

Seria: ELEKTRYKA z. 54

Eugeniusz KAŁUŻA

ANALIZA MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA I DOBÓR BATERII AKUMULATORÓW
DO NAPĘDU GŁÓWNEGO WAGONÓW MOTOROWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawowe zależności pomiędzy parametrami trakcyjnymi wagonów akumulatorowych a parametrami technicznymi baterii akumulatorów zainstalowanych w wagonie.

Przeprowadzono obliczenia analityczne przejazdów wybranych wariantów wagonów akumulatorowych.

1. Wstęp

Rozwój technologii zasobnikowych chemicznych źródeł energii elektrycznej, ciągle powiększanie ich energii właściwej masowej, jednostkowej mocy oraz trwałości stworzyło podstawy zastosowania tych źródeł do zasilania silników napędu głównego wagonów motorowych. W dobie intensywnej elektryfikacji linii kolejowych oraz stosowania na liniach nie przewidzianych do zelektryfikowania lokomotyw i wagonów spalinowych celem jest przeprowadzenie analizy możliwości PKP dodatkowo pojazdów akumulatorowych.

2. Wyznaczenie podstawowych parametrów trakcyjnych wagonów motorowych

Podstawowymi parametrami dla wagonów motorowych zasilanych z baterii akumulatorów są:

- promień dojazdu,
- prędkość maksymalna możliwa do uzyskania przez dany pojazd.

Promień dojazdu określa nam drogę, jaką może przebyć pojazd z całkowicie naładowanym akumulatorem przy jeździe ze stałą prędkością na trasie poziomej ($i = 0$) przy znamionowym obciążeniu do całkowitego wyładowania akumulatora.

Promień dojazdu obliczamy ze wzoru:

$$L = \frac{1000 Q_{en}}{m j}, \quad (1)$$

gdzie:

- L - promień dojazdu km,
- Q_{en} - energia użyteczna zgromadzona w baterii akumulatorów kWh,
- m - masa pojazdu (brutto) t,
- j - jednostkowe zużycie energii Wh/tkm.

Energię użyteczną zgromadzoną w baterii akumulatorów wyznaczamy z zależności:

$$Q_{en} = m \beta q_{en}, \quad (2)$$

gdzie:

β - stosunek masy baterii do całkowitej masy obciążonego pojazdu,
 q_{en} - energia właściwa baterii akumulatorów.

Podstawiając wzór (2) do (1) otrzymamy:

$$L = \frac{1000 \beta q_{en}}{j}. \quad (3)$$

Prędkość maksymalną możliwą do uzyskania przez dany pojazd obliczamy ze wzoru:

$$v_{max} = \frac{360 \beta p_B \eta_M}{w_0}, \quad (4)$$

gdzie:

v_{max} - prędkość maksymalna km/h,
 p_B - jednostkowa moc baterii kW/t,
 η_M - sprawność silników trakcyjnych wraz z przekładnią zębatą,
 w_0 - jednostkowe opory jazdy daN/t.

Celem zilustrowania opisanych wzorów obliczono promień dojazdu oraz maksymalną prędkość dla wagonu akumulatorowego o następujących danych:

$$\beta = 0,125; \quad q_{en} = 25 \text{ kWh/t}; \quad p_B = 10 \text{ kW/t}; \quad \eta_M = 0,8$$

$$w_0 = 2,45 \text{ daN/t} \quad \text{przy} \quad 30 \text{ km/h} \quad \text{oraz} \quad w_0 = 4,9 \text{ daN/t} \quad \text{przy} \quad 75 \text{ km/h}.$$

Jednostkowe zużycie energii wagonu poruszającego się ze stałą prędkością $v = 30 \text{ km/h}$

$$j = 2,78 \frac{w_0}{\eta_M} = 8,5 \text{ Wh/tkm}.$$

Promień dojazdu:

$$L = \frac{1000 \beta q_{en}}{j} = 368 \text{ km}.$$

Prędkość maksymalna:

$$V_{\max} = 360,0 \cdot \frac{\beta P_B \eta_M}{w_0} = 74 \text{ km/h} .$$

Wyżej obliczony promień dojazdu będzie można osiągnąć prowadząc wagon motorowy bez zatrzymań z prędkością stałą ok. 30 km/h na charakterystyce określonej np. przez $U_M = 0,5 U_B$ i $\Phi = 100\%$ (U_M , U_B - napięcie silnika i napięcie baterii, Φ - strumień silnika).

Prędkość maksymalną będzie można uzyskać dzięki głębokiemu osłabieniu pola silników trakcyjnych. Prowadząc wagon z możliwie maksymalną prędkością zmniejszamy promień dojazdu, ponieważ jednocześnie zwiększa się jednostkowe zużycie energii trakcyjnej - (wyższe opory jazdy) oraz zmniejsza się pojemność energetyczna baterii na skutek wzrostu prądu wyładowania, co ujawnia się w malejącej wartości współczynnika q_{en} .

3. Wyznaczenie zależności pomiędzy maksymalnym przyspieszeniem rozwijanym przez pojazd (wagon motorowy z wagonami doczepnymi lub bez) a dopuszczalną obciążalnością baterii akumulatorów

Dane wyjściowe:

m_p - masa pojazdu lub pociągu t,

m_B - masa baterii t,

$$\beta = \frac{m_B}{m_p} ,$$

Q_{en} - energia zgromadzona w baterii kWh,

q_{en} - jednostkowa pojemność energetyczna baterii kWh/t,

P_B - jednostkowa moc baterii kW/t,

a_x - przyspieszenie rozruchu m/s^2 ,

v_x - prędkość końcowa rozruchu km/h,

F_x - średnia wartość siły pociągowej w czasie rozruchu daN,

η_M - sprawność silników trakcyjnych wraz z przekładnią,

$1+\tau$ - współczynnik mas wirujących.

Moc na zaciskach silników trakcyjnych przy końcu rozruchu określamy z zależności

$$P_x = \frac{F_x v_x}{360 \eta_M} \text{ kW},$$

$$F_x = m_p [w_0 + 100(1+\tau)a_x] \quad (5)$$

dla wagonów motorowych $1 + \gamma = 1,1$.

Moc na jednostkę masy pojazdu będzie równa

$$p_T = \frac{[w_0 + 100(1 + \gamma)a_T] v_T}{360 \eta_M} \quad (6)$$

Tak określonej mocy jednostkowej p_T musi odpowiadać moc jednostkowa baterii przeliczona na masę pojazdu (pociągu)

$$p_T \cdot m_p = p_B \cdot m_B = p_B \cdot m_p \cdot \beta \quad (7)$$

Aby zabezpieczyć baterie przed wyładowaniem prądem większym od założonego przy rozruchu pojazdu, musi być spełniony warunek

$$p_B \geq \frac{p_T}{\beta} \quad (8)$$

lub

$$p_B \geq \frac{[w_0 + 100(1 + \gamma)a_T] v_T}{360 \eta_M \cdot \beta} \quad (9)$$

Większość stosowanych w pojazdach trakcyjnych baterii akumulatorów (ołowowych, niklowo-kadmowych i niklowo-żelaznych) można obciążyć mocą jednostkową

$$p_{Bmax} = 15 \text{ kW/t.}$$

Stosunek masy baterii do całkowitej masy wagonu lub pociągu (np. wagonu motorowego + 2 wagony doczepne) spotykany w rozwiązaniach pojazdów akumulatorowych mieści się w granicach

$$\beta = 0,15 - 0,35$$

Jednostkowe opory ruchu wagonów motorowych zestawionych z wagonami doczepnymi w jednostki pociągowe wyznaczono ze wzoru:

$$w_0 = 2,94 + \frac{1}{25,5} \left(\frac{v}{10}\right)^2 \left[\text{daN/t, km/h}\right]. \quad (10)$$

Sprawność silnika wraz z przekładnią przyjęto jako wartość stałą

$$\eta_M = 0,87.$$

Przyspieszenie rozruchu w ruchu kolejowym pasażerskim jest ograniczone z jednej strony przeciepnnością kół napędnych, a z drugiej (minimalne wartości), koniecznością utrzymania określonej średniej prędkości jazdy na danym odcinku trasy.

Do dalszych przeliczeń przyjęto następujący zakres przyspieszeń rozruchu:

$$a_r = 0,1-0,9 \text{ m/s}^2.$$

Dla powyższych założeń przeliczono i zestawiono w tablicy 1 możliwe do uzyskania końcowe prędkości rozruchu. Z zależności (9) otrzymamy wzór na końcową prędkość rozruchu

$$v_r = \frac{p_B \cdot 360 \cdot \eta \cdot n \cdot \beta}{w_0 + 100(1 + \gamma) a_r} \cdot \quad (11)$$

Po podstawieniu przyjętych wartości stałych otrzymamy:

$$v_r = \frac{4700 \cdot \beta}{w_0 + 110 a_r} \cdot \quad (12)$$

Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 1.

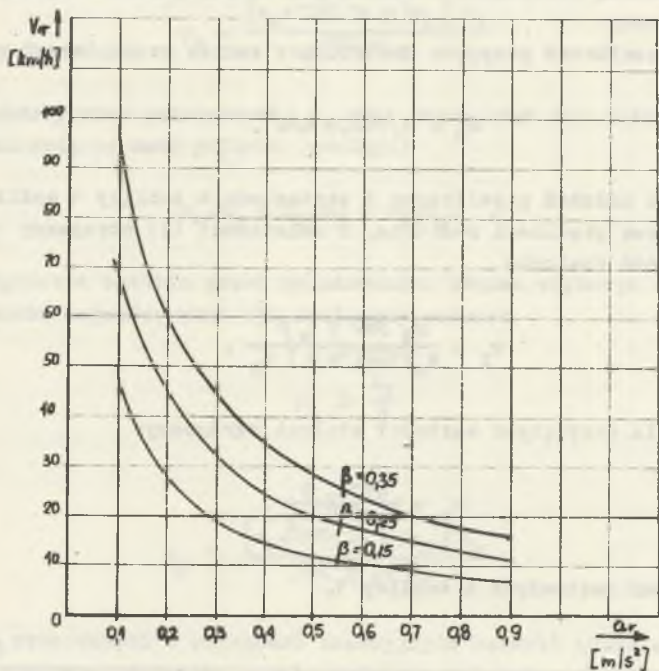
Tablica 1

β	$a_r \text{ [m/s}^2\text{]}$	$v_r \text{ [km/h]}$
1	2	3
0,15	0,1	47,4
0,15	0,3	19,5
0,15	0,6	10,2
0,15	0,9	6,92
0,25	0,1	69,8
0,25	0,6	17,1
0,25	0,9	11,5
0,35	0,1	97,8
0,35	0,3	45,2
0,35	0,6	23,9
0,35	0,9	16,1

Na podstawie tab. 1 narysowano na rys. 1 przebiegi $v_r = f(a_r)$.

Z rys. 1 wynika, że możliwość uzyskania dużych przyspieszeń rozruchu ogra-

nicza znaczenie wartości końcowych prędkości rozruchu a tym samym możliwość rozwinięcia wysokiej prędkości maksymalnej pojazdu.



Rys. 1

Dla trakcyjnego silnika szeregowego prądu stałego z możliwością głębokiego osłabienia pola obowiązuje zależność:

$$v_r \geq 0,4 \div 0,45 v_{\max}$$

W związku z tym dla założonej prędkości $v_{\max} = 80$ km/h, końcowa prędkość rozruchu będzie równa:

$$v_r = 32 \text{ km/h}$$

a odpowiadające jej przyspieszenia rozruchu

$$\text{dla } \beta = 0,35 \quad a_r = 0,45 \text{ m/s}^2,$$

$$\text{dla } \beta = 0,25 \quad a_r = 0,31 \text{ m/s}^2,$$

$$\text{dla } \beta = 0,15 \quad a_r = 0,18 \text{ m/s}^2.$$

Uzyskiwanie tak niskich przyspieszeń rozruchu wyklucza możliwość stosowania trakcji akumulatorowej do obsługi ruchu pasażerskiego na liniach podmiejskich o małych odległościach międzyprzystankowych rzędu 1÷2 km. Natomiast na liniach o dłuższych odległościach międzyprzystankowych rzędu 3÷5 km i więcej oraz małym natężeniu ruchu trakcja akumulatorowa mogłaby w wielu wypadkach zastąpić stosowaną obecnie trakcję parową lub spalinową. Dla poparcia powyższej tezy zestawiono w tab. 2 dane szeregu linii kolejowych, na których obsługę ruchu pasażerskiego mogłaby przyjąć trakcja akumulatorowa. Odległości pomiędzy stacjami końcowymi, na których istniałaby możliwość doładowywania baterii wynoszą:

od 11 do 56 km.

Średnia odległość międzyprzystankowa

$$L = 3,3 \div 5,4 \text{ km; } \text{wyjątkowo } 11 \text{ km (Nr 176).}$$

Prędkość podróżna:

$$v_{\text{podr}} = 32,5 \div 42,1 \text{ km/h.}$$

Prędkość średnia (techniczna)

$$v_t = 33,4 \div 47,6 \text{ km/h.}$$

Tablica 2

Zestawienie linii kolejowych, na których obsługę ruchu pasażerskiego mogłaby przejąć trakcja akumulatorowa

(Na podstawie rejonowego rozkładu jazdy Katowice 1974/1975)

Nr linii (nr tabeli rozkł. jazdy)	Długość km	Ilość odcinków międzyprzystankowych	Średnia odległość międzyprzystankowa	Minimalny czas jazdy h	Prędkość podróżna km/h	Prędkość techniczna km/h
1	2	3	4	5	6	7
158	54	10	5,4	1,283	42,1	47,6
159	46	11	4,2	1,33	34,6	39,7
162	20	6	3,3	0,60	33,3	38,8
163	13	4	3,3	0,40	32,5	37,2
173	56	11	5,1	1,50	37,4	42,0
176	11	1	11	0,33	33,4	33,4
178	20	4	5	0,50	40,0	44,5

cd. tablicy 2

1	2	3	4	5	6	7
201	46	11	4,2	1,28	36,0	41,4
202	51	14	3,6	1,50	34,0	39,7

x) Czas jazdy łącznie z postojami na pośrednich stacjach i przystankach.

Uwaga! Na całej sieci PKP znajduje się kilkadziesiąt linii o podobnych parametrach.

4. Obliczenia analityczne przejazdów wagonów akumulatorowych

Dla pełniejszego udokumentowania możliwości uzyskania przez pojazdy akumulatorowe lepszych parametrów ruchowych od obecnie uzyskiwanych na liniach wyszczególnionych w tab. 2 wykonano obliczenia analityczne wariantów przejazdów wagonami akumulatorowymi płaskiego odcinka linii kolejowej o długości 4 km.

Dane pociągu:

$$\beta = 0,15 \quad \text{i} \quad 0,25; \quad p_{B_{\max}} = 15 \text{ kW/t}; \quad q_{\text{en}} = 30 \text{ kWh/t}$$

(dla 5 godz. prądu wyładowania).

4.1. Wyznaczenie charakterystyk $a_{\text{sr}} = f v_{\text{sr}}$ dla $p = 15 \text{ kW/t}; \beta = 0,15 \text{ i} \ 0,25$

Przekształcając zależność 9 otrzymamy:

$$a_{\text{sr}} = \frac{360 \eta_M p_B \beta}{v_{\text{sr}} 100(1+\gamma)} - \frac{w_0}{100(1+\gamma)} \quad (13)$$

Podstawiając do wzoru (13) następujące dane

$$\eta_M = 0,87; \quad \beta^{(1)} = 0,15,$$

$$p_B = 15 \text{ kW/t}; \quad \beta^{(2)} = 0,25,$$

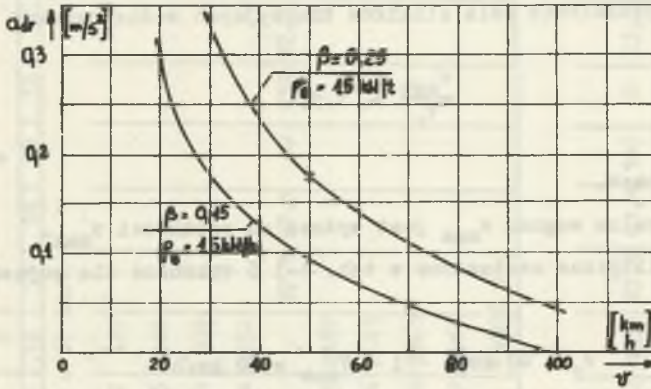
$$(1+\gamma) = 1,1,$$

otrzymamy:

$$a_{\text{sr}}^{(1)} = \frac{6,4}{v_{\text{sr}}} - \frac{w_0}{110} \quad (14)$$

$$a_{\text{sr}}^{(2)} = \frac{10,7}{v_{\text{sr}}} - \frac{w_0}{110} \quad (15)$$

Charakterystyki wyznaczone na podstawie zależności (14) i (15) przedstawiono na rys. 2, zaś przeliczenia punktów charakterystyk zestawiono w tab. 3.



Rys. 2

Tablica 3

v_{sr} km/h	w_0 daN/t	$\beta = 0,15$	$\beta = 0,25$
		a_{sr} m/s^2	a_{sr} m/s^2
1	2	3	4
30	3,3	0,185	0,328
36	3,4	0,148	0,267
42	3,6	0,120	0,223
48	3,8	0,099	0,189
54	4,2	0,080	0,161
60	4,4	0,0673	0,139
65	4,6	0,0576	0,124
70	4,95	0,0473	0,1087
75	5,25	0,0386	0,096
80	5,5	0,0308	0,0845
90	6,2	0,0158	0,0635
100	7,3		0,042

4.2. Obliczenia analityczne przejazdów

Założenie:

Przy zwiększaniu prędkości od 0 do v_r rozruch pojazdu odbywa się przy stałym prądzie silników trakcyjnych I_r i stałym polu – czyli ze stałym przyspieszeniem.

Od v_r do v'_{max} stała wartość prądu silników trakcyjnych utrzymywana jest dzięki osłabieniu pola silników trakcyjnych.

Przy głębokim osłabieniu pola silników trakcyjnych można uzyskać

$$\frac{v'_{max}}{v_r} \leq 1,5,$$

dla $I = I_r = \text{const.}$

Prędkość maksymalna wagonu v_{max} jest wyższa od prędkości v'_{max} .

Obliczenia analityczne zestawione w tab. 4 i 5 wykonano dla pojazdów, które osiągają:

$$v_r = 40 \text{ km/h} \quad \text{i} \quad v'_{max} = 60 \text{ km/h}$$

oraz

$$v_r = 53 \text{ km/h} \quad \text{i} \quad v'_{max} = 80 \text{ km/h}$$

Przyspieszenia rozruchu odpowiadające v_r oraz prędkościom średnim $v_{sr} > v_r$ określono z rys. 2.

Wartości Δt i Δl obliczono z zależności:

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a_{sr}}; \quad \Delta l = v_{sr} \Delta t$$

Na podstawie obliczeń wykreślono przebiegi $v = f(l)$ rys. 3.

4.3. Wyznaczenie ubytku pojemności baterii akumulatorów q_{en} odpowiadającego przejazdowi odcinka długości 4 km

Ubytek pojemności energetycznej baterii liczony na masę baterii czyli ubytek jednostkowej pojemności energetycznej baterii q_{en} obliczono z następującej zależności:

$$\Delta q_{en} = \frac{p_{Bmax}}{2} \frac{t_r}{3600} (1 + \xi) + \frac{p_{Bmax}}{3600} t_{jpp} + \frac{p_{Bu}}{3600} t_{ju} \text{ kWh/t}, \quad (16)$$

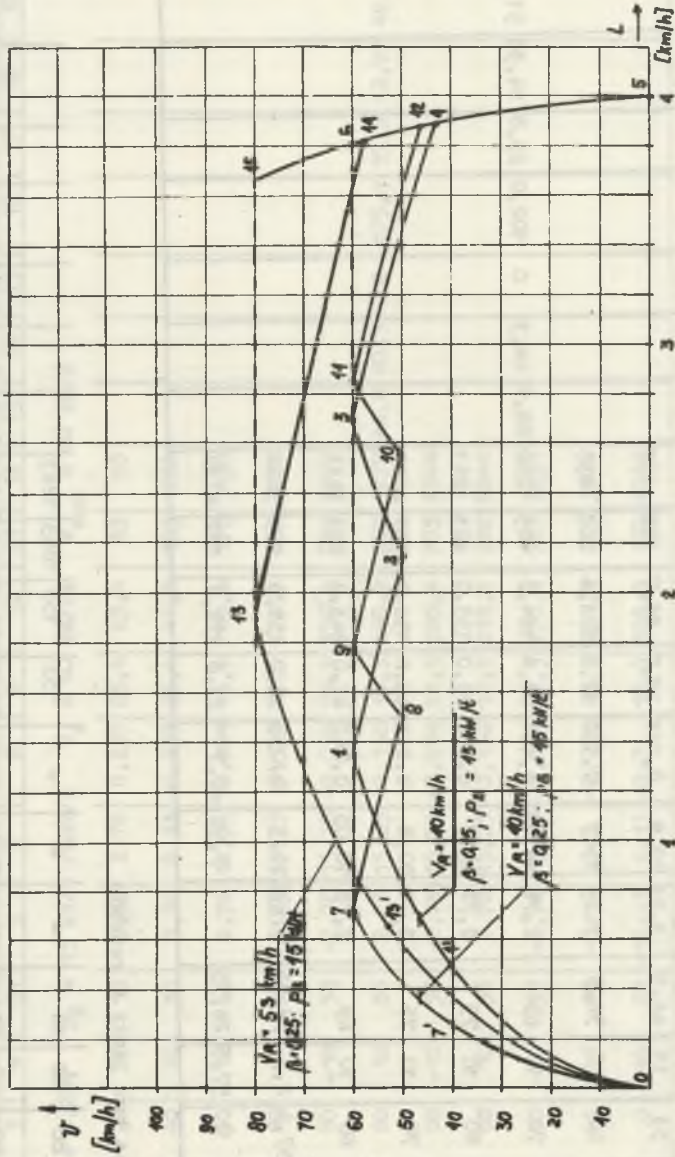
Tablica 4

Pkt. x)	v ₁	v ₂	Δv	v _{śr}	Δv	v _{śr}	a _{śr}	Δt	Σ Δt	Δl	Σ Δl	t _r	t _{jpp}	t _{ju}	t _{jo}	t _n	v _t	v _t	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1) β = 0,15; P _B = 15 kW/t /max/; v _r = 40 km/h; v' _{max} = 60 km/h																			
0	0	20	20	10	5,56	2,78	0,127	43,8	43,8	122	122								I _R
	20	40	20	30	5,56	8,33	0,127	43,8	87,6	365	487								I _R
	40	50	10	45	2,78	12,5	0,108	25,7	113,3	321	808								I _R
1	50	60	10	55	2,78	15,25	0,078	35,7	149	544	1352								I _R
2	60	50	-10	55	-2,78	15,25	-0,054	51,5	200,5	785	2137	87,6	97,1	0	134	17,1	11,9	42,8	0
3	50	60	10	55	2,78	15,25	0,078	35,7	236,2	544	2681								I _R
4	60	43	-17	51,5	-4,72	14,3	-0,054	82,5	318,7	1180	3861								0
5	43	0	43	21,5	-11,94	5,97	-0,7	17,1	335,8	102	3963								0
										L	≈ 4000								
2) jw. lecz bez jazdy z rozpędu																			
0																			
1	0	60	60	30	-	-	-	143	143	1352	1352	87,6	61,4	147	0	23,8	12,5	45,1	I _R
6	60	60	0	60	0	16,67	0	147	296	2450	3802								I _u
5	60	0	-60	30	16,67	8,33	-0,7	23,8	319,8	198	4000								0

x) Punkty na wykresach v = f(t) rys. 3

Tablica 5

Pkt.	v_1	v_2	Δv	$v_{\text{śr}}$	Δv	$v_{\text{śr}}$	$a_{\text{śr}}$	Δt	$\sum \Delta t$	Δl	$\sum \Delta l$	t_T	t_{jpp}	t_{ju}	t_{jo}	t_n	v_t	v_t	I	
	km/h		m/s		m/s		m/s^2	s	s	m	m		s	s		m/s	km/h			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3)	$\beta = 0,25$; $p_B = 15 \text{ kW/t /max/}$; $v_x = 40 \text{ km/h}$; $v_{\text{max}} = 60 \text{ km/h}$																			
0	0	20	20	10	5,56	2,78	0,237	23,4	23,4	65	65									I_R
7	20	40	20	30	5,56	8,33	0,237	23,4	46,8	195	260									I_R
	40	50	10	45	2,78	12,5	0,204	13,6	60,4	170	430									I_R
7	50	60	10	55	2,78	15,25	0,150	18,5	78,9	282	712									I_R
8	60	50	-10	55	-2,78	15,25	-0,054	51,5	130,5	785	1497									0
9	50	60	10	55	2,78	15,25	0,150	18,5	148,9	282	1779	46,8	69,1	0	175,1	17,5	12,97	46,7		I_R
10	60	50	-10	55	-2,78	15,25	-0,054	51,5	200,4	785	2564									0
11	50	60	10	55	2,78	15,25	0,150	18,5	218,9	282	2846									I_R
	60	50	-10	55	-2,78	15,25	-0,054	51,5	270,4	785	3631									0
12	50	46	-4	48	-1,11	13,3	-0,054	20,6	291,0	275	3906									0
5	44	0	-44	22	-12,13	6,11	-0,7	17,5	308,5	107	4013									0
4)	$\beta = 0,25$; $p_B = 15 \text{ kW/t /max/}$; $v_x = 53 \text{ km/h}$; $v_{\text{max}} = 80 \text{ km/h}$																			
0	0	20	20	10	5,56	2,78	0,166	33,5	33,5	93	93									I_R



Krys. 3

gdzie:

t_x - czas uzyskania prędkości v_x ,

t_{jpp} - czas jazdy pod prądem przy $P_B = 15 \text{ kW/t}$
od v_x do v_{max} ;

t_{ju} - czas jazdy ustalonej,

ξ - stosunek mocy straconej w układzie rozruchowym do mocy pobranej przez silniki trakcyjne,

$\xi = 0,1$

W powyższych obliczeniach Δq_{en} nie uwzględniono możliwości doładowania baterii akumulatorów w czasie hamowania. Rozwiązanie z ww. doładowaniem baterii jest opłacalne jedynie przy jeździe na małych odległościach między przystankowych. Wartość współczynnika ξ można ograniczyć realnie do $5 \div 10\%$ dzięki stosowaniu układów diodowo-stycznikowych umożliwiającym dokonywanie szeregu przełączeń baterii oraz silników trakcyjnych przy znacznym ograniczaniu strat mocy w rezystorach rozruchowych lub dzięki stosowaniu układów tyrystorowych (przerywaczy).

Pobór mocy jednostkowej przy jeździe z prędkością ustaloną można obliczyć z zależności 9 przyjmując $a = 0$ i $v = v_u$

$$P_{Bu} = \frac{w_0 v_u}{360 \eta_M \beta} ; \quad v'_{max} = v_u, \quad (17)$$

Dla $\beta = 0,15$; $v'_{max} = 60 \text{ km/h}$; $w_0 = 4,32 \text{ da N/t}$ $\eta_M = 0,87$.

$P_{Bu} = 5,52 \text{ kW/t}_{bat}$.

Dla $\beta = 0,25$; $v'_{max} = 60 \text{ km/h}$; $w_0 = 4,32 \text{ da N/t}$.

$P_{Bu} = 3,31 \text{ kW/t}_{bat}$.

Dla $\beta = 0,25$; $v'_{max} = 80 \text{ km/h}$; $w_0 = 5,4 \text{ da N/t}$.

$P_{Bu} = 5,51 \text{ kW/t}_{bat}$.

Jednostkowe zużycie energii baterii j [Wh/tkm] obliczono ze wzoru:

$$j = \frac{1000 \Delta q_{en} \beta}{L} , \quad (18)$$

Wyniki obliczeń ubytku jednostkowej pojemności energetycznej baterii oraz jednostkowego zużycia energii zestawiono w tabl. 6.

Dodatkowo w tab. 6 zestawiono wyniki obliczeń promienia dojazdu wagonów akumulatorowych

Tablica 6

Nr prze- jeżdzu	Charakterystyka przejazdu				Ubytek jednostkowej pojemności baterii				Promień dojazdu oraz jednostkowe zuży- cie energii						
	v_I	v_{max}	v_h	v_t	β	q_1	q_2	q_3	Δq_{en}	q_{en} (zał.)	$\sum l'$	$\sum t$ wyjbat	q_{en} (skoryg)	$\sum l$	q
	km/h					kWh/ t_{bat}				$\frac{kWh}{t_{bat}}$	km	godz.	$\frac{kWh}{t_{bat}}$	km	$\frac{Wh}{tkm}$
1	40	60	43	42,8	0,15	0,201	0,405	0	0,606	25	165	2,1	23	152	22,7
2	40	60	60	45,1	0,15	0,201	0,256	0,226	0,683	25	146	3,01	26	152	25,6
3	40	60	44	46,7	0,25	0,107	0,288	0	0,395	25	253	2,04	23	233	24,7
4	53	80	57,5	51,7	0,25	0,203	0,268	0	0,471	25	212	2,26	23	195	29,4
5	53	80	80	54,3	0,25	0,203	0,268	0,123	0,594	25	168	2,73	25	168	37,1

W tablicy 6 przyjęto następujące oznaczenia:

$$q_1 = \frac{P_{Bmax} \cdot t_I}{2 \cdot 3600} (1 + \xi) ; \quad q_2 = \frac{P_{Bmax} \cdot t_{jpp}}{3600} ; \quad q_3 = \frac{P_{Bu} \cdot t_{ju}}{3600}$$

$$\sum l' = \frac{4q_{en} / \text{zał.} /}{\Delta q_{en}} ; \quad \sum l = \frac{4q_{en} / \text{skoryg} /}{\Delta q_{en}}$$

$$\sum L' = \frac{4 q_{en\ za\dot{z}}}{\Delta q_{en}} \quad (19)$$

gdzie: $q_{en\ za\dot{z}}$ - założona jednostkowa pojemność energetyczna baterii w kWh/ t_{bat} .

W liczniku zależności (19) mnożnik 4 wynika stąd, że ubytek jednostkowej pojemności baterii wyznaczono dla odcinka o długości 4 km. Promień dojazdu obliczono pierwotnie dla założonej pojemności energetycznej baterii $q_{en\ za\dot{z}}$ a dalej po wyznaczeniu czasu wyładowania baterii:

$$t_{wy\dot{z}.bat} = (t_r + t_{jpp} + t_{ju}) \frac{q_{en\ za\dot{z}}}{3600 q_{en}}, \quad (20)$$

obliczono wartość skorygowaną $\sum l$ na podstawie skorygowanej wartości pojemności energetycznej baterii.

Ta ostatnia zależy bowiem od czasu wyładowania baterii.

Jeżeli uwzględnimy w obliczeniach $\sum l$ warunki zimowe (obniżenie pojemności energetycznej baterii o ok. 30-40%) to promienie dojazdu zmaleją o ok. 30-40% - co nie stanowi czynnika eliminującego możliwości stosowania pojazdów akumulatorowych do obsługi ruchu pasażerskiego.

5. Wnioski

Przeprowadzone obliczenia wskazują, że istnieje możliwość i celowość wprowadzenia na szeregu bocznych linii kolejowych trakcji akumulatorowej w postaci wagonów pasażerskich. Trakcja akumulatorowa na linii o średnich odległościach międzyprzystankowych rzędu 3 do 5 km i odległościach między stacjami końcowymi rzędu kilkudziesięciu km będzie konkurencyjna [3] pod względem kosztów z trakcją spalinową i parową i co najmniej równorzędna w odniesieniu do parametrów technicznych.

LITERATURA

- [1] Jansa F. Elektrické Vozidla. Wyd. VSD, Zilina 1970.
- [2] Sachs K. Elektrische Triebfahrzeuge, tom 2. Springer-Verlag Wien -New York 1973.
- [3] Opracowanie NB-165/114/RE-3/11/9/74 Instytutu Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki Politechniki Śląskiej. 1975 r. - praca niepublikowana.
- [4] "Kwasowe ogniwo trakcyjne z dodatnimi płytami pancernymi". Instrukcja obsługi. Wyd. WKMA, Warszawa 1974.
- [5] Varta Fahrzeug - Bleiakumulatoren - Typenübersicht, Hannover 1974.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПОДБОР АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ
К ГЛАВНОМУ ЭЛЕКТРОПРИВОДУ АККУМУЛЯТОРНЫХ ВАГОНОВ

Р е з ю м е

В работе представлены основные зависимости между тяговыми параметрами аккумуляторных вагонов и техническими параметрами батареи аккумуляторов. Сделан аналитический расчет проездов по избранным вариантам аккумуляторных вагонов.

ANALYSIS OF POSSIBILITY OF USAGE AND SELECTION OF STORAGE BATTERIES
FOR THE MAIN DRIVE OF MOTOR COACHES

S u m m a r y:

The article presents basic relations between traction parameters of battery coaches and technical parameters of storage batteries installed in them.

Analytic calculations of the rides performed by chosen types of battery coaches have been carried out.