

ANALIZA SYSTEMU PRZESTAWCZEGO SUW-2000 W ASPEKTCIE EKONOMICZNYM NA TLE INNYCH TECHNOLOGII PRZEŁADUNKOWYCH

Streszczenie

Od pojazdów szynowych w transporcie międzynarodowym wymaga się coraz to krótszych czasów transportu w połączeniu z dużą wydajnością przewozu. Aby transport szynowy mógł konkurować z innymi rodzajami transportu, w tym drogowym, konieczne jest sprawne pokonanie bariery szerokości toru, które może zapewnić samoczynny system przestawczy.

W artykule został przedstawiony przegląd wybranych systemów przeładunkowych w aspekcie ekonomicznym z zastosowaniem systemu przestawczego SUW-2000 metodą analizy wielokryterialnej MUZ (Metoda Unitaryzacji Zerowanej).

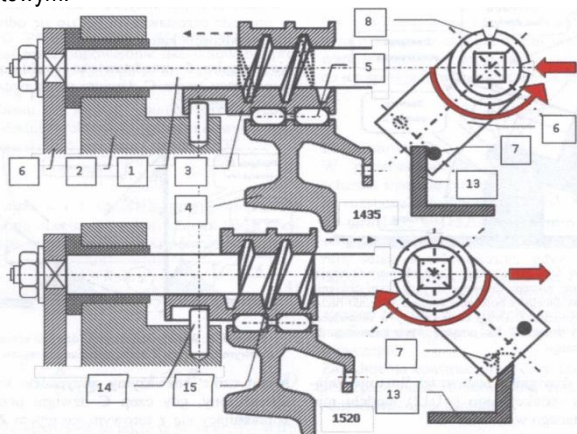
WSTĘP

Od systemów transportowych wymaga się coraz to krótszych czasów transportu oraz większej wydajności i efektywności. Żeby transport szynowy mógł konkurować z innymi rodzajami transportu konieczne jest sprawne pokonanie bariery szerokości toru, które może zapewnić samoczynny system przestawczy. W artykule przeanalizowano zasadność zastosowania tego systemu w Polsce w relacjach ze wschodnimi krajami opierając się o analizę modelu LCC (Life Cycle Cost) oraz analizę technologii przewozu paliw płynnych pomiędzy kolejami o różnej szerokości toru. Ponadto sporządzono ranking w celu sprawdzenia czy istnieje jedna najlepsza metoda przeładunkowa oraz z jaką przewagą nad pozostałymi technologiami wykazuje system SUW-2000.

1. PRZEGLĄD SYSTEMÓW PRZESTAWCZYCH

1.1. Koncepcja systemu przestawczego IPS „TABOR”

Pierwszym wybranym mechanizmem samoczynnej zmiany rozstawu kół w pojazdach szynowych jest system opracowany w Instytucie Pojazdów Szynowych (IPS) „TABOR” w Poznaniu, którego zestaw kołowy posiada oś niewirującą. Ponadto zastosowano rozsuwne koła, kinematycznie sprzężone w kierunku obrotowym.

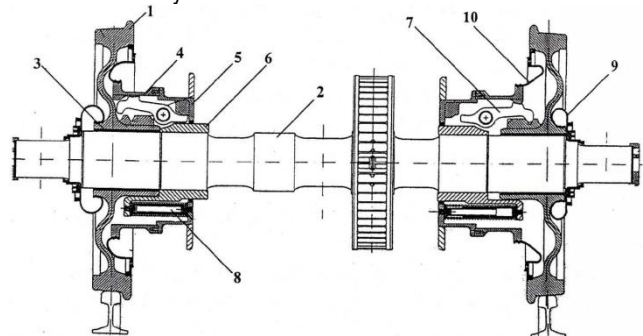


Rys. 1. Przyporządkowanie rozrzędu położzeń dźwigni przestawczej i rozstawu kół biegowych [5] Gdzie: 1 – oś, 2 – korpus prowadników osiowych, 3 – piasty kół biegowych, 4 – koła biegowe, 5 łożyska, 6 – dźwignia przestawcza, 7 – czopy dźwigni, 13 – zaczep przestawczy, 14 – sworzeń, 15 – połączenie śrubowe

Na rysunku 1 przedstawiono szczegółowo zasady odpowiedniego przesuwu pojedynczego koła przy współpracy z dźwignią przestawczą. Gdy pojazd szynowy przejeżdża przez stanowisko przestawcze dźwignia przestawcza zahacza o zaczep przestawczy, który poprzez dźwignię przestawczą wprawia oś w przemieszczenie obrotowe. Piasty kół biegowych mogą się przemieszczać jedynie w kierunku osiowym podczas procesu przestawiania, jednocześnie z przemieszczeniem osi. Koła biegowe zostały ułożyskowane na piastach oraz sprzężone względem siebie bez luzu za pomocą wysuwnej wału. Gdy zestaw kołowy przejeżdża przez torowe stanowisko przestawcze, oś zostaje przemieszczona obrotowo poprzez obrót osadzonej na jej końcu dźwigni przestawczej. Dźwignia na końcu po obu stronach posiada czopy, które zaczepiając o torowe zaczepy przestawcze i wymuszają obrót dźwigni przestawczej, co powoduje rozstaw kół jezdnych. Podczas przestawu kół w kierunku powrotnym, czop po drugiej stronie dźwigni przestawczej zaczepia o „powrotny” zaczep i rozstaw kół zostaje zmieniony do pierwotnego. [5]

1.2. System RAFIL DRV-DBAG

Początki systemu przestawczego Rafil sięgają wczesnych lat pięćdziesiątych, kiedy to w NRD trwały prace nad skonstruowaniem pierwszego zestawu kołowego. Zestawy przestawcze są oznaczone literami DR natomiast numer modelu jest oznaczany literą rzymską. Opisywany system jest piątym z kolei, natomiast prace nad nim sprawowały zakłady Radsatzfabrik Ilsenburg GMBH (RAFIL) oraz Ośrodek Badawczy Deutsche Bahn.



Rys. 2. Zestaw kół z systemem przestawczym RAFIL DRV-DBAG [7] Gdzie: 1 – koło jezdne 2 – oś zestawu kół; 3 – tuleja ślizgowa; 4 – tuleja blokująca; 5 – bęben z kołnierzem; 6 – piasta (zabierak); 7 – dźwignienka ryglująca; 8 – sprężyna powrotna; 9,10 - uszczelnienia

Na rysunku 2 przedstawiono schemat konstrukcyjny, na którym można zauważyć, że koła jezdne są osadzone na osi za pośrednictwem tulei ślizgowych, które zostały wykonane z tworzywa cechującego się niskim współczynnikiem tarcia. Dwa rowki na piaście koła służą do ustalania kół w położeniu odpowiadającym pożądanemu rozstawowi kół. Ustalenie koła w danym położeniu zapewniają 3 dźwigienki ryglujące osadzone w piaście które zostały rozstawione co 120°, nosy dźwigienek wchodzi w wytłoczenia w piaście koła. Piaśta zawiera występy które wchodzi w wybrania piasty koła, dzięki czemu pełni rolę zabieraka który zapewnia kinematyczne powiązanie koła jezdne z osią. Występy ma również tuleja blokująca która zabezpiecza przed przemieszczeniem koła wzdłuż osi, ponieważ występy uniemożliwiają dźwigienkom na wyskoczenie z wrębów piasty koła. Sprężyny powrotne utrzymują tuleję blokującą w położeniu które zapewnia blokadę dźwigienek. Osłona natomiast chroni parę ślizgową tuleja – oś.

Proces przestawiania zaczyna się od odblokowania dźwigienek ryglujących. Szyny odblokowujące naciskają na kołnierze bębnow przemieszczając w ten sposób tuleje ryglujące w kierunku kół jezdnych, tuleje wówczas odblokowują dźwigienki ryglujące. Gdy koła zostają odryglowane następuje ich przemieszczenie do nowego położenia za pomocą szyn rowkowych w których są prowadzone obrzeża kół. Gdy koła przemieszczą się w nowe położenie, zostaje zwolniony nacisk na kołnierze bębnow, wówczas sprężyny cofają tuleje blokujące do momentu w którym występy tulei blokują dźwigienki ryglujące. Zmiana rozstawu kół jest zakończona. Proces przestawiania kół odbywa się przy obciążonym zestawie.

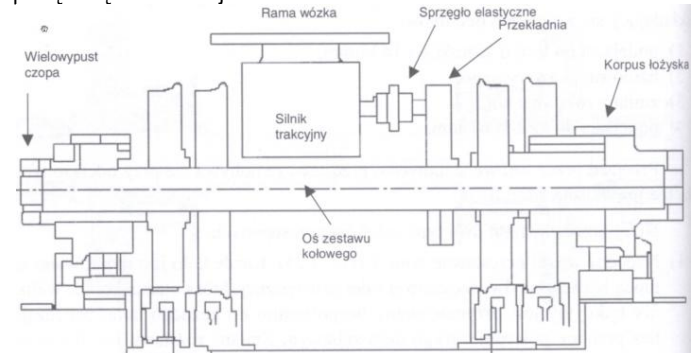
Wadą tego systemu jest zbyt złożony kształt piasty, która jest zarówno elementem prowadzącym bęben i tuleję blokującą a jednocześnie zbierakiem. Mogą również występować duże naciski miejscowe pomiędzy współpracującymi powierzchniami dźwigienek ryglujących i wrębów, które pojawiają się z powodu uderowych obciążeń np. wjazd na rozjazdy. Działanie uderowe w dłuższym okresie czasu może powodować miejscowe wgniatanie wrębów na piaście koła zestawu czy też powstawanie luzów. [7]

1.3. System RTRI

Kolejnym systemem przestawczym jest zestaw opracowany przez Railway Technical Research Institute (RTRI) w Japonii. Pracę tego zestawu kołowego przewidziano na torach wąskich – 1067 mm oraz torach normalnych – 1435 mm, na linii Shinkansen. Wyżej wymieniona konstrukcja jest przeznaczona do trójczłonowego zespołu trakcyjnego w którym dwa człony są napędowe i jeden toczny. W tym rozwiązaniu zastosowano oś nieruchomą, koła nie mają kinematycznego powiązania natomiast przesuw kół po osi jest realizowany poza łożyskowaniem. Nieruchomą oś zestawu kół obejmuje tuleja ślizgowa na której znajduje się łożysko stożkowe na którym zamocowane jest koło jezdne. Obciążenie od usprężynowania pierwszego stopnia i obudowy osi jest przekazywane poprzez wkładkę ryglującą na tuleję. Wkładka ryglująca nie ma możliwości obrotu względem obudowy osi oraz jest związana z tuleją zarówno obrotowo jak i wzdłużnie. Jeden z dwóch czopów ryglujących oraz gniazdo w obudowie ustalają położenie wzdłużnie wkładki ryglującej. Czopy na wkładce ryglującej są rozstawione w połowie różnicy szerokości torów.

Podczas zmiany rozstawu kół obudowa zostaje uniesiona tak aby umożliwić wyjście z gniazd w obudowie czopom ryglującym, następnie koła jezdne są przesuwane na właściwą szerokość, a obudowa osi zostaje opuszczona dla wprowadzenia czopów ryglujących w nowe gniazda. Torowe stanowisko przestawcze o długości 22 m, składa się z trzech segmentów – tor normalny, odcinek przestawczy o długości 5 m oraz tor wąski. Początek

odcinka toru wąskiego oraz normalnego są w pozycji poziomej, lecz w pobliżu odcinka przestawczego szyny obniżają swój poziom do 55 mm poniżej poziomu wyjściowego. Obok torów zostały umiejscowione dwa ciągi szyn które służą do podpierania i są zbudowane jako poziome bieżnie rolkowe. Gdy pojazd wjeżdża na stanowisko przestawcze, obudowy osi znajdują się ponad bieżniami szyn podpierających. Gdy pojazd przejeżdża przez stanowisko przestawcze zestawy kołowe przemieszczają się na pochyłych odcinkach toru w dół, natomiast obudowa napotyka szynę podpierającą przekazując jej obciążenie. Wówczas zestaw kołowy jest odciążony a czopy wkładek ryglujących wychodzą z gniazd obudowy, umożliwiając kołom zestawu przemieszczenie na pożądaną szerokość. Zestawy kołowe przemieszczając się dalej napotykają wznoszący się odcinek toru o nowej szerokości, który powoduje podnoszenie zestawu kół do pierwotnego poziomu. Jednocześnie podczas podnoszenia czopy wkładki ryglującej zostają wprowadzone do gniazd obudowy powodując zaryglowanie, następnie obudowa osi zostaje uniesiona tracąc styk z bieżnią podporową – w tym momencie obciążenie przechodzi na zestaw kołowy. Po wymienionych operacjach przestawianie kół na pożądaną szerokość jest zakończone.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez zestaw kołowy wózka przestawnego typu B [9]

W 1998 r. zbudowano prototyp - dwuczłonowy pojazd trakcyjny który został przebadany na stanowisku oraz torach z prędkościami ok. 100 km/h. Kolejnym etapem były testy w ośrodku badawczym w Colorado USA na torze badawczym w Pueblo z prędkościami do 227 km/h. Na początku roku 2000 w Colorado badaniem został poddany trójczłonowy pojazd z prędkościami do 250 km/h.

Zastosowanie systemu RTRI to pojazdy trakcyjne, dlatego mniejsze znaczenie w tym rozwiązaniu ma brak powiązania kinematycznego kół, ponieważ mając indywidualny napęd każdego koła silnikiem synchronicznym jest możliwe sprzęgnięcie kół drogą elektryczną. Ponadto mniejsze znaczenie ma konieczność zastosowania nietypowego rozwiązania połączenie osi kół z ramą wózka. Nietypowym rozwiązaniem jest odciążenie zestawu kołowego podczas przestawiania, bowiem nie mamy do czynienia z tak dużym obciążeniem jak w przypadku chociażby wagonów towarowych, natomiast należy pamiętać, że do masy nieusprężynowanego zestawu kołowego trzeba dodać masę dwóch silników napędowych. Rysunek 3. przedstawia schemat przekroju poprzecznego zestawu kołowego. [7]

Wyróżniamy dwa typy wózków z możliwością zmiany rozstawu kół: typ A oraz B. W wózkach typu A głównym napędem jest silnik zamontowany bezpośrednio obok koła które nie jest powiązane mechanicznie z drugim oraz posiada system radialnego sterowania polegający na automatycznym ustawianiu osi w łukach pod odpowiednim kątem do osi pociągu minimalizując zużycie szyn i obrzeży kół. Celem opracowania wózka tego typu było stworzenie jak najprostszej konstrukcji wózka umożliwiającego zmianę rozstawu kół. Następnie został opracowany wózek typu B który

wykorzystuje układ napędowy z wałem Cardana. Celem skonstruowania tego typu wózka jest porównanie między kołami sprzężonymi i niesprężonymi. [10]

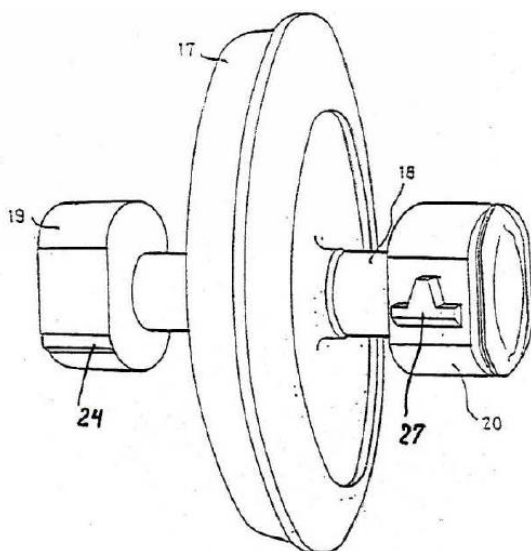
1.4. System TALGO

Za granicą bardzo popularny jest system rozstawu kół opracowany przez firmę TALGO PATENTES. Pierwsze koncepcje systemu TALGO powstały już w 1966 roku i w kolejnych latach były one stopniowo rozwijane i ulepszone. Do głównych elementów rozwiązania należą moduły składające się z niezależnie obracających się kół wyposażonych w cierne pierścienie hamulcowe, łożyskowane kompletem łożysk tocznych i zabudowanych w ramie, obejmującej każdą półosią. Koła są zablokowane za pomocą jarzma ustawionego w dwóch pozycjach odpowiadających dwóm różnym szerokościom toru. Jarzmo ma pionowe rygle utrzymywane sprężynami w górnym położeniu, które współpracują z fazowym stanowiskiem przestawczym.

Zmiana szerokości toru odbywa się w inny sposób niż dwa poprzednie rozwiązania, ponieważ odbywa się ono przy odciążonych kołach, na torowym stanowisku przestawczym. Pojazd szynowy przed zmianą rozstawu kół zwalnia do prędkości 5 km/h, natomiast sama zmiana rozstawu kół odbywa się w następujący sposób:

- układ biegowy zjeżdża z toru, który obniża się w ten sposób, że elementy ślizgowe ramy wchodzi w kontakt z szynami odciążającymi uwalniającymi koła od nacisku pionowego, istotne jest smarowanie ślizgów w czasie przetaczania wagonu (np. wodą),
- w teowe szyny odblokowujące zostają wprowadzone rygle blokujące i pod ich naciskiem zostają obniżone i uwalniają blokady kół,
- szyny przestawcze ułożone zbieżnie lub rozbieżnie przesuwają odblokowane koła na wymaganą szerokość toru,
- po przestawieniu kół, rygle wychodzą z szyn odblokowujących zablockowując koła w nowym położeniu,
- koła powracają na szyny toru kolejowego przejmując obciążenie pionowe wynikające z masy nadwozia. [9]

Elementy ślizgowe które przejmują obciążenie podczas przestawu kół są wykonane z tworzyw sztucznych, natomiast funkcję smarowania pełni woda ze względów ekologicznych, ponadto smary mogłyby powodować przyklejanie cząsteczek ściernych, które mogą prowadzić do większego zużycia materiału. [2]



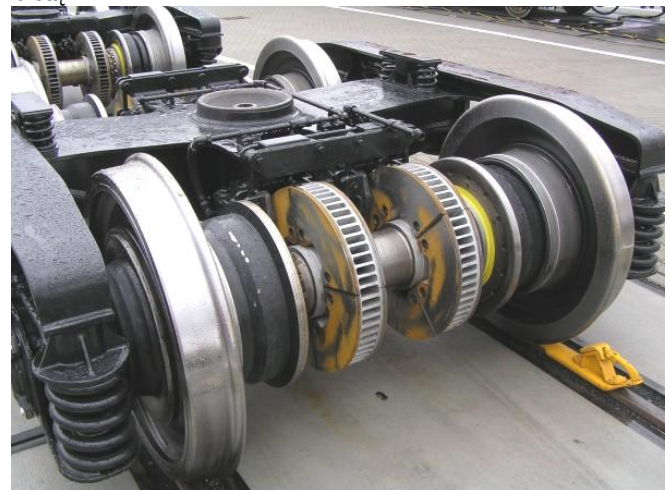
Rys. 4. Schemat koła z półosią i jej łożyskowaniem [7] gdzie: 17 – koło jezdne, 18 – półoś, 19, 20 – obudowa, 24 – występ na obudowie, 27 – dolna część występu ryglującego na obudowie

Na rysunku 4 przedstawiono podzespół koła jezdnego w wersji dla wagonów towarowych. Koło jest włożone na półoś, która po obu stronach posiada obudowy w których znajdują się łożyska toczne. Podczas zmiany szerokości kół cały podzespół jest przemieszczany wzdłuż półosi, natomiast obudowa przemieszcza się w gniazdach ramy. Spłaszczone powierzchnie obudowy łożysk uniemożliwiają ich obrót w gniazdach, wspomagane przez występy w obudowie współpracujące z prowadnicami gniazd w trakcie przemieszczenia podzespołu.

W połowie 2016 roku według Kolei Rosyjskich (RZD) pociągi wyposażone w system przestawczy TALGO będą kursowały na terenie Polski ponieważ mają zostać uruchomione połączenia Moskwa-Warszawa-Berlin ze stacją przestawczą w Brześciu.

1.5. System SUW-2000

System SUW-2000 (rys.5) jak każdy inny system ma swoje wady i zalety. Główną zaletą jest możliwość wyposażenia w wagonów towarowych, ponadto prędkość maksymalna wynosi 160 km/h – w Polsce nie jest to mała prędkość, natomiast w krajach z lepiej rozwiniętą infrastrukturą takie ograniczenie mogłoby być odczuwalne. Dodatkowo rozwiązanie systemu SUW-2000 w pojazdach trakcyjnych zostało opracowane oraz opatentowane, natomiast brak zastosowania tej koncepcji w czynnej eksploatacji. SUW-2000 należy do zestawów kołowych, w których koła biegowe są rozsuwane wzdłuż osi, gdy oś wiruje synchronicznie wraz z zestawem (a przy tym kinematycznie sprzęga koła „na sztywno”, w nastawianych w położeniach roboczych). Zestawu kołowe tego typu mają jedną wadę, może występować frettingowe zużycie powierzchni współpracy wału i panewki w połączeniu koło – oś zestawu. [6] Główną zaletą zestawów kół z osią wirującą jest możliwość zastosowania ich w istniejących konstrukcjach wózków z klasycznym łożyskowaniem i prowadzeniem zestawu kół. W systemie SUW-2000 zastosowano tuleje stalowe, pokryte od wewnątrz teflonową warstwą ślizgową, która umożliwia pracę bez potrzeby smarowania połączenia, co niewątpliwie również jest zaletą.



Rys. 5. Widok wózka wyposażonego w system SUW-2000 [3]

Zmiana rozstawu kół odbywa się na torowym stanowisku przestawczym składającym się z rowkowych szyn jezdnych, szyn odblokowujących oraz szyn zabezpieczających. Podczas przejazdu wagonu przez stanowisko koła zestawu są samoczynnie przesuwane, bez odciążania na wymaganą szerokość toru. Stanowisko o długości ponad 27 m, zabudowane na styku torów 1435/1520 mm, realizuje zmianę rozstawu kół w zestawie przestawnym w obie strony, odpowiednio do wymaganej szerokości toru. Szyny rowkowe mają na jednym końcu rozstaw normalny, na drugim rozstaw szeroki.

Zaletą systemu SUW-2000 jest brak sworzni zabierakowych oraz mniejsza ilość sprężyn, dzięki którym zestaw kołowy ma mniejsze rozmiary oraz masę, uzyskując przy tym większą niezawodność mechanizmu blokującego. Ponadto SUW-2000 umożliwiła łatwy montaż i demontaż co jest szczególnie ważne w przypadku prototypu, gdyż podczas kontroli zestaw jest demontowany i sprawdzane jest zużycie materiałów poszczególnych elementów. Założenia oraz badania nie zawsze pokrywają się z rzeczywistą eksploatacją, dlatego też jest konieczny demontaż. W przypadku SUW-2000 kontrola wraz z demontażem odbywała się co 130 tys. km przebiegu wagonów pasażerskich. Zmiana rozstawu kół w zestawach kołowych wyposażonych w system SUW-2000 przebiega następująco:

- Wjazd zestawu SUW-2000 na torowe stanowisko przestawcze po stronie toru 1435 mm. Koła zablokowane prowadzone obrzeżami w szynach rowkowych.
- Najazd lewego kołnierza na szynę odblokowującą powoduje przesunięcie tulei rozprężonej uwalniając lewe koło. Zablokowane prawe koło pełni funkcję prowadzenia zestawu.
- Uwolnione lewe koło jest przesuwane ułożoną rozbieżnie szyną rowkową, aż do osiągnięcia połowy rozstawu toru 1520 mm. W czasie przesuwu koła tuleja rozprężna przeskakuje sprężyscie w drugi rowek. Zablokowane prawe koło pełni funkcję prowadzenia zestawu.
- Zjazd kołnierza z szyny odblokowującej powoduje nasunięcie tulei blokującej na tuleję rozprężną, zablokując koło w położeniu połowy rozstawu toru 1520 mm. W tym momencie lewe koło przejmuje funkcję prowadzenia zestawu. Cykl od 2 do 4 powtarza się dla koła prawego, po czym zestaw kołowy znajduje się na torze 1520 mm.

2. ZASADNOŚĆ ZASTOSOWANIA SYSTEMU PRZESTAWCZEGO SUW-2000 W POLSCE

W tabeli 1 przedstawiono wieloparametrową ocenę organizacyjno-ekonomiczną możliwych technologii pokonywania różnic szerokości torów. [1] Analizy technologii przeładunku dla transportu paliw płynnych w artykule odniesiono systemu przestawczego SUW-2000. Żeby ocenić która technologia przewozu jest najbardziej efektywna, oraz z jaką przewagą nad pozostałymi skorzystano z Metody Unitaryzacji Zerowanej [4]. Porównanie zostało wykonane według następujących kryteriów:

- czas obsługi – podstawowe kryterium, które powinno być jak najniższe dla danej technologii żeby zapewnić optymalną efektywność,
- wydajność obliczeniowa – zależy od czasu obsługi czyli od ilości obsługiwanych wagonów na godzinę, która gdy zostanie pomnożona przez przyjętą ładowność cysterny 60 ton otrzymamy wydajność obliczeniową. Kryterium to ukazuje wydolność danej technologii przewozu. Podobnie jak czas obsługi zdecydowanie najkorzystniejszy wynik uzyskał automatycznie rozsuwany zestaw kołowy,
- współczynnik zajętości terenu – kryterium które najbardziej zależy od stanowiska przestawczego, oraz zajmowanej przez niego powierzchni. W tym kryterium również najkorzystniejszą czyli najniższą wartość uzyskał system przestawczy,
- koszty jednostkowe środków transportu, punktów zmiany szerokości toru i obsługi punktów – ze względu na wysoką cenę systemu SUW-2000 jest to jedyna kategoria w której inne technologia ma przewagę, a mianowicie wymiana wózków na zapadni,
- udział kosztów zewnętrznych w ogólnych kosztach przewozów - koszty zewnętrzne transportu są to koszty wynikające z

negatywnego oddziaływania transportu na środowisko naturalne oraz życie człowieka np. emisja hałasu, zajętość terenu, wypadki transportowe, zanieczyszczenia powietrza wody i gleby. W tej kategorii z niewielką przewagą nad pozostałymi technologiami najkorzystniejsza jest technologia z automatycznie rozsuwanymi zestawami kołowymi. [8]. W tabeli 2 przedstawiono zestawienie wartościowania kryteriów oceny.

Tab. 1. Wieloparametrowa ocena organizacyjno-ekonomiczna

Technologie przewozu paliw płynnych pomiędzy kolejami o różnej szerokości toru	Czas obsługi* [min]	Wydajność obliczeniowa* [t/h]	Wsp. zajętości terenu	Koszty jednostkowe środków transportu, punktów zmiany szerokości toru i obsługi punktów [USD/t]	Udział kosztów zewnętrznych w ogólnych kosztach przewozów [%]
I.Przeładunek jednostek ładunkowych (kontenerów-cystern)	6	215	4,5	15,11	0,5
II.Przeładunek jednostek ładunkowych według potrzeb użytkownika	12	107,5	5	15,99	0,5
III. Przepompowywanie cysterna-cysterna	40	90	4	15,98	0,7
IV. Przepompowywanie cysterna-zbiornik-cysterna	70	51,6	5	31,53	0,8
V.Wymiana wózków przez podnoszenie nadwozia	20	180	2	9,9	0,6
VI.Wymiana wózków na zapadni	5	720	1,2	7,13	0,3
VII.Wymiana pojedynczych zestawów kołowych na zapadni	16	225	1,1	8,89	0,3
VIII.Automatycznie rozsuwane zestawy kołowe	0,5	7200	0,8	7,71	0,3

* Do obliczeń przyjęto 4-osiovy wagon cysternę o ładowności 60 t (pojemności 80 m³) oraz kontener 20-stopowy.

możliwych technologii pokonywania różnic szerokości torów [1]

Tab. 2. Zestawienie wartościowania kryteriów oceny

Technologie przewozu	Kryteria oceny				
	k1	k2	k3	k4	k5
TP1	6	215	4,5	15,11	0,5
TP2	12	107,5	5	15,99	0,5
TP3	40	90	4	15,98	0,7
TP4	70	51,6	5	31,53	0,8
TP5	20	180	2	9,9	0,6
TP6	5	720	1,2	7,13	0,3
TP7	16	225	1,1	8,89	0,3
TP8	0,5	7200	0,8	7,71	0,3
Max kij	70	7200	5	31,53	0,8
Min kij	0,5	51,6	0,8	7,13	0,3

Następnie rozpoznano zmienne diagnostyczne. Stymulanta oznacza wartości wyższe jako wartości bardziej efektywne, natomiast destymulanta oznacza wartości niższe jako bardziej efektywne dla danego kryterium. Destymulantę stanowią cztery kryteria, bowiem najkorzystniejsze będzie dla technologii przewozu jeśli zarówno czas obsługi, współczynnik zajętości terenu, koszty jednostkowe jak i udział kosztów zewnętrznych osiągną jak najniższe wartości. Natomiast jedyną stymulantę stanowi drugie kryterium, ponieważ wydajność technologii przewozu powinna być jak najwyższa.

Normowanie kryterium oceny obliczono za pomocą zależności (1) i (2) dla stymulanty i destymulanty ma podstawie [4].

$$z_{ij,S} = \frac{x_{ij} - \min \cdot x_{ij}}{\max \cdot x_{ij} - \min \cdot x_{ij}} \quad (1)$$

$$z_{ij,D} = \frac{\max \cdot x_{ij} - x_{ij}}{\max \cdot x_{ij} - \min \cdot x_{ij}} \quad (2)$$

gdzie: z_{ij} – i-ta wartość unormowanej j-ego kryterium oceny,
 x_{ij} – wartość danego kryterium oceny.

Kolejnym krokiem było obliczenie wartości zmiennej agregatowej Q_i , która była głównym kryterium kolejności technologii przewozu. Wartość zmiennej agregatowej obliczono na podstawie zależności (3) [4].

$$Q_i = \sum_j z_{ij} \quad (3)$$

gdzie: Q_i – wart. Zm. agregatowej przypisanej do i-tego obiektu.

W tabeli 3. Przedstawiono wyniki normowania dla poszczególnych technologii przewozu, natomiast w kolejnej tabeli 4. ranking oraz wybór najlepszej technologii przewozu. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że zdecydowanie najlepszą technologią przewozu paliw płynnych pomiędzy kolejami o różnej szerokości toru jest system z automatycznie rozsuwanymi kołami SUW-2000. Wynik w formie graficznej wraz z procentowym udziałem przedstawiono na rysunku 6. na którym pokazano sporą przewagę nad pozostałymi technologiami. Jako mniej efektywne okazały się technologie które uzyskały wynik na podobnym poziomie czyli Wymiana wózków na zapadni oraz Wymiana pojedynczych zestawów kołowych na zapadni.

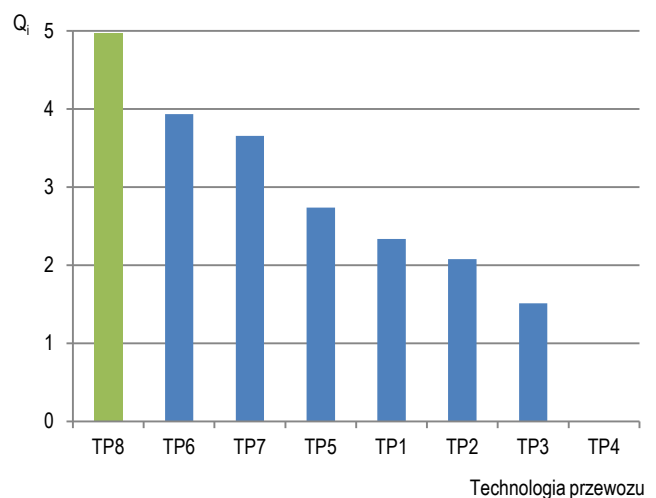
Tab. 3. Zestawienie wyników normowania dla rozpatrywanych technologii przewozu

Technologie przewozu	Kryteria oceny					Q_i
	k1	k2	k3	k4	k5	
TP1	0,921	0,023	0,119	0,673	0,600	2,336
TP2	0,835	0,008	0	0,637	0,600	2,079
TP3	0,432	0,005	0,238	0,637	0,200	1,512
TP4	0	0,	0	0	0	0
TP5	0,719	0,018	0,714	0,886	0,400	2,738
TP6	0,935	0,094	0,905	1	1	3,934
TP7	0,777	0,024	0,929	0,928	1	3,658
TP8	1	1	1	0,976	1	4,976

Wynik w formie graficznej wraz z procentowym udziałem przedstawiono na rysunku 6, z którego wynika istotna przewaga systemu przestawczego nad pozostałymi technologiami przeładunku.

Tab. 4. Ranking i wybór najlepszych technologii przewozu

Technologia przewozu		Q_i
VIII. Automatycznie rozsuwane zestawy kołowe	TP8	4,976
VII. Wymiana pojedynczych zestawów kołowych na zapadni	TP7	3,658
V. Wymiana wózków przez podnoszenie nadwozia	TP5	2,738
I. Przeładunek jednostek ładunkowych (kontenerów-cystern)	TP1	2,336
II. Przeładunek jednostek ładunkowych według potrzeb użytkownika	TP2	2,079
III. Przepompowywanie cysterna-cysterna	TP3	1,512
IV. Przepompowywanie cysterna-zbiornik-cysterna	TP4	0,000
VII. Wymiana pojedynczych zestawów kołowych na zapadni	TP7	3,658



Rys. 6. Graficzne przedstawienie rankingu technologii przewozu

Przeprowadzona ocena technologii przestawczych wykonana przez dr M. Szkodę wykazała, że system SUW-2000 może być idealną metodą pokonania różnicy prześwitu toru m.in. dla transportu materiałów niebezpiecznych. Ten rodzaj towaru jest szczególnie ważny nie tylko ze względu na duże zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka lecz również ze względu na ryzyko zanieczyszczenia środowiska podczas przeładunku. Dodatkowo według danych GUS materiały niebezpieczne to 30% towarów importowanych i 13% eksportowanych koleją w Polsce.

PODSUMOWANIE

Analiza zawarta w artykule wykazała, że najbardziej optymalną metodą pokonania bariery różnicy szerokości toru jest system przestawczy SUW-2000. Dzięki jednej z metod analiz wielokryterialnych a mianowicie Metodzie Unitaryzacji Zerowej udało się udowodnić znaczną przewagę nad pozostałymi metodami co zobrazowano za pomocą wartości liczbowych oraz w postaci graficznej.

Pierwszym opisanym systemem przestawczym jest koncepcja powstała w IPSz „TABOR” w Poznaniu której zasada zmiany rozstawu bazuje na połączeniu śrubowym piasty kół oraz osi. Obrót osi a zarazem zmianę rozstawu kół generuje dźwignia przestawcza która, byłaby sporym niebezpieczeństwem podczas jazdy i sama może powodować niekontrolowaną zmianę rozstawu kół. Niemiecki system przestawczy RAFIL DRV-DBAG jest bardzo podobny do polskiego systemu SUW-2000, natomiast główną różnicą jest

element ryglujący. Tuleja rozprężna w tym zastosowaniu została zastąpiona przez trzy dźwigienki ryglujące rozstawione co 120°. Równie ciekawym rozwiązaniem jest system powstały w Japonii a mianowicie system RTRI, całkowicie odmienny od tych stosowanych w Europie. chociażby z powodu podstawowego kryterium czyli dwóch różnych wartości prześwitu toru. Na linii Shinkansen występują szerokości 1435 mm oraz 1067 mm, a więc różnica nie wynosi tak jak w Europie 85 mm ani 233 mm lecz aż 368 mm. Kolejna rzecz wyróżniająca RTRI od innych to system radialnego sterowania który automatycznie ustawia osie w łukach pod odpowiednim kątem do osi pociągu minimalizując zużycie szyn i obrzeży kół. Jest to istotne w tym systemie przestawczym, ponieważ masa wózka jest zwiększona o masę dwóch silników napędowych umiejscowionych na osi zestawu kołowego. Zwiększona masa zestawu kołowego oraz zastosowanie kół które nie są ze sobą sprzężone przy małych promieniach toru wąskiego zwiększają siły poprzeczne przez co zużywałaby nadmiernie obrzeża kół i szyny. Obecnie najbardziej popularny w Europie jest hiszpański system TALGO, którego wyróżnia spośród pozostałych zastosowanie dwóch pólosi. Zmiana rozstawu odbywa się na odciążonych zestawach kołowych, obciążenie wówczas przejmuje specjalnie skonstruowana maźnica, której podstawa jest wykonana z tworzywa przemieszcza się na szynie polewanej wodą która ze względów ekologicznych zmniejsza tarcia. Wadami tego systemu są torowe stanowisko przestawcze które jest drogie, o złożonej konstrukcji i niekompatybilne z żadnym innym systemem oraz konieczność odmrażania mechanizmu przestawczego przy niskich temperaturach.

System któremu została poświęcona największa część artykułu to SUW-2000. Zaletą systemu SUW-2000 jest możliwość łatwego montażu oraz co ważniejsze demontażu. Jest to istotna cecha systemu w którym ocenę zużycia elementów na przeglądzie w przypadku wagonów pasażerskich miał miejsce co 130 tys. km. Jest to możliwe tylko poprzez demontaż. Stanowisko przestawcze systemu SUW-2000 jest prostszą i tańszą konstrukcją w przeciwieństwie do systemu TALGO ponadto jest kompatybilne z niemieckim systemem RAFIL DRV. Dzięki wyeliminowaniu sworzni zabierakowych oraz mniejszej ilości sprężyn zestaw kołowy wyposażony w system SUW-2000 ma mniejsze gabaryty oraz masę, co wpływa korzystnie na parametry jezdne pojazdu szynowego oraz na niezawodność mechanizmu blokującego. Porównując elementy różniące SUW-2000 oraz RAFIL DRV warto wspomnieć o zaletach tulei rozprężnej, która w niemieckim systemie nie została zastosowana. Otóż system SUW-2000 dzięki zastosowaniu tulei rozprężnej uzyskał mniejsze zużycie elementów mechanizmu blokującego, ponadto nawet gdy niektóre elementy listwowe ulegną uszkodzeniu, to jest zapewnione pełne bezpieczeństwo. Polski system przestawczy został również poddany analizie z innymi technologiami przewozu paliw płynnych pomiędzy kolejami o różnych szerokościach toru. Ponadto Metodą Unitaryzacji Zerowanej został sporządzony ranking metod przewozu paliw płynnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Basiewicz T., Gołaszewski A., Towpik K., *Nowa technologia na kolejach o różnej szerokości torów*, Politechnika Warszawska. Warszawa 2007.
2. Gomez J. L. L., *TALGO – automatyczny system zmiany rozstawu kół wagonów w ruchu pasażerskim i towarowym*. TTS Techniki Transportu Szynowego. Nr 5/1998.
3. http://www.rynek-kolejowy.pl/36930/zaklady_zntk_poznan.htm.
4. Kukula K., *Metoda unitaryzacji zerowej*. WNT, Warszawa 2000.
5. Madej J., Medwid M., Stawecki W., *Nowy mechanizm zmiany rozstawu kół w pojazdach szynowych dla szerokości toru 1435 – 1520*. POJAZDY SZYNOWE, Nr 2/2013.
6. Madej J., *Rozwój oryginalnego systemu transportu przestawczego UIC – ОСЖД*. POJAZDY SZYNOWE, Nr 2/2014.
7. Medwid M., *Zestaw kołowy przestawny nowej generacji. Sprawozdanie merytoryczne*.
8. Oprędkiewicz J., Tulecki A., *Ocena organizacyjno-ekonomiczna wariantów przewozów produktów naftowych na kolejach o różnej szerokości torów*. Politechnika Krakowska – Instytut Pojazdów Szynowych. Kraków, listopad 1995.
9. Suwalski R., *System samoczynnej zmiany rozstawu kół pojazdów szynowych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Rozprawy Monografie nr 154.
10. Tokuda N., Okamoto I., *Development of Gauge Change Bogies*. QR of RTRI, Vol. 44, No. 3, August 2003.

ANALYSIS OF THE CHANGE GAUGE SYSTEM SUW-2000 IN ECONOMIC ASPECT COMPARED TO OTHER TECHNOLOGIES OVERLOAD

Abstract

The From railway vehicles in international traffic, requires a shorter time of transport combined with high performance transport. That the Railways could compete with other modes of transport, including roads, should effective mitigation of the barrier gauge, which can ensure the automatic change gauge system.

The article presents a review of selected working in the economic aspect, using the change gauge system SUW-2000 method of analysis of multiple criteria MUZ.

Autorzy:

inż. **Piotr Lencki** – Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań. Fax: +48 61 665 2204, piotr.lencki@student.put.poznan.pl
 dr inż. **Wojciech Sawczuk** – Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań. Tel. +48 61 665-2023, Fax: +48 61 665 2204, wojciech.sawczuk@put.poznan.pl