

Wybrane problemy techniczne przewozu ładunków wielkogabarytowych wagonami specjalnymi

W pracy omówiono problemy stateczności ogólnej i zmian rozkładów nacisków kół wieloosiowych wagonów specjalnych w warunkach dynamicznych. Przedstawiono również wyniki wstępnych badań dynamicznego modelu wybranego wagonu, przeprowadzonych przy użyciu systemu DADS.

1. WPROWADZENIE

Do przewozu koleją ciężkich ładunków wielkogabarytowych używa się wieloosiowych wagonów specjalnej konstrukcji, która oprócz równomiernego rozłożenia obciążeń na ich zestawy kołowe, zapewnia także możliwość poprzecznego (względem osi toru) przesuwania transportowanych ładunków celem omijania przeszkód na poboczu toru, wpisywania się w skrajnię kolejową i zachowania stateczności ogólnej wagonu z ładunkiem na łukach zwłaszcza o małych promieniach. W tym rozumieniu bezpieczeństwo pokonywania różnego rodzaju „trudnych” odcinków toru (zarówno prostych jak i łukowych lub s-owych) jest uzależnione nie tylko od prędkości jazdy wagonu ale także od wielkości i rozkładu wszystkich występujących wówczas statycznych oraz dynamicznych obciążeń (pionowych i poziomych - w tym także odśrodkowych sił bezwładności mas własnych wagonu i ładunku). Przy zbyt małej prędkości przejazdu na pochyłonym łuku toru o małym promieniu znane z praktyki jest niebezpieczeństwo wykolejenia wagonu wskutek wspinania się obrzeży kół jego jednej strony na główkę szyny wewnętrznej. Natomiast przy zbyt dużej prędkości na łuku bez pochylenia, a w szczególności na podwójnych łukach o przeciwnych krzywiznach (s-owych odcinkach przejazdów przy zmianie toru), istnieje niebezpieczeństwo utraty stateczności ogólnej wagonu wskutek występowania wówczas dużych momentów wywracających od sił odśrodkowych i dynamicznych reakcji zawieszonych zestawów kołowych. We wszystkich przypadkach (także przejazdów na prostych odcinkach toru z omijaniem przeszkód na poboczu) niebezpieczeństwo wykolejenia części wózków wagonu lub utraty jego stateczności ogólnej jest zależne także od możliwości koordynacji ruchu poprzecznego przesuwu ładunku z prędkością jazdy.

2. ZAGADNIENIA MAKSYMALNYCH NACISKÓW KÓŁ ORAZ STATECZNOŚCI OGÓLNEJ WAGONÓW NORCA

Do największych, używanych w kraju wieloosiowych wagonów specjalnych, należą dwa wagony NORCA24 i NORCA32, zbudowane w latach 70-tych w Konstalu w Chorzowie, według dokumentacji NORCA MACHINERY COMPANY (USA) o podstawowych parametrach podanych w tab.1.

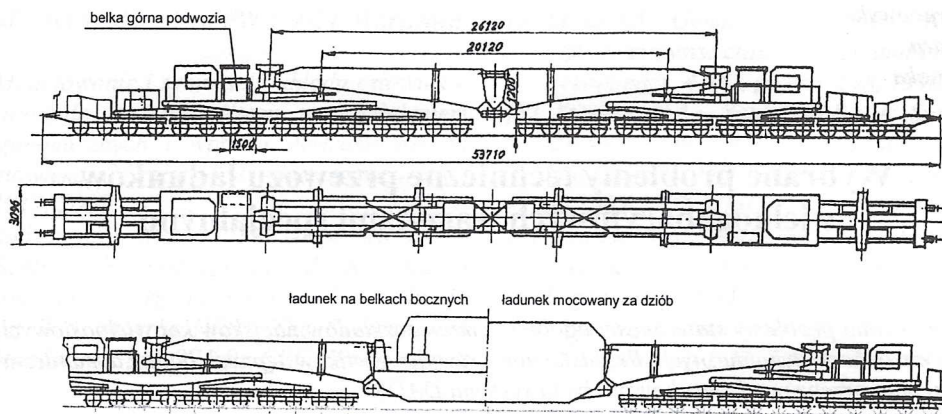
Konstrukcja każdego z tych wagonów umożliwia transportowanie ładunku leżącego na tzw. belkach bocznych lub mocowanego bezpośrednio (za dziób) do ramion części

nadwoziowej (rys.1), powiązanej z częścią podwoziową wagonu za pośrednictwem przegubowo-wsporczonego układu dwóch tzw. czopów zredukowanych RP („reduced pivot” - rys.2), których napęd poprzecznego przesuwu jest sterowany ręcznie.

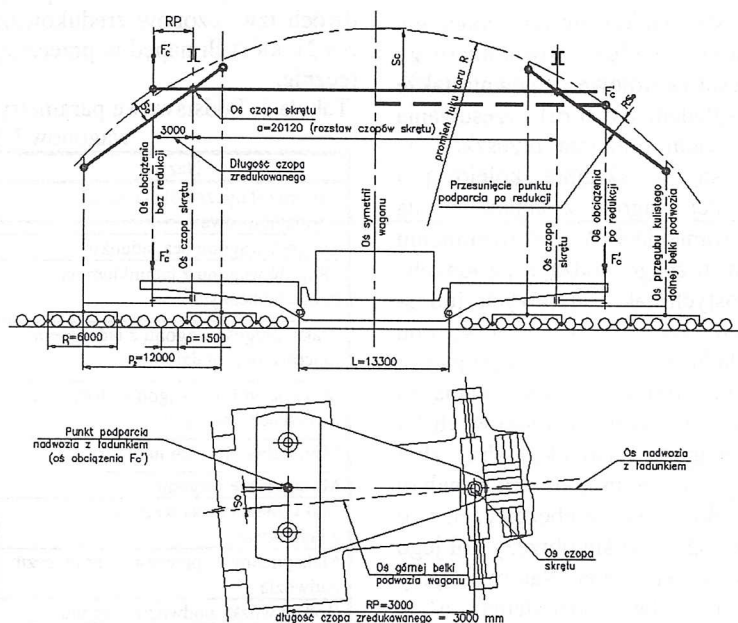
Tabela 1. Podstawowe parametry techniczno-eksploatacyjne wagonów NORCA

Nazwa	NORCA 24	NORCA 32
Skrajnia statyczna dla taboru, normalnotorowa	A wg PN-70/K-02056	
Długość wagonu bez ładunku	42560mm	53710mm
Długość wagonu z ładunkiem na belkach bocznych	54182mm	66290mm
Maks. długość wagonu z ładunkiem mocowanym za dziób	56840mm	69990mm
Maks. szerokość wagonu z ładunkiem na belkach bocznych	4200mm	
Minimalny promień łuku toru	75m	
Masa własna wagonu	180t	226t
Maksymalna masa wagonu z ładunkiem	480t	672t
Maksymalny przesuw poprzeczny nadwozia	+/-500mm	
Rodzaj wózka podwozia wagonu	3-osiowy	4-osiowy
Rozstaw osi wózka	1500mm	
Całkowita liczba osi	24	32

W położeniu wagonu na łuku toru wspomniany układ RP, o rozstawie a czopów skreślu nadwozia względem górnych belek podwozia wagonu (rys.2a), samoczynnie przesuwa na zewnątrz tego łuku na odległość S_0 środkowe punkty podparcia nadwozia na tych belkach względem ich osi wzdłużnych (rys.2b), zmniejszając tym samym wewnętrzne przesunięcie S_1 środka ciężkości nadwozia z ładunkiem (rys.2a). W warunkach działania tylko obciążeń quasistatycznych (głównie pionowych - od sił ciężkości mas własnych wagonu i ładunku - przy małej prędkości jazdy) jest to korzystne dla stateczności ogólnej wagonu na nachylnym łuku toru gdyż powoduje dociążenie kół po jego stronie zewnętrznej. Natomiast przy występowaniu obciążeń wyraźnie dynamicznych (zarówno pionowych jak i poziomych - od dynamicznych wymuszeń wywołanych nierównościami szyn i od sił odśrodkowych - przy większej prędkości jazdy) zewnętrzne przesunięcie S_0 musi być odpowiednio kompensowane poprzecznym przesuwem układu RP (do wewnątrz na odległość RS_0 - rys.2a) w celu zachowania stateczności ogólnej wagonu na ostrych poziomych łukach (nie nachylnych, o małych promieniach tzn. 75-100m).



Rys.1. Widok ogólny wagonu NORCA32: a) wagon bez ładunku, b) wagon z ładunkiem



Rys.2. Schemat układu RP czopów zredukowanych
a) wagon na łuku poziomym, b) czop zredukowany

Na zagrożenie utraty tej stateczności, zarówno w warunkach statycznych jak i dynamicznych, zwracana jest szczególna uwaga w instrukcjach [3], [4], według których dopuszczalne całkowite tzw. przechyłowe przesunięcie poprzeczne TS_0 (będące sumą S_0 lub RS_0 i bocznego przesunięcia środka ciężkości wagonu na skutek statycznego ugięcia jego konstrukcji nośnej, sprężyn zawieszonych zestawów kołowych i ugięcia szyn toru) nie może wynosić więcej jak 400mm dla wagonu z ładunkiem na dobrym torze przy całkowitym środku ciężkości na wysokości nie przekraczającej 2m od główek szyn. Przesunięcie TS_0 jest więc znacznie mniejsze od podanego w tab.1 maksymalnego przesuwu poprzecznego nadwozia 500mm i zgodnie ze wspomnianymi instrukcjami powinno być jeszcze bardziej zmniejszone we wszystkich innych jak wyżej określone warunkach, z zaleceniem przeprowadzania wówczas próbnych przejazdów przez niebezpieczne odcinki toru.

Wyniki uproszczonej analizy statycznej przedstawionej w [2] wskazują, że przy technicznie możliwych maksymalnych przesunięciach poprzecznych

nadwozi (500mm) obu wagonów NORCA z ładunkami nominalnymi (tab.1) i przy minimalnych dopuszczalnych sztywnościach zawieszonych ich zestawów kołowych oraz przy całkowitych środkach ciężkości, na znacznie większych od 2m wysokościach równych 2,9m (występujących przy transporcie najcięższych generatorów), maksymalne naciski kół mogą sięgać wartości rzędu 160kN. Natomiast przy wspomnianym przesunięciu $TS_0 = 400$ mm (oraz pozostałych niezmiennych wartościach sztywności zawieszonych i wysokości środków ciężkości) maksymalne naciski kół osiągają wartości rzędu 145kN.

Ogólnikowo sformułowany we wspomnianych instrukcjach [3], [4] wymóg zmniejszenia przesuwu poprzecznego (przy większej od 2m wysokości całkowitego środka ciężkości) i zalecenie przeprowadzenia wówczas próbnych przejazdów, tylko formalnie rozwiązują problem bezpieczeństwa wagonu w takich warunkach, przenosząc na obsługę odpowiedzialność za jego zapewnienie. W praktyce oznacza to oparcie się wtedy wyłącznie na doświadczeniu oraz zgodnym i beztędnym współdziałaniu wszystkich osób

sterujących prędkością jazdy wagonu i ruchem poprzecznego przesuwu jego układu czopów zredukowanych RP.

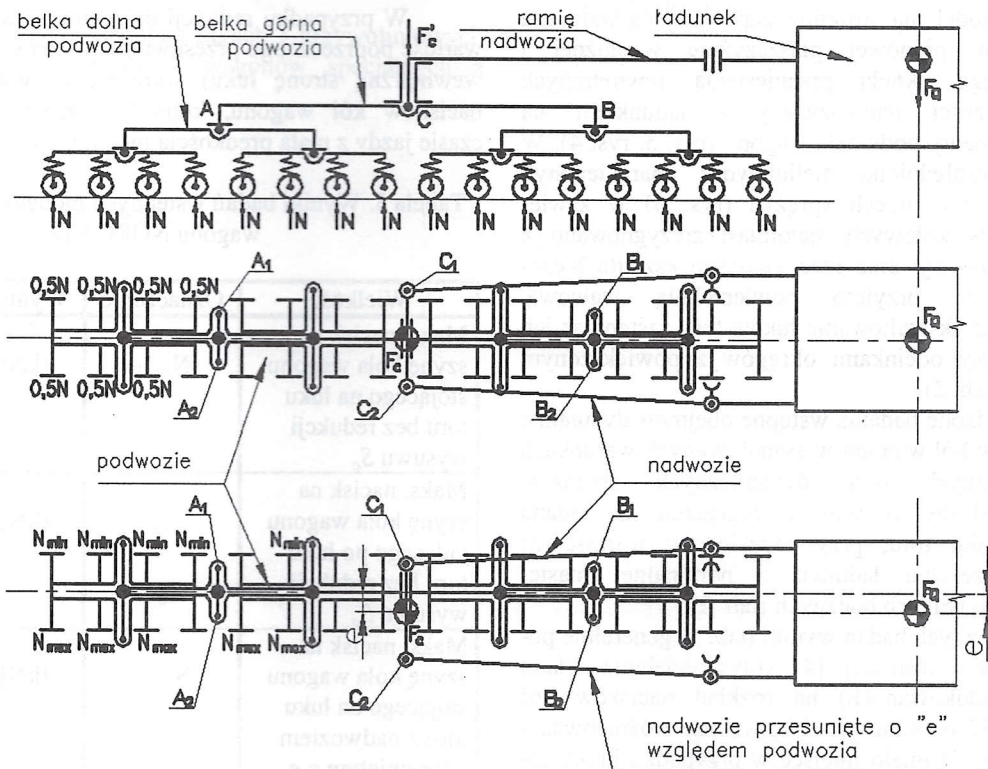
W świetle powyższego oraz wymienionych wcześniej zagrożeń stateczności ogólnej lub wykolejenia omawianych wagonów specjalnych (przy zbyt małych lub zbyt dużych prędkościach przejazdów różnego rodzaju trudnych odcinków toru), niewątpliwie istotne znaczenie dla ich bezpieczeństwa może mieć teoretyczne rozpoznanie wpływu różnego rodzaju wspomnianych czynników i warunków (wielkości poprzecznego przesuwu nadwozia, prędkości jazdy, promieni i nachylenia łuków toru, itp.) na rozkłady nacisków kół i zachowanie stateczności ogólnej tych wagonów.

3. WYNIKI WSTĘPNYCH BADAŃ MODELOWYCH OBCIĄŻEŃ ORAZ STATECZNOŚCI OGÓLNEJ WAGONU NORCA 32

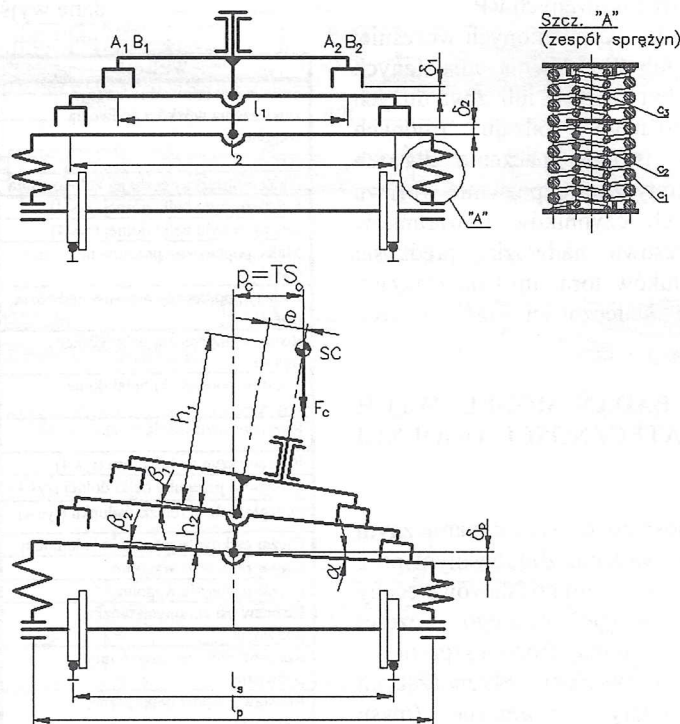
W badaniach tych posłużono się dynamicznym modelem wyżej wymienionego wagonu, zbudowanym przy użyciu systemu DADS, odwzorowującym podstawowe cechy geometryczno-kinematyczne ustroju nośnego części nadwoziowej i podwoziowej wagonu (rozmszczenie i rodzaj par kinematycznych w węzłach przenoszących obciążenia) oraz jego parametry dynamiczne (masy elementów ustroju nośnego oraz sztywności sprężyn w zawieszeniach zestawów kołowych) podane w tab.2.

Tabela2. Podstawowe parametry modelu dynamicznego i dane wyjściowe badań

Wielkość	Oznaczenie	Wymiar	Wartość
Sztywności minimalne sprężyn zawieszenia wózków podwozia wagonu	C_{1min}	[kN/mm]	0,407
	C_{2min}	[kN/mm]	0,287
	C_{3min}	[kN/mm]	0,100
Ugięcie sprężyny c_3 do jej zblokowania	f_{3gr}	[mm]	30,0
Luz przechyłu belki górnej (rys.4)	\square_1	[mm]	6
Luz przechyłu belki dolnej (rys.4)	\square_2	[mm]	5
Maks. poprzeczny przesuw nadwozia (rys.4)	e_{max}	[mm]	500
Zadany poprzeczny przesuw nadwozia (rys.4)	\square	[mm]	400
Rozstaw poprzeczki belki górnej (rys.4)	l_1	[mm]	1550
Rozstaw poprzeczki belki dolnej (rys.4)	l_2	[mm]	2150
Rozstaw zawieszenia wózka (rys.4)	l_p	[mm]	2036
Rozstaw szyn na łuku toru (rys.4)	l_s	[mm]	1525
Odległość przegubu belki dolnej (rys.4)	h_2	[mm]	550
Odległość do śr. ciężk. ładunku (rys.4)	h_1	[mm]	1300
Ciężar całkowity wagonu z ładunkiem	G_c	[kN]	6592,3
Ciężar podwozia wagonu	G_p	[kN]	1803,1
Ciężar nadwozia wagonu	G_n	[kN]	4789,2
Rozstaw osi skrajnych wózka podwozia	p	[m]	4,5
Rozstaw czopów belki dolnej podwozia	p_1	[m]	6,0
Rozstaw czopów belki górnej podwozia	p_2	[m]	12,0
Długość ładunku na belkach bocznych	L	[m]	13,3
Minimalny promień łuku toru	R_{min}	[m]	75
Prędkość przejazdu po łuku toru	v	[km/h]	5



Rys.3. Schemat ustroju nośnego wagonu NORCA 32 w pionowej płaszczyźnie wzdłużnej



Rys.4. Schemat ustroju nośnego wagonu NORCA 32 w pionowej płaszczyźnie poprzecznej a) bez przesuniętego nadwozia, b) z przesuniętym nadwoziem

Przyjęty model ma strukturę zapewniającą statyczną wyznaczalność w pionowej płaszczyźnie wzdłużnej i poprzecznej całego układu przeniesienia zewnętrznych obciążeń od części nadwoziowej z ładunkiem na poszczególne elementy podwozia wagonu (rys. 3, rys. 4). W modelu tym uwzględniono nieliniowość charakterystyk zdwojonych zespołów trzech sprężyn (rys. 4) w zawieszeniach zestawów kołowych, natomiast zrezygnowano z dokładnego odwzorowywania rzeczywistego kształtu bieżni kół, dla których przyjęto powierzchnią walcową. Uproszczono także ukształtowanie łuków toru zastępując ich paraboliczne zarysy odcinkami okręgów z powiększonym rozstawem szyn (tab. 2).

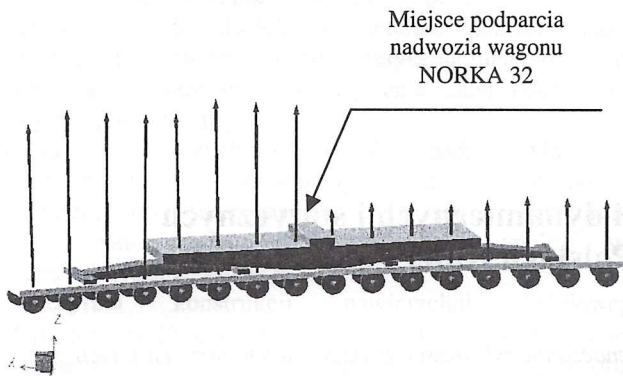
Przeprowadzone badania wstępne obejmowały analizę rozkładu nacisków kół wagonu w symulowanych warunkach działania statycznych oraz dynamicznych obciążeń, odpowiednio podczas postoju i przejazdu z zadaną prędkością po łuku toru, przy określonych wartościach poprzecznego przesuwu ładunku o nominalnej masie, spoczywającego na belkach bocznych (tab. 2).

Otrzymane z tych badań wyniki (tab. 3) generalnie potwierdziły opisany w instrukcji [4] wpływ działania układu RP (czopów zredukowanych) na rozkład nacisków kół wagonu NORCA32 na łuku toru. Największe zróżnicowanie tego rozkładu (rys. 5) miało miejsce w przypadku braku redukcji samoczynnego przesunięcia S_0 (rys. 2a) punktu podparcia nadwozia (punktu działania siły F_c). Występujące wówczas maksymalne naciski kół wagonu stojącego na łuku toru wynoszą 144 kN, a naciski kół wagonu wolno jadącego (5km/h) 177 kN. Obliczone wartości w niewielkim stopniu odbiegają od odpowiednich wartości podanych w [2].

W przypadku redukcji przesunięcia S_0 o maksymalną wartość poprzecznego przesuwu nadwozia $e_{max} = 500\text{mm}$ (na wewnętrzną stronę łuku) wyraźnie maleje zróżnicowanie nacisków kół wagonu, których maksymalne wartości w czasie jazdy z małą prędkością nie przekraczają 128 kN.

Tabela 3. Wyniki badań wstępnych modelu dynamicznego wagonu NORCA32

Wielkość	Oznaczenie	Wymiar	Wartość
Maks. nacisk na szynę koła wagonu stojącego na łuku toru bez redukcji wysuwu S_0	N_{maxk}	[kN]	144
Maks. nacisk na szynę koła wagonu jadącego po łuku toru bez redukcji wysuwu S_0	N_{maxkj}	[kN]	177
Maks. nacisk na szynę koła wagonu stojącego na łuku toru z nadwoziem przesuniętym o e_{max}	N_{maxkr}	[kN]	117
Maks. nacisk na szynę koła wagonu jadącego po łuku toru z nadwoziem przesuniętym o e_{max}	N_{maxkrj}	[kN]	128



Rys.5. Wizualizacja w systemie DADS zróżnicowania obciążeń prawych kół czterech ostatnich wózków wagonu NORCA32 jadącego po łuku toru bez przesuniętego nadwozia

Badania symulacyjne wykazały ponadto, że największe z wartości maksymalnych nacisków kół występują w początkowej fazie wjeżdżania wagonu na łuk toru (rys.5), czyli kiedy pierwsze wózki tego wagonu zmieniają kierunek swego ruchu na torze, a pozostałe wózki poruszają się w innym wspólnym kierunku. Spodziewać się zatem można jeszcze większego zróżnicowania rozkładu nacisków kół i wynikających z tego zagrożeń bezpieczeństwa wagonu podczas przejazdu przez s-owe odcinki toru.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Bezpieczeństwo ruchu na łukach i krzywoliniowych odcinkach toru wieloosiowych wagonów specjalnych z

układem czopów zredukowanych, jest zależne nie tylko od ograniczania prędkości jazdy ale także od skoordynowania z nią prędkości i wielkości przesuwu wspomnianych czopów zredukowanych.

Stworzenie w tym zakresie możliwości symulacyjnych badań służących wykrywaniu potencjalnych zagrożeń bezpieczeństwa tych wagonów, wydaje się być szczególnie uzasadnione w świetle przedstawionych wyników badań wstępnych. Umożliwiły one już ogólne rozpoznanie wpływu niektórych czynników na zmiany rozkładów nacisków kół omawianych wagonów specjalnych w warunkach dynamicznych i mogą być wykorzystane do ukierunkowania dalszych działań, mających na celu opracowanie odpowiednich narzędzi programowych, zweryfikowanych doświadczalnie na obiektach rzeczywistych.

5. LITERATURA

- [1] Romaniszyn Z. i inni: *Podwozia trakcyjnych pojazdów szynowych*. WKiŁ, W-wa 1989.
- [2] Grabowski E.: *Obliczenia maksymalnych nacisków kół wagonów NORCA32 i NORCA24*. Raport nr 48/2001 IKiEM Politechniki Wrocławskiej.
- [3] *Instrukcja obsługi 24-osiowego wagonu typu SZNABEL. NSP-154/23 NORCA CORPORATION 1981.*
- [4] *Instrukcja obsługi 32-osiowego wagonu typu SZNABEL. NSP-127/23 NORCA CORPORATION 1981. Dokumentacja techniczna rysunkowa wagonów NORCA 32 i NORCA 24.*