku stosuje się:

- ładunki uformowane w zintegrowane jednostki ładunkowe, które nie podlegają rozformowaniu na całej trasie przewozowej,
- jednostkom ładunkowym towarzyszy jednolita dokumentacja przewozowa,
- za przewóz jednostki odpowiedzialny jest jeden operator logistyczny,
- opłata jest jednolita i klient często może sam obliczyć wysokość opłaty za usługę,
- ładunki są monitorowane np. z wykorzystaniem GPS (systemów nawigacji satelitarnej).



Rys. 7.1. Czas transportu w systemie drogowym i w systemie intermodalnym, kolejowo drogowym [20]

Potrzeba usprawnienia procesu transportu intermodalnego prowadzi do coraz częstszego stosowania technologii przewozów całopociągowych, nie ma straty czasu na przeformowywanie składu pociągu. Również w celu przyspieszenia przewozów intermodalnych ładunki przewożone są nocą, kiedy linie kolejowe są mniej obciążone przewozami pasażerskimi. Nocne przewozy można zrealizować z odpowiednio dużą prędkością. Przyspieszenie przewozów może być uzyskane również przez organizację transportu z wykorzystaniem informacji uzyskanej z systemu monitorowania pojazdów, w którym informacja o rodzaju wiezionego ładunku i odbiorcy dociera na terminal wcześniej przed przyjazdem samochodu lub pociągu. Wtedy obsługa może przygotować przeładunek nie tracąc czasu np. na przejazd ciężkiej suwnicy dopiero po przybyciu samochodu. Ideę „skoku nocnego” oraz wcześniejszego przekazywania informacji o ładunku przedstawia rysunek 7.2.



Rys. 7.2. Idea „skoku nocnego” oraz przyspieszenia przeładunku przez wyprzedzające przekazanie informacji [20]

Warunkiem poprawy konkurencyjności transportu intermodalnego w Polsce jest skrócenie czasu przewozu oraz przeładunku. Obecnie wielu operatorów w Polsce rezygnuje z transportu intermodalnego z powodu mniej czasochłonnych przewozów transportem drogowym. Szczególnie dotyczy to krótkich odcinków w zakresie do 300 km. W transporcie intermodalnym występujące bariery wpływające na wydłużenie czasu

przewozu w konsekwencji prowadzą do niemożności zapewnienia przez spedytora oczekiwanego poziomu usługi. Wśród barier duże znaczenie ma także brak znaczącej liczby regularnych intermodalnych połączeń kolejowych pomiędzy krajowymi i zagranicznymi terminalami kontenerowymi, realizowanych w formie pociągów blokowych, kursujących według stabilnych rozkładów jazdy.

## **7.2. Analiza porównawcza cyklu załadunkowego opracowanego systemu oraz wybranych systemów intermodalnych**

W transporcie intermodalnym bez wątplenia najbardziej wrażliwym elementem procesu przewozowego stającym na przeszkodzie uzyskania przewagi czasowej nad transportem unimodalnym, drogowym jest konieczność dwukrotnego przeładunku na terminalu. Im krótszy czas przeładunku tym transport intermodalny staje się bardziej konkurencyjny.

W celu porównania opracowanego systemu załadunku z innymi stosowanymi systemami, przeanalizowano 10 wariantów przeładunków dla różnych systemów, w tym 3 propozycje dla autorskiego systemu transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem. W przeprowadzonej analizie wybrano wzorcowy skład pociągu (długość składu pociągu). Następnie wyznaczono czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku, przedstawiono dane w postaci wykresów realizacji następujących po sobie operacji oraz obliczono czasy przeładunku dla każdego z wariantów. Wyznaczone czasy dla zaprojektowanego systemu porównano z pozostałymi systemami intermodalnymi, bazując na dostępnej literaturze [20].

Wzorcowy skład pociągu przyjęto według literatury [20]. Kierowano się wymaganiami europejskiej umowy o ważniejszych międzynarodowych liniach transportu kombinowanego i obiektach towarzyszących (AGTC). Aneks IV do tej umowy: „Parametry eksploatacyjne pociągów i minimalne wymagania dotyczące infrastruktury” precyzuje, że długość pociągu intermodalnego może wynosić 600 m (a docelowo 750 m). Przyjęto zatem, że pociąg składa się z jednej lokomotywy oraz 28 wagonów platform. Dla zaprojektowanego systemu wybrano 30 wagonów ze względu na wariant przeładunku z użyciem 6 stanowisk obrotowych. Przy pięciokrotnym przetaczaniu pociągu iloczyn przeładowywanych naczep wynosi 30.

Przeprowadzona analiza czasowa procesu technologicznego przeładunku dotyczy 10 następujących wariantów:

- wariant 1: przeładunek 56 szt. kontenerów 20' (lub nadwozi wymiennych), z użyciem technologii przeładunku pionowego (suwnica),
- wariant 2: przeładunek 56 szt. kontenerów 20' (lub nadwozi wymiennych), z użyciem technologii przeładunku pionowego (wóz chwytniowy),
- wariant 3: przeładunek 28 szt. naczep siodłowych, z użyciem technologii przeładunku pionowego (suwnica),
- wariant 4: przeładunek 28 szt. naczep siodłowych, z użyciem technologii przeładunku pionowego (wóz chwytniowy),
- wariant 5: przeładunek 28 szt. naczep siodłowych, z użyciem technologii przeładunku poziomego (system ALS),
- wariant 6: przeładunek 28 szt. naczep siodłowych, z użyciem technologii przeładunku poziomego (system bimodalny),
- wariant 7: przeładunek 28 szt. zestawów drogowych, z użyciem technologii przeładunku poziomego (system ruchoma droga),
- wariant 8–10: przeładunek 30 szt. naczep siodłowych, z użyciem technologii przeładunku poziomego (autorski system przeładunku poziomego-skośnego).

Dla wariantów 1–7 wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku oraz wykresy realizacji operacji zostały opracowane na podstawie literatury [20]. W przypadku wariantów 8–10, dla autorskiego systemu transportu intermodalnego z przeładunkiem poziomym, skośnym, wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku i wykresy realizacji opracowano na podstawie obliczeń wykonanych w rozdziale 6.3, których wyniki przedstawiono w tabeli 6.2, oraz w oparciu o założenia dla poprzednich wariantów zawartych w literaturze [20].

Przeprowadzona analiza czasowa procesu technologicznego przeładunku:

**Wariant 1:** załadunek 56 szt. kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych, technologia lo-lo z użyciem suwnicy.

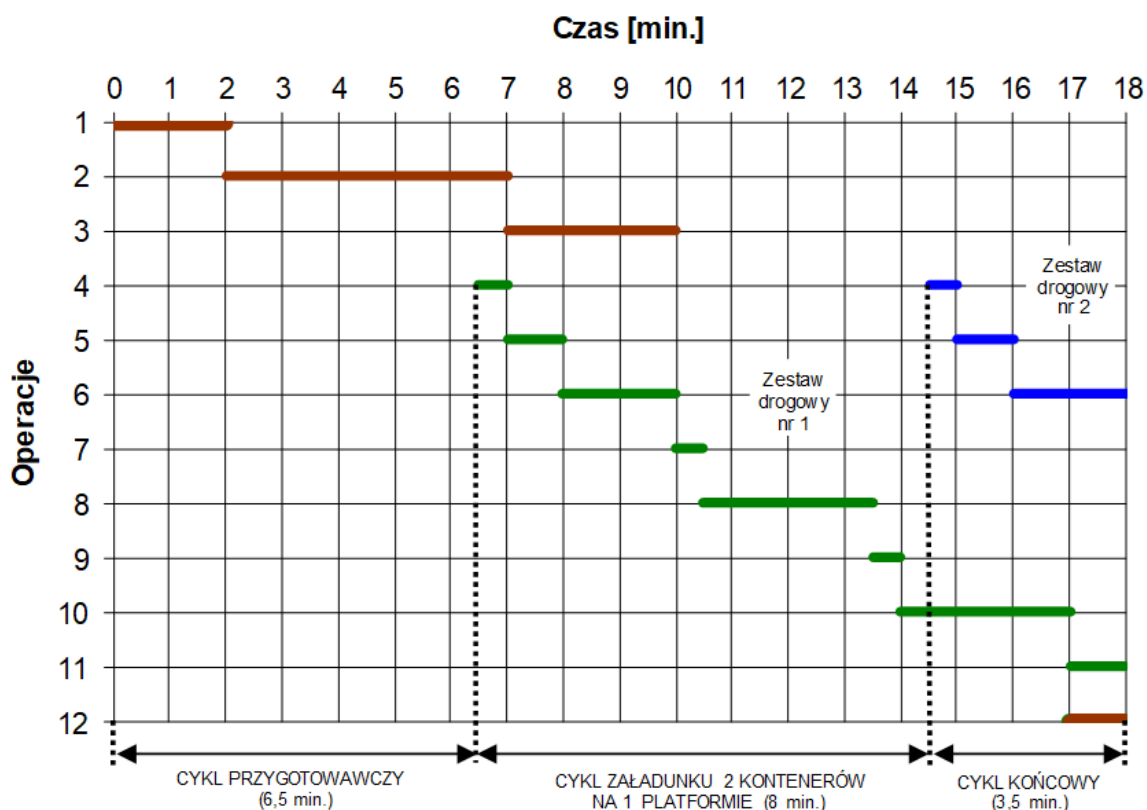
Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 1 przedstawione są w tabeli 7.1.

Tabela 7.1

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych, technologia lo-lo z użyciem suwnicy – wariant 1 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Podstawienie pociągu na terminal i ustawienie w wymaganym miejscu.	2
2.	Odsunięcie sieci trakcyjnej.	5
3.	Ustawienie suwnicy na pozycji zgodnej z pierwszą platformą kontenerową (prędkość jazdy suwnicy 34 m/min, odległość 100m).	3
4.	Podjazd samochodu z kontenerem i przyczepą kontenerową na stanowisko pod suwnicą.	0,5
5.	Przyjęcie dokumentów.	1
6.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego kontenerów, odblokowanie rygli.	2
7.	Uchwycenie przez chwytne kontenera nr 1.	0,5
8.	Podniesienie i przeniesienie kontenera na wagon oraz powrót chwytni w położenie początkowe (suwnica ma wydajność 20 kontenerów/h.).	3
9.	Uchwycenie przez chwytne kontenera nr 2.	0,5
10.	Przeniesienie kontenera nr 2 na wagon oraz powrót chwytni w położenie początkowe.	3
11.	Zablokowanie rygli kontenerów na wagonie.	1
12.	Przejazd suwnicy na następne stanowisko.	1

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.1) przedstawiono na rysunku 7.3 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta (kaskadowe zestawienie procesów wraz z czasem ich trwania). Czasy przedstawione w tabeli 7.1 nie zostały zsumowane w celu obliczenia całkowitego czasu przeładunku, ponieważ niektóre operacje wykonywane są równolegle. Całkowity czas przeładunku można wyznaczyć z diagramu Gantta.



Rys. 7.3. Wykres realizacji operacji załadunku kontenerów 1C, technologia lo-lo z użyciem suwnicy – wariant 1 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Na podstawie diagramu Gantta całkowity czas załadunku 56 szt. kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych, technologia lo-lo z użyciem suwnicy wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_p + t_{op} \frac{n}{2} + t_s + t_z \quad (7.1)$$

gdzie:  $t_c$  – całkowity czas załadunku,

$t_p$  – czas przygotowawczy,

$t_{op}$  – czas jednostkowej operacji,

$t_s$  – czas odsunięcia sieci trakcyjnej,

$t_z$  – czas końcowy,

$n$  – liczba jednostek ładunkowych.

Dla przyjętych wartości czasu przygotowawczego  $t_p = 6,5$  min, czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 8$  min, czasu odsunięcia sieci trakcyjnej  $t_s = 5$  min, czasu końcowego  $t_z = 3,5$  min oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 56$ , wyznaczona wartość całkowitego

czasu załadunku 56 szt. kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych (technologia lo-lo, z użyciem suwnicy), wynosi  $t_c = 239 \text{ min}$ .

Na podstawie przeprowadzonej analizy czasu załadunku kontenerów 1C w technologii lo-lo zauważono, że duże straty czasu wynikają z operacji wykonywanych przez suwnicę (ustawienie suwnicy na stanowisku przeładunkowym, podnoszenie kontenera z pojazdu drogowego i posadowienie kontenera na wagonie, przemieszczanie suwnicy z kontenerem). Wydłużenie czasu operacji wynika przede wszystkim z szeregowego załadunku kontenerów.

**Wariant 2:** załadunek 56 szt. kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych, technologia lo-lo z użyciem wozu chwytniowego.

Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 2 przedstawione są w tabeli 7.2.

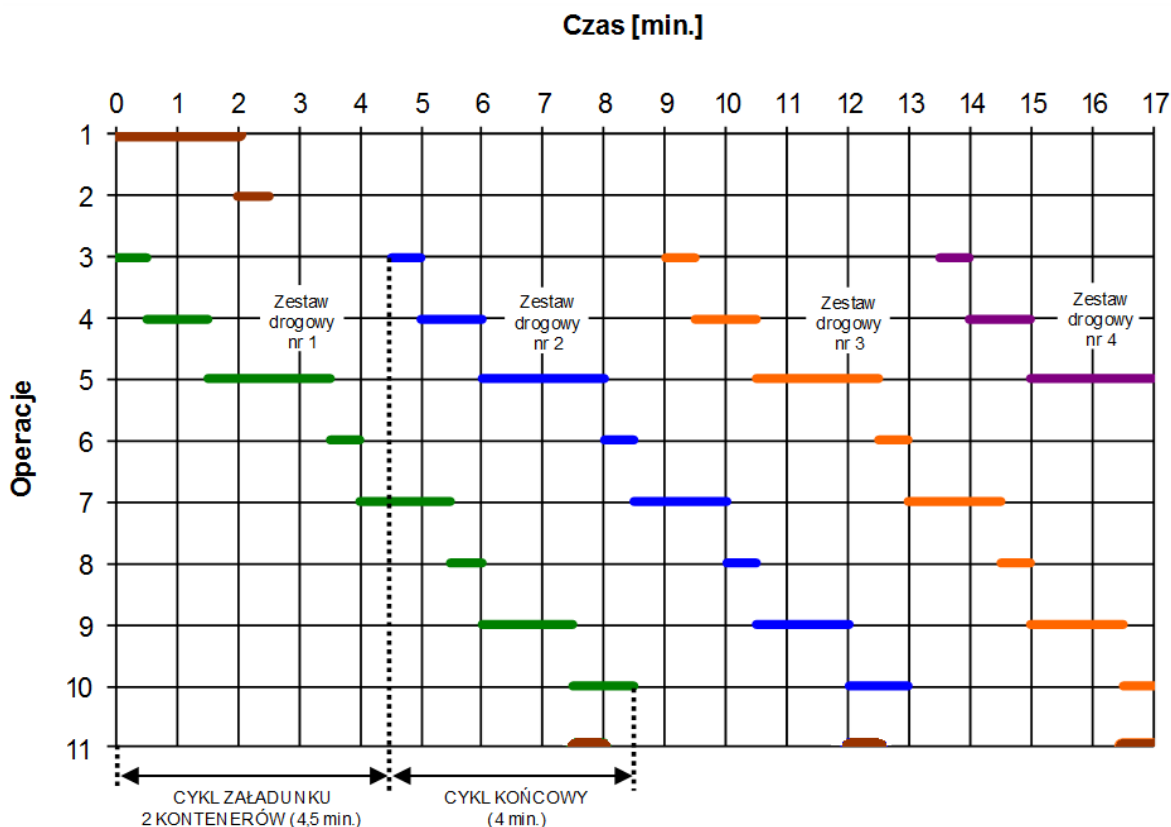
Tabela 7.2

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych, technologia lo-lo z użyciem wozu chwytniowego – wariant 2  
[Opracowanie własne na podstawie [20]]

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Podstawienie pociągu na terminal i ustawienie w wymaganym miejscu.	2
2.	Ustawienie wozu chwytniowego na pozycji zgodnej z pierwszą platformą kontenerową (prędkość jazdy wozu 200 m/min, odległość 100m).	0,5
3.	Podjazd samochodu z przyczepą – zestaw zawierający 2 kontenery 1C.	0,5
4.	Przyjęcie dokumentów.	1
5.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego kontenerów, odblokowanie rygli.	2
6.	Uchwycenie uchwytem kleszczowym kontenera nr 1.	0,5
7.	Podniesienie i przeniesienie kontenera na wagon oraz powrót do położenia początkowego (wóz chwytniowy ma wydajność 40 kontenerów/h.).	1,5
8.	Uchwycenie uchwytem kleszczowym kontenera nr 2.	0,5
9.	Przeniesienie kontenera nr 2 na wagon oraz powrót do położenia początkowego.	1,5
10.	Zablokowanie rygli kontenerów na wagonie.	1
11.	Przejazd wozu na następne stanowisko.	0,5



Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.2) przedstawiono na rysunku 7.4 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.



Rys. 7.4. Wykres realizacji operacji załadunku kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych, technologia lo-lo z użyciem wozu chwytниowego – wariant 2 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Całkowity czas załadunku 56 szt. kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych w technologii lo-lo z użyciem wozu chwytниowego wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_{op} \frac{n}{2} + t_z \quad (7.2)$$

Dla przyjętych wartości czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 4,5 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 4 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 56$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 56 szt. kontenerów 1C lub nadwozi wymiennych (technologia lo-lo z użyciem wozu chwytниowego), wynosi  $t_c = 130 \text{ min}$ .

Z przeprowadzonej analizy wynika, że czas przeładunku kontenerów przy użyciu wozu chwytниowego jest krótszy jak dla wariantu 1 (przeładunek kontenerów przy użyciu

suwnicy), wynika to z większej wydajności pracy wozu chwytniowego. Zauważono, że podobnie jak dla wariantu 1 czas załadunku wydłuża się w wyniku szeregowego cyklu wykonywanych operacji. Zauważono również, że czas przeładunku kontenerów w dużym stopniu uzależniony jest od czynnika ludzkiego (sprawność pracy obsługującego wóz chwytniowy).

**Wariant 3:** załadunek 28 szt. naczep siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia lo-lo z użyciem suwnicy.

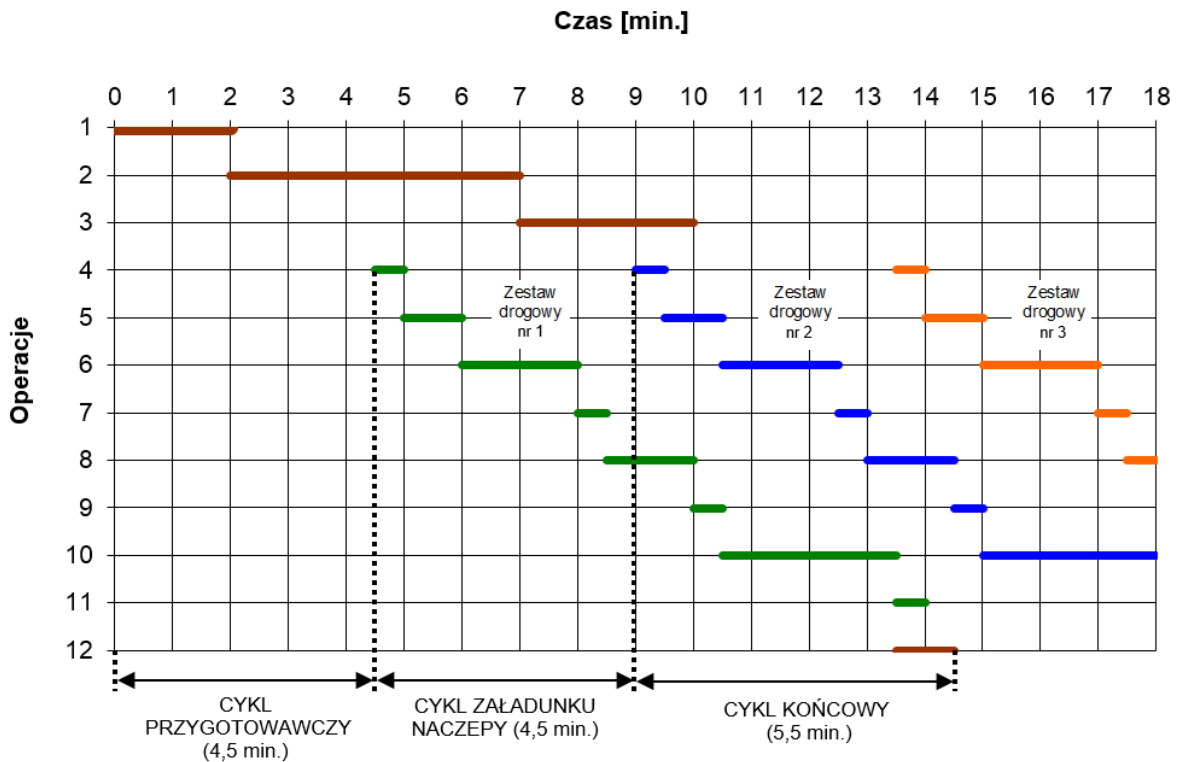
Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 3 przedstawione są w tabeli 7.3.

Tabela 7.3

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku naczep siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia lo-lo z użyciem suwnicy – wariant 3 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Podstawienie pociągu na terminal i ustawienie w wymaganym miejscu.	2
2.	Odsunięcie sieci trakcyjnej.	5
3.	Ustawienie suwnicy na pozycji zgodnej z pierwszą wagonem kieszeniowym (prędkość jazdy suwnicy 34 m/min, odległość 100m).	3
4.	Podjazd ciągnika siodłowego z naczepą na stanowisko pod suwnicą.	0,5
5.	Przyjęcie dokumentów.	1
6.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego naczepy.	2
7.	Opuszczenie przednich nóg naczepy.	0,5
8.	Wywiązanie ciągnika siodłowego.	1,5
9.	Uchwycenie naczepy przez uchwyt kleszczowy suwnicy.	0,5
10.	Podniesienie i przeniesienie naczepy na wagon oraz powrót do pozycji wyjściowej.	3
11.	Zabezpieczenie naczepy na wagonie kieszeniowym.	0,5
12.	Przejazd suwnicy na następne stanowisko.	1

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.3) przedstawiono na rysunku 7.5 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.



Rys. 7.5. Wykres realizacji operacji załadunku naczep siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia lo-lo z użyciem suwnicy – wariant 3 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Całkowity czas załadunku 28 szt. naczep siodłowych w systemie lo-lo z użyciem suwnicy wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_p + t_{op}n + t_s + t_z \quad (7.3)$$

Dla przyjętych wartości czasu przygotowawczego  $t_p = 4,5 \text{ min}$ , czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 4,5 \text{ min}$ , czasu odsunięcia sieci trakcyjnej  $t_s = 5 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 5,5 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 28$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 28 szt. naczep siodłowych (technologia lo-lo, z użyciem suwnicy), wynosi  $t_c = 141 \text{ min}$ .

Na podstawie przeprowadzonej analizy czasu załadunku naczep drogowych w technologii lo-lo zauważono, że duże straty czasu wynikają z operacji wykonywanych przez suwnicę (podobnie jak dla wariantu 1 – przeładunek kontenerów 1C z użyciem suwnicy). Wydłużenie czasu operacji wynika przede wszystkim z szeregowego (jeden za drugim) załadunku naczep. Jednak w porównaniu z wariantem 1 liczba przeładowywanych jednostek jest dwukrotnie mniejsza w wyniku czego skraca się liczba operacji wykonywanych przez urządzenie przeładunkowe.

**Wariant 4:** załadunek 28 szt. naczepek siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia lo-lo z użyciem wozu podnośnikowego.

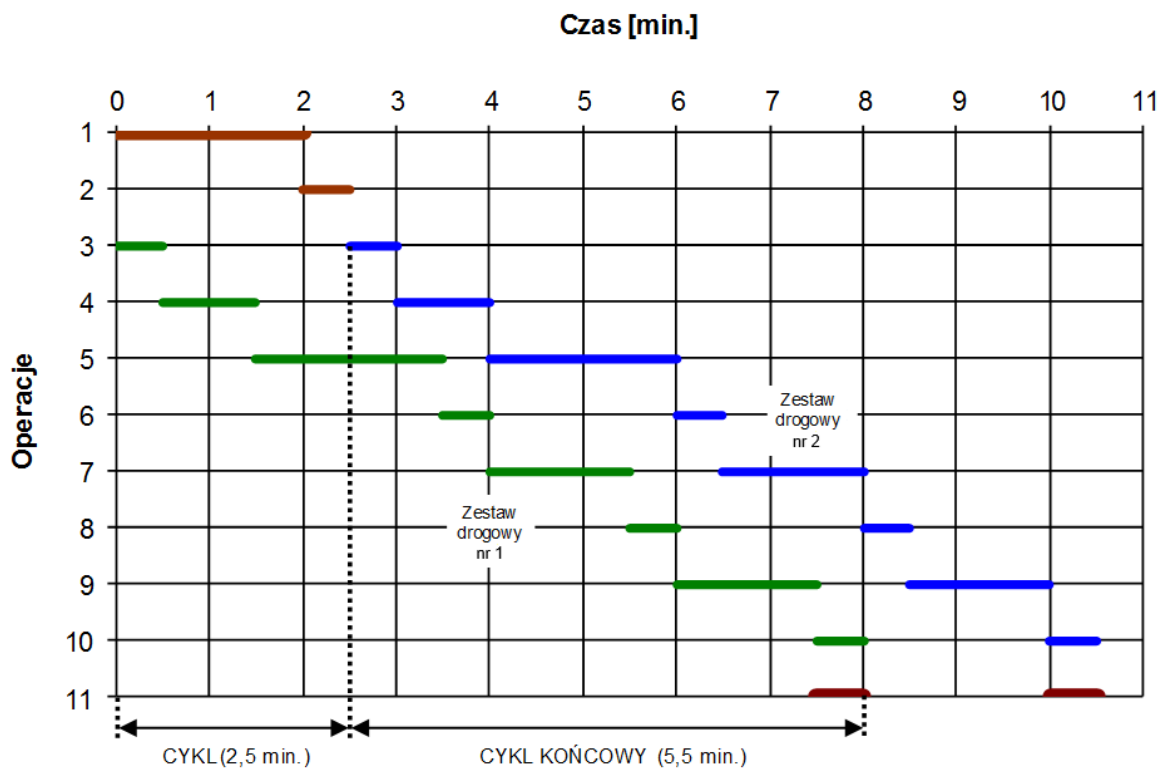
Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 4 przedstawione są w tabeli 7.4.

Tabela 7.4

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku naczepek siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia lo-lo z użyciem wozu podnośnikowego – wariant 4  
[Opracowanie własne na podstawie [20]]

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Podstawienie pociągu na terminal i ustawienie w wymaganym miejscu.	2
2.	Ustawienie wozu podnośnikowego na pozycji zgodnej z pierwszym wagonem kieszeniowym.	0,5
3.	Podjazd ciągnika siodłowego z naczepą na stanowisko.	0,5
4.	Przyjęcie dokumentów.	1
5.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego naczepy.	2
6.	Opuszczenie przednich nóg naczepy.	0,5
7.	Wywiązanie ciągnika siodłowego.	1,5
8.	Uchwycenie naczepy przez uchwyt kleszczowy wozu podnośnikowego.	0,5
9.	Podniesienie, przeniesienie naczepy na wagon i powrót do pozycji wyjściowej (wydajność wozu 40 naczep/h).	1,5
10.	Zabezpieczenie naczepy na wagonie kieszeniowym.	0,5
11.	Przejazd wozu podnośnikowego na następne stanowisko.	0,5

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.4) przedstawiono na rysunku 7.6 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.



Rys. 7.6. Wykres realizacji operacji załadunku naczep siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia lo-lo z użyciem wozu podnośnikowego – wariant 4 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Całkowity czas załadunku 28 szt. naczep siodłowych w systemie lo-lo z użyciem wozu podnośnikowego wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_{op}n + t_z \quad (7.4)$$

Dla przyjętych wartości czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 2,5 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 5,5 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 28$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 28 szt. naczep siodłowych (technologia lo-lo, z użyciem wozu podnośnikowego), wynosi  $t_c = 75,5 \text{ min}$ .

Z przeprowadzonej analizy wynika, że czas załadunku naczep siodłowych przy użyciu wozu podnośnikowego jest krótszy jak dla wariantu 3 (przeładunek naczep przy użyciu suwnicy) wynika to z większej wydajności pracy wozu podnośnikowego. Natomiast w porównaniu z wariantem 2 (przeładunek kontenerów 1C z zastosowaniem wozu chwytniowego), liczba przeładowywanych jednostek jest dwukrotnie mniejsza, w wyniku czego skraca się liczba operacji wykonywanych przez urządzenie przeładunkowe.

Zauważono, że podobnie jak dla wariantu 1, 2, 3 czas załadunku wydłuża się w wyniku szeregowego cyklu wykonywanych operacji.

**Wariant 5:** załadunek 28 szt. naczep siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia ro-ro z użyciem robotów mobilnych systemu ALS,

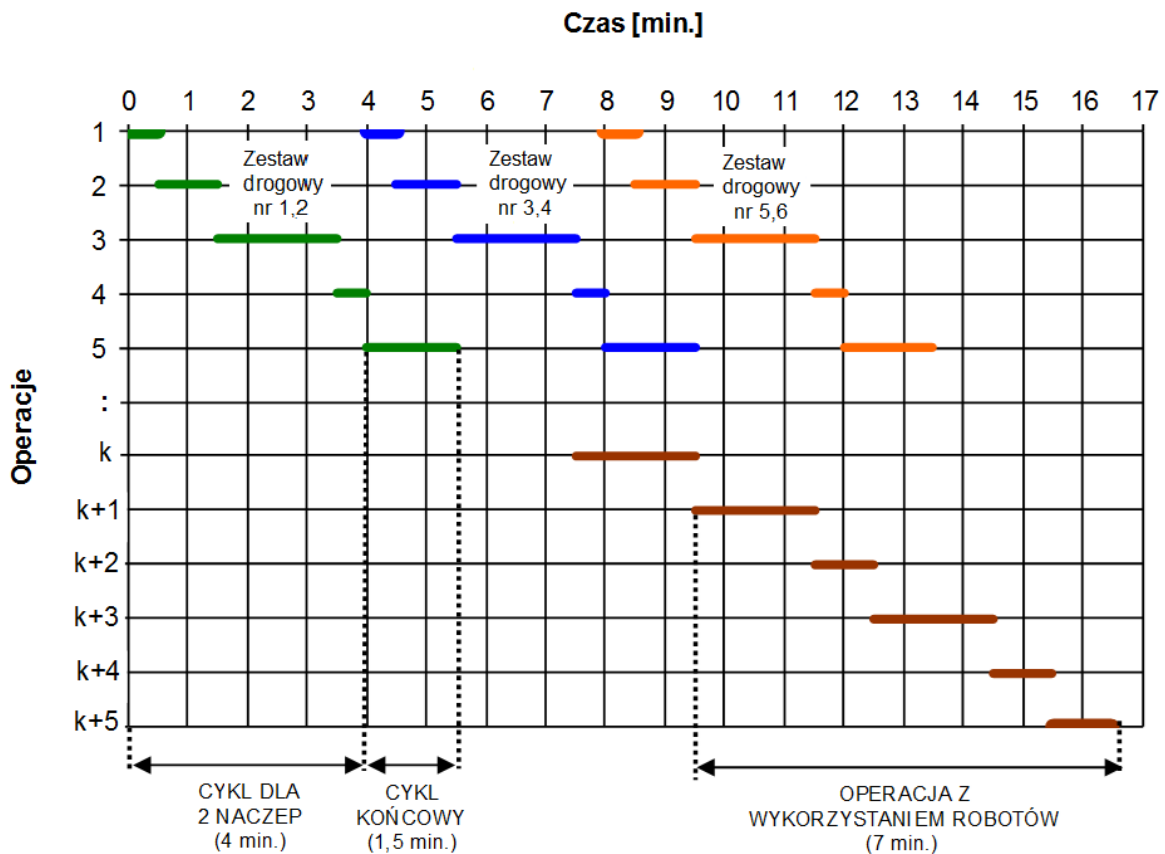
Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 5 przedstawione są w tabeli 7.5.

Tabela 7.5

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku naczep siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia ro-ro z wykorzystaniem robotów mobilnych – wariant 5  
[Opracowanie własne na podstawie [20]]

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Podjazd ciągników z naczepami na stanowisko nr 1 i 2.	0,5
2.	Przejęcie dokumentów.	1
3.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego naczep.	2
4.	Opuszczenie nóg naczep.	0,5
5.	Wywiązanie ciągników siodłowych.	1,5
k.	Podstawienie pociągu na terminal i ustawienie w wymaganym miejscu (dokładność do 15 cm).	2
k+1.	Przejazd robotów unoszących pod naczepy.	2
k+2.	Posadowienie naczep na robotach unoszących.	1
k+3.	Przesunięcie naczep na wagony.	2
k+4.	Posadowienie naczep na wagonach.	1
k+5.	Zabezpieczenie naczep.	1

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.5) przedstawiono na rysunku 7.7 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.



Rys. 7.7. Wykres realizacji operacji załadunku naczep siodłowych na wagony kieszeniowe, technologia ro-ro z wykorzystaniem robotów mobilnych – wariant 5 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Całkowity czas załadunku 28 szt. naczep siodłowych na wagony kieszeniowe z przeładunkiem ro-ro (przeładunek dwustronny z wykorzystaniem robotów mobilnych), wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_{op} \frac{n}{2} + t_r + t_z \quad (7.5)$$

gdzie:  $t_r$  – czas fazy załadunku z wykorzystaniem robotów mobilnych.

Dla przyjętych wartości czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 4 \text{ min}$ , czasu fazy załadunku z wykorzystaniem robotów mobilnych  $t_r = 7 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 1,5 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 28$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 28 szt. naczep siodłowych (technologia ro-ro z użyciem robotów mobilnych), wynosi  $t_c = 64,5 \text{ min}$ .

Na podstawie przeprowadzonej analizy czasu załadunku naczep siodłowych w technologii ro-ro przy użyciu robotów mobilnych stwierdzono, że wąskim gardłem

całego etapu przeładunku jest przyjęcie naczep drogowych na terminalu a czas samego procesu załadowania naczep na wagony kolejowe wynosi tylko 7 minut. W tym przypadku skrócenie czasu operacji wynika przede wszystkim z równoległego załadunku naczep.

**Wariant 6:** uformowanie pociągu z jednostek bimodalnych składającego się z 28 naczep siodłowych, technologia ro-ro.

Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego formowania składu pociągu bimodalnego dla wariantu 6 przedstawione są w tabeli 7.6.

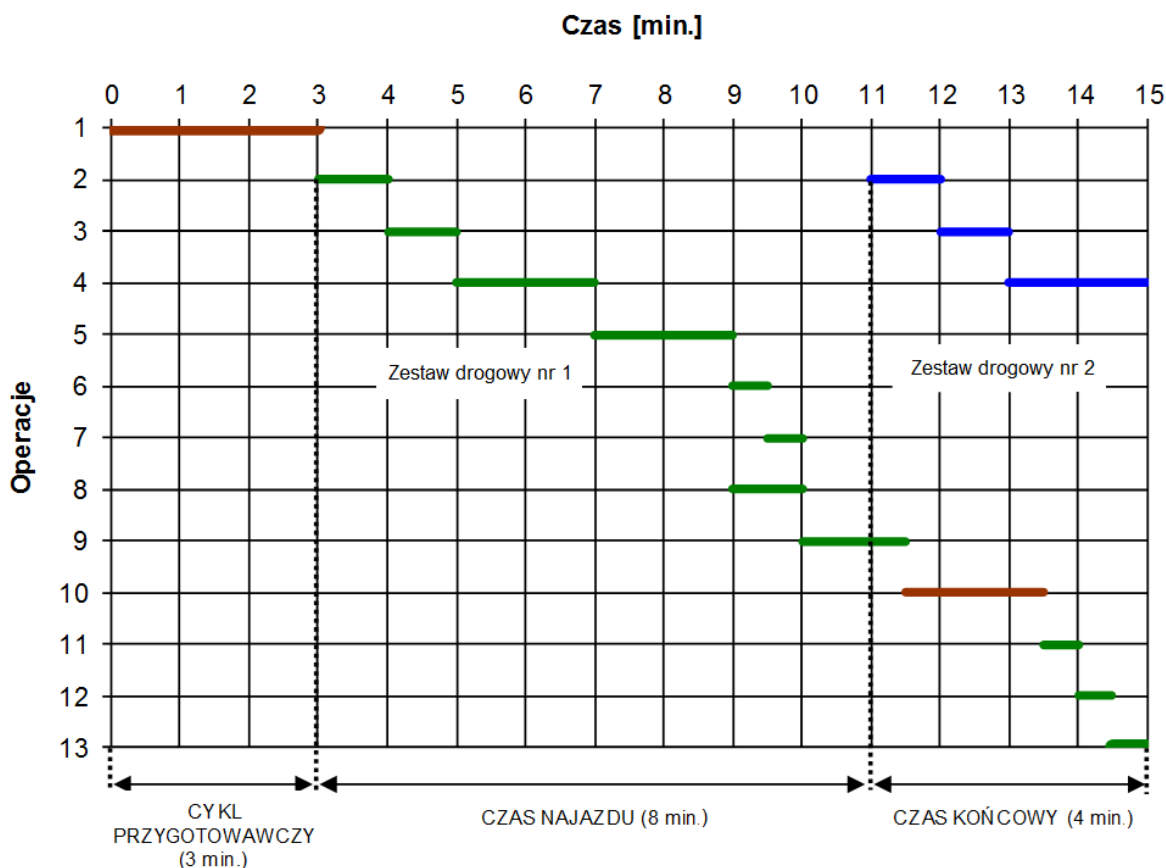
Tabela 7.6

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego formowania składu pociągu bimodalnego, technologia ro-ro – wariant 6 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Ustawienie wózka czołowego i zabezpieczenie przed przesunięciem.	3
2.	Podjazd tyłem naczepy nr 1.	1
3.	Przyjęcie dokumentów.	1
4.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego naczepy.	2
5.	Najazd tyłem na wózek i połączenie z adapterem.	2
6.	Zamknięcie zamka adaptera.	0,5
7.	Opuszczenie przednich nóg naczepy.	0,5
8.	Podniesienie osi tylnych naczepy.	1
9.	Wywiązanie ciągnika siodłowego.	1,5
10.	Doprowadzenie kolejnego (środkowego) wózka przed pojazd pomocniczy (6 km/h ok.200 m).	2
11.	Wprowadzenie adaptera wózka w gniazdo naczepy.	0,5
12.	Uniesienie nóg przednich naczepy.	0,5
13.	Zamknięcie zamka adaptera.	0,5

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.6) przedstawiono na rysunku 7.8 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.





Rys. 7.8. Wykres realizacji operacji formowania pociągu bimodalnego składającego się z 28 naczeł siodłowych, technologia ro-ro – wariant 6 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Całkowity czas uformowania pociągu bimodalnego składającego się z 28 naczeł siodłowych wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_p + t_{op}n + t_z \quad (7.6)$$

Dla przyjętych wartości czasu przygotowawczego  $t_p = 3 \text{ min}$ , czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 8 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 4 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 28$ , wyznaczona wartość czasu uformowanie pociągu z jednostek bimodalnych składającego się z 28 naczeł siodłowych (technologia ro-ro), wynosi  $t_c = 231 \text{ min}$ .

Na podstawie przeprowadzonej analizy czasu uformowania pociągu z jednostek bimodalnych składającego się z 28 naczeł siodłowych można zauważyć, że wydłużenie czasu operacji wynika z skomplikowanych operacji szeregowego formowania składu pociągu.

**Wariant 7:** załadunek 28 szt. zestawów drogowych (naczepy siodłowe wraz z ciągnikami) na wagony niskopodłogowe, technologia ro-ro dla systemu Ro-La.

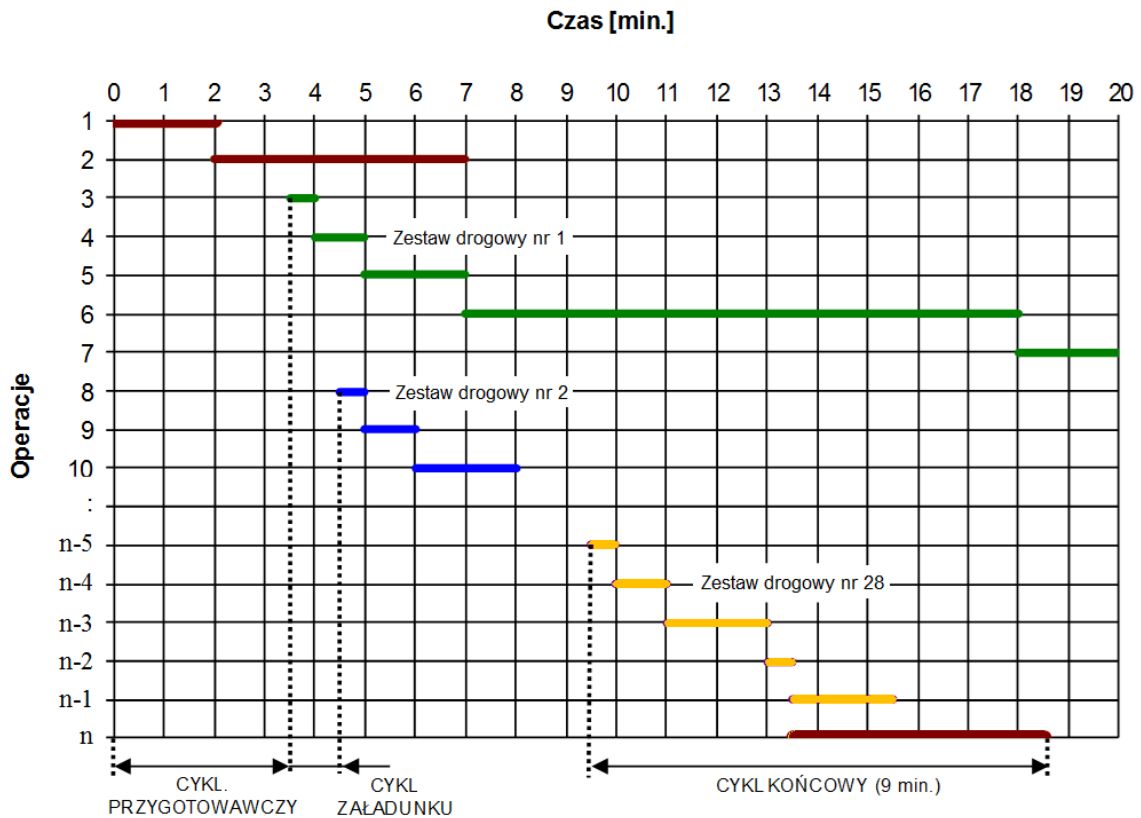
Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 7 przedstawione są w tabeli 7.7.

Tabela 7.7

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku 28 naczep siodłowych w systemie „ruchoma droga”, technologia ro-ro – wariant 7 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Podstawienie pociągu na terminal i ustawienie w wymaganym miejscu.	2
2.	Ustawienie i zaryglowanie rampy najazdowej.	5
3.	Podjazd samochodu nr 1.	0,5
4.	Przyjęcie dokumentów.	1
5.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego.	2
6.	Wjazd na „ruchomą drogę” i przejazd z prędkością około 3 km/h do miejsca postoju wagonu nr 1 (długość ruchomej drogi $\approx$ 560 m., $V=50$ m/min).	11
7.	Założenie klinów i zabezpieczenie samochodu.	2
8.	Podjazd samochodu nr 2.	0,5
:	:	:
n-5.	Podjazd samochodu nr 28.	0,5
n-4.	Przyjęcie dokumentów.	1
n-3.	Sprawdzenie plomb i stanu technicznego.	2
n-2.	Wjazd pojazdu na „ruchomą drogę” na ostatni wagon.	0,5
n-1.	Założenie klinów i zabezpieczenie samochodu.	2
n.	Odryglowanie i zdjęcie rampy najazdowej.	5

Odległość między pojazdami w ruchu na wagonach musi wynosić co najmniej 2 wagony, około 50 m czyli 1 min. Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.7) przedstawiono na rysunku 7.9 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.



Rys. 7.9 Wykres realizacji operacji załadunku naczep siodłowych w systemie „ruchoma droga”, technologia ro-ro – wariant 7 [Opracowanie własne na podstawie [20]]

Całkowity czas załadunku 28 szt. zestawów drogowych w systemie „ruchoma droga” wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_p + t_{op}(n-1) + t_z \quad (7.7)$$

Dla przyjętych wartości czasu przygotowawczego  $t_p = 3,5 \text{ min}$ , czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 1 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 9 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 28$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 28 szt. zestawów drogowych (technologia ro-ro, dla systemu Ro-La), wynosi  $t_c = 39,5 \text{ min}$ .

Z przeprowadzonej analizy czasu załadunku 28 szt. zestawów drogowych wynika, że pomimo operacji szeregowego (jeden za drugim) załadunku zestawów drogowych, czas całkowity załadunku jest krótki, ponieważ czas jednostkowej operacji wynosi tylko 1 minutę.

**Wariant 8 (autorski):** równoczesny załadunek 30 naczep z zastosowaniem 30 stanowisk przeładunkowych, technologia ro-ro, dla systemu intermodalnego z przeładunkiem poziomym, skośnym. Obsługa przygotowuje do załadunku naczepy przed przyjazdem pociągu (przyjęcie dokumentów, sprawdzenie skrajni, zważenie masy naczepy, sprawdzenie stanu technicznego oraz plomb). Bezpośrednio po przyjechaniu pociągu następuje załadunek jednostek ładunkowych na wagony kolejowe.

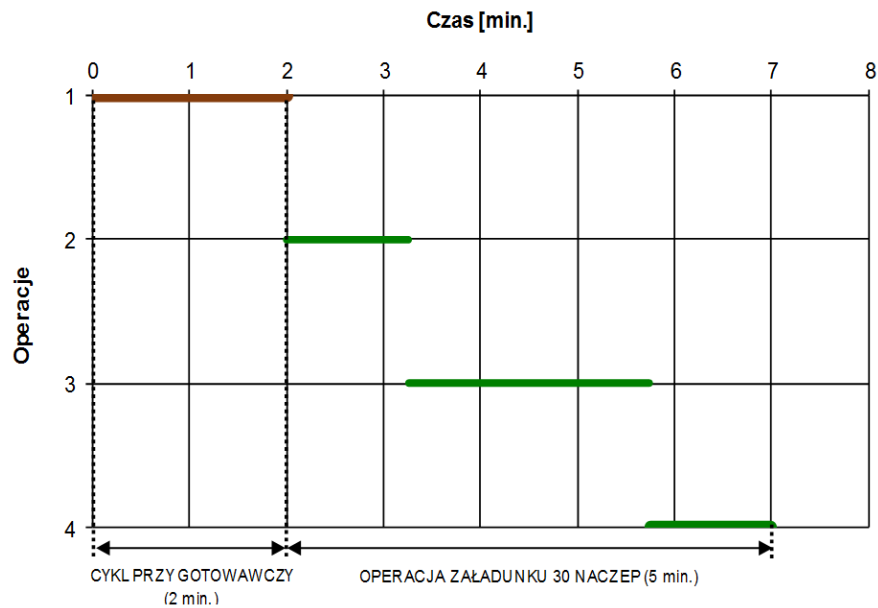
Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 8 przedstawione są w tabeli 7.8.

Tabela 7.8

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku naczep siodłowych systemu transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem, technologia ro-ro – wariant 8

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Ustawienie pociągu na terminalu w wyznaczonym miejscu.	2
2.	Odryglowanie, uniesienie, obrót i posadowienie platform 1–30 na klinach najazdowych.	1,25
3.	Wprowadzenie wcześniej przygotowanych do przeładunku 30 naczep na platformy za pomocą ciągników siodłowych.	2,5
4.	Uniesienie, obrót, oparcie platform 1–30 na wagonie oraz zaryglowanie połączonych wagonów.	1,25

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.8) przedstawiono na rysunku 7.10 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.



Rys. 7.10 Wykres realizacji operacji załadunku naczep siodłowych w systemie transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem, technologia ro-ro – wariant 8

Całkowity czas uformowania składu pociągu dla 30 naczep z zastosowaniem 30 stanowisk przeładunkowych, dla autorskiego systemu intermodalnego z przeładunkiem poziomym, skośnym, gdzie obsługa przygotowuje do załadunku naczepy przed przyjazdem pociągu, wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_p + t_{op} \quad (7.8)$$

Dla przyjętych wartości czasu przygotowawczego  $t_p = 2 \text{ min}$ , czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 5 \text{ min}$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 30 szt. naczep drogowych dla wariantu 8 wynosi  $t_c = 7 \text{ min}$ .

W przeprowadzonej analizie czasu załadunku 30 szt. naczep drogowych dla wariantu 8 czas załadunku naczep na wagony kolejowe wynosi tylko 7 minut, ponieważ w badaniu nie uwzględniono przygotowania naczep siodłowych do przeładunku (Obsługa przygotowuje naczepy przed przyjazdem pociągu). Dodatkowo w tym przypadku krótki czas operacji wynika z równoległego załadunku naczep.

**wariant 9 (autorski):** równoczesny załadunek 30 naczep z zastosowaniem 30 stanowisk przeładunkowych, technologia ro-ro, dla systemu intermodalnego z przeładunkiem poziomym, skośnym. Obsługa przygotowuje do załadunku naczepy bezpośrednio po przyjechaniu pociągu.

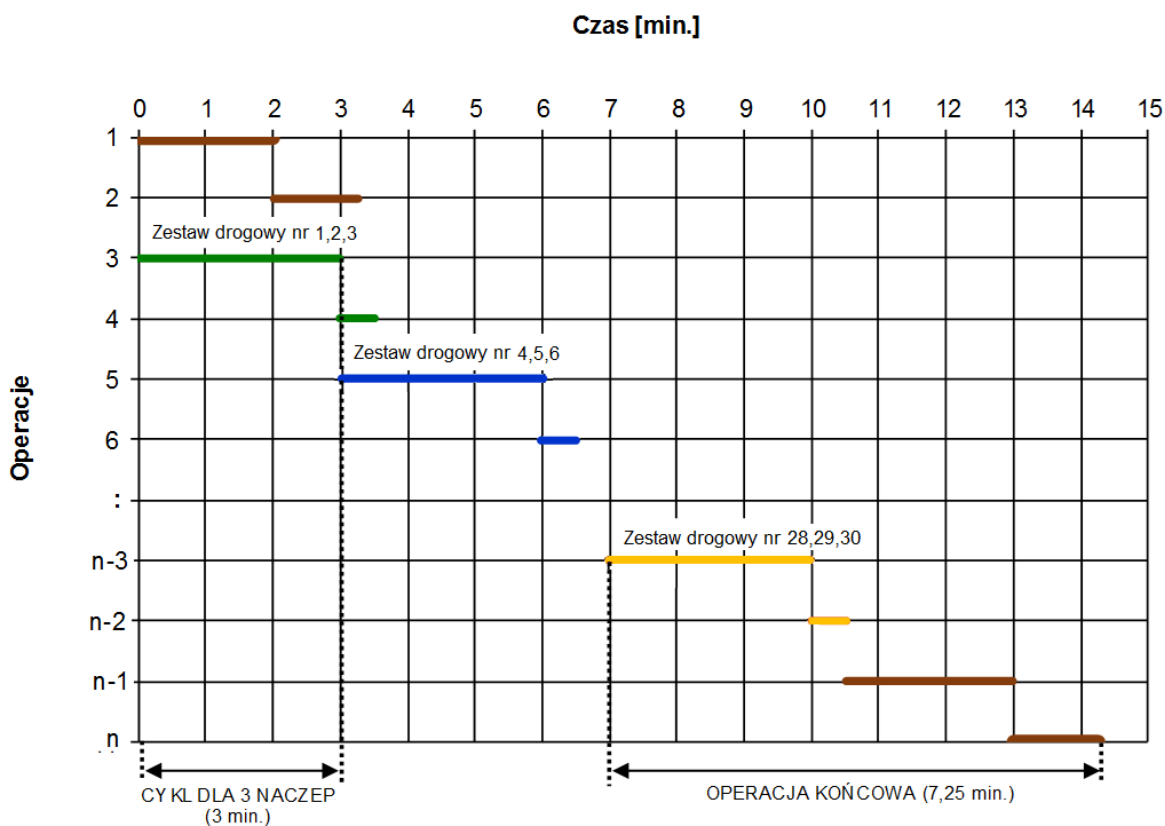
Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 9 przedstawione są w tabeli 7.9.

Tabela 7.9

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku naczep siodłowych systemu transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem, technologia ro-ro – wariant 9

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Ustawienie pociągu na terminalu w wyznaczonym miejscu.	2
2.	Odryglowanie, uniesienie, obrót i posadowienie platform 1–30 na klinach najazdowych.	1,25
3.	Wjazd samochodów nr 1, 2, 3 na terminal, przyjęcie dokumentów, sprawdzenie skrajni, zważenie masy naczepy, sprawdzenie stanu technicznego oraz ewentualnych plomb (przy założeniu, że terminal wyposażony jest w 3 tory – bramki wjazdowe).	3
4.	Podjazd ciągników siodłowych z naczepami nr 1, 2, 3 pod stanowisko załadowcze.	0,5
5.	Wjazd samochodów nr 4, 5, 6 na terminal, przyjęcie dokumentów, sprawdzenie skrajni, zważenie masy naczepy, sprawdzenie stanu technicznego oraz ewentualnych plomb.	3
:	:	:
n-3.	Wjazd samochodów nr 28, 29, 30 na terminal, przyjęcie dokumentów, sprawdzenie skrajni, zważenie masy naczepy, sprawdzenie stanu technicznego oraz ewentualnych plomb.	3
n-2.	Podjazd ciągników siodłowych z naczepami nr 28, 29, 30 pod stanowisko załadowcze.	0,5
n-1.	Wprowadzenie naczep 1–30 na platformy 1–30 za pomocą ciągników siodłowych.	2,5
n.	Uniesienie, obrót, oparcie platform 1–30 na wagonie oraz zaryglowanie połączonych wagonów.	1,25

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.9) przedstawiono na rysunku 7.11 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.



Rys. 7.11 Wykres realizacji operacji załadunku naczep siodłowych w systemie transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem, technologia ro-ro – wariant 9

Całkowity czas uformowania składu pociągu dla 30 naczep z zastosowaniem 30 stanowisk przeładunkowych, dla systemu intermodalnego z przeładunkiem poziomym, skośnym, gdzie obsługa przygotowuje do załadunku naczepy bezpośrednio po przyjechaniu pociągu, wyznaczono z zależności:

$$t_c = t_{op} \left( \frac{n}{3} - 1 \right) + t_z \quad (7.9)$$

Dla przyjętych wartości czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 3 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 7,25 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 30$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 30 szt. naczep drogowych dla wariantu 9 wynosi  $t_c = 34,25 \text{ min}$ .

Z przeprowadzonej analizy załadunku 30 szt. naczep drogowych dla wariantu 9 wynika, że czas całkowitego procesu załadunkowego wydłuża się w stosunku do czasu załadunku dla wariantu 8 z powodu uwzględnienia czasu obsługi naczep bezpośrednio po przyjechaniu pociągu. Jednak w porównaniu do pozostałych wariantów 1–7 czas

załadunku jest krótszy, korzyść ta wynika z równoległego załadunku, z krótkiego czasu jednostkowej operacji oraz mniejszej liczby cykli obsługi naczep w wyniku zastosowania 3 torowej bramki wjazdowej.

**Wariant 10 (autorski):** równoczesny załadunek 6 naczep z zastosowaniem 6 stanowisk przeładunkowych (przeładunek 30 naczep z pięciokrotnym przetoczeniem pociągu). technologia ro-ro, dla systemu intermodalnego z przeładunkiem poziomym skośnym. Obsługa przygotowuje do załadunku naczepy bezpośrednio po przyjechaniu pociągu.

Wyznaczone czasy poszczególnych operacji procesu technologicznego przeładunku dla wariantu 10 przedstawione są w tabeli 7.10.

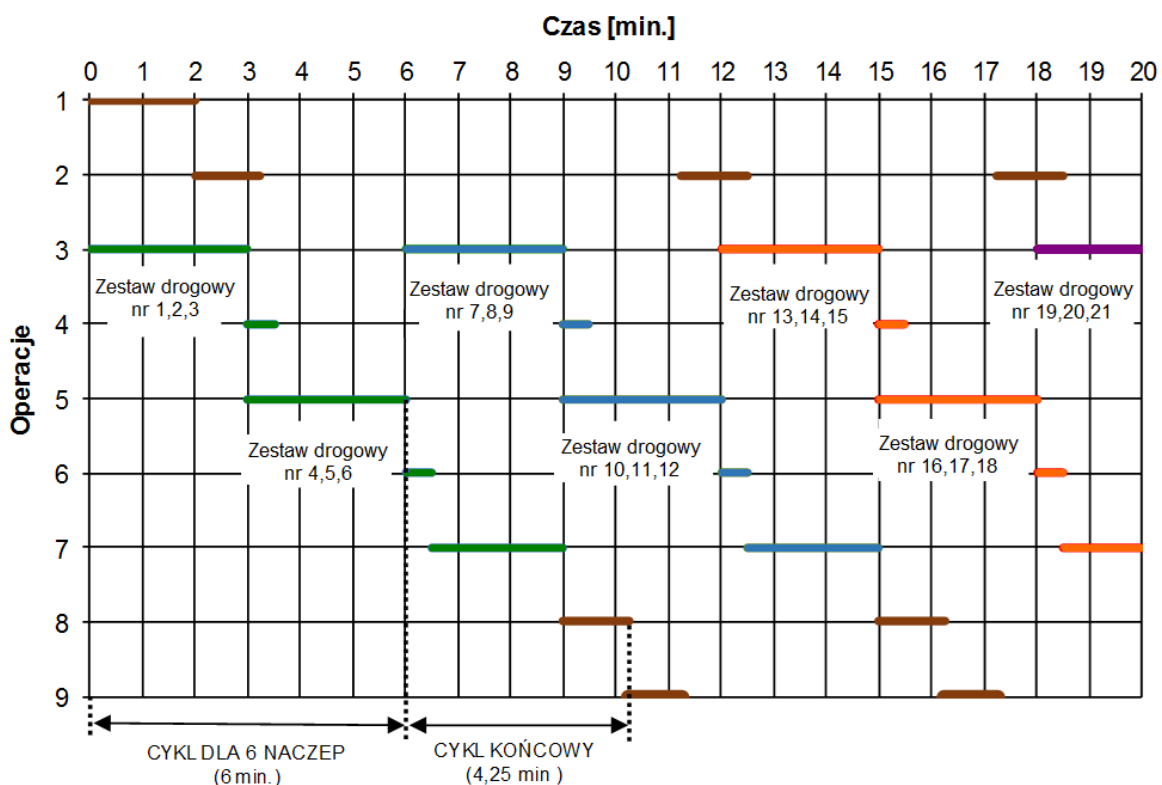
Tabela 7.10

Wyznaczone czasy operacji procesu technologicznego przeładunku naczep siodłowych systemu transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem, technologia ro-ro – wariant 10

Lp.	Spis czynności	Czas operacji [min]
1.	Ustawienie pociągu na terminalu w wyznaczonym miejscu.	2
2.	Odryglowanie, uniesienie, obrót i posadowienie platform 1–6 na klinach najazdowych.	1,25
3.	Wjazd samochodów nr 1, 2, 3 na terminal, przyjęcie dokumentów, sprawdzenie skrajni, zważenie masy naczepy, sprawdzenie stanu technicznego oraz ewentualnych plomb (przy założeniu, że terminal wyposażony jest w 3 tory – bramki wjazdowe).	3
4.	Podjazd ciągników siodłowych z naczepami nr 1, 2, 3 pod stanowisko załadowcze.	0,5
5.	Wjazd samochodów nr 4, 5, 6 na terminal, przyjęcie dokumentów, sprawdzenie skrajni, zważenie masy naczepy, sprawdzenie stanu technicznego oraz ewentualnych plomb.	3
6.	Podjazd samochodów nr 4, 5, 6 pod stanowisko załadowcze.	0,5
7.	Wprowadzenie naczep 1–6 na platformy 1–6 za pomocą ciągników siodłowych.	2,5
8.	Uniesienie, obrót, oparcie platform 1–6 na wagonie oraz zaryglowanie połączonych wagonów.	1,25
9.	Przetoczenie wagonu.	1

Na podstawie wyznaczonych czasów poszczególnych operacji (tabela 7.10) przedstawiono na rysunku 7.12 wykres realizacji procesu technologicznego przeładunku w postaci diagramu Gantta.





Rys. 7.12 Wykres realizacji operacji załadunku naczep siodłowych w systemie transportu intermodalnego z poziomym, skośnym przeładunkiem, technologia ro-ro – wariant 10

Całkowity czas uformowania składu pociągu dla 30 naczep z zastosowaniem 6 stanowisk przeładunkowych, technologia ro-ro, dla systemu intermodalnego z przeładunkiem poziomym skośnym, gdzie obsługa przygotowuje do załadunku naczepy bezpośrednio po przyjechaniu pociągu, wyznaczono z zależności:

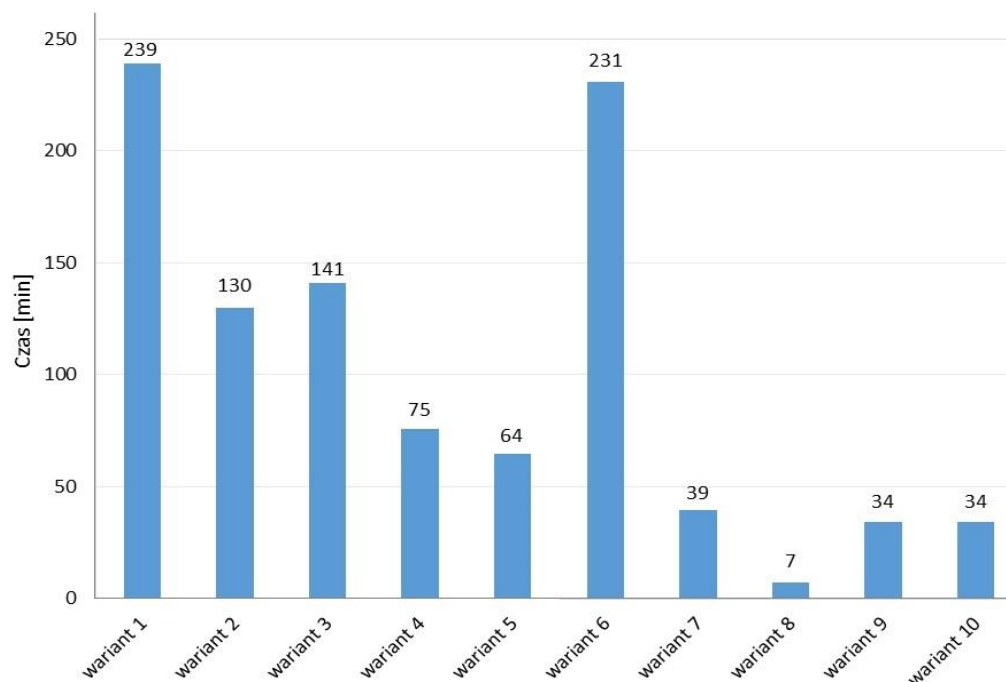
$$t_c = t_{op} \frac{n}{6} + t_z \quad (7.10)$$

Dla przyjętych wartości czasu jednostkowej operacji  $t_{op} = 6 \text{ min}$ , czasu końcowego  $t_z = 4,25 \text{ min}$  oraz liczby jednostek ładunkowych  $n = 30$ , wyznaczona wartość całkowitego czasu załadunku 30 szt. naczep drogowych dla wariantu 10 wynosi  $t_c = 34,25 \text{ min}$ .

Z przeprowadzonej analizy czasu załadunku 30 szt. zestawów drogowych dla wariantu 10 wynika, że czas całkowitego procesu załadunkowego nie wydłuża się w stosunku do czasu załadunku dla wariantu 9, pomimo dodatkowego 4-krotnego przetaczania wagonów. Zysk czasu wynika z wykonywania operacji przenoszenia naczep

na wagony i przetaczania wagonów równoległe z operacjami przygotowawczymi (obsługa przyjęcia naczep na terminalu).

Porównanie czasów procesu technologicznego przeładunku dla opracowanego systemu oraz wybranych systemów intermodalnych zobrazowano na rysunku 7.13.



Legenda:

wariant 1 – 56 kontenerów 20' (lo-lo), suwnica,

wariant 2 – 56 kontenerów 20' (lo-lo), wóz chwytniowy,

wariant 3 – 28 naczep siodłowych (lo-lo), suwnica,

wariant 4 – 28 naczep siodłowych (lo-lo), wóz podnośnikowy,

wariant 5 – 28 naczep siodłowych (ALS),

wariant 6 – 28 naczep siodłowych (bimodalna),

wariant 7 – 28 zestawów drogowych (ruchoma droga),

warianty 8–10 (autorskie) – 30 naczep siodłowych (przeładunek poziomy, skośny).

Rys.7.13. Czasy procesu technologicznego przeładunku dla wybranych systemów transportu intermodalnego

Z przeprowadzonej analizy można wywnioskować, że w opracowanym systemie intermodalnym przeładunek poziomy, skośny wypada korzystnie na tle pozostałych systemów. Najdłuższe czasy występują dla przeładunku 56 szt. kontenerów 1C przy użyciu suwnicy  $t_c = 239$  min (wariant 1) oraz naczep w systemie bimodalnym  $t_c = 231$  min (wariant 6). Należy jednak zaznaczyć, że w jednostce Sieć Badawcza Łukasiewicz –

Poznański Instytut Technologiczny obecnie w opracowywaniu jest sposób przeładunku poziomego dla systemu bimodalnego, który skróci czas wykonywanych operacji.

Korzystnie w analizie wypadła system ruchoma droga, charakteryzujący się prostym załadunkiem ciągu pojazdów drogowych w krótkim czasie  $t_c = 39,5$  min (wariant 7). Jednak w systemie Ro-La nie można przeprowadzić procesu przeładunku pojedynczych pojazdów drogowych na stacjach pośrednich.

Dla opracowanego systemu z przeładunkiem poziomym, skośnym przedstawiono 3 metody załadunku (warianty 8–10 przeprowadzonej analizy). Pierwszy z nich – wariant 8 z równoczesnym załadunkiem 30 naczep, z zastosowaniem 30 stanowisk przeładunkowych, gdzie obsługa przygotowuje do załadunku naczepy przed przyjazdem pociągu. Wariant ten sprawdzi się dla linii w których ważne jest szybkie odprawienie pociągu z terminalu. W tym przypadku czas załadunku od momentu wjechania pociągu na terminal wynosi jedynie  $t_c = 7$  min. Dla większości zaprezentowanych w analizie systemów jest to czas dalece nieosiągalny, z wyjątkiem systemu ALS. Jednak takie zastosowanie niesie za sobą duże koszty związane z wyposażeniem terminalu w znaczną liczbę stanowisk załadunkowych.

W wariacie 9, w którym następuje równoczesny załadunek 30 naczep, z zastosowaniem 30 stanowisk przeładunkowych, gdzie obsługa przygotowuje naczepy bezpośrednio po przyjechaniu pociągu, oszacowany czas wynosi  $t_c = 34,25$  min. Jak wynika z analizy, na podstawie wykresu przedstawionego na rysunku 7.11 jest to najkrótszy czas w stosunku do pozostałych porównywanych systemów. Jednak to rozwiązanie podobnie jak w wariacie 8 powoduje wysokie koszty budowy terminalu.

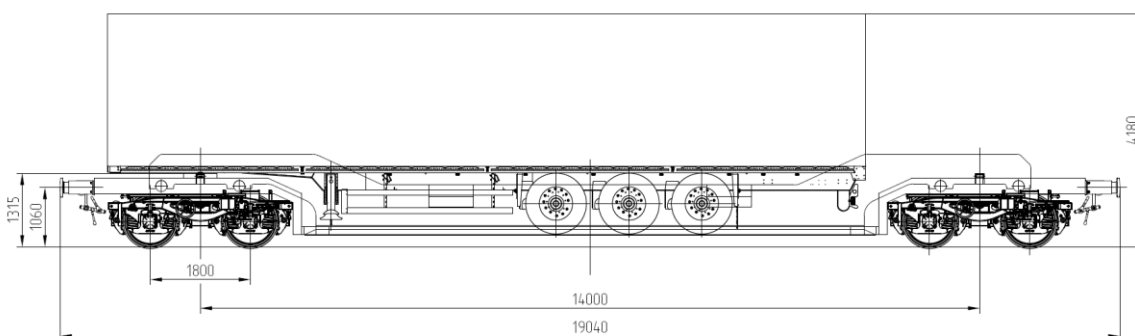
Bardzo ciekawym rozwiązaniem jest wariant 10 z równoczesnym załadunkiem 6 naczep z zastosowaniem 6 stanowisk przeładunkowych. Analogicznie jak w wariacie 9 obsługa przygotowuje do załadunku naczepy bezpośrednio po przyjechaniu pociągu. W wariacie tym czas załadunku wynosi również  $t_c = 34,25$  min. W stosunku do poprzedniego wariantu czas nie ulega wydłużeniu a zmniejszona liczba zastosowanych urządzeń podnoszenia i obrotu znacznie obniża koszty wyposażenia terminalu.

Z badania zaprojektowanego systemu wynika, że wąskim gardłem przeładunku jest przyjęcie dokumentacji, sprawdzenie stanu technicznego, skrajni oraz plomb naczep drogowych, gdyż czas samego procesu załadowania naczep na wagony kolejowe jest względnie krótki. Na podstawie zaprezentowanej analizy stwierdzono, że dla autorskiego systemu intermodalnego z przeładunkiem poziomym, skośnym (wariant 8–10) można

zastosować różnorodne modele przeładunku. System ten może być atrakcyjnym rozwiązaniem dla różnych wariantów terminali, w zależności jakie są ich potrzeby. Czas formowania składu pociągu jest jednym z ważniejszych kryteriów wyboru technologii transportu i na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że opracowany nowy system posiada mocne strony i szanse na jego wdrożenie.

## 8. PROPOZYCJE DALSZEGO ROZWOJU PRZEDSTAWIONEJ TECHNOLOGII

Ważnym aspektem, który należy uwzględnić podczas projektowania wagonu kolejowego jest jego długość oraz przestrzeń ładunkowa. Dla tej samej przestrzeni ładunkowej krótszy wagon sprawia, że w składzie pociągu o określonej długości może znaleźć się więcej jednostek ładunkowych. Na rysunku 8.1 przedstawiono podstawowe wymiary pierwotnego wariantu opracowanego modelu wagonu dwuwózkowego z jedną platformą, z możliwością przewozu jednej naczepy drogowej.



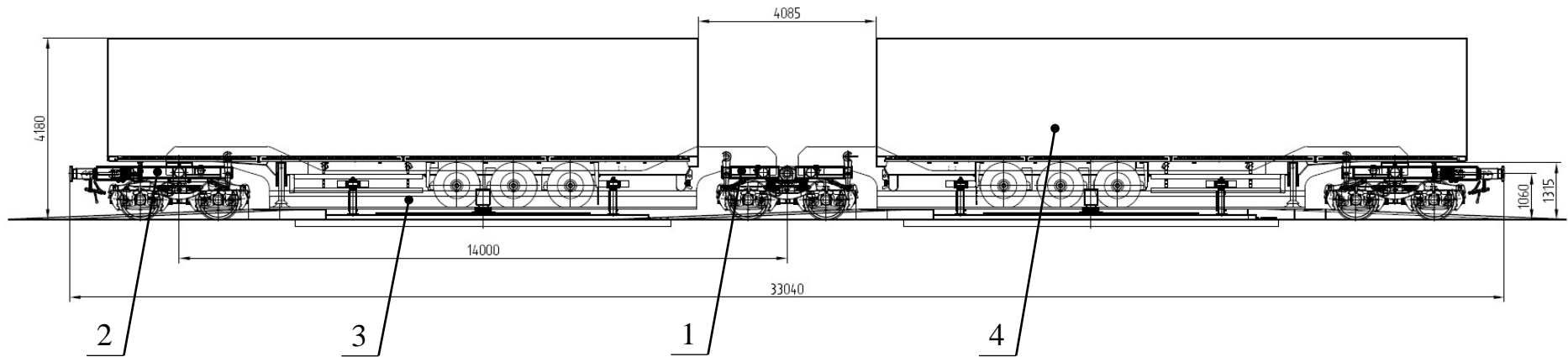
Rys. 8.1. Podstawowe wymiary wagonu z jedną platformą załadunkową (widok z boku)

Dążąc do stanu, w którym proponowany system stałby się bardziej konkurencyjny na rysunkach 8.2, 8.3 zaprezentowano drugi wariant konstrukcji składającej się z wagonu dwuczłonowego. Jest to wagon trójwózkowy z dwoma platformami, z możliwością przewozu dwóch naczep drogowych. W prezentowanej odmianie zyskujemy dodatkową przestrzeń ładunkową.

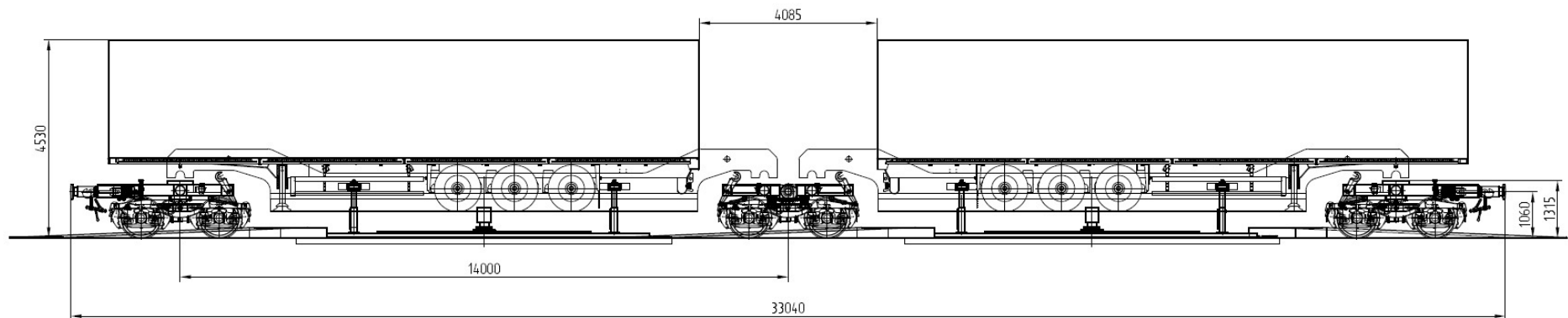
Rysunek 8.2 przedstawia system gotowy do jazdy kolejowej (widok z boku) a rysunek 8.3 przedstawia system przed opuszczeniem platform z naczepami na wózki kolejowe (widok z boku). Wagon dwuczłonowy jest zbudowany z wózka środkowego (poz. 1, rys. 8.2), dwóch wózków końcowych (poz. 2, rys. 8.2) oraz ramy załadowczej (tzw. kosza) (poz. 3, rys. 8.2). Na jednym wagonie istnieje możliwość przewożenia dwóch naczep drogowych (poz. 4, rys. 8.2).

Natomiast rysunek 8.4 przedstawia w widoku z góry wagon dwuczłonowy oraz stanowisko załadownicze. Budowa mechanizmu przeładunkowego oraz sposób załadunku są identyczne jak dla wariantu wagonu z jedną platformą (opisane szczegółowo w rozdziale 6). Jediną różnicą w budowie jest zwężony rozstaw stanowisk przeładunkowych dla obsługi wagonu dwuczłonowego.

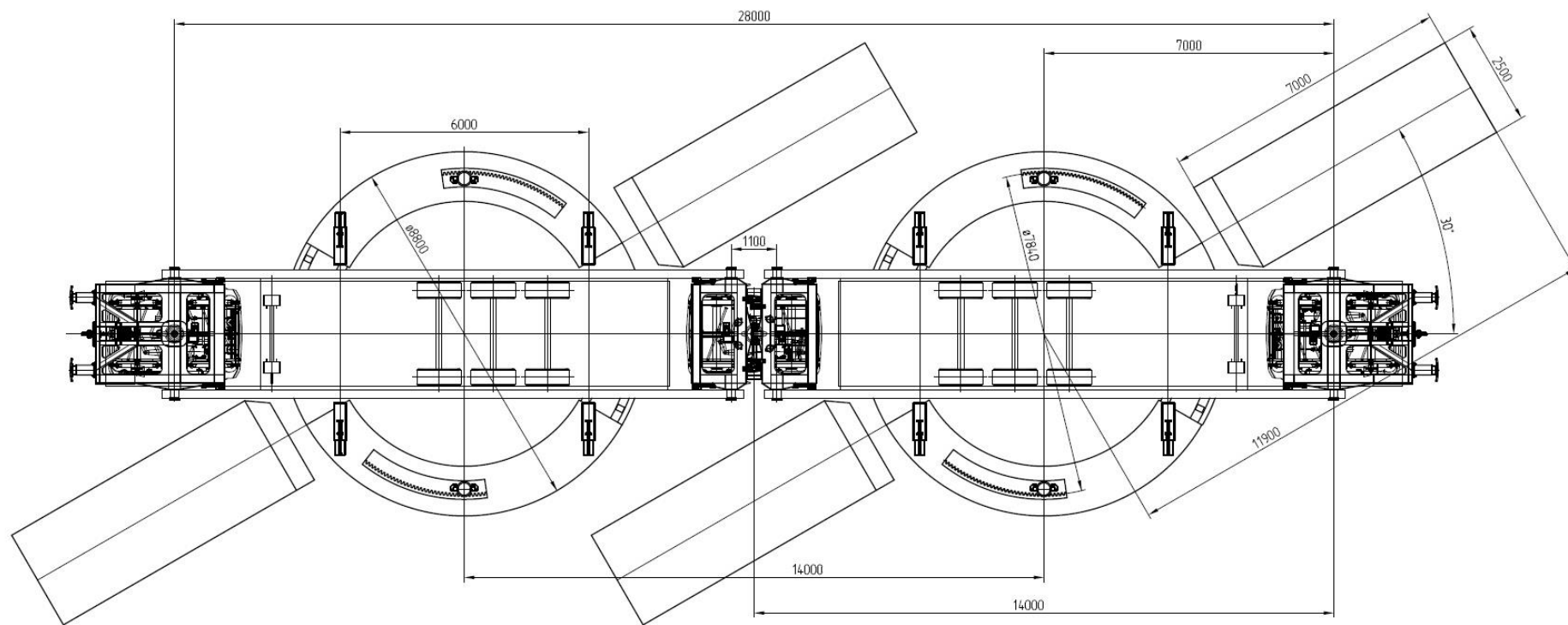
Przedstawiony na rysunku 8.5 wózek środkowy składa się z osadzonych na czopie skreću (poz. 5, rys. 8.5) dwóch ram pośrednich (poz. 6,7, rys. 8.5), połączonych przegubem kulistym (poz. 8, rys. 8.5). Złączone ramy pośrednie podparto na ramie wózka za pomocą czterech ślizgów bocznych (poz. 9, rys. 8.5). Dla utrzymania ram pośrednich w poziomie dodatkowo podparto je czterema blokami gumowymi (poz. 10, rys. 8.5). Ramy pośrednie zostały wyposażone w odpowiednie czopy (poz. 11, rys. 8.5) przeznaczone do oparcia platformy załadowniczej oraz w zamocowane obrotowo haki (poz. 12, rys. 8.5) służące do unieruchomienia platform załadowniczych po ich osadzeniu na ramach pośrednich. Haki są obracane za pomocą siłowników hydraulicznych bądź pneumatycznych (poz. 13, rys. 8.5), również zamocowanych obrotowo na ramach pośrednich.



Rys. 8.2. Odmiana wagonu dwuczłonowego (widok z boku) – system gotowy do jazdy kolejowej  
 1-wózek środkowy, 2-wózek końcowy, 3-rama nośna, 4-naczepa siodłowa

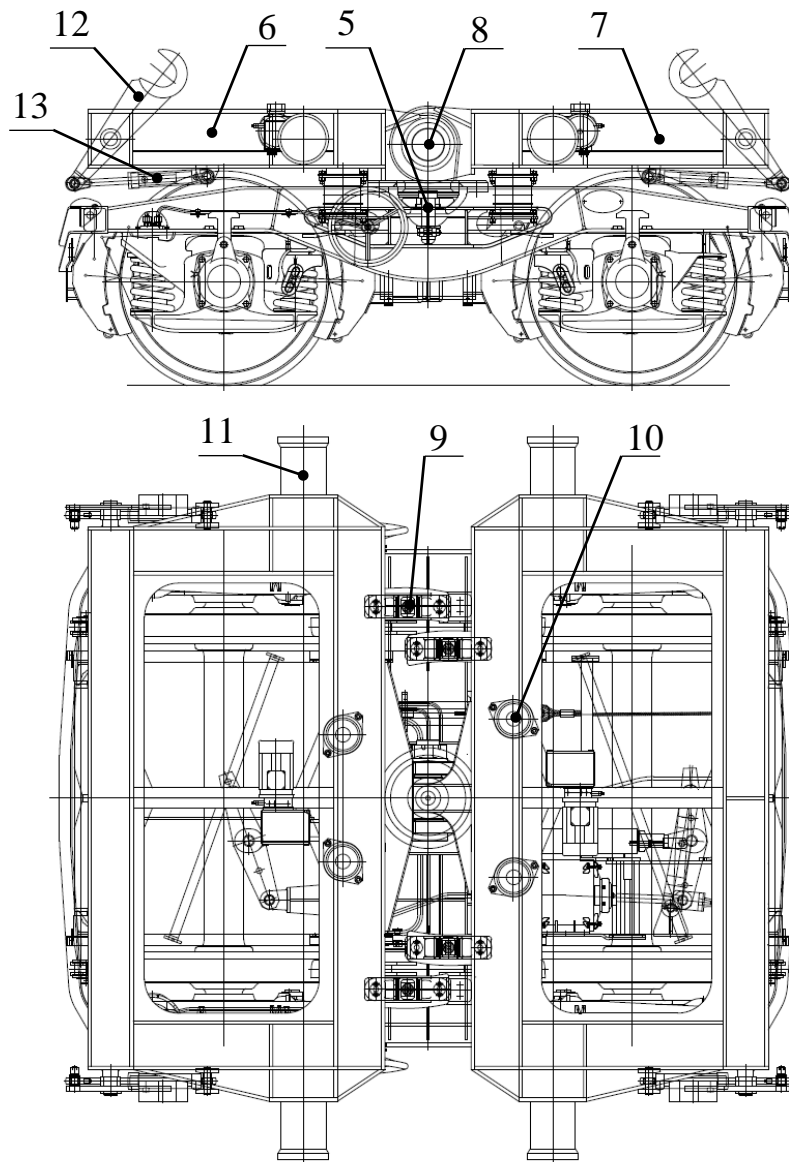


Rys. 8.3. Odmiana wagonu dwuczłonowego (widok z boku) – system przed opuszczeniem platform z naczepami na wózki kolejowe



Rys. 8.4. Wagon dwuczłonowy oraz stanowisko załadownicze (widok z góry)

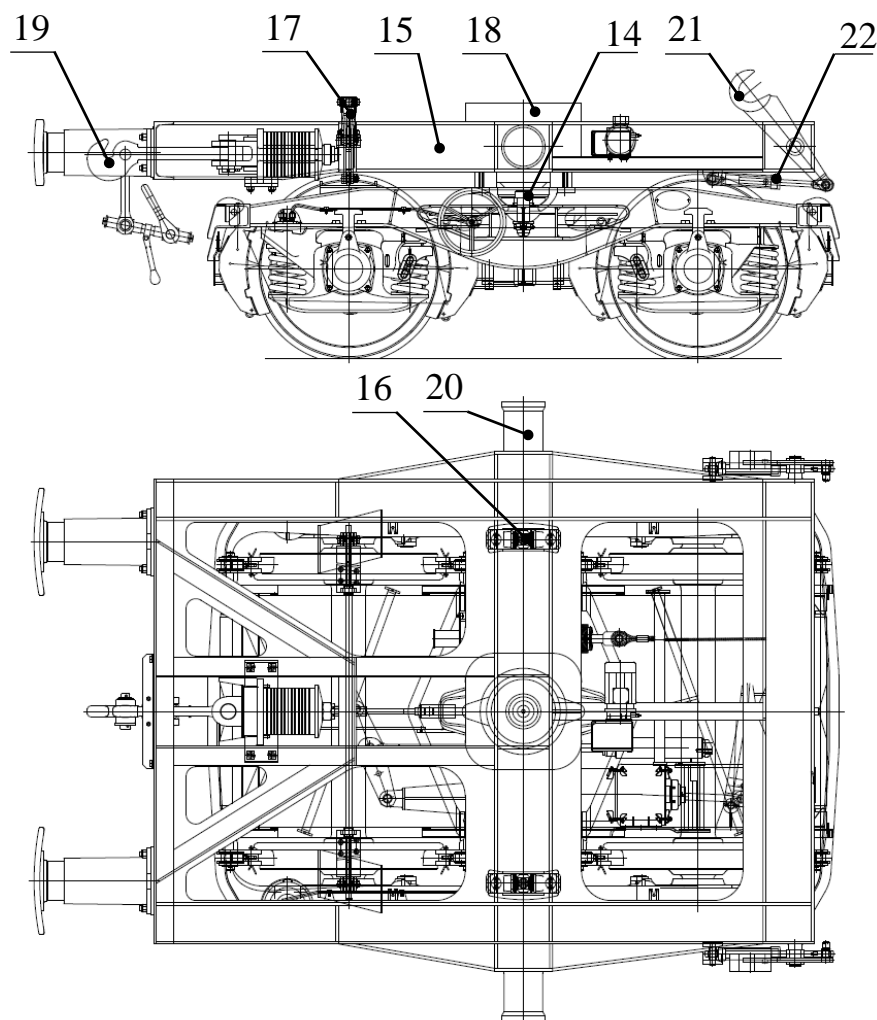




Rys. 8.5. Wózek środkowy – odmiana wagonu dwuczłonowego  
 5-czop skrzętu, 6, 7-ramy pośrednie, 8-przegub kulisty, 9-ślizgi boczne, 10-bloki gumowe,  
 11-czopy podpierające, 12-haki obrotowe, 13-siłowniki

Na rysunku 8.6 przedstawiono wózek końcowy z osadzoną na czopie skrzętu (poz. 14, rys. 8.6) ramą pośrednią (poz. 15, rys. 8.6) podpartą na ramie wózka za pomocą dwóch ślizgów bocznych (poz. 16, rys. 8.6). Do utrzymania w poziomie ramy pośredniej wyposażono wózek końcowy w odpowiednie podpory odchylnie (poz. 17, rys. 8.6), które w trakcie jazdy muszą być w stanie uniesionym, bez kontaktu z ramą wózka. Na ramie pośredniej zabudowano siedło (poz. 18, rys. 8.6) do oparcia przodu naczepy oraz urządzenia pociągowo-zderzne (poz. 19, rys. 8.6). Podobnie jak na ramie pośredniej wózka środkowego wózek końcowy wyposażono w dwa czopy (poz. 20, rys. 8.6) przeznaczone

do oparcia platformy załadowniczej, dwa haki (poz. 21, rys. 8.6) służące do unieruchomienia platformy oraz dwa siłowniki hydrauliczne lub pneumatyczne (poz. 22, rys. 8.6) sterujące obrotem haków zaczepowych.



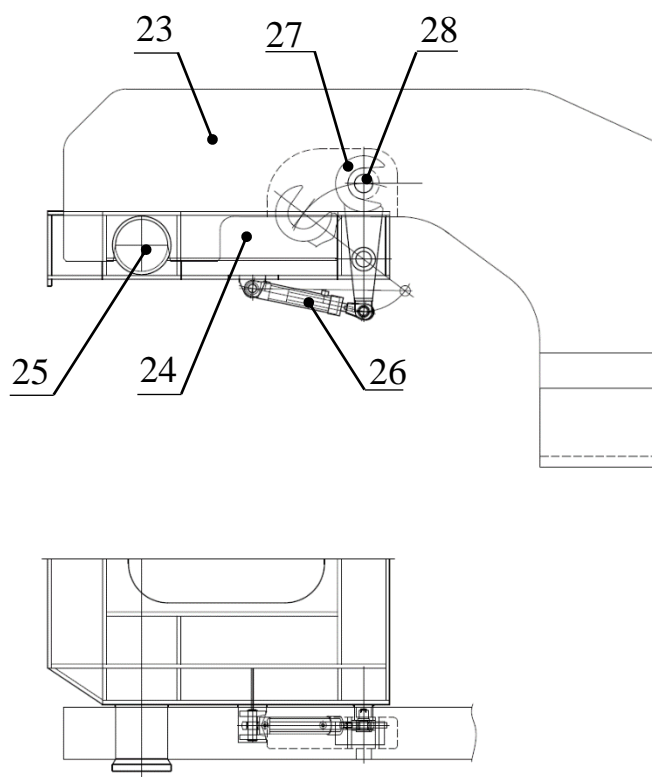
Rys. 8.6. Wózek końcowy – odmiana wagonu dwuczłonowego

14-czop skrzętu, 15-rama pośrednia, 16-ślizgi boczne, 17-podpory odchylne, 18-siodło oparcia naczepy, 19-urządzenia pociągowo-zderzne, 20-czopy podpierające, 21-haki obrotowe, 22-siłowniki

System rygłowania platformy załadowniczej na ramie pośredniej wózka końcowego oraz na ramach pośrednich wózka środkowego przedstawiono bardziej szczegółowo na rysunkach 8.7 i 8.8.

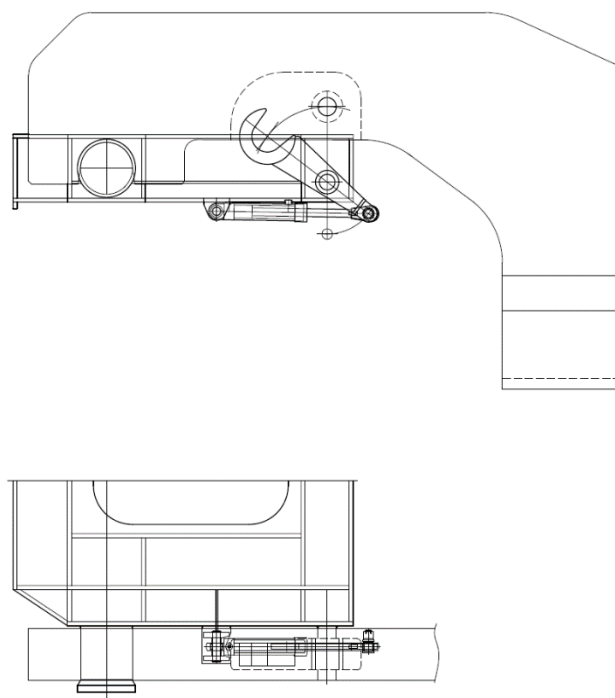
Na rysunku 8.7 pokazano stan zaryglowany platformy nośnej (poz. 23, rys. 8.7) na ramie pośredniej (poz. 24, rys. 8.7). Po opuszczeniu platformy do oparcia na czopach (poz. 25, rys. 8.7) zostaje uruchomione tłoczysko cylindra (poz. 26, rys. 8.7) prowadząc do

zaryglowania haka (poz. 27, rys. 8.7) na czopie (poz. 28, rys. 8.7) zabudowanym w końcach ścian bocznych platformy załadowniczej.



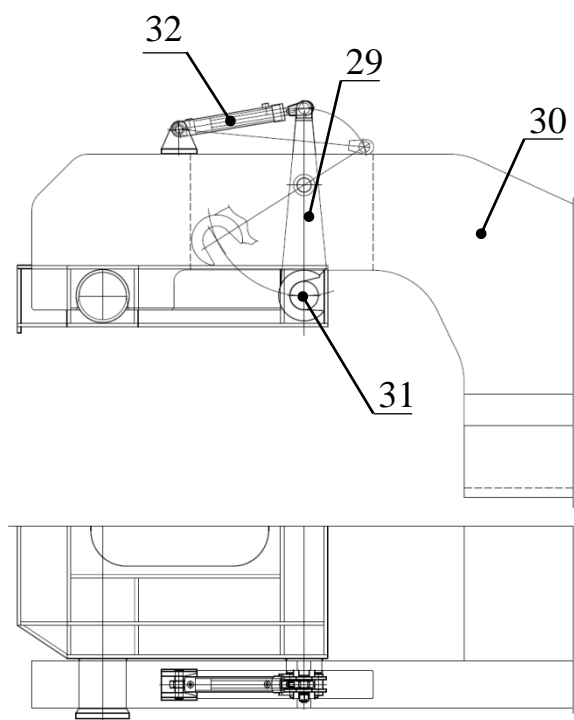
Rys. 8.7. Rozwiązanie systemu ryglowania platformy załadowniczej (stan zaryglowany)  
23-platforma nośna, 24-rama pośrednia, 25-czop podpierający, 26-siłownik,  
27-hak obrotowy, 28-czop zamka

Na rysunku 8.8 pokazano stan po odryglowaniu czopa przez dźwignie ryglującą. Po odryglowaniu czopa możliwe jest uniesienie platformy załadowniczej na odpowiednią wysokość w celu bezkolizyjnego obrotu do pozycji umożliwiającej wprowadzenie naczepy na platformę do oparcia końców podłogi platformy na skośnych podjazdach ułożonych odpowiednio na terminalu przeładunkowym.



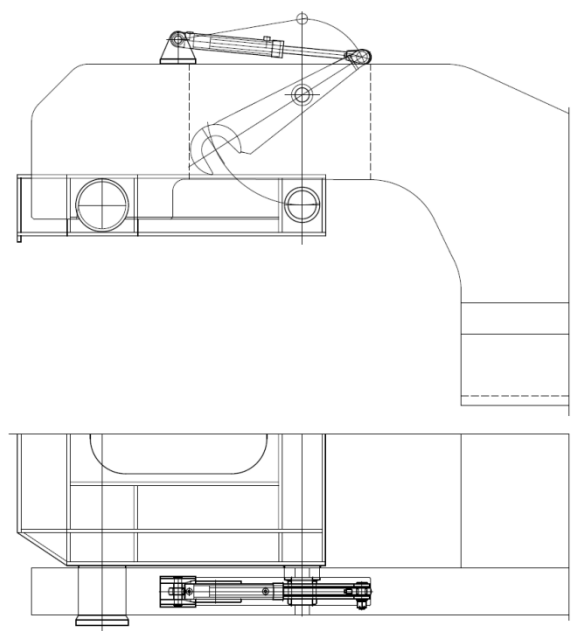
Rys. 8.8. Rozwiązanie systemu ryglowania platformy załadowniczej (stan odryglowany)

Na rysunkach 8.9 i 8.10 pokazano drugi wariant rozwiązania systemu ryglowania platformy załadowniczej na ramach pośrednich (na rys. 8.9 stan zaryglowany a na rys. 8.10 stan odryglowany). W powyższym układzie hak (poz. 29, rys. 8.9) zamocowano na ścianie bocznej platformy (poz. 30, rys.8.9) a czop (poz. 31, rys. 8.9) przeniesiono ze ściany bocznej platformy na ramy pośrednie wózków. Również cylinder hydrauliczny (poz. 32, rys. 8.9) przeniesiono z ramy pośredniej wózka na górną powierzchnię ściany bocznej platformy załadowniczej.



Rys. 8.9. Drugi wariant rozwiązania systemu ryglowania platformy załadowniczej  
(stan zaryglowany)

29-hak obrotowy, 30-platforma nośna, 31-czop zamka, 32-siłownik



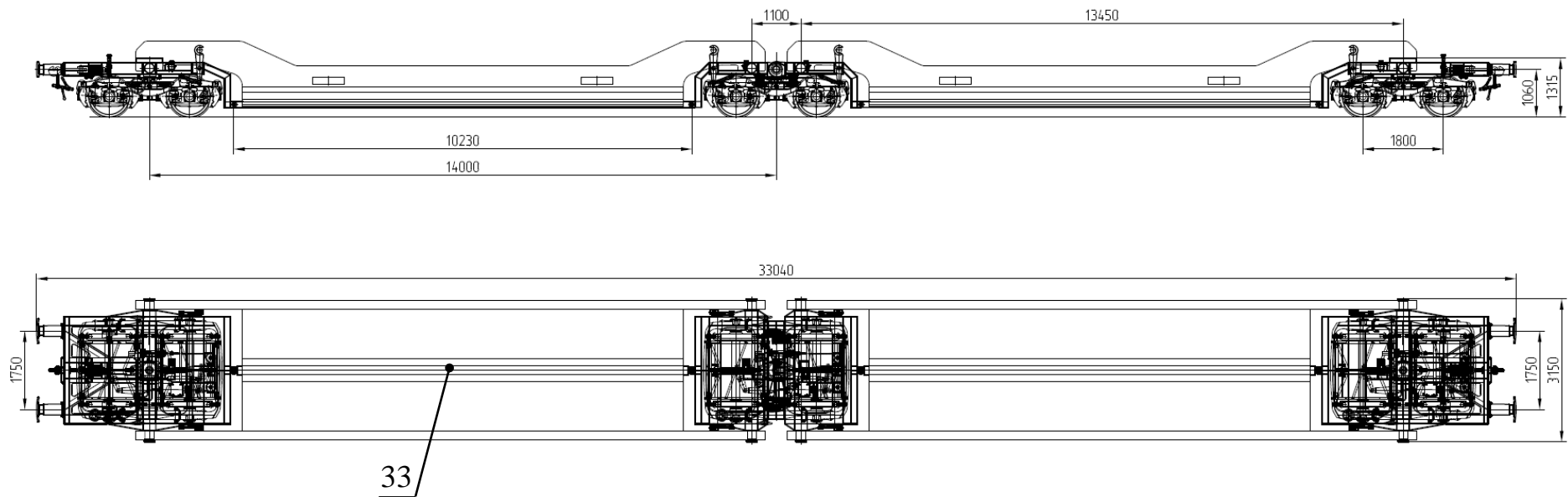
Rys. 8.10. Drugi wariant rozwiązania systemu ryglowania platformy załadowniczej  
(stan odryglowany)

Prezentowana powyżej koncepcja wagonu dwuczłonowego nie posiada belki podłużnej między wózkami. Zastosowany wariant można również zaproponować w zabudowie z belką podłużną (poz. 33, rys. 8.9). W zaprezentowanej konstrukcji wagonu na ramach pośrednich wózków należy dodatkowo zabudować ramiona do połączenia w dolnej części z belką podłużną.

Pozytywnymi cechami rozwiązania wagonu bez belki są:

- mniejsza masa wagonu,
- prostsza budowa platformy załadunkowej (bez odpowiedniego wgłębienia na belkę międzywózkową),
- możliwy większy kąt obrotu mechanizmu przeładunkowego (unikając kolizji między belką a stanowiskiem przeładunkowym).

Większa dostępność (przestrzeń) manewrowania mechanizmu przeładunkowego sprawia, że można przeładowywać naczepy drogowe nie tylko w sposób przeładunku skośnego ale również wysuwając platformę załadunkową prostopadle do osi wagonu (przy zastosowaniu odpowiedniego mechanizmu przeładunkowego). Jednak wadą tego rozwiązania podczas procesu przeładunku jest konieczność rozłączania układu pneumatycznego hamulców (poprzez zastosowanie szybkozłączy) i ewentualnych prowadzonych przewodów elektrycznych np. do gniazd ładowania naczep chłodni. W takim wariantcie przewody prowadzone są na rozłączanej platformie przeładunkowej. W układzie z belką międzywózkową nie ma takiej konieczności gdyż ww. przewody prowadzone są po belce, która podczas przeładunku nie wymaga rozłączania.



Rys. 8.11 Wagon dwuczłonowy z belką podłużną między wózkami  
33-belka podłużna łącząca ramy pośrednie wózków

W tabeli 8.1 przedstawiono porównanie parametrów wagonu jednoczłonowego i dwuczłonowego. Długość całkowita (z zderzakami) wagonu z jedną platformą wynosi 19040 mm, natomiast wagon z dwoma platformami mierzy 33040 mm. Przy czym wagon jednoczłonowy posiada możliwość przewożenia jednej naczepy drogowej a wagon dwuczłonowy dwóch naczep. Długość wagonu dwuczłonowego przypadająca na jedną jednostkę ładunkową wynosi 16520 mm. W takim wypadku w składzie pociągu zyskuje się 2520 mm przypadające na każdą jednostkę ładunkową. Kolejną zaletą systemu dwuczłonowego jest mniejsza liczba wózków przypadających na przewożoną jedną jednostkę ładunkową, średnia wynosi 1,5 szt.

Tabela 8.1

Porównanie parametrów wagonu jednoczłonowego i dwuczłonowego

Warianty wagonu	Wagon jednoczłonowy	Wagon dwuczłonowy
Parametry wagonu		
Długość wagonu (z układem zderznym).	19040 [mm]	33040 [mm]
Długość wagonu przypadająca na jedną jednostkę ładunkową (naczepę drogową).	19040 [mm]	16520 [mm]
Liczba platform na wagonie (liczba przewożonych naczep na wagonie).	1 [szt.]	2 [szt.]
Liczba wózków końcowych (wyposażonych w układ pociągowo-zderzny).	2 [szt.]	2 [szt.]
Liczba wózków środkowych (bez układu pociągowo-zderznego).	0 [szt.]	1 [szt.]
Łączna liczba wózków na wagonie.	2 [szt.]	3 [szt.]
Liczba wózków przypadająca na jedną jednostkę ładunkową (naczepę drogową).	2 [szt.]	1,5 [szt.]

W tabeli 8.2 przedstawiono porównanie parametrów składu pociągu o długości 600 m (bez lokomotywy) sprzęgniętego z wagonów jednoczłonowych lub dwuczłonowych. Dla wariantu składu złożonego z wagonów jednoplatformowych jest możliwość przewozu 31 szt. naczep drogowych, natomiast dla wariantu dwuplatformowego można przewieźć naczep aż 36 szt. Kolejną zaletą systemu dwuczłonowego jest mniejsza liczba wózków. Skład wagonów przewożący 36 szt. naczep wyposażony jest w 54 wózki a skład wagonów jednoczłonowych liczący 31 szt. naczep wyposażony jest w 62 wózki.



Tabela 8.2

Porównanie parametrów składu pociągu o długości 600m (bez lokomotywy)  
sprzęgniętego z wagonów jednoczłonowych lub dwuczłonowych

Warianty składu	Skład wagonów jdnoczłonowych	Skład wagonów dwuczłonowych
Parametry składu		
Liczba wagonów w składzie.	31 [szt.]	18 [szt.]
Liczba przewożonych naczep .	31 [szt.]	36 [szt.]
Liczba wózków końcowych (wyposażonych w układ pociągowo-zderzny).	62 [szt.]	36 [szt.]
Liczba wózków środkowych (bez układu pociągowo-zderznego).	0 [szt.]	18 [szt.]
Ogólna liczba wózków w składzie.	62 [szt.]	54 [szt.]

Podsumowując, wagon dwuczłonowy pozwala uzyskać dodatkową przestrzeń ładunkową a zastosowanie jednego wózka środkowego między dwoma platformami wagonu sprawia, że wagon posiada niższą masę, jest tańszy w produkcji oraz eksploatacji. Biorąc pod uwagę aspekty ekonomiczne zakupu i utrzymania można stwierdzić, że wariant wagonu dwuczłonowego jest bardziej opłacalnym rozwiązaniem dla przewoźników. Dodatkową zaletą przemawiającą na korzyść rozwiązania z dwoma platformami jest możliwość skrócenia długości terminalu obsługującego proponowany system. Jest to szczególnie ważny czynnik dla terenów miejskich i podmiejskich gdzie brakuje przestrzeni pod zabudowę i dodatkowo koszt zakupu gruntu jest bardzo wysoki.

## 9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

W prezentowanej pracy na podstawie przeprowadzonej analizy struktury przewozów intermodalnych stwierdza się, że transport intermodalny w Europie oraz w Polsce rozwija się w dużym tempie. W Polsce jednak w przeciwieństwie do krajów zachodnich stanowi niewielki procent towarowych przewozów kolejowych. Najbardziej popularną jednostką ładunkową w transporcie intermodalnym jest kontener. Jest to najbardziej uniwersalna jednostka ładunkowa dla każdej gałęzi transportu. Przewozy naczep a szczególnie całych zestawów drogowych są mniej powszechne. Wykonywane są głównie w krajach wysokorozwiniętych, które dążą do odciążenia zatłoczonych dróg kołowych.

Towarowe wagony kolejowe mogą podróżować w ruchu SS z prędkością 120 km/h. Jest to wystarczająca prędkość zważając na fakt, że dopuszczalna maksymalna prędkość ciągnika siodłowego z naczepą na autostradzie wynosi 80 km/h. W Polsce jednak średnia prędkość handlowa pociągów jest zbyt niska, wymagana jest dalsza modernizacja linii kolejowych. Kolejnym aspektem zwiększenia konkurencyjności transportu intermodalnego względem unimodalnego transportu drogowego jest czas przeładunku, na który może mieć wpływ przedstawiona w rozprawie technologia transportu intermodalnego standardowych naczep wraz z infrastrukturą przeładunku poziomego.

Z przeprowadzonych przez autora badań wynika, że czas przeładunku wypada korzystnie na tle pozostałych systemów intermodalnych. Prezentowane autorskie rozwiązanie jest szczególnie dodaną wartością dla przewozów na krótkie odległości (200–400 km) gdzie przeładunek stanowi istotną część procesu przewozowego. Zaproponowany model jest uzupełnieniem obecnej infrastruktury transportu i przeładunku. W Polsce brakuje systemu kolejowego, który wykorzystywałby szybki zautomatyzowany przeładunek. Rosnący w dużym tempie koszt siły roboczej w przyszłości wymusi stosowanie zautomatyzowanych technologii.

Podsumowaniem analizy problematyki badawczej w zakresie transportu intermodalnego są następujące spostrzeżenia:

- przewozy intermodalne w Polsce odnotowują stały wzrost, jednak nadal stanowią niewielki procent ogólnych kolejowych przewozów towarowych. (10,7 % dla masy przewiezonego ładunku, 14,9 % dla pracy przewozowej),

- przewozy naczep drogowych na wagonach kolejowych są powszechne w europejskich krajach wysokorozwiniętych wspierających transport intermodalny odpowiednimi subsydiami (Niemcy, Austria, Włochy, Szwajcaria, Szwecja, Norwegia), gdzie istnieje potrzeba odciążenia zatłoczonych dróg kołowych, dbanie o unikatowe środowisko naturalne oraz gdzie występują wysokie koszty i niedobór siły roboczej,
- ciągły wzrost liczby zarejestrowanych naczep drogowych w Polsce (z 252 tys. sztuk w 2010 r. do 462 tys. sztuk w 2020 r.), nie wpłynął na zwiększenie stosowania powyższej jednostki ładunkowej w transporcie intermodalnym,
- niska średnia prędkość handlowa intermodalnego transportu kolejowego w 2020 r. wynosząca 30,3 km/h, wpływa niekorzystnie na rozwój powyższych przewozów,
- średnia odległość przewozów koleją w transporcie intermodalnym w Polsce w latach 2012–2019 wynosząca około 360 km sprawia, że przeładunek międzygałęziowy stanowi istotny element całego procesu pod względem czasu przewozu,
- w Polsce brakuje wagonów intermodalnych, w dodatku tabor jest mocno wyeksploatowany,
- Polska pod względem liczby terminali zajmuje 8 miejsce w Europie. Jednak w dalszym ciągu brakuje terminali wyposażonych w nowoczesne rozwiązania technologiczne,
- najbardziej popularnym środkiem transportu intermodalnego jest wagon platforma do przewozu kontenerów. Jednak chcąc odciążyć drogi kołowe należy promować systemy umożliwiające przewóz naczep drogowych koleją,
- w Polsce, w przeciwieństwie do krajów zachodnich brakuje rozwiązań intermodalnych do przewożenia standardowych naczep, które wykorzystywałyby w pełni zautomatyzowany system przeładunku poziomego.

Podsumowaniem badań nad konstrukcją nowego systemu intermodalnego są następujące wnioski poznawcze:

- w związku z stosunkowo dużymi i nierównomiernie rozłożonymi obciążeniami występującymi podczas procesu przeładunku można stwierdzić, że zastosowanie zaprojektowanego układu hydraulicznego spełnia korzystne warunki wykorzystania infrastruktury przeładunkowej na terminalu,

- czas załadunku naczepy dla autorskiego systemu intermodalnego jest krótki i konkurencyjny w stosunku do pozostałych technologii intermodalnych,
- wąskim gardłem przeładunku poziomego dla autorskiego systemu są operacje przygotowawcze (przyjęcie dokumentacji, sprawdzenie stanu technicznego, skrajni oraz plomb naczep drogowych), czas związany wyłącznie z procesem załadowania naczep na wagony kolejowe jest względnie krótki,
- zmniejszona liczba urządzeń podnoszenia i obrotu infrastruktury przeładunkowej dla prezentowanego systemu na terminalu nie musi wpływać na wydłużenie czasu przeładunku. W przeprowadzonej analizie zmniejszenie liczby stanowisk przeładunkowych na terminalu dla autorskiego systemu nie wydłuża czasu przeładunku w związku z wykonywaniem operacji przenoszenia naczep na wagon i przetaczania wagonów równoległe z operacjami przygotowawczymi (obsługa przyjęcia naczep na terminalu),

Wnioski użyteczne wynikające z opracowanego nowego systemu intermodalnego:

- przedstawiony w pracy system obsługuje zautomatyzowany przeładunek poziomy z możliwością zastosowania pod siecią trakcyjną. Zautomatyzowany przeładunek skraca czas obsługi oraz umożliwia ograniczenie liczby obsługujących osób,
- opracowany system umożliwia przewóz oraz przeładunek standardowych naczep siodłowych, nie podlegających modyfikacjom konstrukcyjnym,
- prezentowany system poza terminalami wyposażonymi w zautomatyzowane urządzenia przeładunkowe może być stosowany również na pozostałych terminalach obsługujących przeładunek pionowy,
- prosta konstrukcja wagonu prezentowanego systemu (niedroga w wytworzeniu i eksploatacji, brak skomplikowanych mechanizmów na wagonie),
- lekka konstrukcja wagonu opracowanego systemu (brak urządzeń przeładunkowych na wagonie),
- uniwersalność wagonu prezentowanego systemu (zastosowanie standardowych wózków towarowych Y25),
- wysoki poziom bezpieczeństwa wagonu prezentowanego systemu (standardowe koła kolejowe o średnicy okręgu tocznego  $\varnothing 920$ , nie ma potrzeby zmniejszenia średnicy kół jak w przypadku niektórych technologii intermodalnych),
- możliwość budowy różnych wariantów terminali dla opracowanego systemu (w zależności od ilości przeładunku i czasu przeładunku, można zastosować różną liczbę stanowisk przeładunkowych),

- prosta konstrukcja infrastruktury przeładunkowej prezentowanego systemu (zastosowanie podnośników hydraulicznych, możliwość przenoszenia mechanizmu przeładunkowego w inne miejsce),
- spełnienia skrajni kolejowej dolnej UIC 505-1 oraz górnej UIC GB1 dla prezentowanego systemu dzięki nisko zawieszony podłodze wagonu na wysokości około 225 mm, mniejszej grubości przekrojów konstrukcji na wskutek zastosowaniu nowoczesnych, wytrzymałych stali,
- wagon dwuczłonowy systemu pozwala uzyskać dodatkową przestrzeń ładunkową a zastosowanie jednego wózka środkowego między dwoma platformami wagonu sprawia, że rozwiązanie posiada niższą masę przypadającą na jednostkę ładunkową, jest tańsze w produkcji oraz eksploatacji. Dodatkową zaletą przemawiającą na korzyść wagonu z dwoma platformami jest możliwość skrócenia długości terminalu obsługującego proponowany system,
- istnieje szansa wdrożenia opracowanego systemu o czym świadczą wyniki badań w rozdziale 7 pt. Charakterystyki czasowe przeładunku proponowanego systemu.

W prezentowanej pracy autor skupił się na opracowaniu wstępnego modelu będącego podstawą dla powstania nowej konstrukcji wagonu oraz infrastruktury przeładunkowej. W pracy skupiono się na przedstawieniu walorów systemu, w szczególności krótkiego czasu przeładunku.

Przedstawiony model wymaga dalszych następujących prac:

- prezentowane modele wagonu oraz infrastruktury przeładunkowej stanowią podłoże do opracowania szczegółowej dokumentacji konstrukcyjnej, popartej dalszymi analizami,
- przeprowadzenie badań symulacyjnych kinematyki, dynamiki ruchu pociągu, wymaganej wytrzymałości konstrukcji oraz oceny bezpieczeństwa ruchu,
- przeprowadzenie analizy ekonomicznej kosztów wytworzenia systemu,
- wykonanie prototypu (pierwszego egzemplarza), weryfikacja założeń, obliczeń i efektywności przeładunku.

## LITERATURA

- [1] Antonowicz M., Zielańskiewicz H., Zarys problematyki kształtowania wartości dla klienta w transporcie intermodalnym. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 754. Problemy transportu i logistyki nr 21. Europejska przestrzeń transportu, usługi i procesy, Szczecin 2013.
- [2] CARIS A., MACHARIS C., JANSSENS G, Planning Problems in Intermodal Freight Transport: Accomplishments and Prospects. Transportation Planning and Technology, Volume 31 Issue 3, June 2008.
- [3] Chesterfield and District Local History Society. Newsletter stories, articles, snippets and curious from the past, April 2016.
- [4] Cichy R., Kształtowanie cech konstrukcyjnych zestawu bimodalnego w aspekcie kryterium skrajni, Rozprawa Doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Poznań 2012.
- [5] Czerwiński J., Nowaczyk T., Medwid M., Merkisz-Guranowska A., Stawecki W., Układ jezdny modułowego systemu transportu kombinowanego kolejowo-drogowego. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.408778, z dnia 07.07.2014r. Numer prawa wyłącznego Pat.228172, data udzielenia prawa 10.10.2017 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [6] Czerwiński J., Nowy system transportu kolejowo-drogowego dla przewozów standardowych naczep samochodowych, Rozprawa Doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Poznań 2017.
- [7] Day L., McNeil I., Biographical Dictionary of the History of Technology. Publisher: Routledge, London 1996. Lipiec 2021.
- [8] Divall C., From Rail to Road and Back Again?: A Century of Transport Competition and Interdependency. Publisher: Routledge, 3 March 2016.
- [9] Drożdziejcki S., Internalizacja kosztów zewnętrznych transportu drogowego w polityce UE. Logistyka 2012, nr 5.
- [10] Eaton Hydraulics Group Europe. Katalog produktów.
- [11] European Union. Commission of the European communities. Towards Fair and Efficient Pricing in Transport Policy for internalizing the external cost of transport in the European Union – Green Paper.
- [12] European Union. Council Directive 92/106/EEC of 7 December 1992 on the establishment of common rules for certain types of combined transport of goods between Member States. OJ No L 368/38, 17.12.1992.
- [13] Fechner I., Hajdul M., Krzyżaniak S., Koncepcja jednolitego planu rozwoju regionalnego jako szansa na wzrost przewozów intermodalnych w Polsce. Logistyka 2007, nr 4.

- [14] Fechner I., Kubiak P., Uwarunkowania poprawy konkurencyjności intermodalnych przewozów kontenerowych. *Logistyka* 2007, nr 2.
- [15] Gajewska T., Szkoda M., Ocena konkurencyjności transportu intermodalnego. *Logistyka* 2015, nr 3.
- [16] Główny Urząd Statystyczny. Transport intermodalny w Polsce w 2020 r.
- [17] INFRAS, CE Delft, Fraunhofer ISI. External Cost of Transport. Update Study. Final Report. Zürich/Karlsruhe, Oktober 2004.
- [18] Kotnis G., Budowa i eksploatacja układów hydraulicznych w maszynach, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe” s.c., Krosno 2011.
- [19] Krasoń W., Niezgoda T., Koncepcja i wybrane aspekty badań wagonu kolejowego do przewozu naczep samochodów ciężarowych. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport z.98*, Warszawa 2013.
- [20] Krettek O, Grejnert J., Technika kolejowa w systemach logistycznych. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
- [21] Kwaśnikowski J., Komar D., Wybrane problemy transportu kombinowanego, *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2007.
- [22] Kwaśniowski S., Nowakowski T., Zajac M., Transport intermodalny w sieciach logistycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [23] Mazur E., Ekologiczne aspekty transportu kombinowanego. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 778. Problemy transportu i logistyki nr 22*, Transport intermodalny w Polsce, uwarunkowania i perspektywy rozwoju, Szczecin 2013.
- [24] McKenzie D., North M., Smith D., *Intermodal Transportation – The Whole Story*, Publisher: Simmons Boardman Books; September 1989.
- [25] Medwid M., Cichy R., Techniczne Środki Transportu Kombinowanego Kolejowo-Drogowego, Wydawnictwo Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań 2017.
- [26] Medwid M., Czerwiński J., Merkisz-Guranowska A., Stawecki W. Świąteczak J., Szynowy układ jezdny przedni. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.420457, z dnia 19.11.2014r. Numer prawa wyłącznego Pat.236272, data udzielenia prawa 23.06.2017 r. Urząd Patentowy Rzeczpospolitej Polskiej.
- [27] Medwid M., Madej J., Pohl K., Piątek S., Stawecki W., Kapala J., Keller R., Gąsowski W., Starczewski T., Nowak R., Staniuk M., European Patent Office, Set for Bimodal Transport, Patent Nr EP0762965B1, Urząd Patentowy RP, Warszawa 1998.
- [28] Medwid M., Madej J., Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu rozwojowego NR 10-0065-10 pt.: „System transportu naczep drogowych na wózkach kolejowych w kombinowanym ruchu kolejowo-drogowym”. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań 2013. Materiały niepublikowane.

- [29] Medwid M., Polski system transportu kolejowo – drogowego (bimodalnego) typu TABOR, Wydawnictwo Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” Poznań 2006.
- [30] Medwid M., Studium tworzenia intermodalnych środków technicznych transportu lądowego w szczególności taboru bimodalnego. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008.
- [31] Mindur L., Liberadzki B., Uwarunkowania rozwoju systemu transportowego Polski. Wydawnictwo Instytutu Technologi i Eksploatacji. Warszawa – Radom 2007.
- [32] Ministerstwo Infrastruktury. Centrum Unijnych Projektów Transportowych. Kierunki rozwoju transportu intermodalnego do 2030 r. z perspektywą do 2040 r.
- [33] Niezgoda T., Biernat W., Krasoń W., Gieleta R., Dziewulski P., Sławiński G., A railway wagon with a rotatably loading floor. Wojskowa Akademia Techniczna. Zgłoszenie patentowe nr EP10461528, z dnia 14.09.2010r. Numer prawa wyłącznego EP2388173, data udzielenia prawa 27.11.2013 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [34] Niezgoda T., Biernat W., Krasoń W., Gieleta R., Dziewulski P., Sławiński G., Wagon kolejowy z obrotową platformą ładunkową. Wojskowa Akademia Techniczna. Zgłoszenie patentowe nr P.391269, z dnia 19.05.2010r. Numer prawa wyłącznego Pat.216416, data udzielenia prawa 02.08.2013 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [35] Niezgoda T., Krasoń W., Biernat W., Gieleta R., Damaziak K., Sybilski K., A railway wagon and a mechanism for rotating and blocking a loading floor of a railway wagon for combined transportation. Wojskowa Akademia Techniczna. Zgłoszenie patentowe nr EP12170915, z dnia 05.06.2012r. Numer prawa wyłącznego EP2532562, data udzielenia prawa 28.03.2018 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [36] Niezgoda T., Krasoń W., Biernat W., Gieleta R., Damaziak K., Sybilski K., Mechanizm obrotu i blokowania platformy nadwozia wagonu kolejowego do transportu kombinowanego. Wojskowa Akademia Techniczna. Zgłoszenie patentowe nr P.395135, z dnia 06.06.2011r. Numer prawa wyłącznego Pat.219643, data udzielenia prawa 12.09.2014 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [37] Nixon F., The industrial archaeology of Derbyshire. Publisher: David & Charles, April 1969.
- [38] North East Derbyshire Industrial History & Archaeology Group. Newsletter No. 2 – May 2001.
- [39] Nowaczyk T., Geneza transportu intermodalnego. Pojazdy Szynowe 1/2020.
- [40] Nowaczyk T., Medwid M., Czerwiński J, Merkisz-Guranowska A., Stawecki W., Szynowy układ jezdny tylny. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.409867, z dnia 20.10.2014r. Numer prawa wyłącznego Pat.228630, data udzielenia prawa 14.11.2017 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [41] Nowaczyk T., Medwid M., Tomaszewski F., Czerwiński J., Jakuszko W. Zespół urządzenia pociągowo-zderznego do modułowego systemu transportu kolejowego



- naczep drogowych w ruchu kombinowanym kolejowo-drogowym. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.420457, z dnia 06.02.2017r. Numer prawa wyłącznego Pat.236272, data udzielenia prawa 25.08.2020 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [42] Nowaczyk T., Medwid M., Tomaszewski F., Czerwiński J., Stanowisko do załadunku i rozładunku naczep drogowych w systemie transportu kombinowanego kolejowo-drogowego oraz sposób załadunku i rozładunku naczep drogowych w systemie transportu kombinowanego kolejowo-drogowego. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.424899, z dnia 15.03.2018r. Numer prawa wyłącznego Pat.234922 data udzielenia prawa 13.12.2019 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [43] Nowaczyk T., Medwid M., Tomaszewski F., Czerwiński J., Wagon, zwłaszcza do systemu transportu kombinowanego kolejowo-drogowego. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.424900, z dnia 15.03.2018r. Numer prawa wyłącznego Pat.237854, data udzielenia prawa 14.01.2021 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [44] Nowaczyk T., Orczyk M., Medwid M., Proces skośnego przeładunku w systemie transportu intermodalnego. Pojazdy Szynowe 1/2021.
- [45] Nowaczyk T., Tomaszewski F., Medwid M., Czerwiński J., Cechy charakterystyczne Modułowego Systemu Transportu Naczep Drogowych w odniesieniu do znanych systemów transportowych w ruchu intermodalnym kolejowo-drogowym”. Materiały konferencyjne: XXI Międzynarodowa Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe 2014, Wrocław, Wojanów 2014.
- [46] Nowaczyk T., Tomaszewski F., Medwid M., Czerwiński J., System transportu standardowych naczep drogowych z poziomym, skośnym przeładunkiem naczep. Pojazdy Szynowe 2/2018.
- [47] Nowaczyk T., Wybrane charakterystyki transportu intermodalnego (szynowo-drogowego), Praca magisterska, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Poznań 2009.
- [48] Nowakowski T., Problemy oceny niezawodności i bezpieczeństwa systemów transportu intermodalnego. Pojazdy Szynowe 2004, nr2.
- [49] Ripley D., Little Eaton Gangway and Derby Canal, , The Oakwood Press, 1993.
- [50] Roman Z., Międzynarodowe Systemy Transportowe. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Cła i Logistyki, Warszawa 2005.
- [51] Sajdak T., Sobaś M., Łącznik wózków wagonu niskopodłogowego. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.314806, z dnia 13.06.1996r. Numer prawa wyłącznego Pat.180463, data udzielenia prawa 08.05.2000 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [52] Sajdak T., Sobaś M., Prowadzenie czteroosiowego wózka dwusegmentowego względem nadwozia wagonu niskopodłogowego. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.312105, z dnia 28.12.1995r. Numer prawa

wyłącznego Pat.177802, data udzielenia prawa 26.07.1999 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

- [53] Sajdak T., Sobaś M., Rama dwuosioowego wózka kolejowego. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.312106, z dnia 28.12.1995r. Numer prawa wyłącznego Pat.177801, data udzielenia prawa 26.07.1999 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [54] Sajdak T., Sobaś M., Tłumik cierny ruchów poziomych w zawieszeniu towarowego wagonu niskopodłogowego. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr W.111690, z dnia 14.06.1996r. Numer prawa wyłącznego Ru.058926, data udzielenia prawa 07.06.2001 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [55] Sajdak T., Sobaś M., Zawieszenie nadwozia wagonu niskopodłogowego na wózkach. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”. Zgłoszenie patentowe nr P.314773, z dnia 12.06.1996r. Numer prawa wyłącznego Pat.180452, data udzielenia prawa 08.05.2000 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [56] Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny, Archiwum.
- [57] Solomon B., Intermodal Railroading, Publisher: Voyageur Press, 2007.
- [58] Stokłosa J., Transport intermodalny. Technologia i organizacja. Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji, Lublin 2011.
- [59] Strona internetowa <http://cfvv.blogspot.com/2013/10/roadrailer-rodotrilho-e-transtrailer-no.html>, marzec 2019.
- [60] Strona internetowa <http://clip-group.com/aktualnosci/kontrakt-budowe-suwnic-rmg-podpisany/>, czerwiec 2020.
- [61] Strona internetowa <https://digital.library.illinois.edu/items/e92aba30-0d92-0135-23f6-0050569601ca-d#pt-download-section>, marzec 2019.
- [62] Strona internetowa [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rail\\_go\\_contwgt/default/bar?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rail_go_contwgt/default/bar?lang=en) , styczeń 2021.
- [63] Strona internetowa <https://ekk-wagon.pl/Oferta/Nowewagony/Wagon627ZaSggmrs/tabid/92/language/pl-PL/Default.aspx>, maj 2020.
- [64] Strona internetowa <https://ekk-wagon.pl/Oferta/Nowewagony/6osiowyprzegubowywagonplatforma80typu629Z/tabid/397/AlbumID/973-219/language/pl-PL/Default.aspx>, czerwiec 2020.
- [65] Strona internetowa [https://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Line\\_of\\_Public\\_Works](https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Line_of_Public_Works), styczeń 2019.
- [66] Strona internetowa <https://hammar.com.au/product/hammar-150-series/>, maj 2020.
- [67] Strona internetowa <https://hkequipment.com/product/taylor-xec-207-8-empty-container-handler/>, maj 2020.
- [68] Strona internetowa <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WMP20040030050/O/M20040050.pdf> , czerwiec 2021.

- [69] Strona internetowa <https://portfolio.panynj.gov/2015/06/23/the-world-in-a-box-a-quick-story-about-shipping/idealx-1956-2/>, luty 2019.
- [70] Strona internetowa <https://rfc-amber.eu>, lipiec 2021.
- [71] Strona internetowa <https://rne.eu/rail-freight-corridors/rail-freight-corridors-general-information/>, lipiec 2021.
- [72] Strona internetowa <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-laczność/>, styczeń 2022.
- [73] Strona internetowa <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/14329,Srednia-predkosc-pociagow-towarowych.html>, luty 2021.
- [74] Strona internetowa <https://welchequipment.com/for-sale/taylor-loaded-container-handler-2/>, maj 2020.
- [75] Strona internetowa <http://www.caerleon.net/history/tramroad/outtram.html>, styczeń 2019.
- [76] Strona internetowa <https://www.chicago-l.org/trains/gallery/nsl02.html>, marzec 2019.
- [77] Strona internetowa <https://www.cupt.gov.pl/aktualnosci/1492-ponad-80-mln-dofinansowania-z-ue-na-inwestycje-w-wielkopolski-transport-intermodalny>, lipiec 2021.
- [78] Strona internetowa <https://www.flexiwaggon.se/our-models/models-sw/>, lipiec 2020.
- [79] Strona internetowa <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/transeuropejska-siec-transportowa-ten-t>, lipiec 2021.
- [80] Strona internetowa <https://www.hydac.com.au/wp-content/uploads/2016/07/E.5.949.1.2.09.13.pdf>, styczeń 2020.
- [81] Strona internetowa [https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO00000000000000000000000005202010011.pdf](https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO0000000000000000000005202010011.pdf), styczeń 2020.
- [82] Strona internetowa [http://www.irsociety.co.uk/Archives/25/little\\_eaton\\_tramroad.htm](http://www.irsociety.co.uk/Archives/25/little_eaton_tramroad.htm), styczeń 2019.
- [83] Strona internetowa <https://www.kcliftrucks.com/industries/intermodal>, maj 2020.
- [84] Strona internetowa <https://www.omfb.com/en/catalogue/constant-displacement-piston-pumps/hds-series/hds-12-17-25-34-iso/60100110123>, marzec 2020.
- [85] Strona internetowa <https://www.pkpcargointernational.com/pl/co-robimy/transport-intermodalny>, czerwiec 2020.
- [86] Strona internetowa <https://www.railcargo.com/de/leistungen/wagenladungen/mobile-r>, czerwiec 2021.
- [87] Strona internetowa <https://www.rfc-awb.eu/organisation/>, lipiec 2021.
- [88] Strona internetowa <http://www.smartage.pl/malcolm-mclean-i-jego-ideal-x/>, luty 2019.

- [89] Strona internetowa <https://www.sunhydraulics.com/models/cartridges/flow-control/flow-divider-combiner>, styczeń 2020.
- [90] Strona internetowa <https://www.sunhydraulics.com/model/CBCG>, styczeń 2020.
- [91] Strona internetowa <https://www.sunhydraulics.com/model/FREA>, luty 2020.
- [92] Strona internetowa <https://www.sunhydraulics.com/model/RDDA/LWN>, marzec 2020.
- [93] Strona internetowa <https://www.trains.com/trn/news-reviews/news-wire/25-analyst-roadrailer-a-missed-opportunity-for-industry/>, kwiecień 2019.
- [94] Strona internetowa <http://www.wropol.pl/blog/form/zaprojektuj-swoj-silownik/>, styczeń 2020.
- [95] Strona internetowa <https://zeppelin.pl/branze/porty-i-terminale/>, maj 2020.
- [96] Szepietowska E., Baran J. Perspektywy rozwoju transportu intermodalnego w Polsce Logistyka 2012, nr 6.
- [97] UIC FREIGHT DEPARTMENT. 2020 Report on Combined Transport in Europe, November 2020.
- [98] Unia Europejska. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Komitetu ekonomiczno-społecznego i Komitetu regionów. Strategia na rzecz wdrożenia internalizacji kosztów zewnętrznych, Bruksela, 8.7.2008.
- [99] Unia Europejska. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 11 marca 2009 r. dotycząca transportu przyjaznego dla środowiska oraz internalizacji kosztów zewnętrznych, Dz.U. C87E z 1.4.2010.
- [100] UNITED NATIONS. Terminology on Combined Transport. UN/ECE, the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission (EC). New York and Geneva, 2001.
- [101] Urząd Transportu Kolejowego. Departament Regulacji Rynku Kolejowego. Bariery rozwoju rynku przewozów intermodalnych - rozwiązania i wymierne korzyści, luty 2003.
- [102] Urząd Transportu Kolejowego. Podsumowanie 2020. Przewozy pasażerskie i towarowe.
- [103] Urząd Transportu Kolejowego. Przewozy intermodalne 2020.
- [104] Urząd Transportu Kolejowego. Sprawozdanie z funkcjonowania rynku transportu kolejowego w 2020 r.
- [105] Vrenken H., Macharis C., Wolters C., Intermodal Transport in Europe. European Intermodal Association, Brussels (2005).
- [106] Wiśnicki B., Vademecum konteneryzacji – formowanie kontenerowej jednostki. Wydawnictwo LINK, Szczecin 2006.
- [107] WROPOL Engineering. Katalog produktów.

- [108] Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Mały poradnik mechanika, TOM II, Podstawy konstrukcji maszyn, maszynoznawstwo, wydanie osiemnaste, Warszawa 1994.
- [109] Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. Studia z historii społeczno-gospodarczej, Repetytorium, Tom XI, Rozwój konteneryzacji na świecie, 2013r.
- [110] Zielaskiewicz H., Transport jako ogniwo łańcucha logistycznego i jego oddziaływanie na środowisko naturalne, Logistyka 2009, nr 4.
- [111] Zografos K.G., Regan A.C., Current Challenges for Intermodal Freight Transport and Logistics in Europe and the United States. Transportation Research Record 1873, 70–78, 2004.