

Porównanie zużycia energii w pociągach ICE i TRANSRAPID

Na podstawie obliczeń czasy jazdy i zapotrzebowanie na energię dla konkretnego odcinka trasy przeprowadzono porównanie dwóch systemów kolejowych dużych prędkości: TRANSRAPID i ICE 3.

W analizach szczególną wagę przywiązano do określenia warunków brzegowych oraz wyboru właściwych płaszczyzn porównania systemów, które różnią się między sobą układem napędowym oraz sposobem zasilania w energię. Wyniki opierają się na obliczeniach symulacyjnych, które z dużą dokładnością ilustrują zarówno specyfikę eksploatacyjną, jak i specyfikę techniki napędu i dynamiki ruchu.

Zastosowane dynamiczne modele obliczeniowe mogą być weryfikowane na drodze pomiarowej. Przedstawione wyniki znajdują zastosowanie w obliczaniu kosztów eksploatacyjnych, jak również mogą posłużyć do pozyskania życzości przemysłu i użytkowników dla kolei magnetycznej.

Wytyczenie celów

Podczas poszukiwań pierwszej trasy użytkowej dla kolei magnetycznej TRANSRAPID przeprowadzono wiele dyskusji o szansach i ryzykach związanych z nową technologią. Kontrowersje dotyczyły między innymi zalet i wad technologii kolei magnetycznej w porównaniu z klasyczną koleją dużych prędkości, na podstawie przyjętej analizy systemu koło-szyna (np. ICE), przy uwzględnieniu możliwości rozszerzonego wykorzystania istniejącej infrastruktury dróg kolejowych dla pojazdów innowacyjnych (np. ICE-T z technologią przechylonego nadwozia). W dyskusji, poza innymi tematami, odgrywały dużą rolę przede wszystkim takie aspekty, jak czas jazdy – istotne kryterium atrakcyjności systemu kolejowego oraz zapotrzebowanie na energię do napędu pociągu – zarówno jako czynnik wpływający na koszty eksploatacji, jak również z punktu widzenia oddziaływania na środowisko naturalne.

W minionym czasie przedstawiane zostały przez różne środowiska naukowe i gospodarcze porównawcze oceny w tym zakresie. Najczęściej jednak dla obydwu systemów

stosowano różne metody obliczeniowe lub też z literatury wykorzystywano specyficzne dane wyjściowe, których możliwość porównywania w istotny sposób zależy od przyjętych założeń i warunków brzegowych. Jak w żadnej innej publicznie przeprowadzonej debacie na temat technologii nie ujawniały się tak silnie różnice w ocenach, prezentowanych przez różne grupy interesów.

Prezentowany wykład powinien sprowadzić poruszaną problematykę do poziomu zależności techniczno-fizycznych oraz umożliwić, poprzez zastosowanie w znacznym stopniu identycznej metodyki obliczeniowej dla obu systemów, otrzymanie obiektywnych wyników, które powinny przyczynić się do zobiektywizowania dotychczas bardzo emocjonalnie prowadzonej debaty.

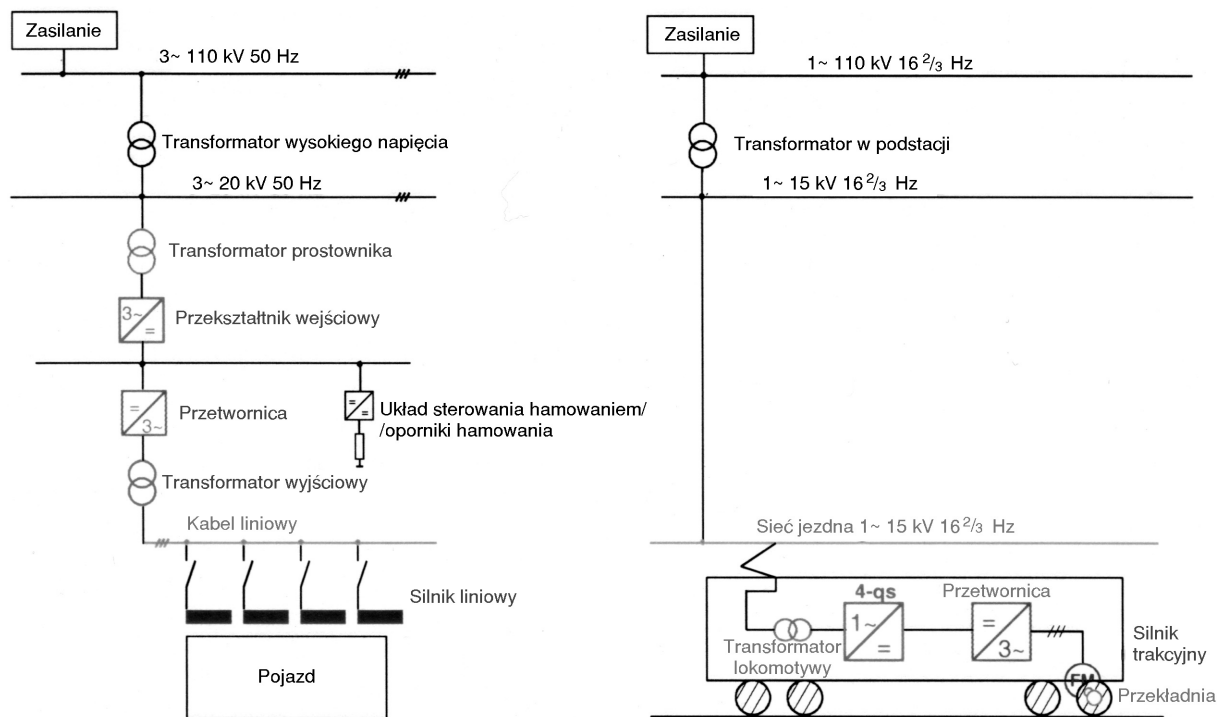
Sposób postępowania

Założenia do obliczeń

Oceny dotyczące dynamiki jazdy i zapotrzebowania na energię mogą obecnie być wcześniej uzyskane poprzez użycie narzędzi symulacyjnych, i to z bardzo dużą dokładnością. Stosowanie w tej dziedzinie programów symulacyjnych, które mogą być weryfikowane poprzez techniczne metody pomiarowe, stało się ogólnie uznawanym standardem. Uzyskanie wyników bardzo zbliżonych do wartości rzeczywistych zależy w tej metodzie w głównej mierze od tego, jak dokładnie przyjęto dane wejściowe, a w mniejszym stopniu od przebiegu symulacyjnego. Wszystkie dane wejściowe w opisywanych badaniach potwierdzone zostały przez przemysł oraz przedsiębiorstwa komunikacyjne.

Podstawą do modelowania dynamicznego jest symulacja jazdy pociągu, z uwzględnieniem danych topograficznych i eksploatacyjnych danego odcinka trasy, jak również dynamicznych charakterystyk jazdy i dynamicznych charakterystyk napędu pojazdu. Za podstawę do obliczeń posłużyło zamodelowanie modułów związanych z napędem, co pozwoliło określić rozptył mocy i wynikający stąd bilans energetyczny.

W systemie koło-szyna sterowanie układami mocy oraz istotne moduły napędu rozmieszczone są w pojeździe napędowym (rys. 1). Poszczególne pojazdy pobierają moc ze wspólnej szyny zbiorczej (sieć trakcyjna). W tym przypadku, do oceny energetycznej wystarczające jest zamodelowanie układu znajdującego się przed odbierakiem prądu (pantografu), wszystkie pozostałe składniki układu zasilania napędu w energię można opisać z wystarczającą dokładnością za pomocą stałych wartości współczynników sprawności. Natomiast w systemie kolei magnetycznej sterowanie energią dla pojazdów następuje w podstacji trakcyjnej, a więc „z zewnątrz”. Układy dostarczania energii do statora silnika liniowego są zarazem częściami składowymi napędu. Uzwojenie statora, podzielone na odrębne odcinki, rozmieszczone jest po obu stronach drogi jezdnej i zasilane prądem trójfazowym o zmiennej częstotliwości i amplitudzie, przy czym zasilany jest tylko ten odcinek, w którym aktualnie znajduje się pociąg. Sprawność w określonym punkcie drogi zależy od zainstalowanej mocy podstacji, sposobu zasilania podstacji (jednostronne, czy dwustronne) oraz od chwilowej impedancji statora i kabla. Z powodu ciągle zmieniających



Rys. 1. Schemat blokowy budowy napędu i zasilania w energię systemu magnetycznego TRANSRAPID oraz systemu ICE

się podczas jazdy pociągu, wskutek jego przemieszczania się, odległości między pojazdem a układem sterowania mocą, zmieniają się również, w zależności od położenia i prędkości pociągu, parametry napędu. Jeżeli zatem chcemy z odpowiednią dokładnością uzyskać ocenę dynamiki jazdy i bilansu energetycznego pojazdu TRANSRAPID, wymagane jest dokładne zamodelowanie synchronicznego statora silnika liniowego, łącznie z jego kablami zasilającymi.

Do obliczenia cykli jazdy systemu TRANSRAPID i wynikających z nich przebiegów mocy wykorzystany został system symulacyjny LIMEV (LinearMotor-Energie-Versorgung – zasilanie silnika liniowego), opracowany przez Instytut Kolejnictwa w Dreźnie. System ten, wykorzystując metodę przedziałów czasowych, umożliwia obliczenie danych odnoszących się do napędów wielu pociągów znajdujących się na tym samym odcinku. Za pomocą zintegrowanego algorytmu obliczeń możliwe jest jednoczesne obliczanie danych elementów napędu silnika liniowego i elementów energetycznej sieci zasilającej. Uwzględniane są wszystkie reakcje na dynamikę jazdy pojazdu, które wynikają z parametrów konfiguracyjnych napędu i konfiguracji sieci trakcyjnej. Weryfikacja dokładności systemu symulacyjnego przeprowadzona została poprzez wykonanie obliczeń sprawdzających, na bazie danych pomiarowych modelu doświadczalnego Emsland (TVE) pociągu TRANSRAPID. Uchyby leżały poniżej wartości 2%.

Do symulacji technologii koło–szyna wykorzystany został system oprogramowania STAR, opracowany przez Instytut Kolejnictwa i Politechnikę w Dreźnie, służący do wstępnego projektowania elektrycznych zespołów pojazdów szynowych. Przedmiotem modelowania jest obliczenie i ocena

obciążenia energetycznego przy odbioraku prądu (pantografie) oraz zespołów napędowych pojazdu silnikowego w czasie jazdy. Program umożliwia symulację zasilania wielu pociągów, zgodnie z planem jazdy. Dodatkowo poprzez interfejs może zostać dokonane sprzężenie obliczeń dotyczących sieci prądu przemiennego zasilającego system kolejowy. Weryfikacja przeprowadzona została na podstawie obliczeń sprawdzających według danych pomiarowych kolei niemieckiej DB AG (ICE 1 oraz ICE 2), na trasie szybkiego ruchu Hanower – Würzburg. Również w tym przypadku można było stwierdzić dużą dokładność osiągniętych wyników, podobnie jak dla kolei magnetycznej.

Baza danych i warunki brzegowe

Jako bazę do porównania wybrano relację Hamburg – Berlin, ponieważ dla tej trasy podana została już większość danych projektowych (rys. 2). Uzyskane wyniki są ważne tylko dla podanego przykładu i w związku z tym tylko warunkowo mogą służyć do uogólnień. Za podstawę obliczeń dotyczących systemu TRANSRAPID i ICE posłużyło wytyczenie trasy dla połączeń pociągu TRANSRAPID. Całkowita długość trasy wynosi około 292 km i uwzględnia postoje na niżej wymienionych stacjach. Postoje na każdej stacji trwały 2 min:

- linia 0 (292 km): Berlin-Lehrter Bf. – Berlin-Spandau – Schwerin-Holthausen – Hamburg-Moorfleet – Hamburg Hbf.,
- linia S (292 km): Berlin-Lehrter Bf. – Berlin-Spandau – Hamburg Hbf.

Po przerwaniu prac nad projektem niemieckiego systemu TRANSRAPID, kolej niemiecka (DB AG) chce rozbudo-

wywać w dalszym ciągu linię kolejową Berlin – Hamburg, aby w przyszłości móc zaoszczędzić skrócony czas jazdy do ok. 1 godz. 30 min. W tym celu wymagane jest zwiększenie maksymalnej prędkości jazdy ze 160 km/h do 230 km/h oraz zastosowanie pociągów z technologią przechyłu nadwozia. Na zakończenie, dla porównania systemu TRANSRAPID i ICE 3, przebadano na istniejącej trasie Berlin – Wittenberga – Hamburg (285,5 km) zastosowanie pociągów ICE-T z przechylnym pudłem wagonu. Trasowanie linii i pojemność pociągu tak dobrano, aby możliwie ściśle odpowiadały danym projektowym TRANSRAPID:

- linia 0 ICE-T (329 km): Berlin ZOO – Berlin-Spandau – Schwerin Hbf. – Hamburg Hbf.,
- linia S ICE-T (285 km): Berlin ZOO – Berlin-Spandau – Hamburg Hbf.

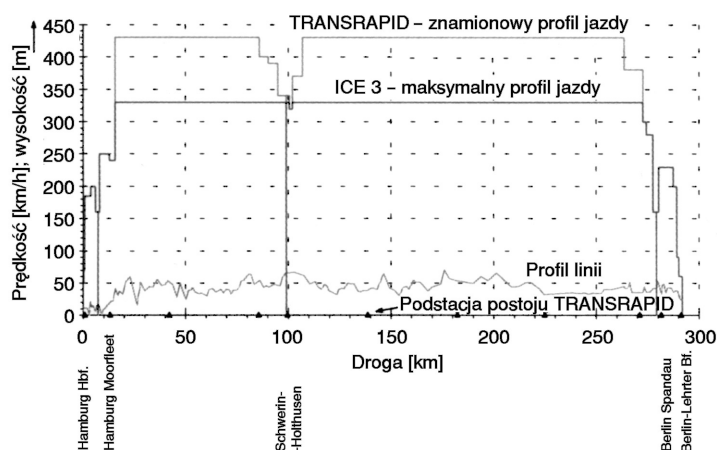
Jedno zatrzymanie na obrzeżach Hamburga, jak w przypadku TRANSRAPID, nie jest przewidziane. Poprowadzenie linii przez Schwerin, zrealizowane poprzez odgałęzienie w Ludwigslust lub Hagenow – Land, połączone jest ze zmianą kierunku jazdy w Schwerin Hbf. Długość trasy linii S odpowiada w przybliżeniu długości trasy pociągu TRANSRAPID (6,5 km krótsza); w przypadku zmodyfikowanej linii 0, w porównaniu z połączeniem bezpośrednim, wynika wydłużenie o 43,6 km z powodu podłączenia Schwerina. Do obliczeń dysponowano tylko danymi o obecnym stanie trasy, pochodzącymi z DB AG. Dla technologii pojazdów z uchylnym pudłem wagonu, na podstawie dostępnych danych odnośnie wytyczenia trasy, zostały na nowo obliczone dozwolone maksymalne prędkości na łukach przy pełnym wykorzystaniu przechyłu. Maksymalną prędkość, zgodnie ze wstępnym projektem pojazdu ICE-T, wyznaczono na 230 km/h.

Najważniejsze dane pojazdów wszystkich omawianych systemów kolejowych przedstawiono w tabeli 1. Za podstawę do obliczeń dla systemu TRANSRAPID posłużyły dane pojazdu i dane napędu, na podstawie ostatniej wersji projektu.

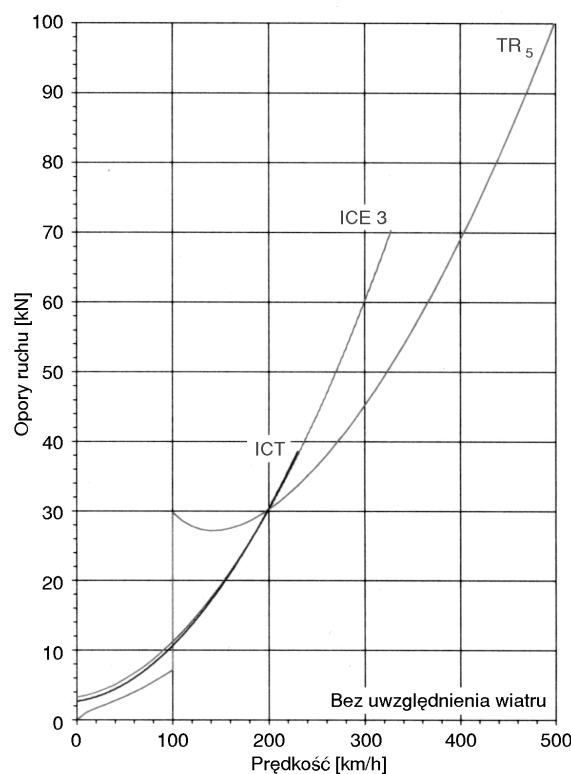
Aby móc wypowiedzieć się o trendach zapotrzebowania na energię, podczas symulacji podwyższano krokowo maksymalną prędkość w każdym systemie, poczynając od 150 km/h. Wszystkie obliczenia wykonano przy maksymalnych parametrach jazdy, przy 100% obłożeniu miejsc siedzących. Ponieważ stopień obłożenia przy obydwu systemach nie wpływał w widoczny sposób na całkowity pobór energii, odnośne wartości są łatwe do oszacowania na podstawie przedłożonych wartości bezwzględnych poprzez przyjęcie zmiennych stopni obłożenia. Wszystkie obliczenia podjęto bez i z wpływem wiatru o prędkości 15 km/h. Zwrot energii hamowania do sieci przy systemie ICE przyjęto jako zasadę, dla systemu TRANSRAPID obliczenia przeprowadzono zarówno przy zwrocie, jak i bez zwrotu energii do sieci.

Kryteria porównawcze

Czasy jazdy można odczytać z symulacji jazdy pociągu, jak również mogą one być odczytane dla poszczególnych odcinków z charakterystyk dynamicznych pojazdów (rys. 4). Podane czasy podróży zawierają czasy postojów, wynoszące 2 min na każdej stacji.



Rys. 2. Profil i profile graniczne trasy Hamburg Hbf. – Berlin



Rys. 3. Opory jazdy pociągu TRANSRAPID (5 sekcja), ICE 3 i ICE-T

Dla porównań energetycznych odniesiono się do zapotrzebowania na energię dla trakcji po stronie wtórnej, uwzględniając moc pokładową (klimatyzacja, oświetlenie itp., a dla pociągu TRANSRAPID łącznie z systemem nośnym i systemem prowadzenia pojazdu). Z powodu różnych konfiguracji napędów obydwu systemów kolejowych, szczególnego znaczenia nabiera wyznaczenie właściwego kryterium porównania. W tabeli 2 przedstawiono porównanie systemu TRANSRAPID oraz ICE pod względem liczby i rozmieszczenia głównych zespołów (rys. 1).

Jakościowo w obydwu systemach mamy do czynienia z daleko idącymi podobieństwami układów. Trakcyjna sieć

Najważniejsze dane pojazdów systemu ICE 3, ICE-T oraz systemu TRANSRAPID

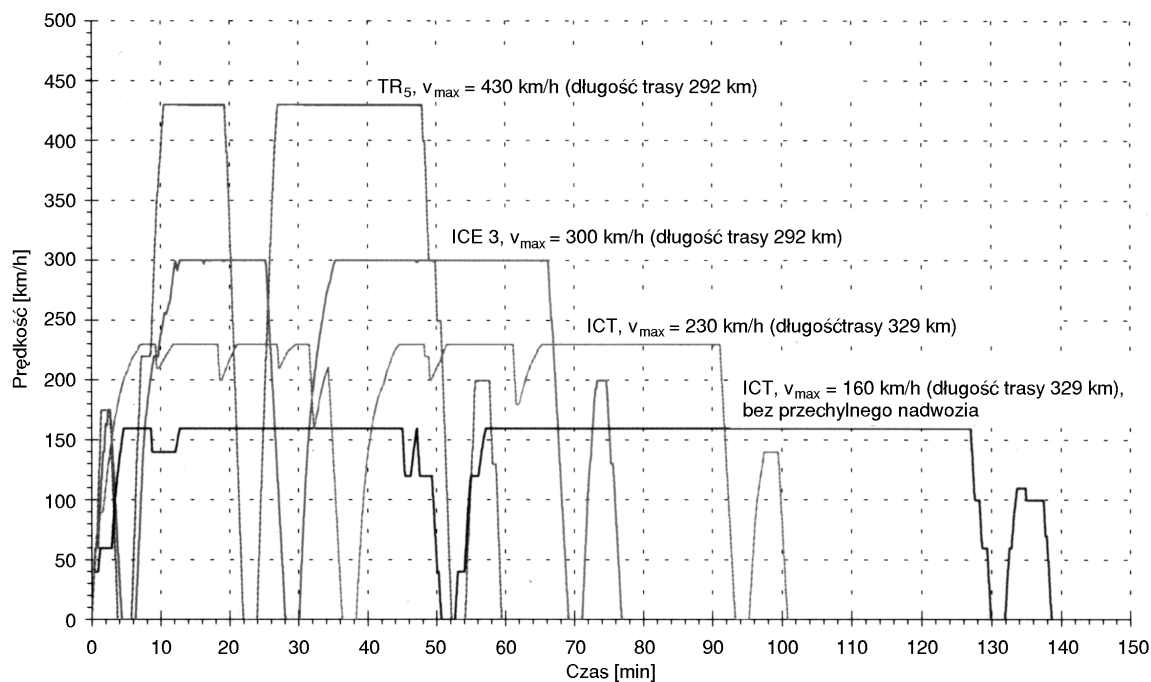
Dane systemowe		ICE 3 (BR 403)	ICE-T (BR 411)	TRANSRAPID
Maksymalna prędkość eksploatacyjna	[km/h]	300	230 km/h	430 km/yh
Konfiguracja standardowa		8-częściowy	7-częściowy	BS + 3MS + BS
Standardowa długość całkowita	[m]	200	184	129
Całkowita liczba miejsc siedzących przy konfiguracji standardowej		415	396	446
Masa przy konfiguracji standardowej (pojazd z pasażerami)	[t]	442	403	318
Moc trakcyjna	[MW]	8	4	30 MVA
Rozruchowa siła pociągowa/maksymalna siła ciągu	[kN]	300	210	350
Liczba silników trakcyjnych lub napędów		16	8	2
Średnia moc energii potrzeb własnych		17,5 kW/wagon ¹⁾	17,5 kW/wagon ¹⁾	132 kW/sekcję ²⁾
Opory jazdy na płaszczyźnie		Przedstawione graficznie na rysunku 3		

¹⁾ Z pomiarów DB AG (ICE 1).

²⁾ Łącznie z systemem nośnym i systemem prowadzenia pojazdu (1,7 kW/t).

BS – sekcja przednia.

MS – sekcja środkowa.



Rys. 4. Charakterystyki dynamiczne pociągu TRANSRAPID, ICE 3, ICE-T; kierunek jazdy: Hamburg – Berlin

zasilająca 15 kV dla systemu koło–szyna daje się funkcjonalnie porównać z kablem odcinkowym kolei magnetycznej, transformatory wyjściowe w podstacji systemu TRANSRAPID spełniają rolę przekładni elektrycznej, przekładnia na osi systemu ICE spełnia rolę przełożenia mechanicznego.

Jednakże porównanie energetyczne ze stałymi wartościami współczynnika sprawności byłoby niewłaściwe, ponieważ zasadnicze układy (silnik trakcyjny + transformator główny, silnik liniowy + kabel odcinkowy) przy obydwu systemach silnie zależą od wielkości obciążenia. Ponadto nie zostałyby uwzględnione zasadniczo różne dla obu systemów składniki strat trakcyjnych. Energia pokładowa (energia po-

trzeb własnych) w systemie ICE pochodzi z transformatora głównego poprzez układ szyn zbiorczych pociągu, w systemie kolei magnetycznej zapotrzebowanie na energię pokładową pokrywają generatory liniowe, poprzez indukcyjne sprzężenie energetyczne z drogi jezdnej podczas jazdy (to znaczy udział ten zawarty jest oporze trakcyjnym i pobierany jest z uwzględnieniem strat przez wszystkie składniki napędu). Przy ruchu wolnobieżnym oraz w stanie spoczynku zasilanie w energię potrzeb własnych następuje poprzez szyny prądowe, które poprzez prostownik zasilane są z sieci wysokiego napięcia (20 lub 110 kV).

Tablicz 2

Pierwszym możliwym punktem spośród kryteriów porównawczych jest porównanie napięć na poziomie 20 kV (kolej magnetyczna) lub 15 kV (system koło – szyna) w podstacji. Wszystkie przedstawione wartości odnoszą się do tego punktu porównania. Do określenia zapotrzebowania na energię po stronie pierwotnej należy uwzględnić współczynniki sprawności transformatorów wysokiego napięcia, elektrowni przyłączonych sieci, bądź też podstacji przekształtnikowych. Różnice w obydwu systemach są tylko nieznaczne.

Wybrane wyniki

Czasy jazdy

W tablicy 3 zestawiono najistotniejsze wyniki dla linii O, z zatrzymaniami na każdej stacji. Tablica 4 zawiera wyniki dla „Sprintera” dla linii S. Przy równych prędkościach, czasy jazdy dla różnych systemów różnią się nieznacznie; wraz ze wzrostem prędkości jazdy i liczbą zatrzymań różnice w czasach jazdy zwiększają się ze względu na większe zdolności przyspieszeń i hamowania pojazdu TRANSRAPID. Widoczne zmniejszenie czasu jazdy w systemie TRANSRAPID uzyskuje się dopiero w zakresie prędkości powyżej 400 km/h, w którym system koło–szyna nie może być ekonomicznie eksploatowany.

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystyki dynamiczne wszystkich badanych systemów przy prędkości eksplo-

Stopnie konfiguracji napędu

TRANSRAPID	ICE
Sieć krajowa 3~ 110 kV 50 Hz	Sieć kolejowa 1~ 110 kV 16 2/3 Hz
Transformator wysokiego napięcia 110/20 kV	Transformator 110/15 kV
Szyna zbiorcza 20 kV (energia potrzeb własnych w stanie spoczynku)	Szyna zbiorcza 15 kV
—	Sieć jezdna 15 kV 16 2/3 Hz
Transformator prostownikowy	Transformator główny (energia potrzeb własnych)
Prostownik wejściowy	Prostownik wejściowy
Obwód międzystopniowy napięcia stałego	Obwód międzystopniowy napięcia stałego
Przełącznik pulsacyjny	Przełącznik pulsacyjny
Transformator wyjściowy podstacji	—
Kabel odcinkowy 3~ 0...6880 V, 0...240 Hz	—
Synchroniczny silnik liniowy	Trakcyjny silnik asynchroniczny
—	Przekładnia na osi
Pojazd (energia potrzeb własnych, jazda)	Pojazd (styczność koło–szyna)

atycznej dla linii O, z trzema postojami w międzyczasie. Przy założeniu identycznych parametrów trasy, czas jazdy pojazdu ICE 3 jest prawie o 30% (17 min) dłuższy od czasu jazdy pociągu TRANSRAPID. Należy zwrócić uwagę, że nie uwzględniono tutaj dla systemu koło–szyna ewentualnego zmniejszenia maksymalnej prędkości przy wjeździe w obszar miast. Należy również zauważyć, że tylko na długości trasy (ok. 200 km) dozwolona jest jazda z prędkością maksymalną.

Przy zastosowaniu pociągów ICE-T z wykorzystaniem techniki przechyłnego nadwozia, minimalny czas jazdy na obecnie modyfikowanej trasie, dla bezpośredniego połączenia bez zatrzymania w Schwerinie, wynosiłby prawie półto-

Tablica 3

Czas jazdy i zapotrzebowanie na energię dla linii O, bez wiatru

v_{max}	System	Czas jazdy	Całkowite zapotrzebowanie energii	Względne zapotrzebowanie energii
200	TR ₅	98,8	3,98 (3,75)	30,6 (28,8)
	ICE 3	101,0	3,82	31,6
	ICE-T	110,7	4,01	30,8
250	TR ₅	83,3	4,69 (4,37)	36,0 (33,6)
	ICE 3	86,1	4,87	40,2
300	TR ₅	73,4	5,64 (5,23)	43,3 (40,2)
	ICE 3	76,8	6,26	51,7
330	TR ₅	69,0	6,31 (5,82)	48,4 (44,7)
	ICE 3	73,3	7,16	59,1
400	TR ₅	61,7	8,09 (7,42)	62,2 (57,0)
	ICE 3	—	—	—
430	TR ₅	59,4	3,98 (3,75)	68,5 (62,8)
	ICE 3	—	—	—

Wartości w nawiasach: TRANSRAPID ze zwrotem energii do sieci

Tablica 4

Czas jazdy i zapotrzebowanie na energię dla linii S, bez wiatru

v_{max}	System	Czas jazdy	Całkowite zapotrzebowanie energii	Względne zapotrzebowanie energii
200	TR ₅	92,7	3,61 (3,46)	27,8 (26,6)
	ICE 3	93,9	3,73	30,8
	ICE-T	93,2	3,40	30,0
250	TR ₅	76,9	4,25 (4,06)	32,6 (31,2)
	ICE 3	78,3	4,73	39,1
300	TR ₅	66,7	5,10 (4,87)	39,2 (37,4)
	ICE 3	68,4	6,14	50,7
330	TR ₅	62,1	5,72 (5,44)	43,9 (41,8)
	ICE 3	64,2	7,11	58,7
400	TR ₅	54,6	7,52 (7,07)	57,8 (54,3)
	ICE 3	—	—	—
430	TR ₅	52,3	8,35 (7,82)	64,2 (60,1)
	ICE 3	—	—	—

Wartości w nawiasach: TRANSRAPID ze zwrotem energii do sieci

rej godziny. Wymaga to jednakże dopasowania infrastruktury linii dla prędkości 230 km/h i technologii z przechylnym nadwoziem (trasowanie, technika zabezpieczeń, sieć jezdna). Przy poprowadzeniu linii przez Schwerin, przy uwzględnieniu wymienionych warunków, nie można spodziewać się czasów jazdy poniżej 100 min. Przy realnym oszacowaniu (rozbudowa trasy dla 230 km/h + rezerwa czasowa) oferowane czasy podróży dla rozkładu jazdy mogłyby wynosić od 1 godz. i 35 min (Sprinter) do 2 godz. (przez Schwerin). Czasy te są prawie dwukrotnością czasów pociągu TRANSRAPID.

Zapotrzebowanie na energię

Przy energetycznej ocenie systemu koło–szyna i systemu kolei magnetycznej odnoszono się często do zapotrzebowania na energię przy stałej prędkości jazdy. Dla porównania systemowego wielkości te nie przedstawiają jednakże reprezentatywnego kryterium, ponieważ odzwierciedlają tylko jeden spośród istotnych parametrów, mianowicie opory ruchu (rys. 3). Poza tym zapotrzebowanie na energię może różnie się kształtować zależnie od konkretnego przebiegu jazdy, tj. od wykorzystania zainstalowanej mocy przy procesach przyspieszeń i przy wzniesieniach, jak również od liczby zatrzymań. Dlatego też wszystkie przedstawione wartości do-

tyczące zapotrzebowania na energię zostały odniesione do konkretnych przebiegów jazd. Przytoczone dane nie uwzględniają wpływu wiatru, który we wszystkich systemach zaznacza się 5–7% wzrostem zapotrzebowanie na energię.

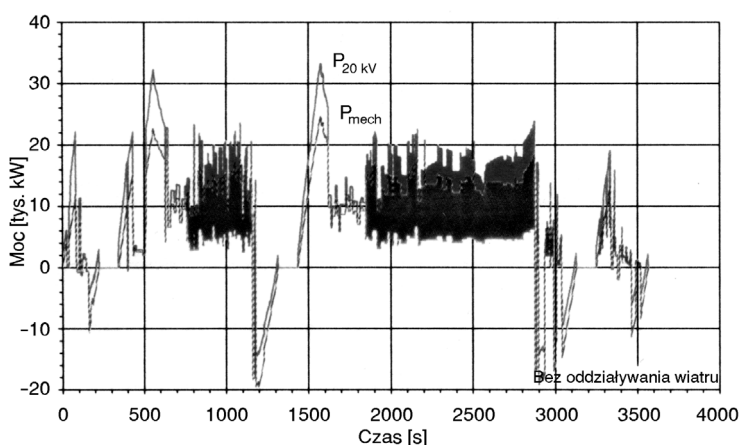
Na rysunkach 5 i 6 przedstawione są wykresy mocy czynnej wszystkich badanych systemów dla jazdy z Hamburga do Berlina. Wyliczone na tej podstawie wartości bezwzględne zapotrzebowania energii w funkcji prędkości maksymalnej przedstawione są na rysunku 7.

Z powodu zróżnicowanych czasów jazdy przy takiej samej prędkości maksymalnej, na rysunku 8 przedstawiono względne zapotrzebowanie na energię (watogodziny przypadające na jedno miejsce siedzące i na 1 km) w funkcji osiągniętych czasów jazdy. Wielkości te stanowią bardzo pogłądowe i użyteczne kryterium porównania badanych systemów.

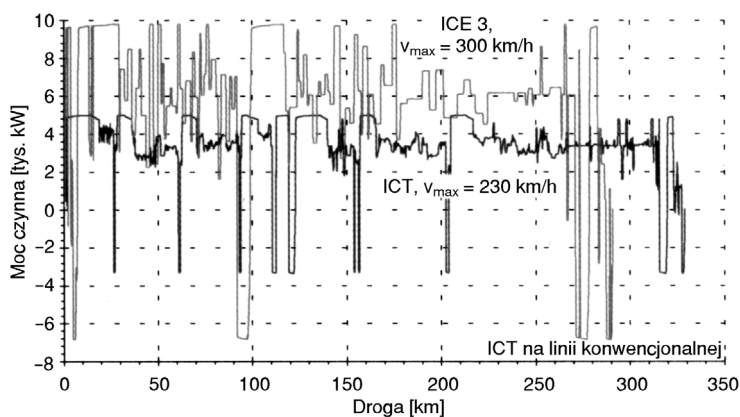
Wyliczone w ten sposób względne zapotrzebowanie na energię, przy równym czasie jazdy, wynosi dla pociągu TRANSRAPID o około 15 do 30% mniej niż dla ICE 3. Im wyższa jest prędkość, z którą poruszają się pojazdy, zaleta ta przedstawia się coraz bardziej znacząco. Przy tej samej prędkości, równej 330 km/h, względne zapotrzebowanie na energię przez pociąg ICE 3 jest o 20 do 30% większe niż w systemie TRANSRAPID, zależnie od trasowania linii i niezależnie od wykorzystania zwrotu energii do sieci przy systemie kolei magnetycznej (tablica 3 i 4).

Wynikające z porównania na konkretnej trasie Berlin – Hamburg zwiększone zapotrzebowanie energetyczne pociągu TRANSRAPID, w porównaniu z ICE 3, w następstwie jego o ok. 40% większej prędkości jest dość interesujące. Względne wartości zapotrzebowania na energię pociągu TRANSRAPID przy znamionowej eksploatacji są od 20% (przy uwzględnieniu energii zwracanej do sieci) do 33% (bez uwzględnienia energii zwracanej do sieci) większe od wartości dla ICE 3. Jeżeli w obliczeniach uwzględnimy, że wraz z tym skrócony jest o ok. 30% czas jazdy, to pomimo znacznego zwiększenia prędkości jazdy, w porównaniu do systemu koło–szyna, otrzymujemy tylko zbliżony do liniowego wzrost zapotrzebowania na energię. Przy dużych prędkościach osiągnięty więc został, dzięki przejściu na technikę unoszenia magnetycznego, znaczny postęp jakościowy.

Otrzymane wyniki wykazują również, że przy mniejszych prędkościach (do 250 km/h) technologia pojazdu TRANSRAPID nie wykazuje żadnych korzyści energetycznych. Tak więc ten zakres prędkości zostaje zastrzeżony dla systemu koło–szyna. Należy jednak zauważyć, że z powodu dłuższych czasów obiegów, dla identycznego planu jazdy,



Rys. 5. TRANSRAPID, moc mechaniczna i elektryczna moc czynna na poziomie 20 kV (ze zwrotem energii do sieci)



Rys. 6. ICE 3/ICE-T, moc przy odbieraku prądu (pantografie)

w okresie nasilonego ruchu potrzeba będzie większej liczby pociągów.

Porównanie wyników dla obydwu tras wykazuje, że wartości względne zapotrzebowania na energię w niższym zakresie prędkości dla technologii koło-szyna są bardziej rozproszone niż dla systemu kolei magnetycznej. Można to wytłumaczyć, że dostosowanie konfiguracji napędu do konkretnych wymagań warunków jazdy ma istotny wpływ na wydajność i ekonomiczność systemu. Odnoszenie wyników do innych przypadków zastosowań jest w związku z tym ograniczone.

Z dużej liczby wykonanych obliczeń, w niniejszym opracowaniu mogą być zaprezentowane tylko niektóre charakterystyczne wyniki. Inne ważne wielkości (np. trasowanie, liczba sekcji, zapotrzebowanie mocy) były również analizowane i wykorzystywane przy badaniach nad ekonomicznością technologii kolei magnetycznej oraz przy pracach projektowych.

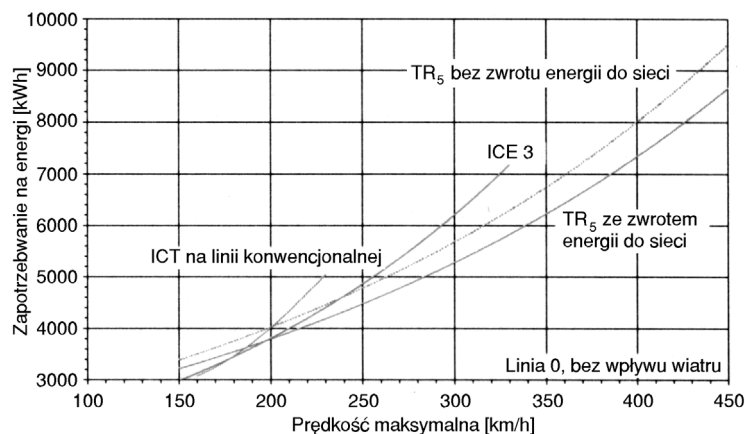
Autor

dr inż. Arnd Stephan

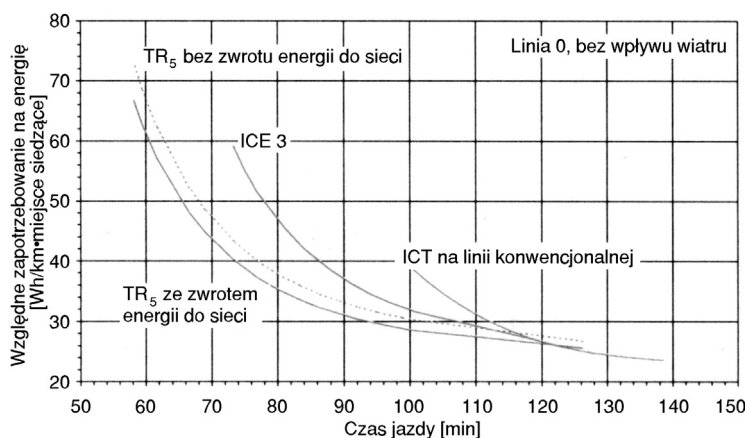
IFB – Instytut Techniki Kolejowej GmbH,

Drezno, Niemcy

Wykład wygłoszony na konferencji Semtrak
w Zakopanem, 28–30.09.2000



Rys. 7. Całkowite zapotrzebowanie energii w funkcji prędkości maksymalnej



Rys. 8. Względne zapotrzebowanie na energię w funkcji czasu jazdy, trasa Hamburg – Berlin, linia 0

Prenumerata '2002 ■ Prenumerata '2002 ■ Prenumerata '2002 ■ Prenumerata '2002

tts

Cena czasopisma w prenumeracie w 2002 r. wynosi 24,00 zł (rocznie 288 zł) za 1 egzemplarz, przy zamówieniu dwóch lub więcej egzemplarzy – 18,00 zł za każdy egzemplarz (rocznie po 216 zł).

Prenumerata zagraniczna:

- 7 EURO za jeden egzemplarz z wysyłką Europa (rocznie 84 EURO),
- 8 USD za jeden egzemplarz z wysyłką poza Europę, poczta lotnicza (rocznie 96 USD).

tr

Cena czasopisma w prenumeracie w 2002 r. z bonifikatą wynosi 15,00 zł (rocznie 60 zł) za 1 egzemplarz.

Prenumerata zagraniczna:

- 5,40 EURO za jeden egzemplarz z wysyłką Europa (rocznie 21,60 EURO),
- 6,30 USD za jeden egzemplarz z wysyłką poza Europę, poczta lotnicza (rocznie 25,20 USD).

Cena czasopisma w prenumeracie w 2002 r. z bonifikatą wynosi 16,00 zł za 1 egzemplarz (w sprzedaży detalicznej 19 zł). Roczna prenumerata – 192 zł.

Prenumerata zagraniczna:

- 5,40 EURO za jeden egzemplarz z wysyłką Europa (rocznie 64,8 EURO),
- 6,30 USD za jeden egzemplarz z wysyłką poza Europę, poczta lotnicza (rocznie 75,6 USD).

Œwiat kolei

Zamówienia na prenumeratę każdego z czasopism można dokonać na dowolnie wybrany okres