

[

dr inż. Marek Sobaś
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

Wózek 33MN do oczyszczarki tłucznia OT-84

W artykule przedstawiono opis trzyosiowego wózka napędowego 33MN dla oczyszczarki tłucznia OT-84. W artykule przedstawiono konstrukcję układu biegowego, która jest rozwiązaniem innowacyjnym i pierwszym tego typu w kraju. Zaprezentowano podstawowe węzły konstrukcyjne wózka 33MN.

1. Wstęp

W latach 2009÷2012 konstruowano w IPS „Tabor” wózek „33MN” dla oczyszczarki tłucznia „OT-84” na potrzeby PKP PLK S.A. Wykonawcą oczyszczarki oraz ww. wózków był Zakład Pojazdów Szynowych w Stargardzie Szczecińskim. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej wózka napędowego typu 33MN zlecono IPS „Tabor” w Poznaniu. Ponieważ masa oczyszczarki jest większa niż 90 ton, a dopuszczalny nacisk zestawu kołowego na tor wynosi 22,5 tony dla klasy toru jedynym rozwiązaniem było wyposażenie pojazdu w układy biegowe trzyosiowe. Zakładając, że dopuszczalny nacisk zestawu kołowego na tor, wynosi 20 ton, masa własna oczyszczarki wraz z tłuczniem może wynosić nawet 120 ton. W związku z powyższym przed konstruktorami IPS „Tabor” postawiono zadanie, aby opracować koncepcję oraz dokumentację konstrukcyjną wózka trakcyjnego, który nazwano „33MN”. Początkowa koncepcja, aby rozwiązanie wózka oprzeć na istniejących wózkach wagonów towarowych typu „7TN” oraz „7TNa” z reso-

rami piórowymi, uległa zmianie wskutek sugestii wymagań klienta, aby zawieszenie pierwszego stopnia stanowiły sprężyny śrubowe pierwszego stopnia wraz z tłumikiem ciernym, analogicznie jak w standardowym wózku dwuosowym Y25.

2. Koncepcja wózka

2.1. Opis techniczny oczyszczarki

Koncepcja wózka „33MN” została opracowana w oparciu o założenia konstrukcyjne oczyszczarki OT-84, które zostały zamieszczone w opracowaniu Zakładu Pojazdów Szynowych w Stargardzie Szczecińskim [9]. Oczyszczarka tłucznia jest samojezdną, całkowicie hydrauliczną maszyną torową, przeznaczoną do czyszczenia pełnej warstwy podsypki tłuczniowej bez naruszania konstrukcji toru w procesie technologicznym naprawy głównej lub średniej na liniach: magistralnych, pierwszorzędnych i drugorzędnych. Praca maszyny polega na wybieraniu podsypki tłucz-

niowej z nawierzchni kolejowej bez naruszania konstrukcji toru, odsianiu zanieczyszczeń z wybranej podsypki, wprowadzeniu oczyszczonego tłucznia z powrotem na tor, a zanieczyszczenia na specjalne środki transportowe. Do zasilania całej maszyny służy siłownia z silnikiem spalinowym typu „Caterpillar” z dzielnikiem momentu, pompami hydraulicznymi, sprężarką, zbiornikiem oleju hydraulicznego, układami silnika i częściami układu hydraulicznego. Z siłowni za pomocą układu hydraulicznego następuje przesyłanie oleju hydraulicznego do napędów zespołów roboczych maszyny i układu ruchów wstępnych znajdujących się na obu stronach maszyny. Sterowanie pracą silnika i wszystkich układów: hydraulicznego i pneumatycznego jest realizowane zdalnie za pomocą układu elektronicznego ze sterownikiem mikroprocesorowym. Podsypka tłuczniowa jest wybierana przez mechanizm wybierakowy podczas wolnej jazdy roboczej. Jest to mechanizm z łańcuchem wybierakowym pracującym w obwodzie zamkniętym po spięciu go z torem i zmontowaniem belki podtorowej. Transportowana przez łańcuch mechanizmu wybierakowego na maszynę podsypka tłuczniowa jest rozrzucana na sita przesiewacza wibracyjnego. Na przesiewaczu następuje oddzielenie zanieczyszczeń od wybieranej podsypki. Odsiewki z przesiewacza są odbierane przez zespół dwóch przenośników taśmowych, składający się z przenośnika stałego i wychylnego. Przenośnik wychylny znajduje się nad kabiną „1” i ma za zadanie wyrzucić odsiewki na bok, poza torowisko lub do przodu na specjalne wagony. Natomiast oczyszczony tłuczeń z przesiewacza jest odbierany przez zsypl tłucznia i kierowany bezpośrednio na tor lub na przenośniki taśmowe rozścielające. Podsypka wprowadzona z powrotem na tor jest profilowana przez pług znajdujący się tuż za zsyplem tłucznia. Mechanizm podnoszący, znajdujący się na maszynie umożliwia

2.2. Parametry techniczne oczyszczarki

Szerokość toru.....	1435 mm
Długość ze zderzakami.....	29 644 mm
Rozstaw osi skrajnych.....	25 550 mm
Baza pojazdu (odległość pomiędzy środkami czopów skreću).....	22350 mm
Szerokość maksymalna.....	3100 mm
Wysokość maksymalna.....	4600 mm
Maksymalna prędkość transportowa z własnego napędu na torze prostym.....	80 km/h
Maksymalna prędkość transportowa obcym środkiem trakcyjnym.....	100 km/h
Minimalny promień łuku toru, przez który może przejechać pojazd.....	150 m
Moc silnika trakcyjnego.....	653 kW
Przeniesienie napędu.....	hydrostatyczne
Ilość osi napędowych (trakcyjnych).....	4
Całkowita ilość osi.....	6
Średnica toczna kół.....	920 mm
Hamulec zespolony.....	typu Oerlikon
Instalacja elektryczna prądu stałego.....	24V
Masa całkowita.....	ok.100 ton

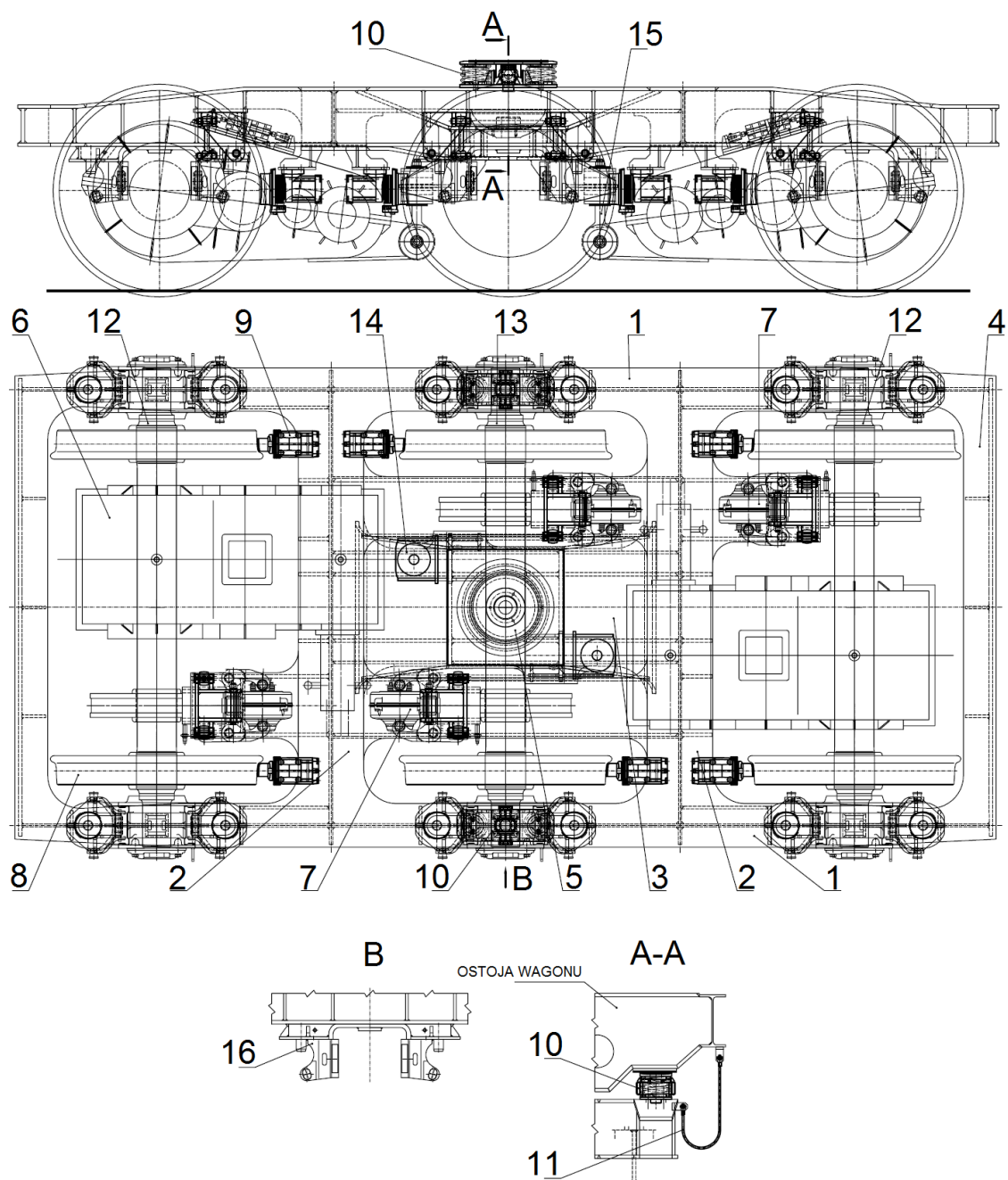
podnoszenie toru w przypadku zbyt małej grubości podkładki i pod podkładami oraz nasuwanie w planie w celu odsunięcia od przeszkód. Oczyszczarka typu OT-84.00 wyposażona jest w rejestrator oraz układ automatyczny bezpieczeństwa ruchu. W skład automatyki bezpieczeństwa wchodzi: system SHP (samoczynne hamowanie pociągu), CA (czuwak aktywny) oraz RADIO-STOP.

2.3. Opis wózka trzyosiowego 33MN

Wózek trzyosiowy 33MN jest wózkiem trakcyjnym, przeznaczonym do specjalistycznych zespołów trakcyjnych, jak np. wspomniana oczyszczarka tłucznia OT-84 i posiada pewne cechy, zaczerpnięte ze standardowych wózków wagonów towarowych. Do takich cech można zaliczyć:

- oparcie nadwozia na wózku za pomocą czopa kulistego oraz ślizgów bocznych sprężystych z powiększonymi luzami pionowymi 20 ± 1 mm, dopasowanymi do zwiększonej bazy oczyszczarki; luzy ślizgów bocznych w wózkach standardowych typu Y25 wynoszą 12 ± 1 mm
- rozwiązanie węzła maźnicznego, zwłaszcza korpusu maźnicy, usprężynowania oraz tłumika ciernego,
- rozwiązanie uziemienia wózka za pomocą przewodu ochronnego zgodnego z kartą UIC 533 [4].

Wózek 33MN z podziałem na podzespoły i elementy jest przedstawiony na rys.1.



Legenda:

1 – ostojnica, 2 – poprzecznica, 3 – podłużnica, 4 – czółownica, 5 – gniazdo skreću, 6 - przekładnia trakcyjna, 7 – mechanizm zaciskowy hamulca tarczowego, 8 – zestaw kołowy, 9 – klocek czyszczący, 10 – ślizg boczny, 11 – przewód uziemiający, 12 – oś skrajna napędna, 13 – oś środkowa toczna, 14 – wspornik powieszenia przekładni, 15 – ciężło podwieszenia przekładni, 16 – korpus prowadnicy

Rys.1. Wózek trakcyjny 33MN do oczyszczarki OT-84.00

Parametr	Wartość
Szerokość (prześwit) toru	1435 mm
Długość wózka	4500 mm
Szerokość wózka	2302 mm
Rozstaw ślizgów bocznych sprzężystych	2000 mm
Rozstaw sąsiednich zestawów kołowych	1600 mm
Rozstaw skrajnych zestawów kołowych (baza wózka)	3200 mm
Rozstaw środków maźnic zestawów kołowych	2000 mm
Gniazdo kuliste skrętu (promień gniazda skrętu)	190 mm
Wysokość środka kuli gniazda skrętu od główki szyny	950 ⁺³ ₋₅ mm
Wysokość płyty oporowej czopa skrętu od poziomu główki szyny	880±5 mm
Maksymalny nacisk zestawu kołowego na tor	20 t (196,2 kN)
Minimalny promień łuku toru (warsztatowy), przez który może przejechać pojazd na wózkach	75 m
Maks. przesuw poprzeczny ramy wózka względem maźnicy na stronę	± 15 mm
Maks. przesuw wzdłużny ramy wózka względem maźnicy na stronę	8÷10 mm
Całkowita liczba osi	3
Ilość osi trakcyjnych (napędowych)	2
Hamulec	tarczowy
	bloki czyszczące TCU Nr 240002-100 SAB WABCO
Tarcza hamulcowa (średnica zewnętrzna×średnica piasty×szerokość wieńca)	Ø 610/320x110 mm
Ilość osi hamowanych	3
Osie trakcyjne	2 tarcze hamulcowe

Średnica okręgu tocznego kół w stanie nowym	Ø920 mm
Dopuszczalne zużycie kół (liczone na promieniu)	30 mm
Minimalna średnica toczna koła monoblokowego po ostatnim przetoczeniu profilu	Ø870 mm
Minimalna dopuszczalna średnica toczna koła monoblokowego	Ø860 mm
Czop osi zestawu kołowego	Ø 130 x 217 mm
Łożyska osiowe	NJ +NJP 130x240x80
Usprężynowanie	za pomocą sprężyn śrubowych, jednostopniowe bez charakterystyki progresywnej
Miękkość usprężynowania wózka	0,1224 mm/kN = 1,211 mm/t
Sztwywność usprężynowania wózka	8,169 kN/mm = 0,825 t/mm
Ślizgi boczne	sprężyste
Luz pionowy na ślizgach bocznych sprzężystych	20±1 mm
Masa wózka	10 400 kg
Zarys wózka spełnia wymagania karty UIC 505-1 [1]	jak dla pojazdów trakcyjnych

2.3.1. Rama wózka

Wózek posiada ramę zamkniętą. Konstrukcja ramy wózka jest całkowicie spawana i składa się z następujących zasadniczych elementów (rys.2):

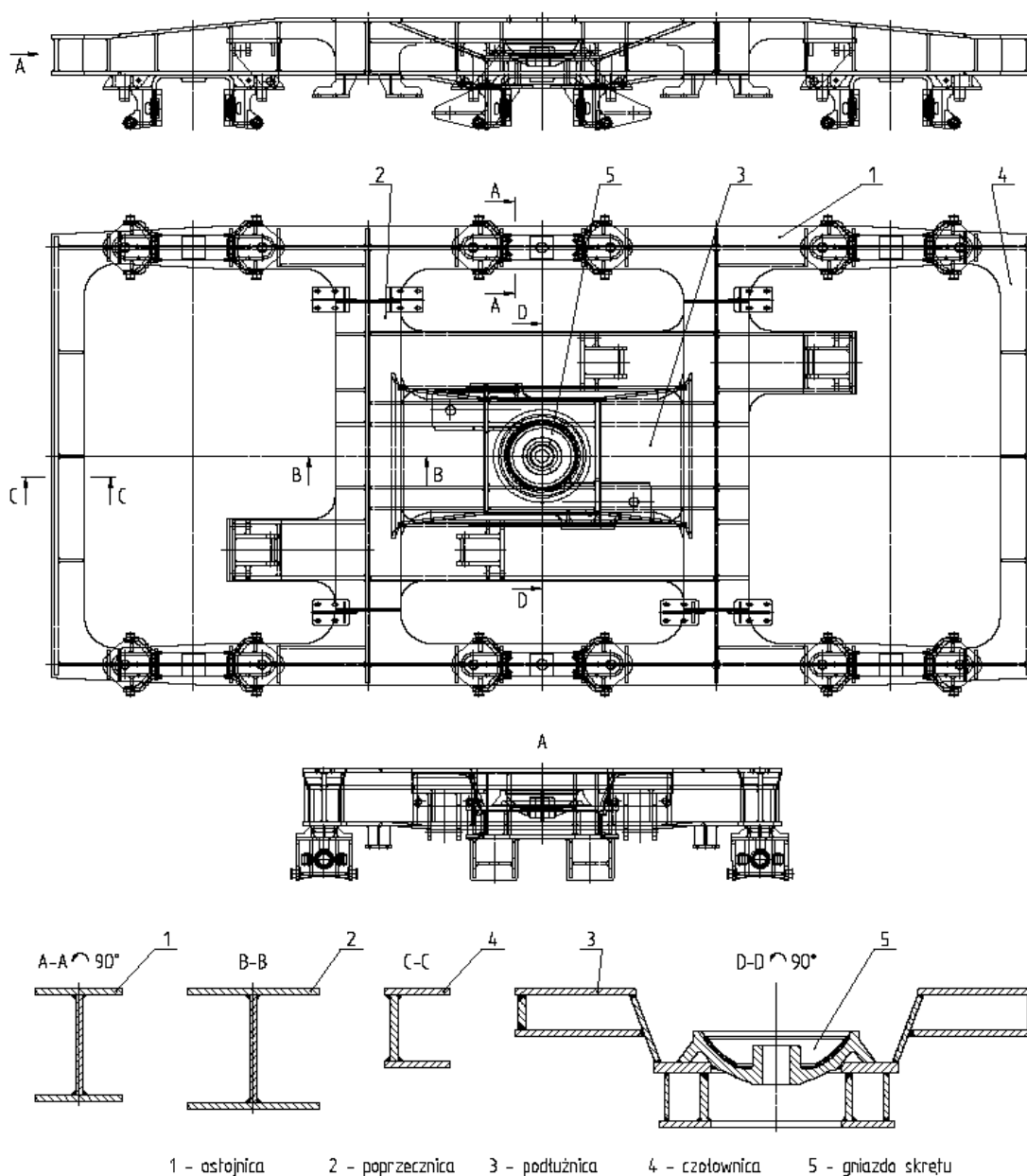
- dwóch ostożnic (poz.1),
- dwóch poprzecznic (poz.2),
- belki środkowej (poz.3),
- dwóch czołownic (poz.4).

Na elementy nośne ramy zastosowano stal S355J2 (o wytrzymałości na rozciąganie $R_m=510\div680$ MPa oraz granicy plastyczności $R_{e\ min}=355$ MPa). Ostożnice i poprzecznice mają przekrój dwuteowy z wzmocnieniami w postaci żeber. Czołownice mają przekrój ceowy. Ostożnice są połączone dwoma poprzecznikami (poz.2). Poprzecznice połączone są z belką środkową (poz.3), w której znajduje się gniazdo skrętu z wkładką z tworzywa sztucznego (poz.5). Do poprzecznic (poz.2) są przyspawane wsporniki do

mocowania mechanizmów zaciskowych hamulca tarczowego (poz.7) i wsporniki mocowania bloków czyszczących (poz.9). Do belki środkowej (poz.3) przyspawane są wsporniki do mocowania dźwigni łączącej przekładnię trakcyjną. Na ostojnicach znajdują się otwory do mocowania ślizgów bocznych sprężystych (poz.10). Do ostojnic wózka są przyspawane wsporniki do mocowania bloków czyszczących koła (poz.18) oraz korpusy prowadnic (poz.14), mających za zadanie prowadzenie zestawu kołowego w trakcie jazdy

2.3.2. Zawieszenie pierwszego stopnia

Wózek posiada zawieszenie jednostopniowe na sprężynach śrubowych (poz.4) bez charakterystyki progresywnej. Rama wózka spoczywa na 6-ciu maźnicach (poz.8) za pośrednictwem 12-stu kompletów sprężyn śrubowych. Sprężyna wewnętrzna wykonana jest z pręta $\phi 20$ mm, sprężyna zewnętrzna z pręta $\phi 32$ mm. Sprężyny wykonane są ze stali 52CrMoV4+HH zgodnie z normą EN 10089:2002 [7]. Sprężyna zewnętrzna jest prawozwojna, natomiast sprężyna wewnętrzna jest lewozwojna.

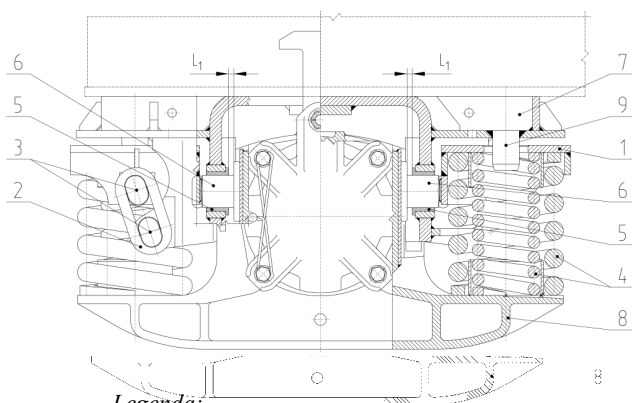


Rys.2. Rama wózka 33MN jako konstrukcja spawana

Zawieszenie jest tak skonstruowane, że umożliwia:

- ruchy wzdłużne $L_1 = \pm 9$ mm maźnicy zestawu kołowego względem ramy wózka,
- ruchy poprzeczne $L_2 = \pm 15$ mm maźnicy zestawu kołowego względem ramy wózka (rys.4).

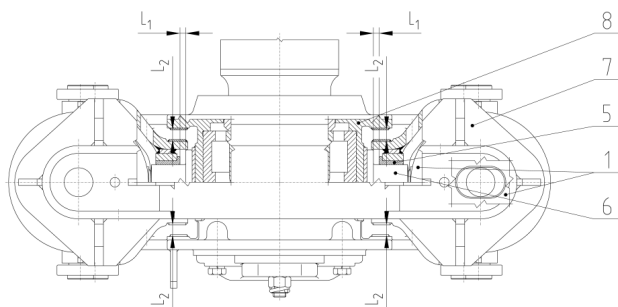
Ruchy wzdłużne z luzem $L_1 = \pm 9$ mm umożliwiają quasi-radialne ustawianie osi zestawu kołowego w łuku toru o promieniu $R_{\min}=180$ m, co zmniejsza kąty nabiegania koła na szynę i zużycie wieńców kół (obrzeży i powierzchni toczonej). Luzy poprzeczne $L_2 = \pm 15$ mm umożliwiają wpisywanie się pojazdu wszystkich zestawów kołowych pojazdu w łuki toru, zwłaszcza o minimalnym promieniu. ($R=75$ m). Ma to bardzo istotne znaczenie ze względu na przesuwność osi środkowej względem ramy wózka. Przesuwność osi środkowej zwiększa bezpieczeństwo jazdy pojazdu przez tory wichrowate w warunkach quasi-statycznych.



Legenda:

- 1 - korpus dociskacza- w wersji spawanej
- 2 - ogniowo
- 3 - czopiki
- 4 - sprężyna zewnętrzna, sprężyna wewnętrzna
- 5 - tulejki
- 6 - grzybek cierny
- 7 - korpus prowadnicy-wersja spawana
- 8 - korpus maźnicy
- 9 - sworzeń prowadzący
- $L1$ - luz wzdłużny na stronę

Rys.3 Widok z boku usprężynowania pierwszego stopnia wózka 33MN



Legenda:

- 1 - korpus dociskacza
- 5 - tulejka
- 6 - grzybek cierny
- 7 - korpus prowadnicy

- 8 - korpus maźnicy
- $L1$ - luz wzdłużny na stronę
- $L2$ - luz poprzeczny na stronę

Rys.4. Zawieszenie pierwszego stopnia wózka 33MN – rzut z góry

2.3.3. Ślizgi boczne sprężyste

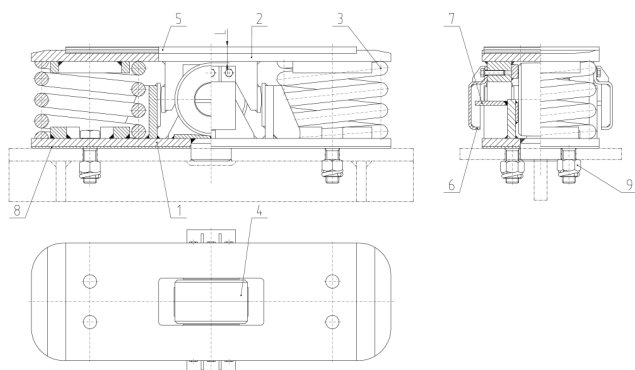
Wózki są wyposażone w ślizgi sprężyste. Ślizgi składają się ze spawanego korpusu ślizgu i prowadnicy wykonanych ze stali S355J2.

Na korpusach naszpawane są płytki o grubości 5 mm wykonane ze stali manganowej wg karty UIC 893 kategoria E [4]. Wykładziny ślizgów bocznych są wykonane z tworzywa bezazbestowego i spełniają wymagania programu OW-1221, będącego tłumaczeniem dokumentu ORE/ERRI nr 1204 0005 [8]. Zadaniem tych ślizgów jest wywoływanie stałego momentu tarcia tłumiącego drgania wężykowanie wózków. Ślizgi boczne mogą być wykonane w dwóch wariantach. Wybór wariantu pozostawia się producentowi pojazdu. Wariant I ślizgu jest przedstawiony na rys. 5.

Wariant I składa się z prowadnicy ślizgu (poz.1), która jest wykonana jako spawana. Prowadnica ślizgu współpracuje ze ślizgiem (poz.2), który jest wykonany jako spawany. Ślizg (poz.2) jest oparty na dwóch sprężynach (poz.3), które z kolei są rozmieszczone symetrycznie na prowadnicy ślizgu (poz.1), która jest przykręcona do ramy wózka za pomocą śrub z nakrętkami samozabezpieczającymi typu Vargal (poz.9). Celem zapewnienia luzu na ślizgach bocznych, który musi wynosić 20 ± 1 mm dla pojazdu znajdującego się na torze wypoziomowanym, pomiędzy prowadnicą ślizgu poz.1 oraz ostojnicą wózka znajdują się podkładki regulacyjne (poz.8). Luz 20 ± 1 mm musi występować pomiędzy odbijakiem (poz.4) i ślizgiem (poz.2) oraz rolką (poz.4) i wspornikiem na nadwoziu pojazdu. Na prowadnicy (poz.1) znajdują się wkładki z tworzywa sztucznego o własnościach wg dokumentu OW-1221. W celu ochrony ślizgu (poz.2) przed opadnięciem podczas rozłączania wózka i podnoszeniem nadwozia (względny BHP) jest on wyposażony w zabezpieczenie (poz.7) które zahacza o zaczep (poz.6).

Wariant II, (przedstawiony na rys.6) składa się z prowadnicy ślizgu (poz.1), która jest wykonana jako spawana. Prowadnica ślizgu (poz.1) współpracuje ze ślizgiem (poz.2), który wykonany jest jako spawany. Ślizg (poz.2) jest oparty na dwóch sprężynach (poz.3), które są z kolei rozmieszczone symetrycznie na prowadnicy ślizgu (poz.1). Prowadnica ślizgu (poz.1) jest przykręcona do ramy wózka za pomocą śrub z nakrętkami samozabezpieczającymi (poz.9). Celem zapewnienia luzu na ślizgach bocznych, który musi wynosić 20 ± 1 mm dla pojazdu znajdującego się na torze wypoziomowanym, pomiędzy prowadnicą ślizgu (poz.1) oraz ostojnicą wózka znajdują się podkładki regulacyjne (poz.8). Luz 20 ± 1 mm musi występować pomiędzy odbijakiem (poz.4) i ślizgiem (poz.2). Na

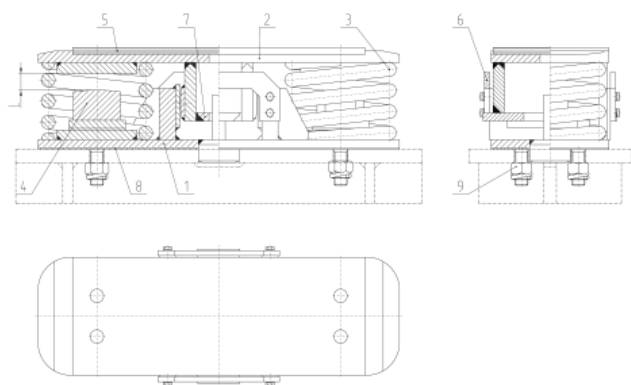
przewodnicy (poz.1) znajdują się wkładki z tworzywa sztucznego o własnościach wg dokumentu OW-1221. W celu ochrony ślizgu (poz.2) przed niekontrolowanym opadnięciem podczas rozłączenia wózka (względny BHP) jest on wyposażony w zabezpieczenie (poz.7), która zahacza o zaczep (poz.6).



Legenda:

- 1 - Prowadnica ślizgu
- 2 - Ślizg
- 3 - Sprężyna
- 4 - Rolka
- 5 - Wkładka z tworzywa sztucznego
- 6 - Zabezpieczenie
- 7 - Zaczep
- 8 - Podkładka regulacyjna
- 9 - Nakrętka samozabiegająca
- L - luz na ślizgach sprężystych

Rys. 5. Wariant I ślizgu sprężystego z rolką



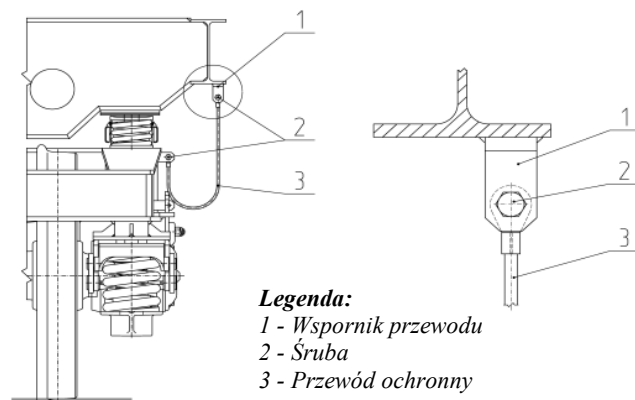
Legenda:

- 1 - Prowadnica ślizgu
- 2 - Ślizg
- 3 - Sprężyna
- 4 - Odbijak
- 5 - Wkładka z tworzywa sztucznego
- 6 - Zabezpieczenie
- 7 - Zaczep
- 8 - Podkładka regulacyjna
- 9 - Nakrętka samozabiegająca
- L - luz na ślizgach sprężystych

Rys.6. Wariant II ślizgu sprężystego, opartego na klasycznej budowie, zaczerpniętej ze standardowych wózków dla wagonów towarowych

2.3.4. Uziemienie wózka

Wózek posiada uziemienie w postaci przewodu giętkiego łączącego każdą maźnicę z ramą wózka oraz przewodu łączącego ostoję wagonu z ramą wózka (rys.7). Przewód miedziany posiada przekrój poprzeczny 35 mm² i musi zapewnić rezystancję 0,05Ω jak dla wagonów osobowych zgodnie z p.4.1 karty UIC 533 [4]. Zadaniem przewodu uziemiającego jest ochrona personelu podczas kontaktu z mechanicznymi częściami pojazdu, znajdującymi się chwilowo pod wysokim napięciem oraz niebezpiecznymi przeskokami łuku elektrycznego powstającymi w wyniku statycznych wyładowań. Niebezpieczeństwo to powstaje w wyniku usterek w elektrycznych urządzeniach pojazdu. Dodatkowo w celu zwiększenia ochrony personelu przed porażeniami elektrycznymi zamontowano dodatkowe przewody uziemiające pomiędzy korpusem maźnicy a korpusem przewodnicy. Każdy z przewodów o przekroju 35 mm² jest wykonany z miedzi i przypada po jednym na oś zestawu kołowego (łącznie trzy na wózku). Dodatkowe przewody uziemiające są przedstawione na fotografii, zamieszczonej na rys.8.



Legenda:

- 1 - Wspornik przewodu
- 2 - Śruba
- 3 - Przewód ochronny

Rys.7. Uziemienie wózka. lewej strony przewód miedziany łączący wspornik na ostojnicy wózka ze wspornikiem

2.3.5. Zestawy kołowe i maźnice

Każdy wózek posiada po trzy zestawy kołowe przystosowane do przeniesienia nacisku na tor 20 t. Dwa skrajne zestawy kołowe wózka są zestawami napędzonymi, natomiast środkowy zestaw jest zestawem tocznym. Zestaw kołowy jest wyposażony w koła monoblokowe o średnicy Ø920 mm w stanie nowym. Najmniejsza dopuszczalna średnica kół zużytych wynosi Ø860 mm.

Korpusy maźnic wykonane są ze staliwa 340-550W o wytrzymałości na rozciąganie Rm=550÷700 MPa wg normy PN-ISO 3755:1994 [6], posiadają boczne oparcia sprężyn na których przyspawano przewodniki sprężyn. Konstrukcja maźnic umożliwia przyjmowanie obciążeń pionowych, poziomych i poprzecznych.

Powierzchnie trące maźnic wykonano jako płytki z trudnościeralnej stali manganowej kategorii E wg karty UIC 893 [5]. W maźnicach zastosowano łożyska walcowe typu NJ + NJP o wymiarach 130 x 240 x 80. Maźnice uszczelnione są pierścieniem labiryntowym.

3. CECHY INNOWACYJNE WÓZKA

Do istotnych cech innowacyjnych wózka 33MN należą następujące rozwiązania konstrukcyjne:

- zastosowanie quasi-radialnego prowadzenia zestawów kołowych poprzez wprowadzenie luzów wzdłużnych $L_1=9$ mm na stronę, co znacznie zmniejsza kąty nabiegania na szynę
- zastosowanie hamulców tarczowych, zapewniających prawidłową intensywność hamowania, drogi hamowania jak również zredukowaną emisję hałasu do środowiska naturalnego
- zastosowanie dodatkowego uziemienia w obrębie zestawów kołowych, zabezpieczających obsługę pojazdu przed porażeniem

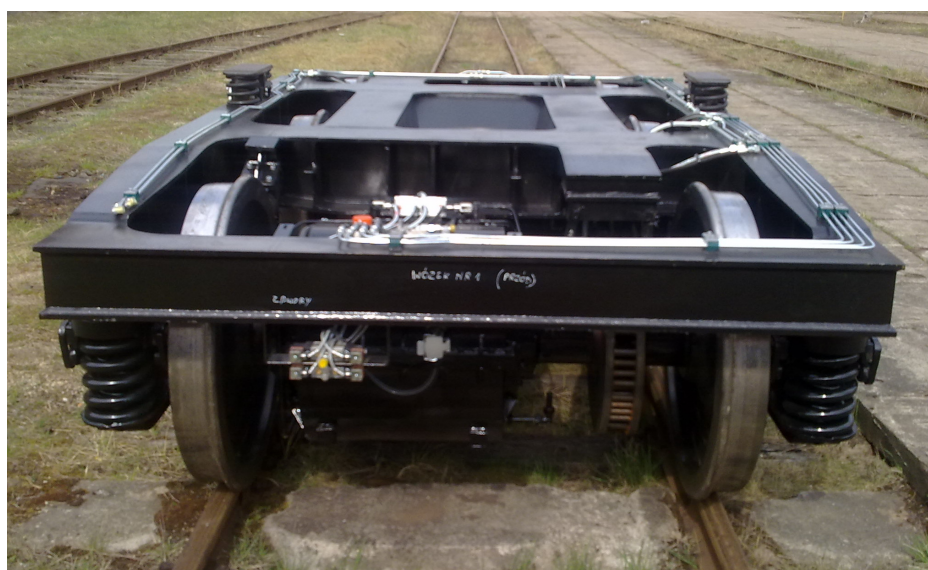
- wyeliminowanie resorów piórowych o zmiennej charakterystyce i zastosowanie sprężyn śrubowych, co korzystnie wpływa na bezpieczeństwo przed wykołajeniem
- zastosowanie sprawdzonego oparcia pudła za pomocą gniazda skrzytu oraz ślizgów sprężystych, które zostało zastosowane w układzie wózek-pudło w wagonach towarowych.

Aby wyznaczyć korzyści wynikające z zastosowania wózka trzyosiowego z radialnym prowadzeniem zestawów kołowych, wyznaczono promień łuku toru, który może przejechać pojazd. Zespołem determinującym ten przejazd jest wózek trzyosiowy 33MN. Usytuowanie narożnikowe wózka na tle łuku toru o promieniu R przedstawiono na rys.10.

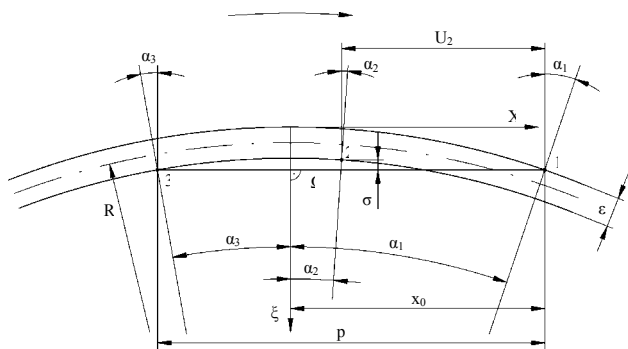


Rys.8. Widok z boku na wózek „33MN”. Między maźnicami a ostojnicami są zainstalowane dodatkowe przewody uziemiające.

Widok czoła wózka jest przedstawiony na fotografii, zamieszczonej na rys.9.



Rys.9. Widok czoła wózka 33MN.



Rys.10. Usytuowanie wózka 33MN na łuku o promieniu R w położeniu narożnikowym.

Na rys.10 są następujące oznaczenia:

α_1 - kąt nabiegania przedniego zestawu kołowego na szynę

α_2 - kąt nabiegania środkowego zestawu kołowego na szynę

α_3 - kąt nabiegania tylnego zestawu kołowego na szynę

x_0 - odstęp biegunowy

R- promień łuku toru

p- baza wózka

ϵ - luz zestawu kołowego w torze

Z rys.10 wynikają następujące zależności:

$$\sin \alpha_1 = \frac{x_0}{R + \frac{\epsilon}{2}} \quad (1)$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{x_0 - \frac{p}{2}}{R - \frac{\epsilon}{2}} \approx \frac{x_0 - \frac{p}{2}}{R} \quad (2)$$

$$\alpha_3 = \frac{x_0 - p}{R} \quad (3)$$

Po uproszczeniach kąty nabiegania wynoszą odpowiednio:

$$\sin \alpha_1 = \alpha_1 = \frac{x_0}{R} \quad (4)$$

$$\sin \alpha_2 \approx \alpha_2 = \frac{x_0 - \frac{p}{2}}{R} \quad (5)$$

$$\sin \alpha_3 \approx \alpha_3 = \frac{x_0 - p}{R} \quad (6)$$

Odstęp biegunowy x_0 można wyznaczyć ze wzoru:

$$x_0 = \frac{R\epsilon}{p} + \frac{p}{2} \quad (7)$$

Zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną wielkość luzów przyważniczych $q_w = 9$ mm (luz na stronę), natomiast $2s$ wynosi dla standardowych zawieszek 2000 mm = 2m.

Dla tego przypadku kąt $\Delta \alpha$ wynosi odpowiednio:

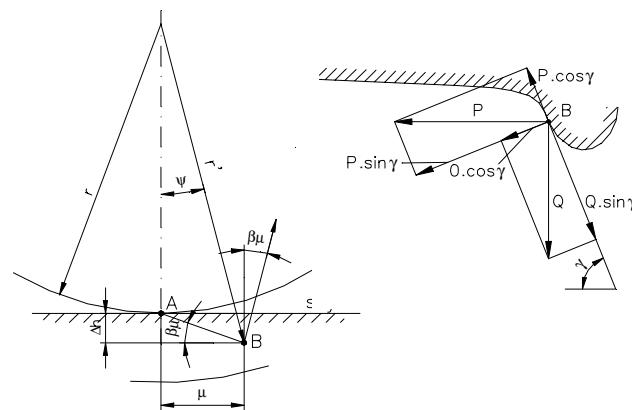
$$\Delta \alpha = \arctg \frac{q_w}{s} = \frac{0,009}{1} = 0,009 \text{ rad} = 0,515^\circ \quad (8)$$

W związku z tym można uwzględnić w zależności (7) zmniejszenie kąta α_1 o $\Delta \alpha$ przy założeniu, że dla małych kątów obowiązuje $\sin \alpha_1 = \alpha_1$:

$$\alpha_1' = \alpha_1 - \Delta \alpha = \frac{x_0}{R + \frac{\epsilon}{2}} - \frac{q_w}{s} \quad (9)$$

W punkcie B działa na główkę szyny siła kierująca P a nacisk pionowy koła na szynę Q rozkłada się na punkt A i punkt B. Przy wzroście siły kierującej koło może się podnieść i opiera się na główce szyny tylko w punkcie B, w którym działa na główkę cały nacisk Q i siła kierująca P (rys. 11).

W przypadku ogólnym a zwłaszcza na łukach koło nabiega na szynę pod pewnym kątem określanym jako kąt nabiegania i wówczas punkt B znajduje się w pewnej odległości μ od osi zestawu kołowego (rys. 11).



Rys.11. Siły działające w punkcie styku obrzeża z szyną

Z uwagi na niewielką stożkowatość powierzchni toczonej koła i niewielkie wartości kątów nabiegania można przyjąć, że gdy koło opiera się na główce szyny w dwóch punktach, to odległość Δh punktu B od płaszczyzny toru jest stała i niezależna od kąta nabiegania. Przekrój poziomy powierzchni obrzeża przechodzący przez punkt B jest przekrojem stożka, którego wierzchołek znajduje się na osi zestawu kołowego a tworzące się nachylone pod kątem γ do osi zestawu. Przekrój ten wyznacza zatem hiperbolę o równaniu:

$$\frac{v^2}{v_o^2} - \frac{\mu^2}{\mu_o^2} = 1 \quad (10)$$

przy czym: $\mu_o = \gamma_o \cdot \text{tg} \gamma$.

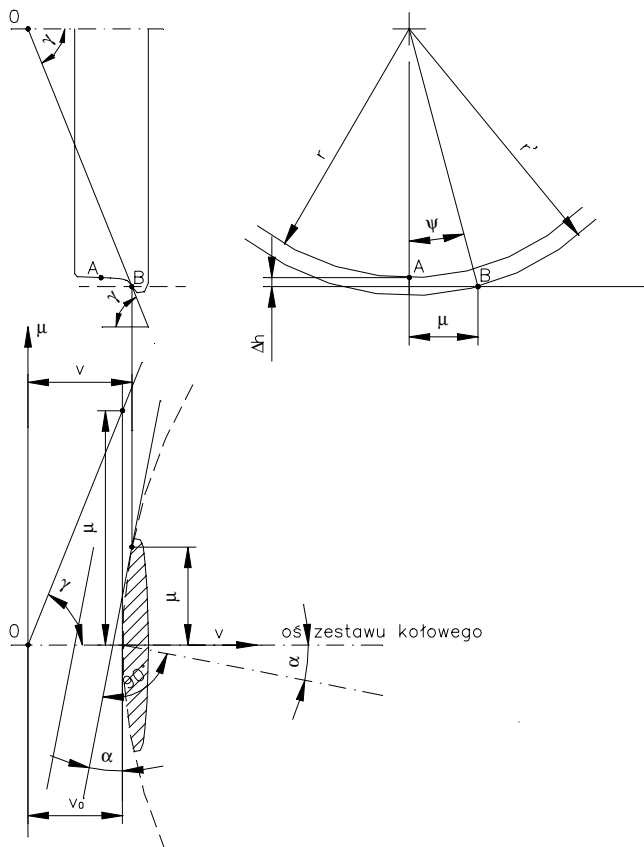
Różniczkując równanie hiperboli otrzymuje się:

$$\frac{2v dv}{v_o^2} - \frac{2\mu d\mu}{\mu_o^2} = 0 \quad (11)$$

Wyrażenie $\frac{dv}{d\mu}$ jest tangensem nachylenia stycznej do hiperboli względem osi μ .

Kąt nachylenia tej stycznej w punkcie B równa się kątowi nabiegania α koła na szynę, stąd:

$$\frac{1}{\text{tg}^2 \gamma} \cdot \frac{\mu}{v} = \text{tg} \alpha \quad (12)$$



Rys.12. Skośne nabieganie koła na szynę

Współrzędne punktu B wynoszą:

$$\mu = r' \cdot \sin \psi \quad \text{i} \quad v = \frac{r'}{\text{tg} \gamma} \quad (13)$$

Wstawiając te wartości w równanie (12) otrzymuje się zależność następującą:

$$\sin \psi = \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \gamma \quad (14)$$

Z Rys. 5 wynika następująca zależność na kąt Ψ :

$$\cos \Psi = \frac{r + \Delta h}{r + \Delta r} \quad (15)$$

gdzie:

$r = 460$ mm – promień toczny zestawu kołowego

$\Delta h = 10$ mm i odpowiada punktowi na szynie, gdzie następuje styk obrzeża w punkcie B

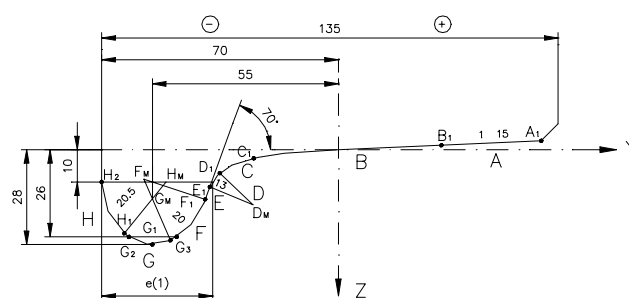
$\Delta r = 15,675$ mm i odpowiada punktowi F_1 na Rys. 6 wg karty UIC 510-2 [3]

Punkt F_1 jest punktem końcowym leżącym na prostej pochylonej pod kątem 70° na obrzeżu, który może jeszcze zagwarantować styk koła z szyną. Zależność (15) można zapisać w sposób następujący:

$$\sin(\text{arc} \cos \Psi) = \text{tg} \alpha_1' \cdot \text{tg} \gamma \quad (16)$$

Ponieważ dla małych kątów można przyjąć $\text{tg} \alpha_1' = \alpha_1'$, wówczas otrzymuje się następującą zależność uwzględniając wzór (9) oraz (3):

$$\sin \text{arc} \cos \Psi = \left[\frac{R(\varepsilon + 2q) + \frac{p}{2}}{R + \frac{\varepsilon}{2}} - \frac{q_w}{s} \right] \text{tg} \gamma \quad (17)$$



Rys.13. Zarys koła o średnicy tocznej $\phi 920$ zgodnie z kartą UIC 510-2 [3]

Z zależności (17) można wyznaczyć promień R:

$$R = \frac{\frac{p}{2} - \left[\frac{\sin \text{arc} \cos \psi}{\text{tg} \gamma} + \frac{q_w}{s} \right] \frac{\varepsilon}{2}}{\left(\frac{\sin \text{arc} \cos \psi}{\text{tg} \gamma} + \frac{q_w}{s} - \frac{\varepsilon + 2q}{p} \right)} \quad (18)$$

Po wstawieniu danych liczbowych do wzoru (18) tzn. $p = 3,2$ m, $q_w = 0,009$ m, $2s = 2,0$ m, $\gamma = 70^\circ$, $\varepsilon = 1,470 - 1,410 = 0,06$ m, $q = 0,015$ m otrzymuje się:

$$R = \frac{1,6 - \left[\frac{\sin \text{arc} \cos \frac{460+10}{460+15,675} + \frac{0,009}{1,00} \right] \frac{0,060}{2}}{\left(\frac{\sin \text{arc} \cos \frac{460+10}{460+15,675} + \frac{0,009}{1,00} - \frac{0,060+0,030}{10} \right)} \quad (19)$$

$$R = \frac{1,595379}{0,052866} = 30,17 \text{ m.} \quad (20)$$

W takim przypadku można wyliczyć również kąt nabiegania wyznaczając najpierw odstęp biegunowy x_0 na podstawie wzoru (3):

$$x_0 = \frac{30,17(0,06+0,030)}{3,2} + 1,6 = 2,448 \text{ m.} \quad (21)$$

Kąt nabiegania kół przedniego zestawu kołowego wynosi wykorzystując wzór (9):

$$\alpha'_1 = \frac{2,448}{30,17 + 0,030} - \frac{0,009}{1,000} = 0,072 \text{ rad} \approx 4,12^\circ \quad (21)$$

Ponieważ luz zestawu kołowego w torze „ε” jest wielkością bardzo małą w stosunku do promienia R, to wówczas można skorzystać ze zmodyfikowanego wzoru (4):

$$\sin \alpha'_1 = \alpha'_1 = \frac{x_0}{R} - \frac{q_w}{s} = \frac{2,448}{30,17} - \frac{0,009}{1} = 0,072 \text{ rad} \approx 4,12^\circ \quad (23)$$

Analogicznie można wyznaczyć kąty nabiegania dla kół środkowego zestawu kołowego:

$$\sin \alpha_2 \approx \alpha_2 = \frac{x_0 - \frac{p}{2}}{R} - \frac{q_w}{s} = \frac{2,448 - 1,6}{30,17} - \frac{0,009}{1} = 0,019 \text{ rad} = 1,09^\circ \quad (24)$$

oraz tylnego zestawu kołowego:

$$\sin \alpha_3 \approx \alpha_3 = \frac{x_0 - p}{R} - \frac{q_w}{s} = \frac{2,448 - 3,2}{30,17} - \frac{0,009}{1} = -0,033 \text{ rad} = -1,94^\circ \quad (25)$$

4. WNIOSKI

1. Wózek 33MN posiada możliwość przejazdu przez łuki o promieniu $R=30$ m, co stanowi zapas w stosunku do wymagania postawionego w Specyfikacjach Wymagań [9], gdzie wymieniony jest promień $R=75$ m. Należy podkreślić, że o możliwości przejazdu oczyszczarki pojazdu OT-84 decyduje w dużej mierze układ biegowy. Aby w pełni sprawdzić możliwości przejazdu przez łuk o promieniu $R=30$ m, należałoby sprawdzić inne parametry jak kąt obrotu wózka względem pojazdu. Im mniejszy promień łuku toru tym większy kąt obrotu, który może doprowadzić do wzajemnych kolizji pomiędzy elementami nadwozia i elementami wózka. Ważnym zagadnieniem podczas przejazdu oczyszczarki przez łuki toru o najmniejszym promieniu jest konieczność „zachodzenia” na siebie powierzchni ślizgów. Zagadnienie to jest poruszone w karcie UIC 510-1 [2].

2. Układ biegowy 33MN posiada innowacyjne zawieszenie, które pozwala na quasi-radialne ustawianie się zestawów kołowych w łukach toru. Dzięki temu można liczyć się z tym, że:

- zużycie kół zestawów kołowych będzie mniejsze niż w pojazdach z tradycyjnym zawieszeniem
- mniejsza emisja hałasu do środowiska naturalnego oraz
- większe bezpieczeństwo jazdy, wskutek mniejszej siły prowadzącej i mniejszych kątów nabiegania.

5. LITERATURA

- [1] Karta UIC 505-1: Pojazdy kolejowe. Skrajnia pojazdów. 10-te wydanie z maja 2006.
- [2] Karta UIC 510-1: Wagony towarowe. Układ biegowy. Normalizacja. 9-te wydanie z 1.01.1978. 14 zmian od 1.01.1980 do 1.01.1997
- [3] Karta UIC 510-2: Pojazdy doczepne. Warunki dla stosowania kół o różnych średnicach w układach biegowych różnego typu. 4-te wydanie z października 2002 do kwietnia 2004.
- [4] Karta UIC 533: Pojazdy, uziemienie ochronne części metalowych. 3-cie wydanie. Kwiecień 2011.
- [5] Karta UIC 893: Warunki techniczne dla dostawy blach na płyty przewodnicowe ze stali manganowej. 2-gie wydanie, czerwiec 2004.
- [6] PN-ISO 3755:1994: Staliwo węglowe ogólnego przeznaczenia. Październik 1994.
- [7] PN-EN 10089:2005: Stale walcowane na gorąco na sprężyny ulepszone cieplnie. Warunki techniczne dostawy.
- [8] OW-1221: Opis techniczny. Wózki dwuosiove Nr 1204 0005. Program dopuszczenia wkładek z tworzywa sztucznego do gniazd skrętu i płyt ślizgowych z tworzywa sztucznego dla ślizgów bocznych wagonów towarowych z wózkami dwuosioowymi. Listopad 1985 (niem. „Lastenheft für die Zulassung von Kunststoff-Drehpanneneinlagen und Kunststoff-Gleitelementen für die seitliche Wagenkastenabstützung für Güterwagen mit Drehgestellen mit 2 Radsätzen”).
- [9] Opracowanie nr OT.00-70-0.: Opis techniczny oczyszczarki tłuczni typy OT-84.00. Stargard Szczeciński 02.2010.