

Energochłonność pociągów zespołowych na duże prędkości

W artykule przedstawiono we wstępie uwagi ogólne na temat taboru kolejowego na wysokie prędkości, a następnie zestawiono charakterystykę techniczną niektórych pociągów zespołowych. Kolejne rozdziały zawierają sposób wyznaczania oporów ruchu takich pociągów i wyniki przykładowych obliczeń, które dalej zostały porównane z charakterystykami wybranych pociągów zespołowych. Na podstawie tego materiału zostały wyznaczone wymagane moce układów napędowych i charakterystyki trakcyjne tych pociągów. W zakończeniu odniesiono się do konsekwencji wyboru systemu zasilania w odniesieniu do mocy zainstalowanej w eksploatowanych pociągach.

1. WSTĘP

Kolejowe pojazdy na duże prędkości są z reguły pojazdami z napędem elektrycznym. Jednymi z szybszych lokomotyw spalinowych eksploatowanymi w Europie są niemiecka lokomotywa serii DE1024 i duńska serii ME. Obie są przeznaczone do jazdy z prędkościami maksymalnymi 160 km/h. Z zespołów trakcyjnych z silnikiem spalinowym najszybszy jest obecnie IC3 kolei duńskich DSB na prędkość maksymalną 180 km/h [14]. Wynika z tego, że spalinowe pojazdy trakcyjne zgodnie z klasyfikacją Unii Europejskiej w zasadzie zaliczone są do systemu kolei konwencjonalnych (*Conventional Railway*) [25].

Lokomotywy i zespoły trakcyjne (pociągi zespołowe – *train sets*) na prędkość powyżej 190 km/h zaliczane do systemu kolei wysokich prędkości (*High Speed*) budowane są z elektrycznym napędem trakcyjnym zasilanym z sieci napowietrznej i nic nie wskazuje, by ta tendencja miała się w najbliższej przyszłości zmienić.

Pociągi dużych prędkości wymagają zainstalowania odpowiednio dużych mocy, co zostanie wykazane w dalszej części artykułu. Wprowadzenie do pojazdu tak znacznych mocy elektrycznych, ich przetworzenie i dystrybucja wymaga rozwiązania kilku problemów konstrukcyjnych, między innymi:

- wyboru jednego ze znormalizowanych, najkorzystniejszego systemu zasilania (poziomu napięcia) sieci trakcyjnej
- wyznaczenia właściwego napięcia zasilania silników trakcyjnych dla optymalnego doboru układu silnik trakcyjny – przekształtnik trakcyjny
- przeniesienia mocy przez ruchomy zestyk pantograf – sieć trakcyjna, podlegający w trakcie jazdy ciągłym zmianom dynamicznym, zarówno elektrycznym jak i mechanicznym

- niezawodnego, szybkiego zabezpieczenia urządzeń elektrycznych na pojeździe przed przeciążeniami i zwarciami za pomocą wyłącznika szybkiego
- minimalizowania strat, zwłaszcza w urządzeniach przetwarzających energię elektryczną (transformatory, przekształtniki, silniki) w celu racjonalizowania poboru energii oraz ograniczenia gabarytów i mas elementów systemu chłodzącego te urządzenia
- ograniczenia prądów zakłócających sieć trakcyjną w wyniku odkształcenia napięć przetwarzanych w przekształtnikach impulsowych oraz zakłócających urządzenia przytorowe sterowania ruchem kolejowym.

Poprawne rozwiązanie tych zagadnień w konstrukcji układów elektrycznych pojazdów kolejowych na duże prędkości wymaga wyznaczenia niezbędnych zakresów ich mocy. Sposób ich wyznaczania jest jednym z wątków niniejszego artykułu. Część z tych problemów była z powodzeniem rozwiązywana w procesie konstruowania pojazdów trakcyjnych kolei konwencjonalnych. Przy dużych prędkościach powstają dodatkowe problemy konstrukcyjne, które muszą pokonać projektanci i producenci taboru kolejowego.

2. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA WYBRANYCH POCIĄGÓW ZESPOŁOWYCH

Dla wyznaczenia niezbędnej dla określonej prędkości mocy pociągów zespołowych i późniejszego ich porównania celowe jest zestawienie tych cech pociągów, które wpływają na opory ruchu, a w efekcie na zainstalowaną w pojeździe niezbędną moc. Takie zestawienie parametrów zawierają tablice 1÷3 [9, 19, 26].

Tabela 1. Dane pociągów ETR

Skład	Rok dostawy	Liczba [szt.]	V _{max} [km/h]	Wagony w składzie		Długość składu [m]	Pojemność składu [l. miejsc]	Zasilanie	Masa w stanie służbowym [t]	Nacisk na oś [t]	Moc ciąгла [kW]	Maks. przechył nadwozia [%]
				silnikowe	doczepne							
ETR 450	1987–1998	15	250	1	8	208	390	3 kV	435	13,0	4700	8
ETR 460	1994	7	250	3	6	237	448	3 kV 3 kV/1,5 kV	433	14,6	5880	8
	1995–1996	3										
ETR 480	1997	15	250	3	6	237	480/492	3 kV, 25 kV 50 Hz	433	14,5	5880	8
ETR 470*	1996	9	200	5	4	237	504	3 kV, 15 kV 16 ² / ₃ Hz	450	14,5	5880	8
ETR 500	1991	2	300	2	10	302	672	3 kV 3 kV, 25 kV 50 Hz	556	19,0	8500	0
	1995–1997	30			11	328	663		642			
	1997–1999	10			8	250	490		472			
	1997–1999	20			11	328	663		642			
Pendolino nuovo	2006–2007	12	250	4	3	188	432	3 kV, 25 kV 50 Hz	443	17,0	5500	8
Pendolino Cisalpino	2006–2007	14	250	4	3	188	431	3 kV, 25 kV 50 Hz, 15 kV 16 ² / ₃ Hz	450	17,0	5500	8

Tabela 2. Dane pociągów ICE

Typ pociągu	ICE 1	ICE 2	ICE 3 1-systemowy	ICE 3 4-systemowy
Rok budowy	1990	1997	1999	1999
Prędkość maksymalna [km/h]	280	300	330	300
Układ wagonów	2s+12d	1s+7d	4s+4d	4s+4d
Liczba miejsc do siedzenia	192+435	105+263	136+244	390
Moc [kW]	9600	4800	8000	8000
Długość [m]	358	205	200	200
Masa [t]	795	410	409	435
Zasilanie [kW]	15	15	15	15/25/3/1,5
Operator	DB	DB	DB	DB

Tabela 3. Dane pociągów TGV

Typ pociągu	TGV-PSE	TGV-A	TGV-R	Eurostar	Thalys	TGV-D	AVE	TGV Korea	TGV-POS	AGV
Rok budowy	1978	1989	1992	1994	1997	1997	1991	2002	2007	Prototyp od 2001
Prędkość maksymalna [km/h]	270	300	300	300	300	320	300	300	320	320–350
Układ wagonów	2s+8d	2s+10d	2s+8d	2s+18d	2s+8d	2s+8d	2s+8d	2s+16d	2s+8d	do 11
Liczba miejsc do siedzenia	108+260	116+369	120+257	210+560	120+257	197+384	116+213	935	120+257	do 465
Moc [kW]	6420	8800	8800	12 240	8800	8800	8800	13 200	9600	od 2800
Rodzaj napędu	Prąd stały	Synchro- niczny	Synchro- niczny	Synchro- niczny	Synchro- niczny	Synchro- niczny	Synchro- niczny	Synchro- niczny	Asynchro- niczny	Asynchroniczny z silnikami z mag- nesami stałymi
Długość [m]	200	238	200	394	200	200	200	393	200	132–201
Masa [t]	385	484	386	752	386	380	392	750	389	
Zasilanie [kV]	25/15/1,5	25/1,5	25/3/1,5	25/3/1,5/ /0,75	25/15/3/ /1,5/0,75	25/1,5	25/3	25 (60 Hz)	25/15/1,5	25/15/3/1,5
Operator	SNCF	SNCF	SNCF	Eurostar	Thalys	SNCF	RENFE	Korea	SNCF	

3. OPORY RUCHU ELEKTRYCZNYCH POJAZDÓW TRAKCYJNYCH

Dobór mocy elektrycznych pojazdów trakcyjnych kolei konwencjonalnej do prędkości 190 km/h nie nastęrcza wielu problemów. Niewielkie nawet błędy w wyznaczeniu oporów ruchu, które są podstawą określenia wymaganej charakterystyki trakcyjnej, nie mają istotnego znaczenia dla doboru mocy. Nie jest tu nawet istotna metoda wyznaczenia mocy napędu [6]. We wszystkich metodach dotyczących wysokich prędkości kluczową sprawą jest dokładność odwzorowania wszystkich składników oporów ruchu.

Jedną z lepiej znanych z literatury zależnościami na wyznaczenie oporów ruchu odnoszącą się jednoznacznie do pociągów zespołowych jest niżej podany wzór opublikowany przez Petersa [16], opracowany i zweryfikowany dla pociągu zespołowego ICE [20]:

$$F = 1.14 \cdot M + (0.0025 \cdot M - 0.32 + 1.39 \cdot \dot{n}) \cdot v + (0.0156 + 0.0037 \cdot n) \cdot \dot{n} \cdot T_r \cdot (v + b)^2, \quad (1)$$

przy czym:

F – zasadnicze opory ruchu pociągu [daN],
M – całkowita masa pociągu (wagonów) [t],
 \dot{n} – masa właściwa powietrza [kg/m³],

v – prędkość pociągu [km/h],
 n – liczba wagonów między członami napędzonymi,
 T_f – współczynnik korekcyjny
dla torów na otwartej przestrzeni = 1,
w tunelu = $1.56 - 0.07 \cdot n$,
 b – prędkość wiatru przeciwnego do kierunku jazdy,
przyjmuje się statystycznie 15 km/h.

$$\rho = 1.2255 \cdot \frac{p}{1013} \cdot \frac{288}{273 + v}, \quad (2)$$

gdzie: p – ciśnienia atmosferyczne,
 v – temperatura powietrza [°C]

Wzory odnoszące się do klasycznych (konwencjonalnych) e.z.t. stosowane dotąd na PKP mają postać [11]:

$$F = (0.64 + 0.0147 \cdot v) \cdot M + 14.7 \cdot z + 0.01 \cdot (2.7 + n) \cdot v^2, \quad (3)$$

gdzie:
 z – liczba osi wagonów pociągu, a pozostałe oznaczenia jak we worze (1).

Dla pociągów składających się z pojedynczych wagonów ciągniętych lokomotywą w dostępnej literaturze brak jest aktualnie wzorów na opory ruchu dla wysokich prędkości ponad 190 km/h. Do analiz, mając świadomość błędu obliczeń zwiększającego się w miarę wzrostu prędkości, można przyjmować zależności stosowane na PKP oraz zalecane przez UIC. Dla lokomotywy dostępne są następujące zależności wyrażone w kN [1, 2, 24]:

$$R = (12 - 0.024 \cdot v + 0.0074 \cdot v^2) \cdot m \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

$$R = 0.0294 \cdot m + 0.000294 \cdot v^2, \quad (5)$$

gdzie:
 m – masa lokomotywy w [t],

a zależności wyrażone w daN dla nowoczesnych wagonów mają postać [17, 18]:

$$W = 0.85 \cdot M + 15.6 \cdot z + 0.0072 \cdot (n + 2.5) \cdot v^2, \quad (6)$$

$$W = (0.64 + 0.029 \cdot v) \cdot M + 11.7 \cdot z + 0.0059 \cdot (n + 2.5) \cdot v^2, \quad (7)$$

$$W = (0.64 + 0.0147 \cdot v) \cdot M + 14.7 \cdot z + 0.00785 \cdot (n + 2.5) \cdot v^2, \quad (8)$$

w których oznaczenia są takie same jak we wzorach 1÷3.

Do analizy liczbowej przyjęto dwa przykładowe pociągi odpowiadające sobie pod względem liczby wagonów, jeden z lokomotywą typu 110E [4], ciągnącą wagony osobowe typu 150A [15] i drugi, tzw. pociąg zespołowy typu ICE. Dane tych pociągów zestawiono w tablicy 4, a wykorzystywane w obliczeniach wg powyższych wzorów wytłuszczono:

Na podstawie danych do wzorów (1÷8) i sprowadzeniu do wspólnej jednostki [kN] oraz po uporządkowaniu uzyskano następujące, praktyczne zależności:

a) dla pociągów zespołowych:

$$F = 10.2828 + 0.04278 \cdot v + 0.000826 \cdot (v + 15)^2 \quad (1a)$$

(dla 15 °C i 1013 hPa),

$$F = 12.3536 + 0.094668 \cdot v + 0.00167 \cdot v^2, \quad (3a)$$

a) dla lokomotyw:

$$R = 0.984 - 0.01968 \cdot v + 0.0006068 \cdot v^2, \quad (4a)$$

$$R = 2.4108 + 0.000294 \cdot v^2, \quad (5a)$$

a) dla wagonów pasażerskich:

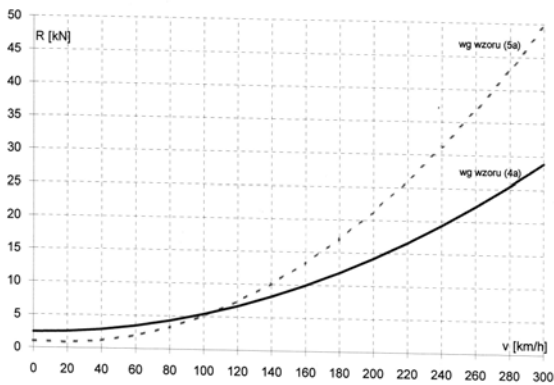
$$W = 14.21 + 0.001188 \cdot v^2, \quad (6a)$$

$$W = 10.6736 + 0.18676 \cdot v + 0.0009735 \cdot v^2, \quad (7a)$$

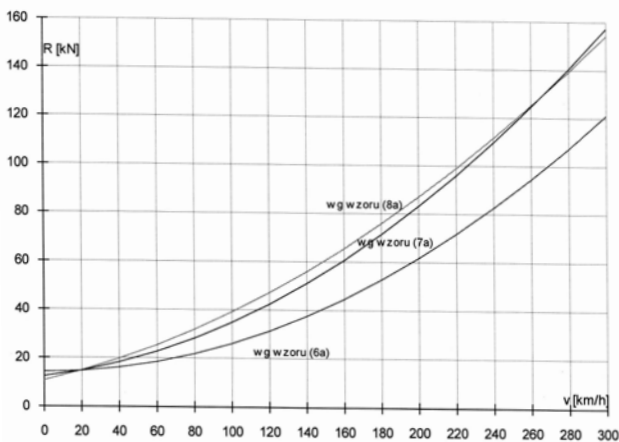
$$W = 12.3536 + 0.094668 \cdot v + 0.00129525 \cdot v^2. \quad (8a)$$

Tablica 4. Dane przykładowych pociągów

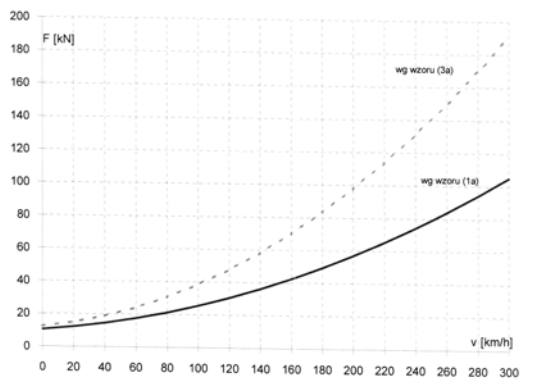
Pociąg zespołowy ICE			Pociąg klasyczny 110E + 14 150A		
masa całkowita M	902	t	masa lokomotywy m	82	t
długość pociągu	410.7	m	moc lokomotywy	6	MW
liczba miejsc	759	-	liczba silników	4	szt.
liczba wagonów n	14	szt.	prędkość maksymalna	200	km/h
liczba członów napędowych	2	szt.	masa wagonu	51.4	t
liczba silników	8	szt.	długość wagonu	26.4	m
prędkość maksymalna	280	km/h	liczba miejsc	80	
moc napędna	9.6	MW	prędkość maksymalna	200	km/h
			Liczba wagonów n	14	szt.
			masa pociągu M	719,6	t
			liczba osi z	56	szt.



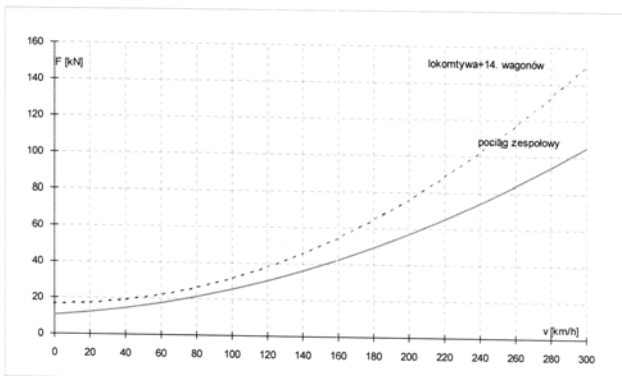
Rys. 1. Opory ruchu lokomotywy elektrycznej



Rys. 2. Opory ruchu wagonów osobowych (14 szt.)



Rys. 3. Opory ruchu pociągu zespołowego

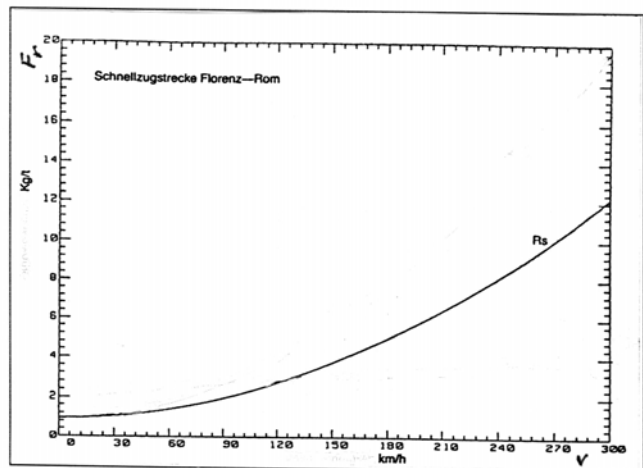


Rys. 4. Porównanie oporów ruchu pociągów

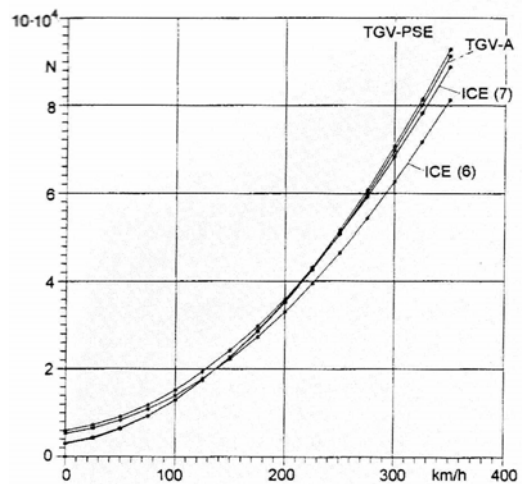
Przedstawione krzywe wykazują silną zależność krzywej oporów ruchu nie tylko od prędkości, szczególnie przy prędkościach dużych, ale także od rodzaju taboru. Tabor nowoczesny charakteryzuje się zdecydowanie korzystniejszym przebiegiem krzywej oporów ruchu.

Do dalszej analizy przyjęto krzywą wg wzoru (1a) dla pociągu zespołowego oraz sumę oporów ruchu lokomotywy (krzywa wg 4a) i dla wagonów (krzywa wg 6a). Sumaryczny przebieg pozwalający dokonać porównania przedstawiono na rys. 4. W rozpatrywanym wyżej porównaniu pociągu klasycznego i zespołowego jest to ok. 45 kN różnicy przy prędkości 300 km/h, czyli w porównaniu z klasycznym pociągiem ciągniętym lokomotywą, opory ruchu pociągu zespołowego są około 30 % mniejsze.

Na rys. 5 przedstawiono przebieg jednostkowych oporów ruchu dla pociągu zespołowego ETR 500 o masie 650 t [23], z kolei na rys. 6 przedstawiono porównanie oporów ruchu pociągów zespołowych: TGV - Atlantique, TGV - PSE (Paris - Sud - Est) i dwóch zestawów ICE [12]. Bardzo szybki wzrost oporów ruchu pojazdów na duże prędkości przy prędkościach ponad 200 km/h wynika głównie z rosnącego udziału oporów aerodynamicznych [8].



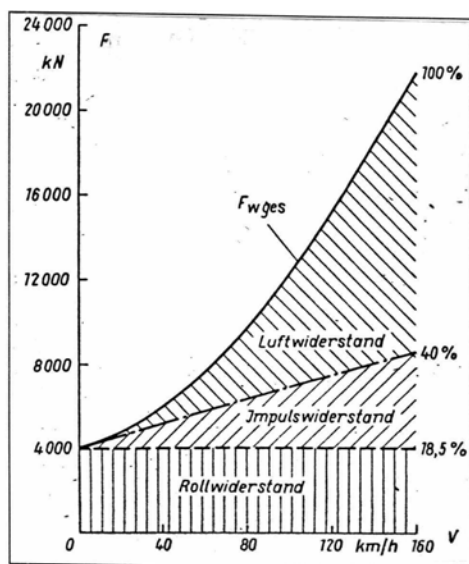
Rys. 5. Opory ruchu pociągu zespołowego ETR500



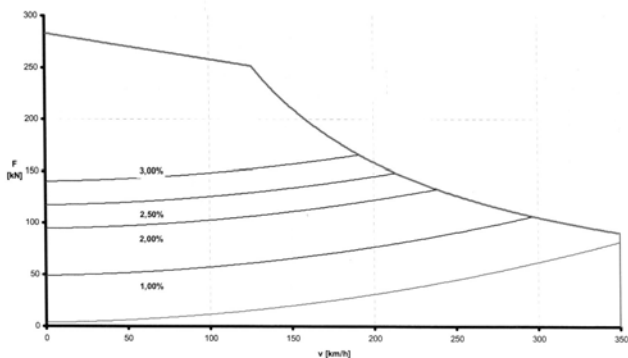
Rys. 6. Opory ruchu TGV i ICE

Rozdział oporów ruchu dla pociągu KLEW [3] greckich kolei państwowych z podziałem na opory toczenia (*rollwiderstand*), chwilowe (*impulswiderstand*) i powietrza (*luftwiderstand*) przedstawiono na rys. 7.

Dla pociągów wysokich prędkości wyraźnie widać silną zależność oporów ruchu, a zatem i rozwijanej maksymalnej prędkości od pionowego profilu trasy. Przykładowo na rys. 8 dla hiszpańskiego pociągu AVE S103 podano, że dla profilu 3 ‰ maksymalna prędkość z 350 km/h maleje do 190 km/h [21].



Rys. 7. Rozdział oporów ruchu



Rys. 8. Zależność oporów ruchu AVE S103 od profilu trasy

4. OKREŚLENIE MOCY ELEKTRYCZNYCH POCIĄGÓW ZESPOŁOWYCH

Przedstawione przebiegi oporów ruchu po uwzględnieniu koniecznego zapasu siły rozruchowej dla pokonania dodatkowych oporów ruchu związanych z wzniesieniami, łukami lub tunelami, pozwalają wyznaczyć niezbędne moce napędu trakcyjnego tych pojazdów. Warto zwrócić uwagę na znaczący wpływ kształtu czoła („nos delfina”) i połączenia wagonów pociągów zespołowych na obniżenie ich oporów ruchu.

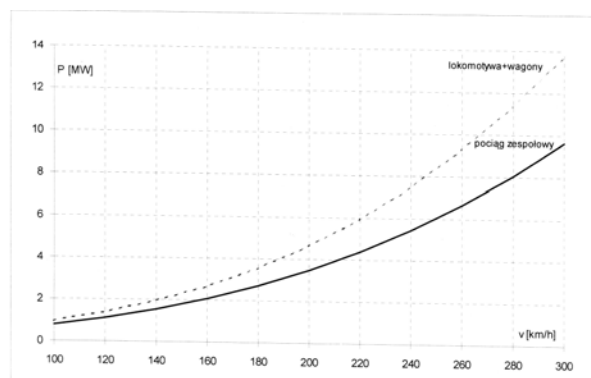
Do dalszej analizy liczbowej przyjęto charakterystyki przedstawione na rys. 4. Moc niezbędna do rozwinięcia przez pojazd wymaganej prędkości v (czyli do pokonania odpowiadających jej oporów ruchu F z niezbędnym zapasem siły przyśpieszającej - przyjmowanym zgodnie z praktyką ok. 10 %) może być wyznaczona z prostej zależności:

$$P = \frac{1.1 \cdot F \cdot v}{3.6}, \quad (9)$$

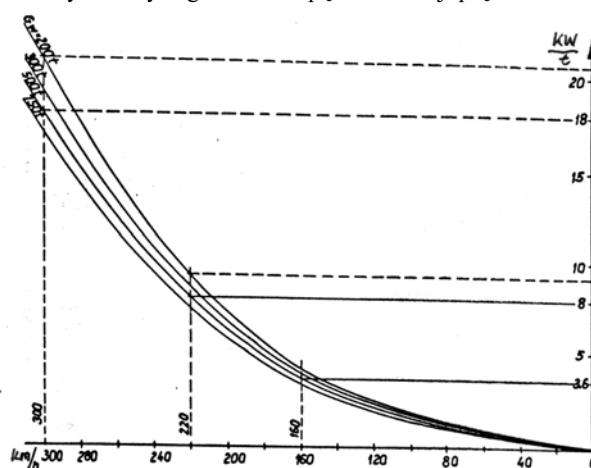
gdzie:

F – opory ruchu pociągu wg danych dla wykresu na rys. 4 powiększone o 10 % [kN],
 v – prędkość [km/h].

Wykres wymaganej mocy przedstawiono na rys. 9, a na rys. 10 przedstawiono zależność wymaganych mocy jednostkowych [kW/t] dla pociągów na duże prędkości [7].



Rys. 9. Wymagana moc napędu w funkcji prędkości



Rys. 10. Jednostkowe moce pociągów zespołowych

Uzyskane wyniki są zbieżne z wyznaczonymi metodą przedstawioną powyżej. Potwierdzenie poprawności uzyskanych wyników można uzyskać także analizując dostępne w literaturze dane niektórych pojazdów. Z charakterystyki trakcyjnej pociągu zespołowego serii 300 „Nozomi” wynika, że opory ruchu dla prędkości 300 km/h dla pociągu o danych:

- liczba wagonów napędnych 10
- liczba wagonów tocznych 6
- masa pociągu 768 t
- długość 400 m,

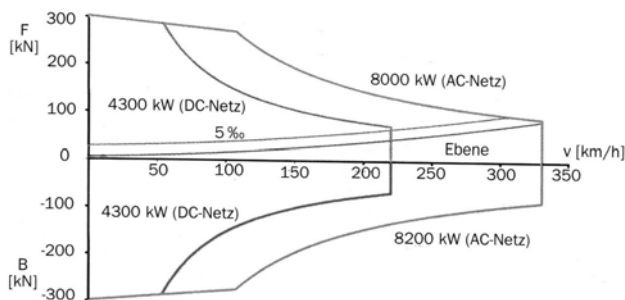
wynoszą 110 kN, co przy przyjęciu 40 % zapasu odpowiada mocy minimalnej 11.55 MW. Moc tego pociągu zespołowego wynosi 12 MW (10 wagonów z 4. silnikami po 300 kW). Zainstalowana moc została dobrana dla założonego przyśpieszenia rozruchu na poziomie 0.45 m/s² utrzymywanego do prędkości ok. 130 km/h [10].

Dla pociągu zespołowego ETR 500 o łącznej masie 650 t, składającego się z 2 członów napędowych i 10 wagonów doczepnych, dla jednostkowych oporów ruchu na trasie Florencja – Rzym oszacowanych na poziomie 12.2. kG/t przy prędkości 300 km/h, minimalna wymagana moc wynosi 7.2 MW, ale także dla tego pociągu zainstalowana moc jest większa – 8.8 MW. Pozwala to uzyskać zarówno odpowiednią moc rozruchową jak i zakres prędkości, do którego utrzymywane jest stałe przyśpieszenie.

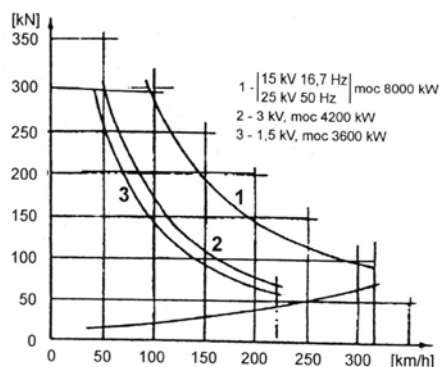
Warta podkreślenia jest zależność mocy maksymalnej rozwijanej przez pociągi zespołowe od systemu zasilającego. Najkorzystniej wypada sieć prądu przemiennego 15 kV – 16.67 Hz i 25 kV – 50 Hz. Znajduje to także odzwierciedlenie w zestawieniu dopuszczalnych prądów obciążenia przewidywanych w kolejowej sieci europejskiej dla różnych systemów, przedstawionym w tabl. 5 [19]. Na kolejnych rysunkach 11÷14 przedstawiono charakterystyki trakcyjne kilku wybranych pociągów zespołowych dla różnych mocy wynikających z systemów zasilania.

Tablica 5. Dopuszczalne prądy systemów zasilania

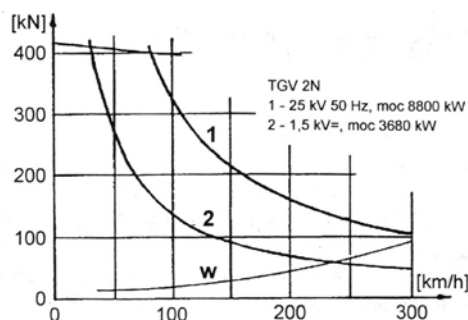
System zasilania	Linie		
	dużych prędkości	zmodernizowane	łącznie
DC 750 V	—	—	6800
DC 1500 V	—	5000	5000
DC 3000 V	4000	4000	2500
AC 15 kV 16,7 Hz	1700	1000	900
AC 25 kV 50 Hz	1500	600	500



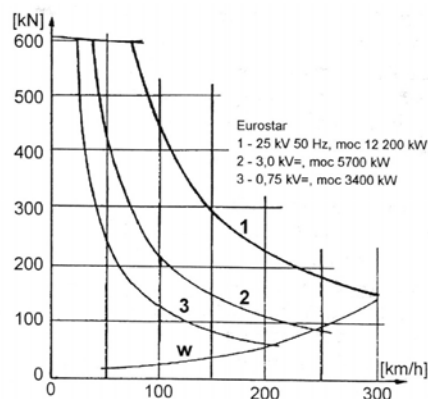
Rys. 11. Charakterystyki trakcyjne pociągu ICE [13]



Rys. 12. Charakterystyki trakcyjne pociągu ICE3 [22]



Rys. 13. Charakterystyki trakcyjne pociągu TGV 2N [22]



Rys. 14. Charakterystyki trakcyjne pociągu Eurostar [22]

Należy zwrócić uwagę na fakt, że cytowane w artykule wartości mocy odnoszą się do napędów trakcyjnych (moce mechaniczne na styku koła pojazdu - szyny), natomiast wartości dopuszczalnych prądów systemów zasilania (podane w tabl. 5) określają maksymalne moce elektryczne pobierane przez pojazdy. Moce elektryczne są oczywiście większe od mocy mechanicznych ze względu na:

- występowanie strat w urządzeniach przekształtnikowych i samych silnikach trakcyjnych; sprawność współczesnych napędów przekształtnikowych z silnikami prądu przemiennego przekracza 90 %,
- istnienie poboru mocy przez systemy pomocnicze (klimatyzacyjne, oświetleniowe, sterujące itd.).

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z przedstawionych na wykresach charakterystyk można wyciągnąć następujące spostrzeżenia:

- wymagana moc dla prędkości 200 km/h dla pociągu klasycznego i porównywalnego pojemnością pociągu zespołowego wynosi odpowiednio ok. 4.6 MW i 3.5 MW (różnica 24 %), a dla prędkości ok. 300 km/h dla pociągu klasycznego i pociągu zespołowego wynosiłaby odpowiednio ok. 13.8 MW i 9.6 MW (różnica 30 %)
- wymagana moc dla pociągu zespołowego, wyznaczona w przedstawionej w niniejszym artykule analizie, pokrywa się dokładnie z mocą zainstalowaną w układzie napędowym pociągu ICE (9.6 MW),
- wymagana moc dla pociągu ciągniętego lokomotywą wyznaczona dla prędkości 200 km/h wynosi 4.6 MW i odpowiada mocom zainstalowanym w dostępnych na rynku lokomotywach na taką prędkość [5],
- wymagana dla pociągu klasycznego dla uzyskania prędkości ok. 300 km/h moc prawie 14 MW możliwa jest do uzyskania tylko w układzie napędowym 8 osi napędnych, czyli z dwoma lokomotywami 7 MW, praktycznie nie dostępnymi w chwili obecnej na rynku,
- ze względu na duże zainstalowane moce i warunki przyczepności konieczne jest stosowanie w pociągach zespołowych wielu osi napędnych (moc napędowa rozproszona), tak jak to ma miejsce np. w pociągach serii 300 „Nozomi”.

Wnioski bardziej ogólne wynikające z przedstawionego materiału są jak zestawiono poniżej:

- moc niezbędna do prowadzenia pociągów wysokich prędkości wynosi znacznie powyżej 10 MW,
- jeśli uznać, że prądem granicznym do przeniesienia przez ruchomy styk pantograf – sieć trakcyjna jest obecnie na PKP PLK 2200 A, to pierwszym istotnym ograniczeniem do budowy sieci kolejowej na wysokie prędkości jest napięcie sieci trakcyjnej. Sieć 3 kV dla prędkości dochodzących do 300 km/h jest niewydolna, co potwierdza budowanie takich systemów na napięciu 25 kV nawet w krajach z rozwiniętą siecią 3 kV (np. Hiszpania),
- przy wyborze napięcia zasilania sieci trakcyjnej, ograniczając ten wybór z przyczyn podanych wyżej do 15 kV – 16.6 Hz i 25 kV – 50 Hz, należy mieć na uwadze nie tylko problemy związane z dystrybucją energii w podstacjach zasilających sieć trakcyjną, ale także różnice w wielkości strat, zależnych od poziomu napięcia i częstotliwości, w obwodach elektrycznych pojazdów trakcyjnych,

- rozwiązania konstrukcyjne urządzeń elektrycznych zabudowywanych na pojeździe, szczególnie tych które wpływają na sprawność ogólną pojazdu, muszą być w sposób szczególny ukierunkowane na minimalizowanie strat, bowiem każdy stracony procent sprawności to ponad 100 kW straconej mocy, a ponadto konieczność zabudowywania kosztownych systemów chłodzenia efektywnie odprowadzających ciepło powstałe z tych strat.

Niezależnie od wszystkich poruszonych w niniejszym artykule aspektów związanych z mocą wymaganą przez pociągi zespołowe wysokich prędkości niezbędnej do uzyskania określonych parametrów rozruchu, prędkości maksymalnej, zdolności pokonywania wzniesień itp., przy projektowaniu sieci zasilających należy wziąć pod uwagę znacznie więcej parametrów niż tylko moc zainstalowana na pojeździe. Na parametry sieci i podstacji zasilających systemu kolei wysokich prędkości znaczący wpływ będzie miała organizacja ruchu pociągów na tych liniach, zarówno ta w pierwszych latach istnienia systemu i ta późniejsza, w okresie pełnego rozwoju tego rodzaju transportu.

LITERATURA

- [1] *Badania oporów ruchu wagonów pasażerskich. Opracowanie COBiRTK nr 3509/17. Warszawa 1980 (niepublikowane)*
- [2] *Bendel H.: Elektrische Triebfahrzeuge. VEB Verlag für Verkehrswesen. Berlin 1981*
- [3] *Bogott H.: Anforderungen an Triebfahrzeuge höherer Geschwindigkeiten. Schienenfahrzeuge 1990 nr 3*
- [4] *Durzyński Z.: Elektryczny układ lokomotywy 110E. Materiały VI Konferencji Naukowej Trakcji Elektrycznej SEMTRAK'94. Politechnika Krakowska, Kraków – Zakopane 1994*
- [5] *Durzyński Z., Marciniak Z.: Nowoczesne lokomotywy na prędkość powyżej 200 km/h. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej SEP – SITKom. Szklarska Poręba 1993*
- [6] *Durzyński Z.: Dobór napędu zespołów trakcyjnych prądu stałego metodą symulacji przejazdów. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska 1988*
- [7] *Frontczak F.: Porównanie systemu trakcji elektrycznej 25 kV prądu przemiennego z systemem 3 kV prądu stałego dla szybkości powyżej 200 km/h. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej SEP – SITKom. Szklarska Poręba 1993*
- [8] *Gąsowski W.: Calculation of motion aerodynamic of rail vehicles incorporated in a draft of cars. Archives of Transport 1993 vol. 6 issue 1-4, Warsaw*
- [9] *Harrasek A., Rabsztyn M., Raczyński J.: Rozwój konstrukcji pociągów TGV. Technika Transportu Szynowego 2006 nr 10*
- [10] *Ishikawa s.: Shinkansen-Triebzüge Serii 300 „Nozomi”. Elektrische Bahnen 1994 nr 8*

- [11] Kałuża E.: Zbiór zadań i ćwiczeń projektowych z trakcji elektrycznej. Skrypty uczelniane. Nr 1848. Politechnika Śląska. Gliwice 1994
- [12] Krettek O., Grajnert J.: Zur luftfeder und schwingungstechnischen Auslegung des TGV-Atlantique. ZEV Glasers Annalen 1996 nr 8
- [13] Löbel W., Landwehr H., Prem J.: ICE 3® - Die neue Generation der europäischen Hochgeschwindigkeitszüge. ETR 1997 nr 9
- [14] Nielsen N. T., Fischer H.: Der neue Triebzug IC3 der Dänischen Statsbahn, ein Konzept für die Zukunft. ETR 1990 nr 1-2
- [15] Nowak S.: Wagon osobowy bezprzedziałowy o prędkości 200 km/h dla PKP. Technika Transportu Szynowego 1996 nr 9
- [16] Peters J. L.: Aerodynamischer Widerstand von Hochgeschwindigkeitsbahnen. VDI-Berichte nr 635, 1987
- [17] Podoski J. i inni: Teoretyczne zagadnienia trakcji elektrycznej – trakcja miejska i kolejowa. WNT Warszawa 1975
- [18] Podoski J.: Zasady trakcji elektrycznej. WKŁ, Warszawa 1967
- [19] Raczyński J.: Pociągi dużych prędkości – kierunki rozwoju. Technika Transportu Szynowego 2005 nr 5-6
- [20] Rahn T., Kurz H.: InterCityExpress – High-Tech auf Schienen. ETR 1991 nr 5-6
- [21] Rieger H., Landwehr H., Cuylen J.: Der neue Hochgeschwindigkeitszüge AVE S103 der RENFE. ZEV. Glasers Annalen 2002 nr 10
- [22] Romaniszyn Z.: Charakterystyki pociągów dużych prędkości i cechy konstrukcji ich podwozi. Technika Transportu Szynowego 1999 nr 5
- [23] Romei R.: Italianischer Hochgeschwindigkeitszug ETR500 – Evolution des Projekts. ETR 1992 nr 12
- [24] Sachs K.: Elektrische Triebfahrzeuge. Sprinter Verlag, Wien, New York 1973
- [25] Wolfram T.: Nowoczesne pojazdy spalinowe kolei europejskich. Technika Transportu Szynowego 1995 nr 6-7
- [26] Żurkowski A.: Koleje dużych prędkości we Włoszech. Technika Transportu Szynowego 2006 nr 3.