

## Wybór parametrów spalinowo-elektrycznego układu napędowego dla lekkiego pojazdu szynowego na podstawie obliczeń i badań symulacyjnych

*Artykuł poświęcony jest obliczeniom i badaniom symulacyjnym lekkich pojazdów szynowych dla określenia głównych parametrów układu napędowego z wykorzystaniem zespołu silnik spalinowy – prądnica – silniki trakcyjne. Przedstawiono konfiguracje lekkich pojazdów szynowych, napędów oraz ich modele (mechaniczne i ideowe), na których prowadzone są analizy i badania, wykorzystując ich nominalne parametry. Szeroka analiza dotyczyła określenia charakterystyk trakcyjnych pojazdów z wyznaczeniem wielkości oporów ruchu przyspieszeń rozruchowych oraz wyznaczenia wartości współczynnika wykorzystania masy przyczepnej i przyspieszeń układu zawieszenia silnika trakcyjnego, co pozwoli na ostateczne sprecyzowanie parametrów układu.*

*Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu badawczego nr 4T 12D01227 pt.: „Spalinowo-elektryczny napęd dla lekkich wieloczlonych pojazdów szynowych”.*

### 1. WSTĘP

Analizy obliczeniowe i badania symulacyjne na modelach matematycznych oraz zaprogramowanych zależnościach są najprostszymi i najefektywniejszymi metodami wyznaczania optymalnych wielkości interesujących parametrów. Ponadto obliczenia są najtańszą metodą przetestowania wielu układów ze zmieniającymi się wielkościami parametrów bez konieczności budowy modeli rzeczywistych [2].

Taką właśnie metodę przyjęto dla określenia wielkości podstawowych (również optymalnych) parametrów maszyn i zespołów, wchodzących w skład układów napędowych, pozwalających na najkorzystniejszy, ale możliwy do realizacji, ich wybór dla nowoprojektowanych lekkich pojazdów szynowych.

Ponadto zaletą wszelkich metod obliczeniowych z wykorzystaniem symulacji komputerowej jest możliwość uzyskania szerokiego wachlarza wyników dla wielkości (parametrów), które w badaniach doświadczalnych mogą być praktycznie nie do uzyskania. Wadą tych metod jest konieczność precyzyjnego definiowania związków matematyczno-fizycznych zachodzących w rozwiązaniach konstrukcyjnych modelowanych układów napędowych.

Szczególnie wrażliwe na brak w precyzyjnym definiowaniu związków są zależności zarówno w określeniu sił na styku koła z szyną jak i zależności precyzujące pracę układów zawiesznień. W artykule skorzystano z tych zależności i programów, których wyniki

potwierdziły się w badaniach doświadczalnych oraz przeszły pozytywne porównanie z podobnymi programami, stosowanymi w praktyce inżynierskiej [6].

### 2. WYTYCZNE DO BUDOWY MODELI, MODELE ORAZ PARAMETRY DO ANALIZ I BADAŃ

#### 2.1. Układy lekkich pojazdów szynowych

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń w projektowaniu i eksploatacji lekkich pojazdów szynowych w kraju i za granicą dla przeprowadzenia analiz obliczeniowych i symulacji komputerowej należy brać pod uwagę całą rodzinę jedno- i wieloczlonych pojazdów o następujących konfiguracjach [1, 3, 4]:

- z wózkami jednoosiowymi i układem napędowym zabudowanym pod ostoją pojazdu:
  - jednoczłon (s) o układzie osi  $A_0-1$  lub  $A_0-A_0$
  - dwuczłon (s-s) o układzie osi  $A_0-1+1-A_0$  lub  $A_0-A_0+A_0-A_0$
  - trójczłon (s-d-s) o układzie osi  $A_0-A_0+1-1+A_0-A_0$
- z wózkami dwuosiowymi i układem napędowym zabudowanym pod ostoją:
  - jednoczłon (s) o układzie osi  $B_0-2$
  - dwuczłon (s-s) o układzie osi  $B_0-2+2-B_0$  lub  $B_0-2-B_0$
  - trójczłon (s-d-s) o układzie osi  $B_0-B_0+2-2+B_0-B_0$ ;  $B_0-2+2-2+B_0$  oraz  $B_0-2-2-B_0$
- z wózkami dwuosiowymi i układem napędowym zabudowanym w specjalnym przedziale maszynowym znajdującym się wewnątrz:

- jednoczłon (s) o układzie osi  $B_0-2$
- dwuczłon (s-s lub s-d) o układzie osi  $B_0-2+2-B_0$ ;  $B_0-B_0+2-2$  oraz  $B_0-2-B_0$
- trójczłon (s-d-s) o układzie osi  $B_0-2+2-2+2-B_0$ ;  $B_0-B_0+2-2+ B_0-B_0$  lub  $B_0-2-2-B_0$

gdzie:

**s** - człon napędowy

**d** - człon doczepny

**A<sub>0</sub>**- wózek jednoosiowy z napędem indywidualnym

**B<sub>0</sub>**- wózek dwuosiowy, w którym każda oś posiada napęd indywidualny

**1** - wózek jednoosiowy toczny

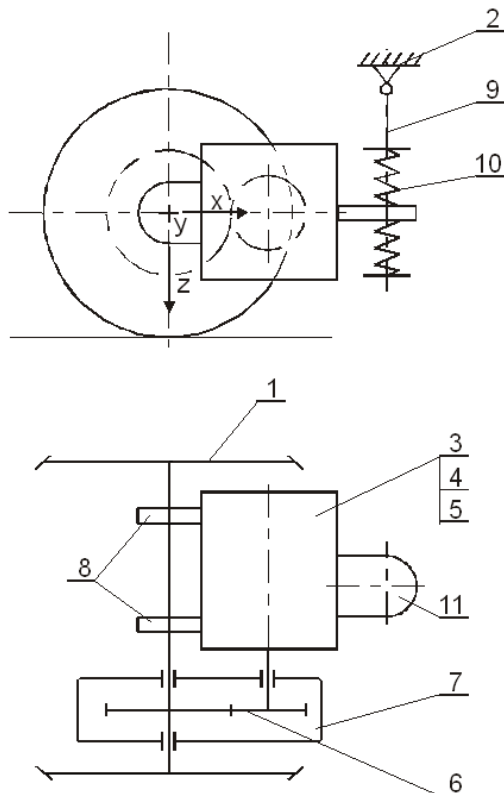
**2** - wózek dwuosiowy toczny

Ponadto w pojazdach dwu- i trójczłonowych rozważono również zastosowanie wózków typu Jacobsa.

## 2.2. Konfiguracje układów napędowych

Do badań i analiz wybrano następujące konfiguracje najczęściej spotykanych napędów (silnik trakcyjny – przekładnia) w pojazdach wózkowych:

- silnik trakcyjny zawieszony „za nos” (konstrukcja klasyczna) przenoszący napęd na zestaw za pośrednictwem jedno- lub wielostopniowej nieodsprężynowanej przekładni osiowej



Rys.1. Model i schemat ideowy silnika nieodsprężynowanego (zawieszenie systemem tramwajowym „za nos”) 1- zestaw kołowy; 2 – rama wózka; 3 – elektryczny silnik trakcyjny; 4 – wirnik silnika trakcyjnego; 5 – obudowa silnika trakcyjnego; 6 – przekładnia zębata; 7 – obudowa przekładni; 8 – łożyska zawieszenia silnika; 9 – ciężło zawieszenia silnika; 10 – sprężyste elementy gumowo-metalowe; 11 – wspornik zawieszenia silnika.

- silnik trakcyjny zawieszony elastycznie na ramie wózka przenoszący napęd za pośrednictwem przekładni odsprężynowanej zawieszonych na ramie wózka
- silnik trakcyjny zawieszony elastycznie pod ostoją realizujący przeniesienie napędu za pośrednictwem wału przegubowego i przekładni zabudowanej na osi zestawu kołowego.

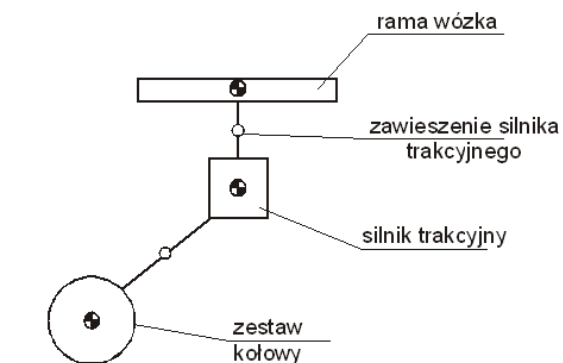
Pozostałe główne zespoły układu napędowego zabudowane są:

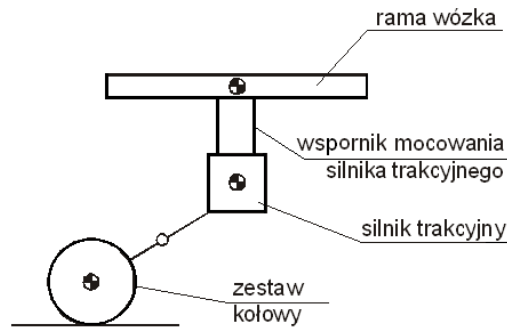
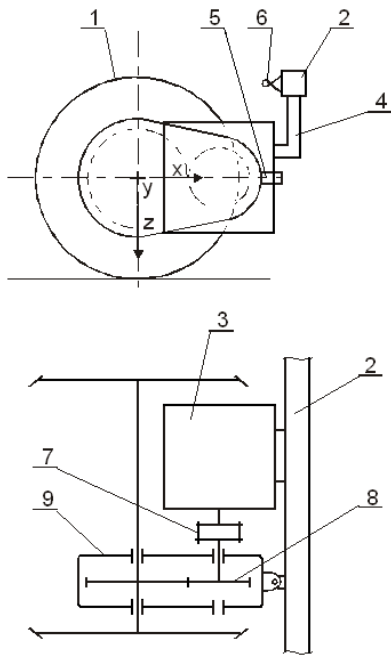
- dla układu podpodłogowego:
  - silnik spalinowy i prądnica na specjalnej ramie mocowanej do podwozia za pośrednictwem elementów elastycznych
  - przekształtnik, opornice hamowania oraz przetwornice na dachu pojazdu
- dla układu wewnątrzpojazdowego:
  - silnik spalinowy i prądnica na ramie zespołu prądotwórczego mocowanego elastycznie do ostoji
  - pozostałe urządzenia i maszyny w przestrzeni przedziału maszynowego.

## 2.3. Modele mechaniczne i ideowe układów napędowych

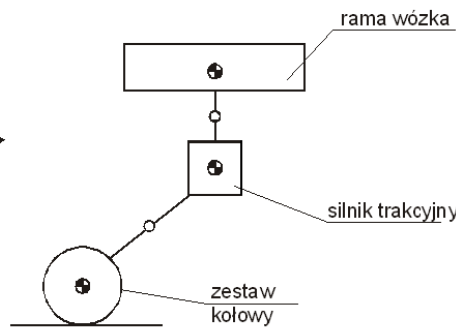
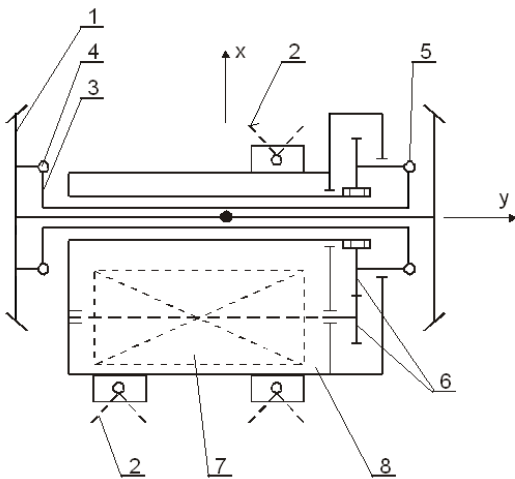
### Wózki jednoosiowe

W dalszych analizach przyjęte zostały modele napędów przedstawione na rys. 1 ÷ 4.

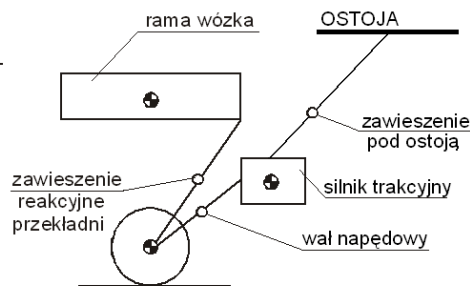
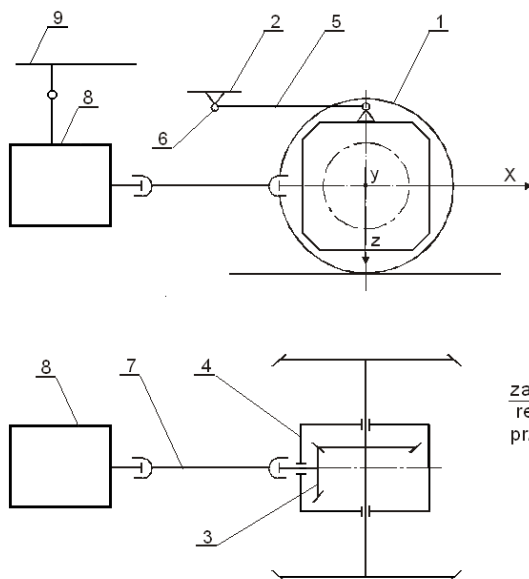




Rys.2. Model i schemat ideowy silnika trakcyjnego odsprężynowanego (zawieszony elastycznie na ramie wózka)  
 1 – zestaw kołowy; 2 – rama wózka; 3 – elektryczny silnik trakcyjny; 4 – wspornik mocowania silnika do ramy; 5 – cięgło podwieszenia przekładni; 6 – przegub kulisty podwieszenia przekładni; 7 – sprzęgło podatne; 8 – przekładnia zębata; 9 – obudowa przekładni.



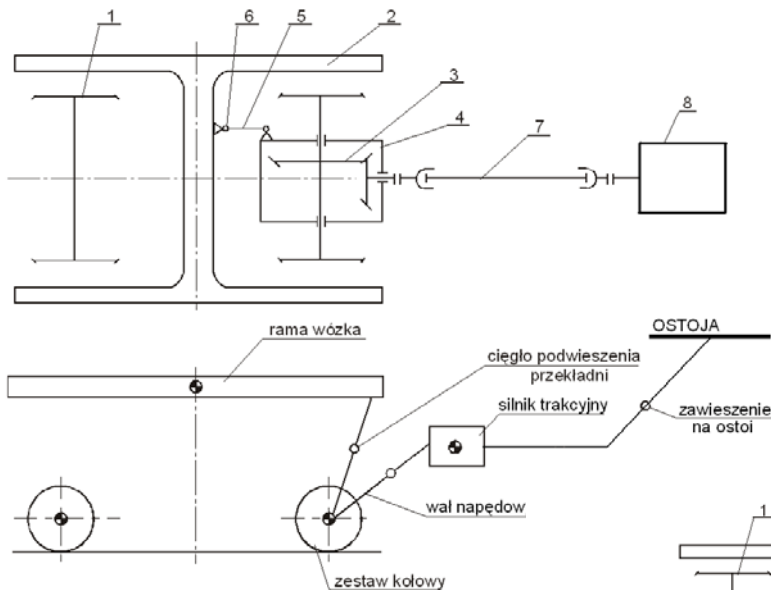
Rys.3. Model i schemat ideowy silnika trakcyjnego i przekładni zawieszonych elastycznie na ramie wózka  
 1 – zestaw kołowy; 2 – elementy elastycznego zawieszenia silnika i przekładni na ramie wózka; 3 – wał dźwigny; 4 – sprzęgło; 5 – sprzęgło od strony przekładni; 6 – przekładnia zębata; 7 – wirnik silnika trakcyjnego; 8 – obudowa silnika i przekładni.



Rys.4. Model i schemat ideowy napędu z silnikiem trakcyjnym zawieszonym sztywno do ostoja pojazdu (przeniesienie napędu za pośrednictwem wału przegubowego)  
 1 – zestaw kołowy; 2 – rama wózka; 3 – przekładnia osiowa; 4 – obudowa przekładni; 5 – cięgło podwieszenia przekładni; 6 – przegub kulisty gumowo-metalowy; 7 – wał napędowy; 8 – silnik trakcyjny; 9 – ostoja pojazdu.

## Wózki dwuosiowe

Do analiz i badań przyjęto modele jak dla wózków jednoosiowych (rys. 1÷4), przy czym w wózkach dwuosiowych obie osie są napędne, a silniki trakcyjne skierowane no-sami do środka wózka. Ponadto w analizach roz-patrzono również modele zaprezentowane na rys. 5 ÷ 7.

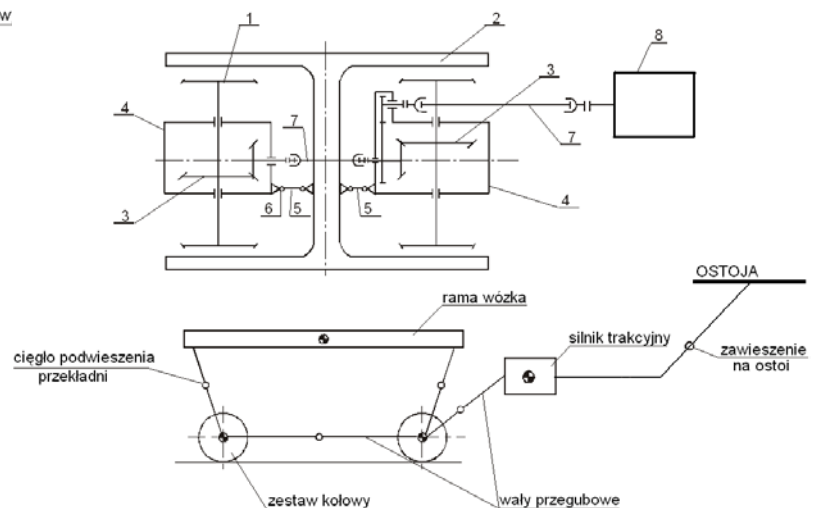


Rys.5. Model i schemat ideowy napędu jednego zestawu kołowego wózka dwuosioowego (zawieszenie pod ostoją)

1 – zestaw kołowy; 2 – rama wózka; 3 – przekładnia osiowa; 4 – obudowa przekładni; 5 – cięgło podwieszenia przekładni; 6 – przegub kulisty gumowo-metalowy; 7 – wał napędowy; 8 – silnik trakcyjny.

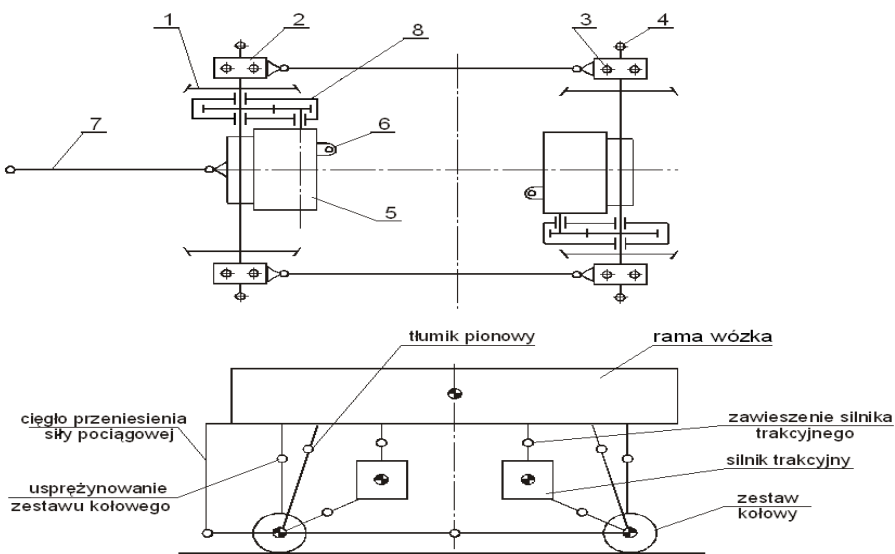
Rys.6. Model i schemat ideowy napędu zestawów kołowych wózka dwuosioowego za pośrednictwem silnika trakcyjnego zawieszono pod ostoją pojazdu

1 – zestaw kołowy; 2 – rama wózka; 3 – przekładnia osiowa; 4 – obudowa przekładni; 5 – cięgło podwieszenia przekładni; 6 – przegub kulisty gumowo-metalowy; 7 – wały napędowe; 8 – silnik trakcyjny.



Rys.7. Model i schemat ideowy napędu z silnikami zawieszonymi na ramie wózka (dla układów w zabudowie wewnątrzpojazdowej)

1 – zestaw kołowy; 2 – maźnice skrzydełkowe; 3 – sprężyny śrubowe; 4 – hydrauliczny tłumik pionowy; 5 – silnik trakcyjny; 6 – wspornik zawieszenia silnika; 7 – cięgło przeniesienia siły pociągowej; 8 – przekładnia.



### 2.4. Parametry pojazdów i ich układów napędowych

Dla prowadzonych obliczeń analitycznych i badań symulacyjnych niezbędne jest określenie obszarów zmian parametrów charakteryzujących zarówno konstrukcję lekkich pojazdów szynowych jak i głównych maszyn i urządzeń wchodzących w skład układów napędowych. Parametry te dla trzech podstawowych konfiguracji pojazdów (jedno-, dwu- i trójczłonowych) z wózkami jedno- i dwuosioowymi z zabudową podpodłogową oraz wewnątrz pojazdu przedstawiono w tabelach 1 ÷ 3.

**Lekkie pojazdy szynowe na wózkach jednoosiowych  
(układ napędowy zabudowany pod ostoją)**

**Tabela 1**

L.p.	Nazwa parametru	Jednostka	Jednoczłonowe	Dwuczłonowe	Trójczłonowe
1	2	3	4	5	6
1	Masa własna (całkowita)	Mg	24(30)	44(56)	62(80)
2	Liczba miejsc siedzących	-	40	80	120
3	Liczba miejsc stojących	-	50	100	150
4	Długość części pasażerskiej	m	10	20	30
5	Prędkość eksploatacyjna	km/h	100 ÷ 120		
5	Przyspieszenie rozruchu	m/s <sup>2</sup>	0,6 ÷ 0,8		
7	Nacisk zestawu kołowego na tor	kN	140 ÷ 160		
8	Długość pojazdu	m	16 ÷ 17	28,5 ÷ 30	38,5 ÷ 40
9	Baza pojazdu / członu	m	7 ÷ 8		
10	Średnica toczna koła	m	0,84 ÷ 0,92		
11	Moc silnika spalinowego	kW	250 ÷ 350	2x(250 ÷ 350)	2x(250 ÷ 350)
12	Moc prądnic	kW	250 ÷ 320	2x(250 ÷ 320)	2x(250 ÷ 320)
13	Moc falownika	kW	max 300	max 2x300	max 2x300
14	Moc silnika trakcyjnego	kW	100 ÷ 150	100 ÷ 170	100 ÷ 150
15	Przełożenie przekładni	-	5 ÷ 6,5		

**Lekkie pojazdy szynowe na wózkach dwuosiowych  
(układ napędowy zabudowany pod ostoją)**

**Tabela 2**

L.p.	Nazwa parametru	Jednostka	Jednoczłonowe	Dwuczłonowe	Trójczłonowe
1	2	3	4	5	6
1	Masa własna (całkowita)	Mg	32 ÷ 43(43÷53)	60 ÷ 75(85÷100)	90 ÷ 115(120÷140)
2	Liczba miejsc siedzących	-	50÷60	100÷120	150÷180
3	Liczba miejsc stojących	-	80÷100	160÷200	240÷300
4	Długość części pasażerskiej	m	15÷20	30÷40	45÷60
5	Prędkość eksploatacyjna	km/h	100 ÷ 120		
6	Nacisk zestawu kołowego na tor	kN	140 ÷ 170		
7	Przyspieszenie rozruchu	m/s <sup>2</sup>	0,6 ÷ 0,8		
8	Długość pojazdu	m	20÷24	36÷44	52÷64
9	Baza pojazdu / członu	m	16÷19	16÷19	16÷19
10	Baza wózka (tocznego i napędowego)	m	2,0 ÷ 2,5		
11	Średnica toczna koła	m	0,84 ÷ 0,92		
12	Moc silnika spalinowego	kW	250 ÷ 350	2x(450 ÷ 600)	2x(500 ÷ 700)
13	Moc prądnic	kW	max 350	max. 2x300	max. 2x350
14	Moc falownika	kW	max 350	max. 2x300	max. 2x350
15	Moc silnika trakcyjnego	kW	100 ÷ 170		
16	Przełożenie przekładni	-	5 ÷ 6,5		

**Lekkie pojazdy szynowe na wózkach dwuosiowych  
(układ napędowy zabudowany w członie napędowym)**

**Tabela 3**

L.p.	Nazwa parametru	Jednostka	Jednoczłonowe	Dwuczłonowe	Trójczłonowe
1	2	3	4	5	6
1	Masa własna (całkowita)	Mg	35÷40(50÷55)	65÷75(95÷105)	100÷110(140÷155)
2	Liczba miejsc siedzących	-	60÷80	120÷160	180÷240
3	Liczba miejsc stojących	-	90÷120	180÷240	270÷360
4	Długość części pasażerskiej	m	20÷22	40÷44	60÷66
5	Prędkość eksploatacyjna	km/h	100 ÷ 120		
6	Przyspieszenie rozruchu	m/s <sup>2</sup>	0,6 ÷ 0,8		
7	Nacisk zestawu kołowego na tor	kN	140 ÷ 160		
8	Długość pojazdu	m	25÷28	45÷50	65÷72
9	Baza pojazdu / członu	m	16 ÷ 19		
10	Baza wózka (tocznego i napędowego)	m	2,0 ÷ 2,5		
11	Średnica toczna koła	m	0,84 ÷ 0,92		
12	Moc silnika spalinowego	kW	300 ÷ 400	500 ÷ 700	550 ÷ 800
13	Moc prądnic	kW	300 ÷ 400	500 ÷ 700	550 ÷ 800
14	Moc falownika	kW	500 ÷ 800 (2x300÷400)		
15	Moc silnika trakcyjnego	kW	(100 ÷ 200)		
16	Przełożenie przekładni	-	5 ÷ 6,5		

Zakresy zmian poszczególnych parametrów zostały określone na podstawie dotychczasowych doświadczeń w projektowaniu autobusów szynowych i elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz z ich eksploatacji.

Ponadto wpływ na przyjęte wartości parametrów miało szerokie studium literaturowe oraz przewidywane możliwości przemysłu w produkcji i dostawach głównych maszyn i urządzeń wchodzących w skład układów napędowych.

### 3. ZAKRES ORAZ METODYKI ANALIZ I BADAŃ SYMULACYJNYCH

Zakres prowadzonych analiz i badań podzielono na dwa obszary.

#### Pierwszy obszar zagadnień to:

- wyznaczenie charakterystyk trakcyjnych
- określenie wielkości oporów ruchu dla przyjętych parametrów linii kolejowej (łuki, pochylenia)
- określenie maksymalnych i średnich wartości przyspieszeń, z których wynika długość drogi potrzebnej od ruszenia do osiągnięcia wymaganej prędkości oraz czas niezbędny do osiągnięcia tej prędkości.

#### Drugi obszar zagadnień to:

- wyznaczenie wartości współczynnika wykorzystania masy przyczepnej
- wyznaczenie wielkości przyspieszeń nadwozia i ram wózków od działającego napędu, czyli zbadanie wpływu zawieszenia silnika na dynamikę wózka i pojazdu.

Rozwiązania poszczególnych zagadnień pozwolą na określenie wartości parametrów układu napędowego dla określonego pojazdu szynowego, z których można ostatecznie wybierać dane dla projektowania układu.

Analizy obliczeniowe sił pociągowych oraz oporów ruchu wyznaczono dla następujących parametrów wyjściowych:

- dla pojazdu jednoczłonowego o masie własnej 24 Mg (z pasażerami 29 Mg), naciskach 140 ÷ 160 kN i prędkości maksymalnej 120 km/h
- dla pojazdu dwuczłonowego o masie własnej 46 Mg (z pasażerami 59 Mg), naciskach 140 ÷ 170 kN i prędkości maksymalnej 120 km/h
- dla pojazdu trójczłonowego o masie własnej 64 Mg (z pasażerami 82 Mg), naciskach 140 ÷ 160 kN i prędkości maksymalnej 120 km/h.

Do wyznaczania charakterystyk trakcyjnych i oporów ruchu, a w zasadzie określenia przebiegu siły pociągowej i oporów ruchu (dla różnych wartości pochyleń toru) w funkcji prędkości jazdy pojazdu wykorzystano program Exel [6, 7].

Charakterystyki trakcyjne zostały zaprezentowane w rozdziale 4 dla różnych przyjętych wariantów parametrów.

W obliczeniach symulacyjnych dla drugiego obszaru posłużono się programem komputerowym opartym na systemie symulacyjnym ACSL V.11.0 wykorzystującym programy do rozwiązywania zadań z algebry macierzowej, posiadającym również podprogramy do obróbki statystycznej i widmowej oraz do prezentacji wyników prowadzonych obliczeń [6, 7].

Program ten posiada dwa podstawowe moduły:

- moduł obliczeniowo – nadzorujący, służący do formowania danych wejściowych i wyjściowych oraz do wykonywania opcjonalnych poleceń obliczeniowych
- moduł modelujący, który formułuje model matematyczny układu wielomasowego; składa się z programu sterującego, bloku inicjującego, bibliotek, modeli matematycznych, obszarów podatnych, biblioteki substruktur oraz podprogramów wyznaczających wielkości i zestawiających równania drgań.

Dzięki modułowości programu jest możliwa dalsza rozbudowa bibliotek oraz jego substruktur. Możliwe jest również dalsze jego doskonalenie i dopasowanie do innego zakresu obliczeń i analiz. Struktura programu oraz jego wydruk, ze względu na dużą jego objętość, przedstawiona jest w pracy [6, 7].

Dużą zaletą zastosowanego programu symulacyjnego, który został ponadto wyposażony w szereg pre- i postprocesorów, jest szybkość wykonywania obliczeń, nawet szeregu skomplikowanych analiz matematycznych.

### 4. WYNIKI ANALIZ OBLICZENIOWYCH I BADAŃ SYMULACYJNYCH

Głównym zadaniem prowadzonych analiz i badań było ustalenie najkorzystniejszych parametrów lekkich pojazdów szynowych oraz ich głównych maszyn i urządzeń, wchodzących w skład napędów. Funkcjami celu tak postawionego zadania były przede wszystkim własności ruchowe i trakcyjne układów napędowych analizowanych wariantów. Niezależnie od charakteru funkcji celów, z jakimi miano do czynienia, dokonano optymalnego wyboru parametrów poprzez analizę zmienności tych funkcji w zakresie parametrów dopuszczalnych.

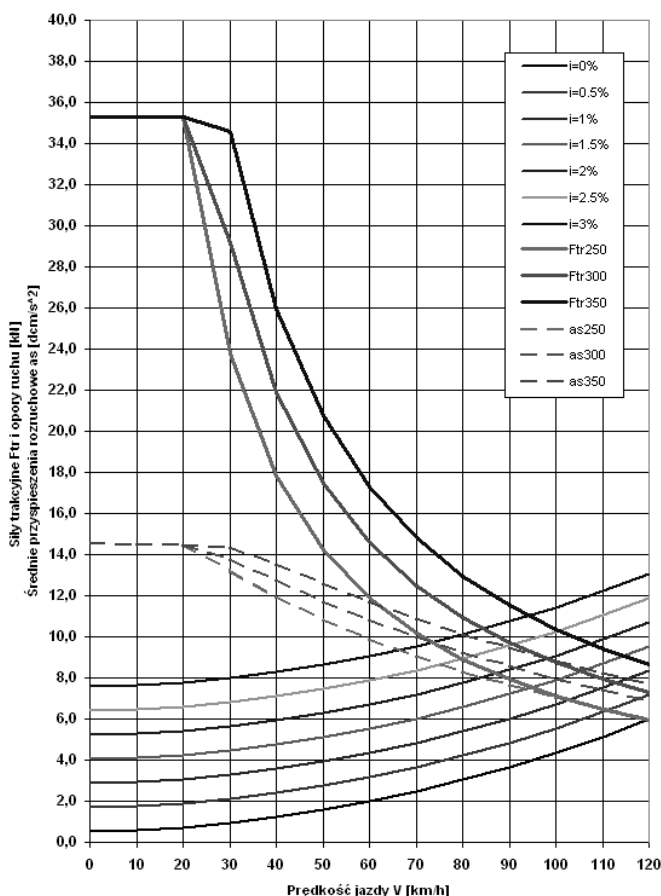
Wszystkie rezultaty prowadzonych obliczeń i badań symulacyjnych zostały przedstawione w formie tabel oraz wykresów, przedstawiających przebiegi sił trakcyjnych, opory ruchu i przyspieszeń w zależności od prędkości dla różnych pochyleń toru w zakresie parametrów wyjściowych przedstawionych w tabelach 1, 2 i 3.

Wszystkie obliczenia i analizy zostały podzielone na dwa obszary zagadnień podane w pkt. 3.

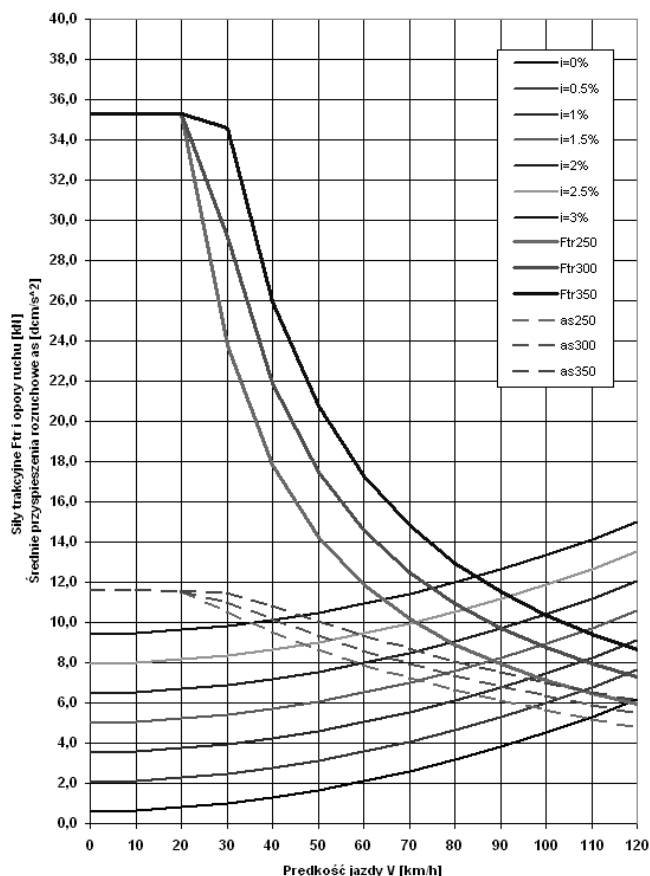
**Pierwszy obszar** obejmował wyznaczenie szeregu charakterystyk trakcyjnych dla poszczególnych konfiguracji pojazdów oraz różnych parametrów wyjściowych, niezbędnych do wykreślenia (wyznaczenia) tych charakterystyk.

Przykładowe charakterystyki przedstawiono na rys. 8 i 9 oraz w tabelach 4 i 5 dla lekkiego pojazdu jednoosobowego z wózkami jednoosiowymi dla stanu próżnego i załadowanego (z pełnym obciążeniem pasażerami) oraz na rys.10 i 11 i w tabelach 6 i 7 dla lekkiego pojazdu dwuczłonowego z wózkami dwuosiowymi.

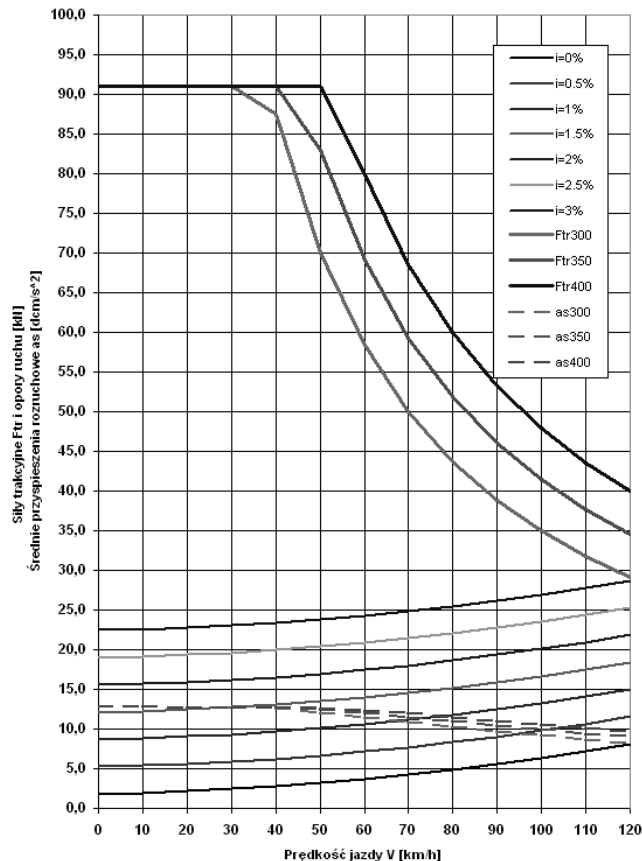
Pozostałe wyniki obliczeń wraz z wyznaczonymi charakterystykami zostały szczegółowo podane w pracy [7].



Rys.8. Charakterystyka trakcyjna jednoosobowego pojazdu szynowego z wózkami jednoosiowymi dla stanu niezaladowanego



Rys.9. Charakterystyka trakcyjna jednoosobowego pojazdu szynowego z wózkami jednoosiowymi dla stanu załadowanego



Rys.10. Charakterystyka trakcyjna dwuczłonowego pojazdu szynowego z wózkami dwuosiowymi dla stanu niezaladowanego

**Charakterystyka trakcyjna pojazdu dwuosioowego  
(wózki jednoosiowe) jednoczłonowego niezaladowanego**

**Tabela 4**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1																			
2	<b>Charakterystyka trakcyjna pojazdu dwuosioowego (wózki jednoosiowe) jednoczłonowego niezaladowanego</b>																		
3																			
4	Określenie wielkości	Symbol	Zależności - Formuły	Jedn.	Ps=250kW	Ps=300kW	Ps=350kW												
5	Przyspieszenie ziemskie	g	Zadane >>	mis <sup>2</sup>	9,81	9,81	9,81												
6																			
7	<b>Silnik spalinowy / przekładnia</b>																		
8	Moc silnika brutto	Ps	Zadane >>	kW	250	300	350												
9	Potrzeby własne (max)	Pwł	Zadane >>	kW	30	30	30												
10	Sprawność układu (min)	teta	Zadane >>	-	0,90	0,90	0,90												
11	Ilość silników spalinowych	ilos	Zadane >>	szt	1	1	1												
12																			
13	<b>Pojazd</b>																		
14	Prędkość jazdy	V	Zadane >>	km/h	0	0	0												
15	Masa pojazdu	mpoj	Zadane >>	kg	24000	24000	24000												
16	Ilość osi pojazdu	n	Zadane >>	szt	2	2	2												
17	Ciężar napędowy pojazdu	Qnap	Zadane >>	kn	141	141	141												
18	Współczynnik przyczepności	ami	Zadane >>	-	0,25	0,25	0,25												
19																			
20	<b>Sily trakcyjne</b>																		
21	Maksymalna siła przyczepności	Fmax	Qnap*ami	kn	35	35	35												
22	Moc trakcyjna	Ptr	(Ps-Pwł)*teta*ilos	kW	198	243	288												
23	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i i=0%	FR0	mpoj/1000*(0,9+0,15*V/10)+15*n+3,5*V/10)^2	daN	52	52	52												
24	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i i=3%	FR3	mpoj/1000*(0,9+0,15*V/10)+15*n+3,5*V/10)^2+maut*g*_03/10	daN	758	758	758												
25	Przyspieszenie rozruchowe dla i=0%	ar0	(Fmax-Fr0/100)*1000/mpoj	mis <sup>2</sup>	1,45	1,45	1,45												
26	Przyspieszenie rozruchowe dla i=3%	ar3	(Fmax-Fr3*100)*1000/mpoj	mis <sup>2</sup>	1,16	1,16	1,16												
27																			
28	<b>Prędkość jazdy</b>	V		km/h	0	10	20												
29	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Ftr250	ilos*3,6*Ptr/V < Fmax	kn	35,3	35,3	35,3	23,8	17,8	14,3	11,9	10,2	8,9	7,9	7,1	6,5	5,9	5,5	
30	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Ftr300	ilos*3,6*Ptr/V < Fmax	kn	35,3	35,3	35,3	29,2	21,9	17,5	14,6	12,5	10,9	9,7	8,7	8,0	7,3	6,7	
31	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Ftr350	ilos*3,6*Ptr/V < Fmax	kn	35,3	35,3	35,3	34,6	25,9	20,7	17,3	14,8	13,0	11,5	10,4	9,4	8,6	8,0	
32	Sila oporów dla i=0,0%	0	(mpoj/1000*(1000*g+0,9+0,15*V/10)+15*n+3,5*V/10)^2/100	kn	0,5	0,6	0,7	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	3,7	4,4	5,1	6,0	6,9		
33	Sila oporów dla i=0,5%	0,005		kn	1,7	1,8	1,9	2,1	2,4	2,7	3,2	3,7	4,2	4,9	5,6	6,3	7,2	8,1	
34	Sila oporów dla i=1,0%	0,01		kn	2,9	2,9	3,1	3,3	3,6	3,9	4,3	4,8	5,4	6,0	6,7	7,5	8,3	9,3	
35	Sila oporów dla i=1,5%	0,015		kn	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,1	5,5	6,0	6,6	7,2	7,9	8,7	9,5	10,4	
36	Sila oporów dla i=2,0%	0,02		kn	5,2	5,3	5,4	5,6	5,9	6,3	6,7	7,2	7,8	8,4	9,1	9,9	10,7	11,6	
37	Sila oporów dla i=2,5%	0,025		kn	6,4	6,5	6,6	6,8	7,1	7,5	7,9	8,4	8,9	9,6	10,3	11,0	11,9	12,8	
38	Sila oporów dla i=3,0%	0,03		kn	7,6	7,7	7,8	8,0	8,3	8,6	9,1	9,5	10,1	10,7	11,4	12,2	13,1	14,0	
39																			
40	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 250kW	a250	(Ftr250-Fr0)*1000/mpoj	mis <sup>2</sup>	1,5	1,4	1,4	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0		
41	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 300kW	a300	(Ftr300-Fr0)*1000/mpoj	mis <sup>2</sup>	1,5	1,4	1,4	1,2	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	
42	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 350kW	a350	(Ftr350-Fr0)*1000/mpoj	mis <sup>2</sup>	1,5	1,4	1,4	1,4	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	
43	Średnie przyspieszenie dla mocy 250kW	as250	Suma(a250)*10v	demis <sup>2</sup>	14,5	14,5	14,5	13,2	12,0	10,8	9,9	9,1	8,3	7,7	7,1	6,5	6,0	5,6	
44	Średnie przyspieszenie dla mocy 300kW	as300	Suma(a300)*10v	demis <sup>2</sup>	14,5	14,5	14,5	13,8	12,7	11,7	10,8	10,0	9,2	8,6	7,9	7,4	6,9	6,4	
45	Średnie przyspieszenie dla mocy 350kW	as350	Suma(a350)*10v	demis <sup>2</sup>	14,5	14,5	14,5	14,3	13,5	12,6	11,7	10,9	10,1	9,5	8,8	8,2	7,7	7,2	
46																			



**Charakterystyka trakcyjna pojazdu dwuosiowego  
(wózki jednoosiowe) jednoczłonowego załadowanego**

**Tabela 5**

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
2	<b>Charakterystyka trakcyjna pojazdu dwuosiowego (wózki jednoosiowe) jednoczłonowego załadowanego</b>																	
3																		
4	Określenie wielkości	Symbol	Zależności - Formuły	Jedn.	Ps=250kW	Ps=300kW	Ps=350kW											
5	Przyspieszenie ziemskie	g		Zadane >>	9,81	9,81	9,81											
7	<b>Silnik spalinowy i przekładnia</b>																	
8	Moc silnika brutto	Ps		Zadane >>	250	300	350											
9	Potrzeby własne (max)	Pwf		Zadane >>	30	30	30											
10	Sprawność układu (min)	teta		Zadane >>	0,90	0,90	0,90											
11	Ilość silników spalinowych	ilos		Zadane >>	1	1	1											
12																		
13	<b>Pojazd</b>																	
14	Prędkość jazdy	V		Zadane >>	0	0	0											
15	Masa pojazdu	mpoj		Zadane >>	30000	30000	30000											
16	Ilość osi pojazdu	n		Zadane >>	2	2	2											
17	Ciężar napędny pojazdu	Qnap		Zadane >>	177	177	177											
18	Współczynnik przyczepności	ami		Zadane >>	0,20	0,20	0,20											
19																		
20	<b>Sily trakcyjne</b>																	
21	Maksymalna siła przyczepności	Fmax		Qnap*ami	35	35	35											
22	Moc trakcyjna	Ptr		(Ps-Pwf)*teta*ilos	198	243	288											
23	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i l=0%	FR0		mpoj/1000*(0.9+0.15*V/10)+15*n+3.5*(V/10)^2	57	57	57											
24	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i l=3%	FR3		mpoj/1000*(0.9+0.15*V/10)+15*n+3.5*(V/10)^2+maut*g*0.03/10	940	940	940											
25	Przyspieszenie rozruchowe dla l=0%	ar0		(Fmax-Fr0)*10/mpoj	1,16	1,16	1,16											
26	Przyspieszenie rozruchowe dla l=3%	ar3		(Fmax-Fr3)*10/mpoj	0,86	0,86	0,86											
27																		
28	<b>Prędkość jazdy</b>																	
29	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Fr250		V	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
30	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Fr300		ilos*3.6*Ptr/V < Fmax	35,3	35,3	35,3	23,8	17,8	14,3	11,9	10,2	8,9	7,9	7,1	6,5	5,9	5,5
31	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Fr350		ilos*3.6*Ptr/V < Fmax	35,3	35,3	35,3	29,2	21,9	17,5	14,6	12,5	10,9	9,7	8,7	8,0	7,3	6,7
32	Sila oporów dla l=0.0%	0		ilos*3.6*Ptr/V < Fmax	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,8	4,5	5,3	6,2	7,1
33	Sila oporów dla l=0.5%	0,005		(mpoj/1000*(100*Vg+0.9+0.15*V/10)+15*n+3.5*(V/10)^2)/100	2,0	2,1	2,3	2,5	2,8	3,1	3,6	4,1	4,6	5,3	6,0	6,8	7,6	8,5
34	Sila oporów dla l=1.0%	0,01			3,5	3,6	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0	5,5	6,1	6,8	7,5	8,2	9,1	10,0
35	Sila oporów dla l=1.5%	0,015			5,0	5,1	5,2	5,4	5,7	6,1	6,5	7,0	7,6	8,2	8,9	9,7	10,6	11,5
36	Sila oporów dla l=2.0%	0,02			6,5	6,5	6,7	6,9	7,2	7,6	8,0	8,5	9,1	9,7	10,4	11,2	12,0	13,0
37	Sila oporów dla l=2.5%	0,025			7,9	8,0	8,2	8,4	8,7	9,0	9,5	10,0	10,5	11,2	11,9	12,7	13,5	14,4
38	Sila oporów dla l=3.0%	0,03			9,4	9,5	9,6	9,8	10,1	10,5	10,9	11,4	12,0	12,6	13,3	14,1	15,0	15,9
40	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 250kW	a250		(Fr250-Fr0)*1000/mpoj	1,2	1,2	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
41	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 300kW	a300		(Fr300-Fr0)*1000/mpoj	1,2	1,2	1,2	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
42	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 350kW	a350		(Fr350-Fr0)*1000/mpoj	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0
43	Średnie przyspieszenie dla mocy 250kW	as250		Suma(a250)*10v	11,6	11,6	11,5	10,6	9,5	8,7	7,9	7,2	6,6	6,1	5,6	5,2	4,8	4,4
44	Średnie przyspieszenie dla mocy 300kW	as300		Suma(a300)*10v	11,6	11,6	11,5	11,0	10,2	9,4	8,6	8,0	7,4	6,8	6,3	5,9	5,4	5,1
45	Średnie przyspieszenie dla mocy 350kW	as350		Suma(a350)*10v	11,6	11,6	11,5	11,5	10,8	10,1	9,3	8,7	8,1	7,5	7,0	6,6	6,1	5,7
46																		

Charakterystyka trakcyjna pojazdu ośmioosiowego  
(wózki dwuosiove) dwuczłonowego niezależowanego

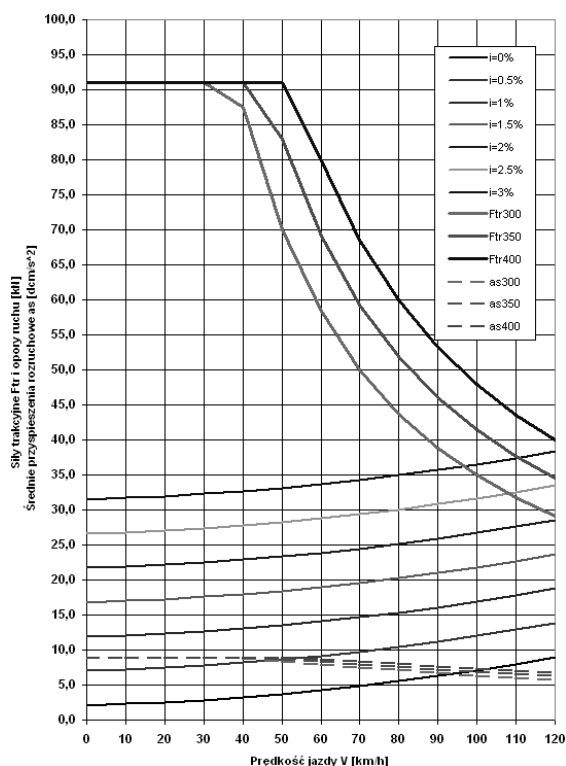
Tabela 6

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2	<b>Charakterystyka trakcyjna pojazdu ośmioosiowego (wózki dwuosiove) dwuczłonowego niezależowanego</b>																	
3																		
4	Określenie wielkości	Symbol	Zależności - Formuły	Jedn.	Ps=300kW Ps=400kW	Ps=350kW Ps=400kW	Ps=400kW Ps=400kW											
5	Przyspieszenie ziemskie	g	Zadane >>	m/s <sup>2</sup>	9,81	9,81	9,81											
6																		
7	<b>Silnik spaliny i przekładnia</b>																	
8	Moc silnika brutto	Ps	Zadane >>	kW	300	350	400											
9	Potrzeby własne (max)	Pwf	Zadane >>	kW	30	30	30											
10	Sprawność układu (min)	tela	Zadane >>	-	0,90	0,90	0,90											
11	Ilość silników spaliny	ilos	Zadane >>	szt	2	2	2											
12																		
13	<b>Pojazd</b>																	
14	Prędkość jazdy	V	Zadane >>	km/h	0	0	0											
15	Masa pojazdu	mpoj	Zadane >>	kg	70000	70000	70000											
16	Ilość osi pojazdu	n	Zadane >>	szt	8	8	8											
17	Masa przyczepna pojazdu	Qnap	Zadane >>	kn	364	364	364											
18	Współczynnik przyczepności	ami	Zadane >>	-	0,25	0,25	0,25											
19																		
20	<b>Sily trakcyjne</b>																	
21	Maksymalna siła przyczepności	Fmax	Qnap*ami	kn	91	91	91											
22	Moc trakcyjna	Ptr	(Ps-Pwf)*teta*ilos	kW	486	576	666											
23	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i i=0%	FR0	mpoj/1000*(0,9+0,15*V/10)+15*n+3,5*(V/10)^2	daN	183	183	183											
24	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i i=3%	FR3	mpoj/1000*(0,9+0,15*V/10)+15*n+3,5*(V/10)^2+maut*g*0,03/10	daN	2243	2243	2243											
25	Przyspieszenie rozruchowe dla i=0%	ar0	(Fmax-Fr0/100)*1000/mpoj	m/s <sup>2</sup>	1,27	1,27	1,27											
26	Przyspieszenie rozruchowe dla i=3%	ar3	(Fmax-Fr3*100)*1000/mpoj	m/s <sup>2</sup>	0,98	0,98	0,98											
27																		
28	<b>Prędkość jazdy</b>	V		km/h	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
29	<b>Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu</b>	Ftr300	ilos*3,6*Ptr/V < Fmax	kn	91,0	91,0	91,0	91,0	87,5	70,0	58,3	50,0	43,7	38,9	35,0	31,8	29,2	26,9
30	<b>Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu</b>	Ftr350	ilos*3,6*Ptr/V < Fmax	kn	91,0	91,0	91,0	91,0	91,0	82,9	69,1	59,2	51,8	46,1	41,5	37,7	34,6	31,9
31	<b>Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu</b>	Ftr400	ilos*3,6*Ptr/V < Fmax	kn	91,0	91,0	91,0	91,0	91,0	91,0	79,9	68,5	59,9	53,3	48,0	43,6	40,0	36,9
32	Sila oporów dla i=0,5%	0	(mpoj/1000*(100*tg+0,9+0,15*V/10)+15*n+3,5*(V/10)^2)/100	kn	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,2	3,7	4,3	4,9	5,6	6,4	7,2	8,1	9,1
33	Sila oporów dla i=1,0%	0,005		kn	5,3	5,4	5,6	5,9	6,2	6,7	7,2	7,7	8,3	9,0	9,8	10,7	11,6	12,5
34	Sila oporów dla i=1,5%	0,01		kn	8,7	8,8	9,0	9,3	9,7	10,1	10,6	11,1	11,8	12,5	13,2	14,1	15,0	16,0
35	Sila oporów dla i=2,0%	0,015		kn	12,1	12,3	12,5	12,8	13,1	13,5	14,0	14,6	15,2	15,9	16,7	17,5	18,4	19,4
36	Sila oporów dla i=2,5%	0,02		kn	15,6	15,7	15,9	16,2	16,5	17,0	17,5	18,0	18,6	19,3	20,1	21,0	21,9	22,8
37	Sila oporów dla i=3,0%	0,025		kn	19,0	19,1	19,3	19,6	20,0	20,4	20,9	21,4	22,1	22,8	23,5	24,4	25,3	26,3
38	Sila oporów dla i=3,0%	0,03		kn	22,4	22,6	22,8	23,1	23,4	23,8	24,3	24,9	25,5	26,2	27,0	27,8	28,7	29,7
39																		
40	<b>Chwilowe przyspieszenie dla mocy 300kW</b>	a300	(Ftr300-Fr0)*1000/mpoj	m/s <sup>2</sup>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	
41	<b>Chwilowe przyspieszenie dla mocy 350kW</b>	a350	(Ftr350-Fr0)*1000/mpoj	m/s <sup>2</sup>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	
42	<b>Chwilowe przyspieszenie dla mocy 400kW</b>	a400	(Ftr400-Fr0)*1000/mpoj	m/s <sup>2</sup>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	
43	<b>Średnie przyspieszenie dla mocy 300kW</b>	as300	Suma(a300)*10x	dcms <sup>2</sup>	12,7	12,7	12,7	12,7	12,6	12,1	11,5	10,8	10,3	9,7	9,2	8,7	8,3	7,7
44	<b>Średnie przyspieszenie dla mocy 350kW</b>	as350	Suma(a350)*10x	dcms <sup>2</sup>	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,5	12,0	11,5	11,0	10,4	10,0	9,5	9,0	8,6
45	<b>Średnie przyspieszenie dla mocy 400kW</b>	as400	Suma(a400)*10x	dcms <sup>2</sup>	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,4	12,0	11,5	11,1	10,6	10,1	9,7	9,3
46																		

**Charakterystyka trakcyjna pojazdu ośmioosiowego  
(wózki dwuosiove) dwuczłonowego załadowanego**

**Tabela 7**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																	
2	<b>Charakterystyka trakcyjna pojazdu ośmioosiowego (wózki dwuosiove) dwuczłonowego załadowanego</b>																
3																	
4	Określenie wielkości	Symbol	Zależności - Formuły	Jedn.	Ps=300kW	Ps=350kW	Ps=400kW										
5	Przyspieszenie ziemskie	g	Zadane >>	ms <sup>-2</sup>	9,81	9,81	9,81										
6																	
7	<b>Silnik spalinowy i przekładnia</b>																
8	Moc silnika brutto	Ps	Zadane >>	kW	300	350	400										
9	Pożreżby własne (max)	Pwf	Zadane >>	kW	30	30	30										
10	Sprawność układu (mm)	teta	Zadane >>	-	0,90	0,90	0,90										
11	Ilość silników spalinowych	ilos	Zadane >>	szt	2	2	2										
12																	
13	<b>Pojazd</b>																
14	Prędkość jazdy	V	Zadane >>	km/h	0	0	0										
15	Masa pojazdu	mpoj	Zadane >>	kg	100000	100000	100000										
16	Ilość osi pojazdu	n	Zadane >>	szt	8	8	8										
17	Masa przyczepna pojazdu	Gnap	(0.53*mpoj/g/1000) Zadane >>	kN	520	520	520										
18	Współczynnik przyczepności	ami	Zadane >>	-	0,18	0,18	0,18										
19																	
20	<b>Sily trakcyjne</b>																
21	Maksymalna siła przyczepności	Fmax	Gnap*ami	kN	91	91	91										
22	Moc trakcyjna	Ptr	(Ps-Pwf)*teta*ilos	kW	486	576	666										
23	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i=0%	FR0	mpoj/1000*(0.9+0.15*V/10)+15*n+3.5*(V/10)^2	daN	210	210	210										
24	Sily oporu pojazdu dla V=0 km/h i=3%	FR3	mpoj/1000*(0.9+0.15*V/10)+15*n+3.5*(V/10)^2+maut*g*.03/10	daN	3153	3153	3153										
25	Przyspieszenie rozruchowe dla i=0%	ar0	(Fmax-FR0/100)*1000/mpoj	ms <sup>-2</sup>	0,89	0,89	0,89										
26	Przyspieszenie rozruchowe dla i=3%	ar3	(Fmax-FR3/100)*1000/mpoj	ms <sup>-2</sup>	0,59	0,59	0,59										
27																	
28	<b>Prędkość jazdy</b>																
29	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	V		km/h	0	10	20										
30	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Ft300	ilos*3.6*Ptr/V < Fmax	kN	91,0	91,0	91,0										
31	Sila trakcyjna w funkcji V i mocy napędu	Ft350	ilos*3.6*Ptr/V < Fmax	kN	91,0	91,0	91,0										
32	Sila oporów dla i=0.0%	Ft400	ilos*3.6*Ptr/V < Fmax	kN	91,0	91,0	91,0										
33	Sila oporów dla i=0.5%	0	(mpoj/1000*(100*V+0.9+0.15*V/10)+15*n+3.5*(V/10)^2)/100	kN	2,1	2,3	2,5										
34	Sila oporów dla i=1.0%	0,005		kN	7,0	7,2	7,4										
35	Sila oporów dla i=1.5%	0,015		kN	11,9	12,1	12,4										
36	Sila oporów dla i=2.0%	0,025		kN	16,8	17,0	17,3										
37	Sila oporów dla i=2.5%	0,025		kN	21,7	21,9	22,2										
38	Sila oporów dla i=3.0%	0,03		kN	26,6	26,8	27,1										
39				kN	31,5	31,7	32,0										
40	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 300kW	a300	(Ft300-Fr10)*1000/mpoj	ms <sup>-2</sup>	0,9	0,9	0,9										
41	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 350kW	a350	(Ft350-Fr10)*1000/mpoj	ms <sup>-2</sup>	0,9	0,9	0,9										
42	Chwilowe przyspieszenie dla mocy 400kW	a400	(Ft400-Fr10)*1000/mpoj	ms <sup>-2</sup>	0,9	0,9	0,9										
43	Srednie przyspieszenie dla mocy 300kW	as300	Suma(a300)*10v	dcms <sup>-2</sup>	8,9	8,9	8,9										
44	Srednie przyspieszenie dla mocy 350kW	as350	Suma(a350)*10v	dcms <sup>-2</sup>	8,9	8,9	8,9										
45	Srednie przyspieszenie dla mocy 400kW	as400	Suma(a400)*10v	dcms <sup>-2</sup>	8,9	8,9	8,9										
46				dcms <sup>-2</sup>	8,9	8,9	8,9										



Rys.11. Charakterystyka trakcyjna dwuczłonowego pojazdu szynowego z wózkami dwuosiowymi dla stanu załadowanego

Drugi obszar obejmował badania symulacyjne wpływu układu zawieszenia silnika trakcyjnego i przekładni osiowej na dynamikę wózka określoną przez wartości współczynnika wykorzystania masy napędowej (przyczepnej) oraz wartości przyspieszeń wzdłużnych i pionowych nadwozia i ramy wózka.

Obliczenia wykonane zostały dla różnych konfiguracji lekkich pojazdów szynowych oraz różnych układów zawieszeń silnika trakcyjnego – nieodsprężony i odsprężony na ramie wózka oraz zawieszony bezpośrednio do ostoi pojazdu.

Przykładowe wyniki przeprowadzonych badań zostały przedstawione w tabelach 8 ÷ 10 dla współczynnika wykorzystania masy napędowej oraz w tabelach 11 ÷ 13 dla przyspieszeń wzdłużnych i pionowych.

Szczegółowe wyniki badań zawiera praca [7].

**Wartości współczynnika wykorzystania masy napędowej – lekki pojazd szynowy dwuczłonowy – wózki jednoosiowe, układ napędowy pod ostoją**

Tabela 8

Układ osi pojazdu	$A_0-1+1-A_0$			$A_0-A_0+1-1$			$A_0-A_0+ A_0-A_0$		
	Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]	44 / 56			44 / 56			44 / 56	
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego	Na ramie wózka nieodsprężony	Na ramie wózka odsprężony	Do ostoi pojazdu	Na ramie wózka nieodsprężony	Na ramie wózka odsprężony	Do ostoi pojazdu	Na ramie wózka nieodsprężony	Na ramie wózka odsprężony	Do ostoi pojazdu
Wartości współczynnika wykorzyst. masy napędowej	0,95/0,96	0,95/0,96	0,95/0,96	0,95/0,96	0,95/0,96	0,95/0,96	0,97/0,98	0,97/0,98	0,97/0,98

**Wartości współczynnika wykorzystania masy napędowej – lekki pojazd szynowy jednoczłonowy – wózki dwuosiowe, układ napędowy wewnątrz pojazdu**

Tabela 9

Układ osi pojazdu	$B_0-2$		
Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]	35÷40 / 50÷55		
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego	Na ramie wózka nieodsprężony	Na ramie wózka odsprężony	Do ostoi pojazdu
Wartości współczynnika wykorzyst. masy napędowej	0,83/0,86	0,89/0,92	0,93/0,94

**Wartości współczynnika wykorzystania masy napędowej – lekki pojazd szynowy trójczłonowy – wózki dwuosiowe, układ napędowy wewnątrz pojazdu**

Tabela 10

Układ osi pojazdu	$B_0-2+2-2-B_0$			$B_0-B_0+2-2+ B_0-B_0$			$B_0-2-2-B_0$		
	Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]	100÷110 / 140÷155			100÷110 / 140÷155			100÷110 / 140÷155	
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego	Na ramie wózka nieodsprężony	Na ramie wózka odsprężony	Do ostoi pojazdu	Na ramie wózka nieodsprężony	Na ramie wózka odsprężony	Do ostoi pojazdu	Na ramie wózka nieodsprężony	Na ramie wózka odsprężony	Do ostoi pojazdu
Wartości współczynnika wykorzyst. masy napędowej	0,80/0,83	0,86/0,89	0,90/0,93	0,86/0,89	0,90/0,93	0,94/0,95	0,83/0,86	0,89/0,92	0,93/0,94

Wartości przyspieszeń wzdłużnych i pionowych nadwozia i ramy wózka w zależności od zastosowanego układu osi pojazdu i zawieszenia silnika trakcyjnego – pojazd trójczłonowy, wózki jednoosiowe, układ napędowy pod ostoją

Tabela 11

Układ osi pojazdu		$A_0-A_0+1-1+A_0-A_0$		
Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]		62 / 80		
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego		Silnik nieodsprężynowany na ramie wózka	Silnik odsprężynowany na ramie wózka	Silnik zawieszony do ostoi pojazdu
Wartości przyspieszeń w $m/s^2$	wzdłużne nadwozia $\ddot{x}_n$	1,65	1,51	1,37
	pionowe nadwozia $\ddot{z}_n$	0,91	1,01	1,21
	wzdłużne ramy wózka $\ddot{x}_w$	2,48	1,97	1,25
	pionowe ramy wózka $\ddot{z}_w$	4,85	3,92	0,87
Układ osi pojazdu		$A_0-A_0+ A_0-A_0 + A_0-A_0$		
Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]		62 / 80		
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego		Silnik nieodsprężynowany na ramie wózka	Silnik odsprężynowany na ramie wózka	Silnik zawieszony do ostoi pojazdu
Wartości przyspieszeń w $m/s^2$	wzdłużne nadwozia $\ddot{x}_n$	1,69	1,55	1,39
	pionowe nadwozia $\ddot{z}_n$	0,95	1,05	1,26
	wzdłużne ramy wózka $\ddot{x}_w$	2,52	1,99	1,27
	pionowe ramy wózka $\ddot{z}_w$	4,86	3,94	0,89

Wartości przyspieszeń wzdłużnych i pionowych nadwozia i ramy wózka w zależności od zastosowanego układu zawieszenia silnika trakcyjnego – pojazd jednoczłonowy, wózki dwuosiowe, układ napędowy wewnątrz pojazdu

Tabela 12

Układ osi pojazdu		$B_0-2$		
Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]		35÷40 / 50÷55		
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego		Silnik nieodsprężynowany na ramie wózka	Silnik odsprężynowany na ramie wózka	Silnik zawieszony do ostoi pojazdu
Wartości przyspieszeń w $m/s^2$	wzdłużne nadwozia $\ddot{x}_n$	1,49	1,41	1,07
	pionowe nadwozia $\ddot{z}_n$	0,79	0,89	1,03
	wzdłużne ramy wózka $\ddot{x}_w$	1,97	1,62	0,98
	pionowe ramy wózka $\ddot{z}_w$	3,71	2,95	0,65

## 5. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych analiz obliczeniowych i badań symulacyjnych można wyciągnąć następujące główne wnioski [3, 4]:

- Dynamika rozruchowa pojazdu jedno- lub wieloczłonowego zasadniczo nie zależy od konfiguracji pojazdu i jest tym większa im większa jest zainstalowana moc napędowa w stosunku do masy pojazdu.

Dla większości pojazdów, których prędkości eksploatacyjne nie przekraczają 120 km/h, a takie przede wszystkim analizowano, optymalny stosunek mocy do masy własnej wynosi 9 ÷ 10 kW/t.

Quasi-statyczne przyspieszenia rozruchowe w zakresie prędkości 0 ÷ 80 km/h osiągają wtedy wartości 0,7 ÷ 1,0  $m/s^2$ , tj. takie, które pozwalają na stosunkowo krótkie przejazdy odcinków międzyprzystankowych.

Zainstalowana moc napędowa przy w/w optymalnym stosunku pozwala bez trudności osiągnąć prędkości maksymalne (120 km/h) na torze płaskim, jak również na niewielkich wzniesieniach.

Osiągi te uzyskać można przy siłach napędowych ograniczonych podczas rozruchu do poziomu wynikającego z „jesiennych” współczynników przyczepności kół, tj. nie przekraczających wartości 0,20 ÷ 0,25.

Wartości przyspieszeń wzdłużnych i pionowych nadwozia i ramy wózka w zależności od zastosowanego układu osi pojazdu i zawieszenia silnika trakcyjnego – pojazd dwuczłonowy, wózki dwuosiowe, układ napędowy wewnątrz pojazdu

Tabela 13

Układ osi pojazdu		B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub> +2-2		
Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]		60÷75 / 95÷105		
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego		Silnik nieodsprężynowany na ramie wózka	Silnik odsprężynowany na ramie wózka	Silnik zawieszony do ostoi pojazdu
Wartości przyspieszeń w m/s <sup>2</sup>	wzdłużne nadwozia $\ddot{x}_n$	1,63	1,52	1,15
	pionowe nadwozia $\ddot{z}_n$	0,84	0,94	1,10
	wzdłużne ramy wózka $\ddot{x}_w$	2,05	1,81	1,05
	pionowe ramy wózka $\ddot{z}_w$	3,95	3,10	0,74
Układ osi pojazdu		B <sub>0</sub> -2+2-B <sub>0</sub>		
Masa pojazdu własna/obciążona [Mg]		60÷75 / 95÷105		
Rodzaj zawieszenia silnika trakcyjnego		Silnik nieodsprężynowany na ramie wózka	Silnik odsprężynowany na ramie wózka	Silnik zawieszony do ostoi pojazdu
Wartości przyspieszeń w m/s <sup>2</sup>	wzdłużne nadwozia $\ddot{x}_n$	1,47	1,40	1,06
	pionowe nadwozia $\ddot{z}_n$	0,77	0,87	1,01
	wzdłużne ramy wózka $\ddot{x}_w$	1,97	1,62	0,98
	pionowe ramy wózka $\ddot{z}_w$	2,71	2,95	0,65

- Współczynnik wykorzystania masy przyczepnej „wcn”, informujący o zdolności układu napędowego pojazdu do rozwijania maksymalnych sił pociągowych bez ryzyka poślizgu, zależy głównie od wartości odciążenia kół napędowych podczas rozruchu. Największe odciążenia kół powstają w układach napędowych mocowanych do zestawów kołowych (zabudowanych w ramach wózków jednoosiowych lub dwuosiowych), mniejsze odciążenia uzyskuje się dla układów zawieszonych na ramach wózków a najmniejsze, gdy są zamocowane do nadwozi.
  - Dynamiczne przyspieszenia chwilowe w kierunku wzdłużnym i pionowym na korpusach reagujących na zmienność sił napędowych (ramy wózków i nadwozia), dla każdego z analizowanych systemów zawieszonych nie przekraczają wartości dopuszczalnych przez odpowiednie normy krajowe (PN) i zagraniczne (UIC, EN). Największe przyspieszenia wzdłużne i pionowe nadwozia występują dla napędów zawieszonych do nadwozia, a największe przyspieszenia wzdłużne i pionowe ram wózków występują, gdy napędy są na nich zawieszane.
- Niewielki wpływ na „wcn” ma konfiguracja całego pojazdu. Jak widać, najlepszy „wcn” bo niewiele mniejszy od wartości 1, osiągany jest dla napędów trakcyjnych zawieszonych (umocowanych) do nadwozi. Niestety ten typ zawieszonych, ze względów konstrukcyjnych, jest rzadko stosowany.
- Najczęściej jest stosowany nieco gorszy, lecz łatwy konstrukcyjnie, system elastycznych zawieszonych na ramach wózków. Wtedy osiągane są wartości „wcn” w zadawalającym zakresie 0,88 ÷ 0,95, pozwalającym względnie łatwo opanować poślizgi kół w porach roku, gdy szyny są śliskie.
- Podstawowo chroni się obsługę pojazdu i pasażerów przed skutkami przyspieszeń, dlatego stosowanie zawieszonych napędów do nadwozi jest niekorzystne, a stosowane wyłącznie z konieczności.
- Przyspieszenia drgań ram wózków oddziałują niekorzystnie na układy zabudowane na wózkach i torowisko. Ponieważ skutki tych przyspieszeń są stosunkowo łatwe do usunięcia, a nie wywołują drgań nadwozi, należy preferować systemy napędowe mocowane do ram wózków. Mocowania systemów napędowych na zestawach kołowych należy unikać nie tylko z punktu widzenia drgań wywołanych przez siły napędowe, ale również z punktu widzenia sił poprzecznych i pionowych na kołach jezdnych, wywołanych zwiększonymi masami nieodsprężynowanymi.

W przypadku prowadzenia dalszych prac projektowych nad spalinowo-elektrycznymi układami napędowymi należy dążyć do przestrzegania następujących zasad:

- zawieszenie silnika trakcyjnego i przekładni nie powinno powodować wzrostu mas nieodsprężynowanych ponad masę zestawu przy prędkościach do 120 km/h, a dla mas przekładni do 0,5 t można zastosować oparcie przekładni bezpośrednio na zestawie kołowym
- średnie przyspieszenie jazdy pojazdu nie powinno przekraczać  $1,0 \text{ m/s}^2$  (najlepiej pomiędzy  $0,6 \div 0,8 \text{ m/s}^2$ )
- ze względu na stan torów należy dążyć do zastosowania odsprężynowanych układów napędowych i sprężel elastycznych
- dla zespołu prądotwórczego (układ wewnętrzny), należy dążyć by jego posadowienie było możliwie miękkie tak, aby drgania własne zespołu były zdecydowanie poniżej prędkości obrotowych silnika.

Ponadto pod uwagę należy wziąć następujące obszary głównych parametrów pojazdów i ich podstawowych zespołów dla prędkości ruchu  $100 \div 120 \text{ km/h}$ :

- masy własne:
  - $23 \div 25 \text{ t}$  jednoczłon
  - $42 \div 48 \text{ t}$  dwuczłon
  - $62 \div 67 \text{ t}$  trójczłon
- moce silników spalinowych:  $250 \div 350 \text{ kW}$  (jednoczłon) oraz  $500 \div 800 \text{ kW}$  (dwuczłon i trójczłon)
- moce silników trakcyjnych  $100 \div 180 \text{ kW}$ .

Dla pozostałych maszyn elektrycznych należy przyjąć następujące parametry (przy założeniu ich sprawności):

- dla prądnic – moc identyczną jak dla silnika spalinowego
- dla przekształtników – moc pozwalającą zrealizować zasilanie silników trakcyjnych, uwzględniając 40% ich przeciążalność
- dla opornic hamowania – moc identyczną jak dla zastosowanych prądnic
- dla przetwornicy do napędów pomocniczych – moc nie przekraczającą  $30 \text{ kW}$ .

Ponadto nie należy odrzucać (ze względu na osiągnięte rezultaty) żadnej z przyjętych konfiguracji pojazdów, zarówno dla wózków jednoosiowych jak i dwuosio-  
wych [5].

W rzeczywistości jednak o parametrach pojazdu i jego konfiguracji decydować będą względy ekonomiczne i użytkowe określone przez Zamawiającego lub Użytkownika.

## LITERATURA

- [1] Grzechowiak R., Marciniak Z., Sienicki A.: „Wybór układu biegowego i napędowego dla krajowego autobusu szynowego”. *Pojazdy Szynowe* nr 4/2003.
- [2] Grzechowiak R., Marciniak Z., Sienicki A.: „Symulacja komputerowa przy wyborze koncepcji i parametrów układów biegowych autobusu szynowego”. *Pojazdy Szynowe* nr 2/2003.
- [3] Marciniak Z.: „Układy napędowe krajowych autobusów szynowych dla ruchu lokalnego”. *Pojazdy Szynowe* nr 3/2003.
- [4] Marciniak Z.: „Przegląd lekkich wieloczłonowych pojazdów szynowych z napędem spalinowo-elektrycznym”. *Pojazdy Szynowe* nr 2/2006.
- [5] Marciniak Z.: „Koncepcja spalinowo-elektrycznych układów napędowych dla lekkich pojazdów szynowych”. *Materiały XVII Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe”* Kazimierz Dolny 2006.
- [6] Praca zbiorowa pod kierunkiem Z. Marciniaka: „Opracowanie i wybór na podstawie badań symulacyjnych układu napędowego i biegowego autobusu szynowego dla ruchu lokalnego”. *Projekt badawczy KBN nr 9T12C04919. Praca niepublikowana. IPS „Tabor”* Poznań 2003.
- [7] Praca zbiorowa pod kierunkiem Z. Marciniaka: „Spalinowo-elektryczny napęd dla lekkich wieloczłonowych pojazdów szynowych”. *Projekt badawczy KBN nr 4T12D01227. Praca niepublikowana. IPS „Tabor”* Poznań 2006.