Jan Raczyński

Pociągi dużych prędkości – kierunki rozwoju

Po 40 latach od uruchomienia pierwszej linii dużej prędkości Tokio – Osaka konstrukcje pociągów dużej prędkości przeszły znaczącą ewolucję, ale zasadnicze założenia na których się opierały nie uległy zmianie. Są to pociągi zespołowe z napędem skupionym w jednostkach napędowych na czole pociągu lub rozłożonym w poszczególnych wagonach. W sposób istotny zwiększyła się prędkość maksymalna, do której są eksploatowane pociągi, z początkowych 210 km/h do 330 km/h w najnowszych konstrukcjach. W Europie została też dokonana prawna unifikacja rozwiązań technicznych, które są zawarte obecnie w specyfikacjach technicznych interoperacyjności (TSI).

Pociągi dużej prędkości, których wyprodukowano już ponad 2000, przejęły w Europie ponad 20% pracy przewozowej kolei liczonej w pasażerokilometrach. Ich duża niezawodność i komfort podróżowania jaki zapewniają sprawia, że stały się one synonimem nowoczesnej kolei. Wiele z zastosowanych w nich nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych znalazło zastosowanie w pociągach klasycznych.

W artykule zostanie dokonany przegląd typowych cech konstrukcyjnych pociągów dużej prędkości oraz rozwoju najbardziej znanych serii konstrukcyjnych, ograniczając się do typów o prędkościach maksymalnych zasadniczo powyżej 250 km/h, bez mechanizmu przechyłu pudła.

Główne cechy konstrukcyjne

Konfiguracja pociągu

Układ pociągu dużej prędkości jest zdeterminowany przede wszystkim wielkością zapotrzebowania na moc do jego napędu. Aby zapewnić utrzymanie prędkości 300 km/h dla pociągu o masie około 400 t, niezbędne jest zainstalowanie zespołów napędowych o mocy ponad 8 MW. Współczesne lokomotywy elektryczne mają moce w granicach do 6–7 MW. Masa tych lokomotyw wynosi od 86 do 90 t, co oznacza, że naciski statyczne na oś wynoszą dla nich około 22 t. Przy tak dużych naciskach i prędkościach powyżej 200 km/h należy się liczyć z dużymi oddziaływaniami dynamicznymi na tor. Z doświadczeń wynika, że optymalne naciski – z punku widzenia konstrukcji toru i jego utrzymania – przy większych prędkości jazdy pociągu powinny wynosić 17 do 18 t. Z tego powodu od samego początku kolei dużych prędkości przyjęły się dwa rozwiązania konstrukcyjne:

1) rozłożenie napędu w poszczególnych wagonach pociągu;
2) rozłożenie napędu na dwie jednostki napędowe na obu końcach pociągu.

Szczególnych przypadkiem dla drugiego rozwiązania jest pociąg ICE 2, który jest „skróconą" wersją pociągu ICE 1 z dwiema jednostkami napędowymi na końcach pociągu. Krótszy skład pociągu ICE 2 wymaga tylko jednej jednostki napędowej, a na drugim końcu pociągu znajduje się tylko wagon sterowniczy z przedziałami dla pasażerów i kabiną maszynisty. Z kolei w niektórych pociągach serii TGV z dwiema jednostkami napędowymi stosowane są rozwiązania z dodatkowym napędem na skrajne osie wagonów przy czołowych jednostkach napędowych (TGV-PSE, Eurostar).

Specyfikacja TSI dla pociągów dużej prędkości standaryzuje ważniejsze cechy konstrukcyjne najnowszych pociągów wprowadzanych do eksploatacji na obszarze Unii [1].

Największa długość uformowanego pociągu nie może przekraczać 400 m. Dopuszcza się tolerancję wynosząca 1%, w celu swobody konstrukcyjnej przy formowaniu czoła pociągu ze względów aerodynamicznych Powinny być jednak uwzględnione spotykane długości peronów na liniach konwencjonalnych, po których porusza się pociąg.

Pociągi powinny być sformowanymi na stałe składami o własnym napędzie, przygotowanymi do eksploatacji w obu kierunkach i uzyskującymi określone parametry pracy. Na każdym końcu muszą posiadać kabinę maszynisty, w celu ułatwienia zmiany kierunku jazdy na stacjach krańcowych i w przypadku ewakuacji z tunelu.

Dopuszczalne są następujące rozwiązania:

- łączony na stałe konwencjonalny lub członowy skład pociągu,
- pociągi z systemami przechyłu lub bez nich,
- pociągi jedno- lub dwupoziomowe .

Dopuszczalne jest łączenie pociągów tego samego typu, w celu dostosowanie liczby miejsc dla pasażerów do zmieniających się potrzeb przewozowych

Nie jest wymagane, by pociągi wykonane przez różnych producentów lub z innych sieci musiały mieć możliwość pracy w połączeniu ze sobą.

Skrajnia pojazdu musi odpowiadać dynamicznemu zarysowi odniesienia dla jednej z następujących skrajni pojazdów: UIC 505-1, GA, GB lub GC. Wyboru skrajni należy dokonać stosownie do tras, na których tabor ma być eksploatowany.

Pudło każdego pojazdu musi wytrzymać wzdłużne statyczne obciążenie ściskające na poziomie mocowania sprzęgu co najmniej 1500 kN, nie doznając odkształcenia szczątkowego. Jeśli obciążenie to jest mniejsze niż wytrzymałość wzdłużna określona kryteriami bezpieczeństwa biernego, należy zastosować kryteria bezpieczeństwa biernego.

W zakresie bezpieczeństwo biernego (odporność na zderzenia) w przypadku uderzenia czołowego, główne wymagania do spełnienia to:

– ograniczone odkształcenie obszarów przeznaczonych dla maszynisty i pasażerów, wynikające z wytrzymałości statycznej umożliwiającej wytrzymanie średniego obciążenia zderznego 1500 kN;
– rozproszenie 6 MJ energii zderzenia, z czego przynajmniej 4,5 MJ musi zostać rozproszone w przedniej części pierwszego pojazdu;

– wszystkie pojazdy w składzie pociągu muszą mieć podobny poziom odporności na zderzenie;
– maksymalne średnie opóźnienie w obszarach przeznaczonych dla pasażerów oraz kabinie maszynisty do 5 g;
– czoła pojazdów muszą być wyposażone w urządzenia zapobiegające wspinaniu.

Pociągi muszą wytrzymywać mechaniczne obciążenia powodowane zmianami ciśnienia w tunelach. Konstrukcja pociągu musi zapewniać by nigdy nie następowało przekraczanie wartości największych zmian ciśnienia (10 kPa), nawet w przypadku uszkodzenia szczelności ciśnieniowej pojazdów, jeśli taką posiadają.

Osiągi trakcyjne

Specyfikacja TSI wymaga aby pociągi rozwijały największą prędkość w eksploatacji równą:
- co najmniej 250 km/h w przypadku taboru zaprojektowanego do pracy na liniach zbudowanych specjalnie dla dużych prędkości;
- rzędu 200 km/h w przypadku taboru zaprojektowanego do pracy na istniejących liniach, które zostały lub mają zostać zmodernizowane specjalnie dla dużych prędkości.

W celu zapewnienia właściwej kompatybilności z innymi eksploatowanymi pociągami, minimalne średnie przyspieszenie na poziomym torze, musi wynosić:
- 0–40 km/h – 48 cm/s^2,
- 0–120 km/h – 32 cm/s^2,
- 0–160 km/h – 17 cm/s^2.

Przy maksymalnej prędkości w eksploatacji na poziomym torze zdolność przyspieszania musi wynosić co najmniej 5 cm/s^2.

Ze względu na dyspozycyjność i natężenie ruchu pociągi muszą spełniać warunki:
- osiągi muszą być uzyskiwane przy średnim napięciu zasilania dostępnym na odbieraku prądu,
- uszkodzony moduł trakcyjny nie może ograniczać mocy znamionowej pociągu o więcej niż 25%,
- uszkodzenie elementu zasilania trakcyjnego musi umożliwiać kontynuowanie pracy przynajmniej 50% modułów trakcyjnych.

W takich warunkach obciążony normalnie pociąg (liczba miejsc siedzących × 80 kg) z wyłączonym modułem trakcyjnym musi być w stanie ruszyć na maksymalnym wzniesieniu, jakie może napotkać, z przyspieszaniem około 5 cm/s^2. Utrzymanie się w takim trybie rozruchu musi być możliwe przez 10 min, zaś pociąg musi osiągnąć prędkość 60 km/h.

W celu zapewnienia wysokiej dyspozycyjność napędu, wykorzystanie przyczepności nie powinno przekraczać:
– przy rozruchu i bardzo małych prędkościach – 25%,
– przy 100 km/h – 25%,
– przy 200 km/h – 17,5%,
– przy 300 km/h – 10%.

W celu jak najlepszego wykorzystania przyczepności w danych warunkach, pociąg musi być wyposażony w układ zapobiegający poślizgowi w czasie rozwijania siły pociągowej.

Dla prędkości między 50 i 200 km/h największy wykorzystywany współczynnik przyczepności w czasie hamowania nie może przekraczać 0,15. Dla prędkości ponad 200 km/h wartość tego współczynnika przyczepności zmniejsza się liniowo do 0,10 przy 350 km/h.

Napęd pojazdu

Pociągi dużej prędkości osiągające prędkość maksymalną powyżej 250 km/h mają napęd elektryczny. Moce pobierane przez poszczególne rodzaje pociągów mogą osiągać wartości rzędu kilkunastu MW. Tak duże zapotrzebowanie na moc nie jest możliwe do zrealizowania we wszystkich istniejących w Europie systemach zasilania. Najbardziej predestynowanym z tego punktu widzenia systemem jest system zasilania 25 kV prądu przemiennego, może być także stosowany system 15 kV o obniżonej częstotliwości, a także systemy zasilania prądem stałym przy pewnych ograniczeniach mocowych. W tablicy 1 zestawiono dopuszczalne systemy zasilania pociągów dużej prędkości według wymagań specyfikacji TSI, a w tablicy 2 – maksymalne możliwe pobory prądu z sieci trakcyjnej.

Tablica 2

Maksymalne dopuszczalne natężenie prądu [A] pobieranego przez pociąg [1]

System zasilania	Linie		
	dużych prędkości	zmodernizowane	łączące
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

Tablica 1

Napięcia i częstotliwości dopuszczalnych systemów zasilania [1]

Napięcie i częstotliwość	Kategoria linii		
	dużych prędkości	zmodernizowane	łączące
AC 25 kV 50 Hz	×	×	×
AC 15 kV 16,7 Hz	W krajach, gdzie sieci zasilane są obecnie prądem przemiennym 15 kV 16,7 Hz, ten system może być stosowany na nowych liniach. Ten sam system może być również stosowany w sąsiadujących krajach, jeśli jest to ekonomicznie uzasadnione	×	×
DC 3 kV	Zasilanie prądem stałym 3 kV może być stosowane na istniejących liniach oraz na odcinkach nowych linii eksploatowanych z prędkością 250 km/h, jeśli zastosowanie zasilania prądem przemiennym 25 kV 50 Hz stwarzałoby ryzyko zakłócania przytorowego i pokładowego wyposażenia sygnalizacyjnego na istniejących liniach zlokalizowanych w pobliżu nowej linii	×	×
DC 1,5 kV	—	×	×

Hamowanie

Według specyfikacji TSI pociągi muszą osiągać, w zakresie przedstawionych w tablicy 3 prędkości, wymagane średnie opóźnienia.

Hamowanie nagłe w trakcie testów oceny zgodności należy wykonywać w następujących warunkach:
– poziomy tor i normalne obciążenie pociągu,
– wyłączone hamowanie dynamiczne silnikami trakcyjnymi.

W przypadku hamowania nagłego w niekorzystnych warunkach klimatycznych należy dodatkowo uwzględnić:
– odłączony jeden rozdzielacz hamulca pneumatycznego;

Tablica 3

Najmniejsze opóźnienie w ustalonych warunkach hamowania [m/s²]

Tryb	t_e [s]	Zakresy prędkości [km/h]			
		330–300	300–230	230–170	170–0
Hamowanie nagłe	3	0,85	0,9	1,05	1,2
Hamowanie nagłe w niekorzystnych warunkach klimatycznych	3	0,65	0,7	0,8	0,9

t_e[s] – *równoważny (ekwiwalentny) czas wdrożenia.*

Tablica 4

Nieprzekraczalna długość drogi hamowania [m]

Tryb	t_e [s]	Zakresy prędkości [km/h]			
		330–0	300–0	250–0	200–0
Hamowanie nagłe	3	4530	3650	2430	1500
Hamowanie nagłe w niekorzystnych warunkach klimatycznych	3	5840	4690	3130	1940

– zmniejszoną przyczepność koła do szyny;
– zmniejszony współczynnik tarcia między okładziną i tarczą spowodowany zawilgoceniem.

Dla istniejącej już infrastruktury zarządzający może określić dalsze wymagania ze względu na różne systemy sygnalizacji i sterowania itp.

Dla hamowania nagłego w obliczeniach można uwzględnić udział hamulców elektrodynamicznych tylko wtedy, jeżeli ich działanie jest niezależne od obecności napięcia w sieci. Może być uwzględniony udział hamulców działających niezależnie od przyczepności, na zasadzie wzbudzenia prądów wirowych w szynach. W obu przypadkach danych z tablicy 3 musi być spełniony warunek, że niezależny hamulec wiroprądowy jest wyłączony.

Elektromagnetyczne hamulce szynowe, działające niezależnie od przyczepności koła do szyny, muszą mieć dopuszczenia do zastosowania awaryjnego na wszystkich liniach.

W ostatnich latach pojawiły się konstrukcje pociągów (np. ICE 3) z zastosowaniem hamulców wiroprądowych. W sposób istotny poprawiają one osiągi hamowania pociągu. Zgodnie ze specyfikacją TSI zastosowanie hamulców tej konstrukcji, działających niezależnie od przyczepności, na liniach dużej prędkości i łącznikach do nich jest dozwolone na następujących warunkach:
– do hamowania nagłego na wszystkich liniach oprócz niektórych określonych linii łączących wymienionych w rejestrze infrastruktury;
– do hamowania pełnego lub normalnego służbowego na większej części sieci: stosowanie tego typu hamulca jest dopuszczone odrębnie dla każdej linii, jak podano w spisie infrastruktury.

Pociągi wyposażone w tego typu hamulce muszą spełniać następujące wymagania techniczne.

1. Hamulce działające niezależnie od przyczepności mogą być używane od maksymalnej prędkości eksploatacyjnej do 50 km/h ($V_{max} \geq V \geq 50$ km/h).

2. Maksymalne średnie opóźnienie musi być mniejsze od 2,5 m/s² (wartość ta, związana z wzdłużną wytrzymałością toru, musi zostać uzyskana przy użyciu wszystkich hamulców).

3. W najmniej korzystnym przypadku, tj. dla wielu zestawów trakcyjnych połączonych w pociąg o największej dopuszczalnej długości, największa wzdłużna siła hamowania wywierana na tor nie może przekraczać:
– 360 kN podczas hamowania awaryjnego;
– 180 kN (wartość przejściowa) dla pełnego hamowania eksploatacyjnego w celu zachowania ograniczeń prędkości określonych przez system sygnalizacji;
– 100 kN (wartość przejściowa) dla hamowania na dużych pochyłościach lub gdy dostosowanie do ograniczeń prędkości odbywa się automatycznie.

Oprócz warunków technicznych, wymaganych dla granicznych charakterystyk hamowania, pociągi muszą uzyskiwać określone w tablicy 5 średnie opóźnienie w warunkach eksploatacji:

Tablica 5

Najmniejsze opóźnienie w ustalonych warunkach hamowania [m/s²]

Tryb	t_e [s]	Zakresy prędkości [km/h]			
		330–300	300–230	230–170	170–0
Normalne hamowanie służbowe	2	0,35	0,35	0,6	0,6

t_e[s] – *równoważny (ekwiwalentny) czas wdrożenia.*

Pociągi generacji TGV

Eksperymenty

Po II wojnie światowej koleje francuskie (SNCF) rozpoczęły badania nad zwiększaniem prędkości pociągów. Prace te prowadzono równocześnie z programem elektryfikacji sieci kolejowej. W maju 1967 r. SNCF uruchomiły pierwszy pociąg, rozwijający w normalnej eksploatacji prędkość 200 km/h, prowadzony zmodernizowaną lokomotywą serii BB 9200. W 1970 r. wprowadzono do służby 4-wagonowe zespoły trakcyjne ETG, napędzane turbiną gazową o mocy 850 kW, z przekładnią hydromechaniczną, rozwijające prędkość 180 km/h.

Po analizach podjęto decyzję o wykorzystaniu doświadczeń z turbinami do zbudowania napędu pociągu dużej prędkości. Zakłady Alsthom zbudowały eksperymentalny pociąg o napędzie turbinowym, nazwany TGV 001 (*Train Grande Vitesse* – pociąg dużej prędkości), który wszedł do próbnej eksploatacji w 1972 r. Testy trwały do 1978 r., w czasie których pociąg przejechał ponad 50 tys. km z prędkością powyżej 200 km/h. Największą prędkość TGV 001 osiągnął podczas jednej z jazd próbnych 8 grudnia 1972 r. – 318 km/h.

Zespół TGV 001 składał się z dwóch jednostek napędowych na końcach pociągu i trzech wagonów pasażerskich. Całkowita moc czterech turbin gazowych wynosiła 4810 kW. Napęd był przekazywany na zestawy kołowe za pośrednictwem przekładni elektrycznej.

Połączenia wagonów zostały wykonane poprzez ich oparcie na wspólnych wózkach Jacobsa. Pozwoliło to na zmniejszenie masy zespołu, a rozwiązanie to sprawdziło się w praktyce i – mimo pewnych niedogodności związanych z utrudnieniami w razie konieczności rozłączania składu – zostało zastosowane we wszystkich następnych francuskich pociągach dużej prędkości.

W okresie projektowania TGV 001 za napędem turbinowym przemawiały zarówno większa elastyczność eksploatacyjna, jak i ówczesne analizy ekonomiczne. Kryzys paliwowy lat 70. XX w., jak i wzrastające znaczenie zagadnień ekologicznych spowodowały zmianę stanowiska SNCF. W 1976 r. zostało złożone zamówienie na dwa prototypowe pociągi już o napędzie elektrycznym.

TGV (PSE)

Pierwsze pociągi serii TGV były przeznaczone do obsługi nowej linii, łączącej Paryż i Lyon, nazwanej TGV Sud-Est. Linia ta została zaprojektowana na prędkość maksymalną do 300 km/h, przy dopuszczalnym nacisku na oś ograniczonym do 17 t i stosunkowo dużych pochyleniach – do 35‰. Linia jest zelektryfikowana napięciem 25 kV 50 Hz. Początkowo zakładano największą prędkość eksploatacyjną pociągów 260 km/h, jednak w 1983 r. zwiększono ją do 270 km/h, a później do 300 km/h.

W konstrukcji pociągów przyjęte zostały podstawowe koncepcje, które stały się standardem budowy pociągów dużych prędkości we Francji aż do chwili obecnej:

– dwie jednostki napędowe na końcach pociągu w układzie osi BoBo;
– największy nacisk na oś 17 t;
– środkowe wagony pasażerskie oparte na wspólnych wózkach (Jacobsa), przy czym krańcowe wagony od jednostek napędowych mają samodzielny wózek.

Rys. 1. Pociąg TGV-PSE *Fot. Alstom*

Połączenie wagonów pasażerskich wspólnymi wózkami ogranicza także wzajemne ruchy poprzeczne poziome i pionowe sąsiednich wagonów. Poprawia to spokojność jazdy, jak również zwiększa stabilność składu w razie wykolejenia.

Pociągi TGV PSE składają się z dwóch wagonów silnikowych oraz ośmiu doczepnych i mają łącznie 13 wózków. 12 silników trakcyjnych prądu stałego umieszczonych jest na czterech wózkach jednostek napędowych oraz na jednym skrajnym wózku w przylegających do tych jednostek wagonach pasażerskich. Silniki trakcyjne zawieszone są w pudłach wagonów, a moment napędowy przekazywany jest na zestawy napędne za pośrednictwem wałów Kardana. Całkowita moc napędu wynosi 6400 kW i umożliwia utrzymanie prędkości 270 km/h na największych, występujących na nowej linii wzniesieniach (35‰).

Większość pociągów została zbudowana jako dwusystemowe, na prąd przemienny 25 kV 50 Hz i stały 1,5 kV. Część z nich została również przystosowana do zasilania prądem 15 kV 16 2/3 Hz i przeznaczona jest do ruchu na sieci kolei szwajcarskich, zapewniając bezpośrednie połączenie Paryża z Lozanną i Bernem.

Każdy wagon silnikowy wyposażony jest w dwa pantografy: jeden dla prądu przemiennego i drugi dla stałego.

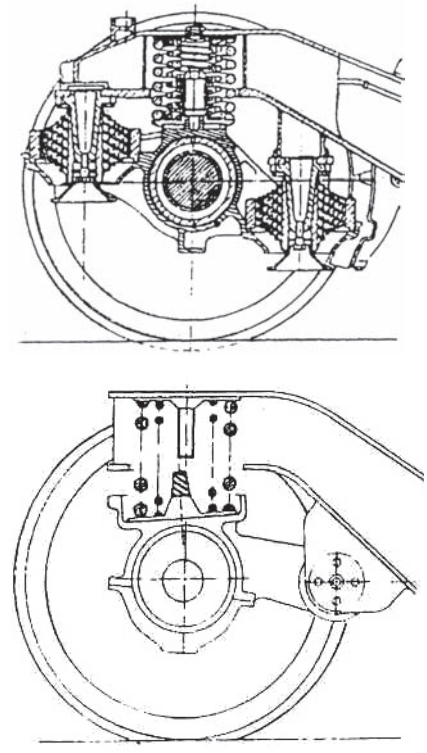
Długość składu TGV PSE wynosi 200,19 m, a całkowita masa służbowa (w podstawowej wersji) 385 t. Długość wagonu silnikowego wynosi 22,1 m, a jego masa 64,2 t, co daje nacisk nieco ponad 16 t na oś. Skrajne wagony pasażerskie mają po 21,8 m, a środkowe – po 18,7 m długości. Pociąg ma 3 wagony 1. klasy i 4 wagony 2. klasy. Między wagonami obu klas znajduje się wagon barowy. Dwa zespoły mogą być połączone i pracować w trakcji podwójnej.

Zestawy kołowe są prowadzone kolumnowo, z wykorzystaniem elementów gumowo-metalowych. Odsprężynowanie jest dwustopniowe za pomocą sprężyn spiralnych, przy czym sprężyny II stopnia osadzone są w specjalnych cylindrach i oparte na ramie wózka. Na sprężynach tych wsparta jest z kolei rama, stanowiąca element łączący pudła sąsiadujących wagonów.

Po około dwuletniej eksploatacji w zespołach TGV-PSE podczas jazdy z większymi prędkościami zaczęły występować dokuczliwe wibracje. Z tego względu wymieniono sprężyny spiralne stalowe w drugim stopniu zawieszenia na amortyzatory pneumatyczne tak, jak w późniejszych pociągach TGV-A.

a)

b)



Rys. 2. Odsprężynowanie I stopnia *Źr. Alstom*
a) wariant TGV-PSE, b) wariant TGV-A

Skład wyposażony jest w trzy rodzaje hamulców:

1) elektrodynamiczny (wózki napędne);
2) tarczowe (wózki toczne), po cztery tarcze na oś;
3) klockowe (wszystkie wózki) na powierzchnię toczną koła.

Minimalna droga hamowania z prędkości 270 km/h wynosi 3500 m.

Wszystkie pociągi TGV i nowe linie dużych prędkości wyposażone są w urządzenia sygnalizacji kabinowej z kontrolą prędkości (ATC) systemu TVM (*Transmission Voie Machine*) [2]. Na linii TGV Sud-Est jest to wersja TVM 300, przekazująca do pojazdu 18 sygnałów. Na pulpicie maszynisty wyświetlanych jest 10 różnych informacji dotyczących dozwolonej prędkości jazdy i konieczności jej zmniejszenia, aż do zatrzymania.

26 lutego 1981 r. skład TGV, skrócony do siedmiu wagonów, ustalił nowy światowy rekord prędkości – 380 km/h na odcinku linii Sud-Est, między Passily a Tonnerre.

Po piętnastu latach eksploatacji pociągi zostały podane renowacji. Zmienione zostało wyposażenie wnętrz wagonów dla zwiększenia komfortu podróży, a prędkość maksymalna pociągów została zwiększona do 300 km/h. Nie dokonywano wymiany silników

trakcyjnych prądu stałego, a tylko zastosowano nowe przekształtniki.

TGV-A

Pociągi serii TGV Atlantique (TGV-A) weszły po raz pierwszy do eksploatacji w 1989 r. na linii dużej prędkości jazdy Paryż – Le Mans w Bretanii.

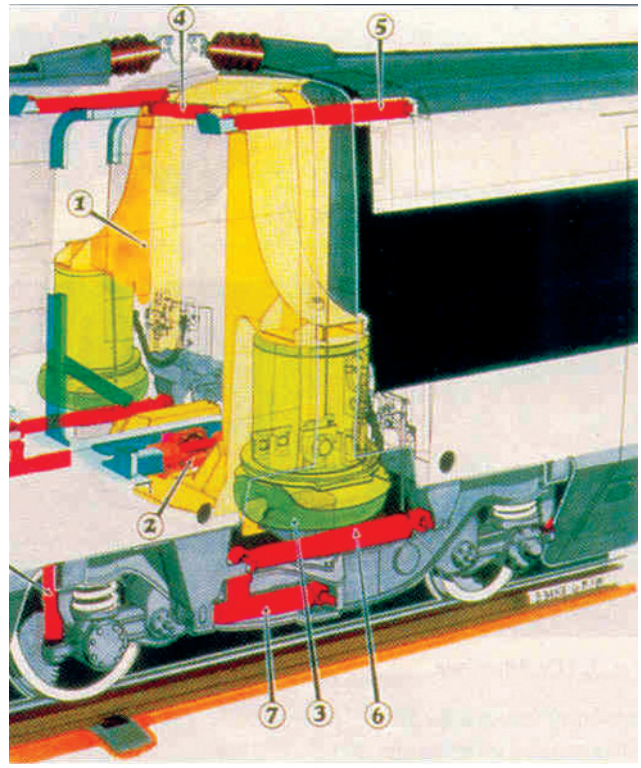
W porównaniu z pociągami TGV-PSE wprowadzono w nich wiele innowacji. Zwiększono liczbę wagonów z 10 do 12.

Największe zmiany dotyczyły napędu. Po raz pierwszy zastosowano silniki trakcyjne 3-fazowe synchroniczne prądu przemiennego o prawie 2-krotnie lepszym wskaźniku mocy na jednostkę masy i przekształtniki z wykorzystaniem tyrystorów GTO z chłodzeniem freonem. Umożliwiło to ograniczenie ich liczby do 8 (tylko w jednostkach napędowych) i rezygnację z ich montażu w wagonach dla pasażerów przy zwiększeniu mocy napędu pociągu do 8800 kW. Duża moc pozwala pociągowi TGV-A na osiąganie prędkości maksymalnej 300 km/h na torze poziomym w czasie zaledwie 6½ min i na drodze ok. 3,5 km.

Pociąg TGV-A przystosowane są do dwóch systemów zasilania: 25 kV 50 Hz prądu przemiennego i 1,5 kV prądu stałego.

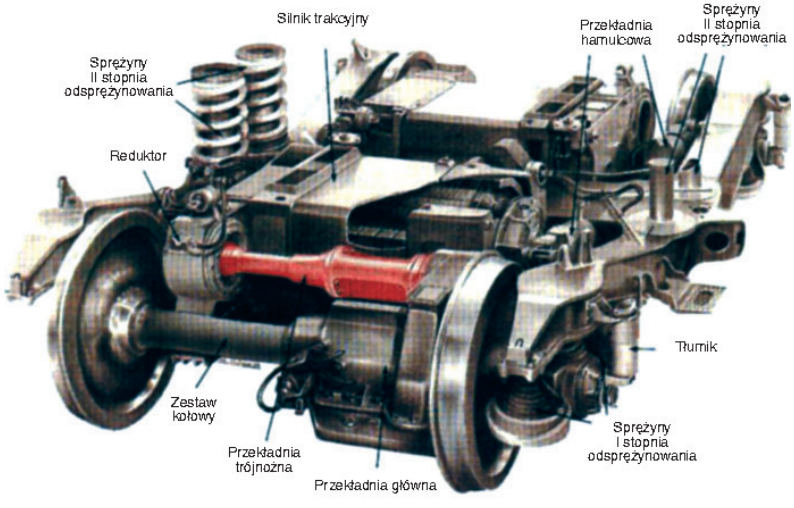
Do sterowania pociągiem zastosowano pokładowy system komputerowy typu TORNAD, który nadzoruje jazdę pociągu z wykorzystaniem maksymalnego przyspieszenia w czasie rozruchu i maksymalnego opóźnienia w czasie hamowania, a także nadzoruje bezpieczeństwo jazdy odpowiednio do sygnałów odbieranych z obwodów torowych. Łącznie w zespole TGV-A znajduje się 18 mikroprocesorów, w tym po 4 w każdym członie napędnym i po jednym w każdym wagonie pasażerskim. System komputerowy przeprowadza również statyczną próbę hamulców pociągu, a jej wynik zapisuje w swojej pamięci.

Rys. 3. Pociąg TGV-A *Fot. w. Glass*



Rys. 5. Odsprężynowanie II stopnia wagonów pasażerskich
1 - pierścień połączenia przegubowego, 2 - przegub Cardana, 3 - przepona o wysokiej podatności, 4 - tłumik kołysań bocznych między wagonami, 5 - górny tłumik międzywagonowy, 6 - dolny tłumik międzywagonowy, 7 - tłumik odchylenia kątowego, 8 - tłumik pionowy zawieszenia I stopnia *Źr. Alstom*

Pociąg TGV-A na linii Paryż – Tours, na 166,8 kilometrze od Paryża, na spadku 25‰, tuż za mostem nad Loarą ustanowił 18 maja 1990 r. światowy rekord prędkości jazdy $v = 515{,}3$ km/h. Do ustanowienia rekordu użyto zespołu trakcyjnego TGV-A nr 325, specjalnie przystosowanego do tego celu. Zastosowano między innymi skład tylko 5-wagonowy (2 wagony napędne i 3 doczepne) o łącznej masie 250 t, o zwiększonej średnicy zestawów kołowych z 920 mm do 1090 mm oraz zastosowano zasilanie napięciem w sieci trakcyjnej podwyższonym z 25 do 29,5 kV.



Rys. 4. Wózek wagonu silnikowego *Źr. Alstom*

AVE

W 1992 r. oddano do eksploatacji pierwszą linię dużych prędkości w Hiszpanii: *Alta Velocidad Española*, w skrócie AVE. Przyjęto system elektryfikacji prądem 25 kV 50 Hz, a w obrębie wspólnych stacji z siecią konwencjonalną, nowa linią zasilana jest standardowym w Hiszpanii napięciem stałym 3 kV.

Do obsługi linii zamówiono 24 pociągi oparte na rozwiązaniach z pociągów TGV-A. Pociągi AVE mają dwa wagony silnikowe

i osiem wagonów pasażerskich. Podstawowe parametry tych pociągów – poza liczbą wagonów – są w zasadzie takie same, jak pociągów TGV-A. Drobne różnice wynikają między innymi z zastosowania na linii innych urządzeń ATC, jest to system LZB, dostarczony, podobnie jak inne urządzenia sterowania ruchem, przez niemiecką firmę Alcatel SEL.

Rys. 6. Pociąg AVE *Fot. Alstom*

Inaczej niż we francuskich pierwowzorach rozplanowano wnętrze wagonów. W zespole AVE pierwszy wagon doczepny ma 30 miejsc klasy Club oraz ośmiomiejscowy przedział konferencyjny. Następne dwa wagony mają razem 78 miejsc klasy Preferente. Łącznie jest więc 116 miejsc 1. klasy. Kolejny wagon mieści bar-kafeterię, za nim znajdują się trzy wagony z 213 miejscami klasy turystycznej (drugiej). W wagonie klasy turystycznej znajduje się tzw. przedział rodzinny z miejscem dla podróżujących z niemowlętami oraz przestrzenią do zabawy dla dzieci. Wszystkie wagony są wyposażone w monitory telewizyjne. Urządzenia klimatyzacyjne są dostosowane do cieplejszego, hiszpańskiego klimatu.

Eurostar

Do obsługi nowych połączeń przez tunel pod kanałem La Manche, uruchomionych w 1994 r., zostało zamówionych 38 pociągów *Eurostar* opartych na rozwiązaniach konstrukcyjnych pociągów TGV. Większość zmian, jakie wprowadzono w pociągach *Eurostar*, wynikło z konieczności sprostania wymaganiom bezpieczeństwa, związanym z przejazdem przez tunel, oraz dostosowania do skrajni obowiązującej na kolejach brytyjskich, która jest mniejsza niż w kontynentalnej Europie. Pociągi *Eurostar* są węższe niż inne typy pociągów TGV – 2,8 m zamiast 2,904 m. Modyfikacji poddano także wózki w celu ograniczenia wystawania elementów zawieszenia pneumatycznego i tłumików. Ponadto pociągi zostały dostosowane do wysokich peronów powszechnych w Wielkiej Brytanii. Realizowane jest to w sposób automatyczny – w trakcie otwierania drzwi wysokość stopni dostosowywana jest do wysokości peronu.

Rys. 7. Pociągi Eurostar *Fot. Alstom*

Długość pociągu wynosi 394 m, a jego masa w stanie próżnym 717,5 t.

Pociąg składa się z dwóch symetrycznych części. Każda z nich ma jedną czołową jednostkę napędową i 9 wagonów pasażerskich. Ponieważ ostatni z wagonów na drugim końcu jest także oparty na własnym wózku, możliwe jest rozdzielenie pociągu na dwie części w sytuacjach awaryjnych (np. w tunelu) i samodzielne ich odjechanie w przeciwnych kierunkach.

Zasilanie pociągu z sieci trakcyjnej jest możliwe z napięć: 25 kV 50 Hz, 3 kV i 750 V prądu stałego (z trzeciej szyny). Ta ostatnia możliwość jest wykorzystywana w regionie Londynu.

Moc maksymalna napędu pociągu wynosi dla:

- 25 kV 50 Hz – 12,2 MW;
- 3 kV – 5,7 MW;
- 750 V – 3,4 MW.

Do napędu zastosowano silniki synchroniczne – po cztery w każdej jednostce napędowej i dwa na wózku wagonów od strony jednostki napędowej.

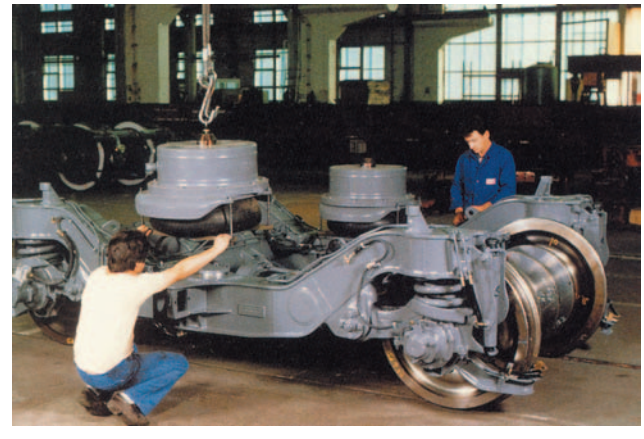
Pociągi *Eurostar* wyposażone są w 5 różnych systemów ATP/ATC stosowanych we Francji, Belgii, i Wielkiej Brytanii.

TGV Réseau

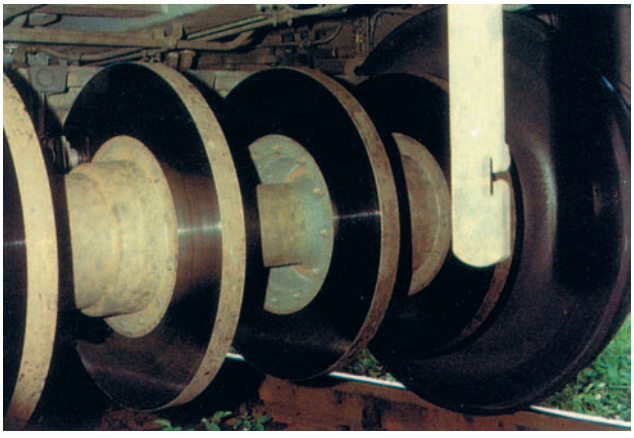
Pierwsze pociągi TGV Réseau oddano do eksploatacji w 1995 r. na trasie Paryż – Bruksela przez Lille. Część pociągów TGV-R dostosowana jest do trzech systemów zasilania, tj. 25 kV 50 Hz prądu przemiennego oraz 1,5 i 3 kV prądu stałego.

Pociągi TGV-R składają się z 10 wagonów, w tym 2 wagonów silnikowych i 8 wagonów pasażerskich. Ich konstrukcja bazuje na rozwiązaniach pociągu TGV Atlantique zarówno w części elektrycznej, jak i mechanicznej, z pewnymi udoskonaleniami, np. wprowadzeniem niemal hermetycznej szczelności składu, którą uzyskano poprzez zmianę konstrukcji przejść międzywagonowych.

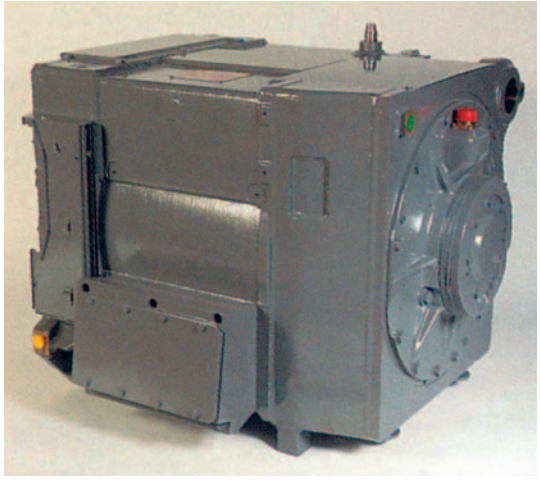
Wnętrze pociągu TGV-R podobne jest do pociągu TGV-A. Spośród 8 wagonów pasażerskich 3 wagony są klasy 1., a 5 wagonów klasy 2. Połowa jednego z wagonów klasy 2. przeznaczona jest na bufet.



Rys. 8. Montaż wózka TGV-R *Fot. Alstom*



Rys. 9. Tarcze hamulcowe w wózku tocznym *Fot. J. Raczyński*



Rys. 10. Silnik trakcyjny *Fot. Alstom*

Pociąg TGV-R przy zasilaniu napięciem 25 kV ma moc ciągłą 8800 kW i wówczas może rozwinąć prędkość maksymalną 300 km/h, natomiast przy zasilaniu napięciem 3 kV ma moc 4000 kW i prędkość maksymalną 240 km/h.

Podobnie jak inne pociągi TGV, także pociąg TGV-R ma dwa różne pantografy na każdym wagonie silnikowym. Przy zasilaniu napięciem 25 kV jazda odbywa się z wykorzystaniem tylko jednego (tylnego) pantografu, a silniki w członie czołowym zasilane są przewodem 25 kV, poprowadzonym wzdłuż całego składu, natomiast przy zasilaniu napięciem 1,5 kV lub 3 kV podniesione są oba pantografy i każdy człon zasilany jest ze swojego pantografu. Rozwiązanie takie spowodowane jest tym, że przy zasilaniu napięciem 3 kV, mimo podniesionych obu pantografów, przez każdy z pantografów płynie w czasie rozruchu prąd 2400 kW/3 kV = = 800 A, natomiast przy napięciu 25 kV prąd płynący przez jeden pantograf wynosi 10800 kW/25 kV = 430 A. Moce: 2×2400 kW i 10800 kW są to moce chwilowe zespołu TGV-R w czasie rozruchu.

Thalys

Pociągi TGV *Thalys* (TGV-T) weszły do eksploatacji w 1997 r. Obsługują one sieć połączeń między Francją, Belgią, Niemcami i Holandią.

Thalys może być zasilany z czterech systemów napięć 25 kV 50 Hz i 15 kV 16 2/3 Hz prądu przemiennego oraz 1,5 kV i 3 kV prądu stałego. Jest on też wyposażony w siedem różnych systemów ATP/ATC, w tym dwa francuskie, dwa belgijskie, dwa niemieckie i jeden holenderski.

Rys. 11. Pociąg Thalys *Fot. W. Glass*

Pociąg TGV Thalys, przy zasilaniu napięciem 25 kV i jednocześnie przy jeździe po nowych liniach, może osiągać prędkość maksymalną 300 km/h, natomiast przy zasilaniu napięciem 15 kV 16 2/3 Hz prędkość maksymalna wyniesie 260 km/h, a przy napięciach 3 kV i 1,5 kV – 240 km/h.

Zestawienie pociągu TGV Thalys jest identyczne z pociągiem TGV Réseau.

Ze względu na eksploatację także w ruchu prawostronnyn, obowiązującym na kolejach NS i DB, poza ruchem lewostronnym – stosowanym na kolejach SNCF i SNCB – stanowisko maszynisty zostało, w porównaniu z innymi pociagami serii TGV, przesunięte z lewej strony kabiny na jej środek.

TGV Duplex

Szybko zwiększające się przewozy na pierwszej linii LGV Paryż – Lyon spowodowały zainteresowanie kolei SNCF pociągami o dużej pojemności, jakimi są konstrukcje z wagonami piętrowymi. Pociągi TGV-D są już III generacją pociągów TGV. W pociągach tych, oprócz zwiększenia liczby miejsc dla pasażerów, uzyskano znaczną poprawę komfortu podróżowania poprzez zwiększenie powierzchni przypadającej na 1 pasażera o ok. 66% w stosunku do poprzednich typów pociągów TGV.

Fot. 12. Pociąg TGV Duplex *Fot. Alstom*

Warunek utrzymania nacisku na oś nie większego niż 17 t spowodował konieczność zastosowania nowych, lekkich materiałów konstrukcyjnych, zwłaszcza aluminium do wykonania pudeł wagonów.

Pociąg TGV-D składa się z dwóch wagonów silnikowych jednopoziomowych i ośmiu wagonów doczepnych piętrowych. Wagony doczepne (pasażerskie) są oparte na wspólnych wózkach, podobnie jak dotychczas wagony jednopoziomowe. Pociąg składa się z trzech wagonów 1. klasy, czterech wagonów 2. klasy i wagonu z barem na górnym poziomie. Dolny poziom wagonu barowego wykorzystany jest na aparaturę, na którą nie ma miejsca w dwupoziomowych wagonach pasażerskich. Przejścia między wagonami możliwe są tylko na poziomie górnym.

Łączna pojemność składu TGV-D wynosi 548 miejsc, w tym 195 miejsc w klasie 1. i 353 miejsca w klasie 2. Całkowita masa zespołu po wypełnieniu pasażerami wyniesie 427 t.

W pociągu TGV Duplex poprawiono również wytrzymałość na zderzenia. Wzmocniono te miejsca, które są zajmowane przez pasażerów i obsługę z wykorzystaniem informacji z najcięższych wypadków kolejowych. Niektóre miejsca pociągu mają specjalnie zaprojektowane strefy zgniatania, które mają służyć pochłanianiu energii w czasie zderzenia, przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej sztywności całego składu. Pomysł wykonania stref zgniatania powstał w czasie prób zderzenia pudła pociągu z nieruchomą ścianą przy prędkości 45 km/h. Główne strefy zgniatania w pociągu TGV Duplex są ulokowane przy każdym z końców pociągu oraz między wagonem silnikowym i przyległym wagonem doczepnym, a także między środkowymi wagonami doczepnymi. Wykonano także zabezpieczenie przed najeżdżaniem jednego wagonu na drugi poprzez wyposażenie sprzęgów między wagonami doczepnymi w specjalne urządzenia.

Pociągi TGV-D są 2-systemowe: 25 kV 50 Hz i 1,5 kV prądu stałego. Zastosowano tradycyjny, jak w poprzednio produkowanych pociągach TGV, napęd ośmioma silnikami 3-fazowymi synchronicznymi o łącznej mocy 8800 kW.

TGV Korea (KTX)

Plany zbudowania linii kolejowej dużej prędkości między Seulem a Pusan pojawiły się już w latach 80. XX w. Jednak dopiero w 1994 r. została podpisane umowy na rozpoczęcie prac. Linia została oddana do eksploatacji w 2004 r. Do jej obsługi zostało zamówionych 46 pociągów typu TGV.

Zamówiony tabor jest pochodną konstrukcji pociągów TGV Réseau. Pociągi KTX mają przede wszystkim większą liczbę wagonów – 18, przez co uzyskano w nich 935 miejsc do siedzenia. Pociągi mają po 393 m długości. Inny jest ponadto kształt czoła pociągu KTX.

Zespół KTX zasilany jest napięciem 25 kV 60 Hz i ma możliwość hamowania odzyskowego.

Każdy z pociągów jest wyposażony w 12 silników trakcyjnych synchronicznych o mocy 1,1 MW każdy. Silniki są umieszczone na wszystkich osiach jednostek napędowych oraz na dwóch przyległych do członów napędowych wózkach wagonów pasażerskich. Dwa pierwsze składy pociągów zostały zbudowane całkowicie we Francji. Po nich zbudowana została we Francji seria informacyjna 10 składów już z wykorzystaniem niektórych podzespołów i części wytworzonych w Korei według technologii przekazanej z Francji. Dopiero ostatnie 34 zespoły zostały zbudowane już w Korei przez firmy Hyundai, Daewoo i Hanjin pod nadzorem specjalistów z Alstoma. Składy te musiały zostać bardzo dobrze zabezpieczone przed gwałtownymi zmianami ciśnienia z powodu dużej liczby tuneli na całej trasie – ogółem 138 km linii będzie przebiegało w tunelach.

Prototypy pociągów AGV

W październiku 2001 r. rozpoczęły się na linii Lille – Calais próby ruchowe pierwszych wagonów nowego francuskiego pociągu dużej prędkości Automotrice à Grande Vitesse (AGV). Pociąg ten jest prototypem kolejnej generacji pociągów dużej prędkości TGV, w którym producent wprowadził rozłożony napęd trakcyjny. Postęp, jaki nastąpił w ostatnich latach, w dziedzinie energoelektroniki i przetwarzania energii, zwłaszcza w dziedzinie przekształtników budowanych na elementach IGBT oraz asynchronicznych silników trakcyjnych, umożliwił zabudowanie zespołów napędowych w wagonach pasażerskich bez istotnego ograniczania przestrzeni dostępnej dla pasażerów.

Pociągi AGV mogą być budowane jako składy 3- lub 4-wagonowe, z dwoma wózkami napędowymi, przez co długość składu będzie wynosiła od 140 do 200 m, a liczba miejsc do siedzenia – od 280 do 430.

Przewiduje w perspektywie osiąganie przez pociągi AGV prędkości maksymalnej 350 km/h.

Nowy pociąg AGV będzie zbudowany tylko z dwóch rodzajów wagonów – skrajnych z kabiną sterowniczą oraz przejściowych.

Aparatura trakcyjna będzie montowana pod podłogą w obu rodzajach wagonów.

Rys. 13. Koreański pociąg TGV *Fot. Alstom*

Rys. 14. Prototypowy pociąg AGV *Fot. Alstom*

Tablica 1

Dane techniczne pociągów TGV

Typ pociągu		TGV-PSE	TGV-A	TGV-R	Eurostar	Thalys	TGV-D	AVE	TGV Korea
Rok budowy		1978	1989	1992	1994	1997	1997	1991	2002
Prędkość maksymalna	[km/h]	270	300	300	300	300	300	300	300
Układ wagonów		2s+8d	2s+10d	2s+8d	2s+18d	2s+8d	2s+8d	2s+8d	2s+16d
Liczba miejsc do siedzenia		108+260	116+369	120+257	210+560	120+257	197+384	116+213	935
Moc	[kW]	6420	8800	8800	12 240	8800	8800	8800	13 200
Długość	[m]	200	238	200	394	200	200	200	393
Masa	[t]	385	484	386	752	386	380	392	750
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)
Operator		SNCF	SNCF	SNCF	Eurostar	Thalys	SNCF	RENFE	KTX Korea

Pociągi serii ICE

ICE 1

Pierwszy prototypowy pociąg InterCity Experimental został oddany do eksploatacji w 1985 r. Był to pierwszy pociąg na świecie, który przekroczył prędkość 400 km/h, co nastąpiło na nowej linii Fulda – Würzburg w 1988 r. Pierwszy seryjnej produkcji pociąg ICE został oddany do eksploatacji w 1991 r. i był złożony z dwóch wagonów silnikowych i 10-14 wagonów doczepnych, w tym wagon restauracyjny

Wagony pociągu ICE są o 20 cm szersze od dopuszczalnego wymiaru według karty UIC. Pociąg miał być przeznaczony tylko do ruchu po niemieckiej sieci kolejowej. Po szczegółowych analizach został on również dopuszczony do jazd w krajach sąsiednich – Austrii, Szwajcarii, Belgii i Holandii.

Ze względu na dużą liczbę tuneli na liniach dużych prędkości w Niemczech, pociągi ICE musiały być zbudowane jako pierwsze w Europie hermetycznie szczelne. Wymagania hermetyczności spełniają także przejścia międzywagonowe, szerokości 110 cm, co sprawia, że drzwi między wagonami mogą być w czasie jazdy zawsze otwarte.

Pociągi ICE 1 są przystosowane do zasilania tylko napięciem 15 kV 16 2/3 Hz. Do napędu zostały zastosowane 3-fazowe silniki asynchroniczne o mocy 1,2 MW.

Po kilku miesiącach od wprowadzenia do eksploatacji pierwszych pociągów zaobserwowano występowanie w wagonach wibracji. Okazało się, że sprężyny w wózkach „Minden-Deutz" nie były w stanie tłumić drgań powodowanych przez owalizację kół. Problem został rozwiązany poprzez zastosowanie elementów gumowych w kołach. Jednak w 1998 r. jedno z takich kół pękło powodując wykolejenie pociągu. Po wypadku koła we wszystkich pociągach ICE zostały wymienione na typu monoblokowego.

ICE 2

W 1994 r. wyprodukowano pociąg ICE 2, utworzony z połowy składu pociągu ICE 1, tj. z wagonem silnikowym z jednej strony, a z drugiej strony z kabiną sterowniczą.

Wyposażenie wewnętrzne w nowym pociągu zostało w większości utrzymane z poprzedniego, a jedynie siedzenia dla pasażerów zostały poustawiane w sposób efektywniej wykorzystujący powierzchnie wagonów. Pewne przedziały zlikwidowano, a także obniżono wysoki dach wagonu restauracyjnego (poprzednio 4,29 m nad główką szyny). Eksploatacja pociągów okazała się bardziej ekonomiczna na liniach o małym natężeniu ruchu.

ICE 3

Do potrzeb obsługi budowanej nowej linii dużej prędkości Kolonia – Frankfurt powstało zapotrzebowanie na pociąg nowej generacji. Duże pochylenia trasy, dochodzące do 40‰, i prędkość maksymalna do 330 km/h wymagały znacznie wyższego wskaźnika mocy napędu w stosunku do masy. Pociągi ICE ponadto miały obsługiwać relacje do Belgii i Holandii, a więc wymagały dostosowania do różnych systemów zasilania trakcyjnego.

Podjęto decyzję o przyjęciu koncepcji budowy zespołu trakcyjnego z napędem rozłożonym na wiele osi. Zespół ICE 3, złożony z 8 wagonów, w tym 4 silnikowych i 4 doczepnych, może przyspieszyć od 0 do 280 km/h w 4 min 36 s, w porównaniu do 16 min 48 s, których potrzebuje pociąg ICE 2.

Do regularnej eksploatacji pociągi ICE 3 wprowadzono w 2000 r. na trasie Frankfurt/M – Kolonia – Amsterdam, jako pociągi ICE *International*.

Rys. 15. Pociąg ICE 1 *Fot. DB*

Rys. 16. Pociąg ICE 3 *Fot. A. Harassek*

Tablica 2

Właściwości trakcyjne dla wybranych typów pociągów

Typ pojazdu		ICE 2	Thalys	ICE 3
Liczba osi napędnych		4	8	16
Maksymalny nacisk na oś	[t]	19,5	17	
Maksymalna siła rozruchowa	[kN]	200	220	300
Współczynnik przyczepności		0,261	0,165	0,153
Maksymalna siła przyspieszająca przy $v = 250$ km/h	[kN]	62,5	115	80
Współczynnik przyczepności przy $v = 250$ km/h		0,082	0,086	0,041

Tablica 3

Dane techniczne 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

3.9.2001 r. w czasie jazdy próbnej, przeprowadzonej na 120-kilometrowym odcinku linii dużej prędkości Hanower – Berlin, pociąg ICE 3 osiągnął prędkość 369,44 km/h.

Pociągi ICE 3, jako pierwsze w Europie, zostały wyposażone w hamulce wiroprądowe. Hamulec na prądy wirowe działa na zasadzie wytworzenia siły hamującej przy wykorzystaniu główki szyny jako ośrodka odniesienia w stosunku do uzwojenia pierwotnego, którym są cewki elektromagnesów zawieszone na wózku. Na podobnej zasadzie jak w silniku liniowym indukują się w szynach prądy wirowe. Cewki ustawione są na przemian – biegun dodatni, biegun ujemny, biegun dodatni itd. Elektromagnesy zawieszone są na wózku, tak samo jak elektromagnes w konwencjonalnym hamulcu magnetycznym. Siła hamowania wynika z indukcji magnetycznej i jest prawie stała przy dużych prędkościach jazdy, a ponadto hamowanie odbywa się bezgłośnie. Do zasilania stosuje się prąd stały o napięciu kilkudziesięciu wolt. Przy maksymalnej sile hamującej, np. w przypadku hamowania nagłego, temperatura w szynie zwiększa się o 5,6°C. Przy prędkości 300 km/h maksymalna moc hamowania elektrodynamicznego wynosi 8,2 MW, natomiast moc hamulców na prądy wirowe – 12,5 MW. Hamulce na prądy wirowe mogą być użyte tylko na odpowiednio dostosowanym torze.

Hamulce na prądy wirowe współdziałają z hamulcami tarczowymi, zamontowanymi na wszystkich osiach. Podczas hamowania służbowego z prędkości 300 km/h włączane są oba rodzaje hamulców. Siła od hamulca wirowego jest główną siłą hamującą do prędkości ok. 230 km/h. Następnie rolę tę zaczyna przejmować hamulec tarczowy. Od prędkości 50 km/h działają tylko hamulce tarczowe do całkowitego zatrzymania pociągu.

Pociągi *Shinkansen*

Obecnie koleje japońskie eksploatują pociągi *Shinkansen* na sieci długości ponad 1840 km. Niektóre z linii lokalnych zostały także przebudowane z rozstawu szyn wąskiego 1067 mm na rozstaw normalny. Na trzech takich liniach, o łącznej długości 335 km, prowadzony jest ruch nazywany *mini Shinkansen* z prędkością maksymalną 130 km/h. Pociągi *Shinkansen* były budowane od samego początku jako elektryczne zespoły trakcyjne, z wyposażeniem trakcyjnym umieszczonym pod podłogą. Kolejne zespoły trakcyjne oznaczono: serią 0 dla linii Tokaido i Sanyo Shinkansen i serią 200 dla linii prowadzącej na północny wschód kraju. Począwszy od 1986 r. zespoły te były sukcesywnie zastępowane zespołami serii 100 i serii 300.

Przed wymianą taboru, każda z trzech kolei zamawiała swój własny tabor próbny (WIN 350, Star 21, 300 X). Badano w szczególności ulepszony układ biegowy, nowe systemy napędowe (w tym napęd silnikami 3-fazowymi) i osiąganie założonych prędkości – prowadzono próby nawet do prędkości 450 km/h.

W tablicy 4 przedstawiono szczegółowe dane różnych serii pociągów *Shinkansen*.

Do obsługi ruchu podmiejskiego w obrębie wielkiego Tokio kolej JR East zakupiła pociągi piętrowe oznaczone serią E4, składające się z 8 wagonów.

W Japonii zastosowano hamulce na prądy wirowe po raz pierwszy w latach 80. w zespołach serii 100. Działały one zadowalająco. W związku z tym kolej JR Central zastosowała takie hamulce w zespołach serii 300 *Nozomi*, montując zespół cewek przy każdej osi tocznej.

Rys. 17. Pociągi Shinkansen serii 0 (po lewej) i 100 na stacji Shin-Osaka w 1991 r. *Fot. A. Harassek*

Inne pociągi dużych prędkości

Oprócz serii pociągów TGV, ICE i Shinkansen wyprodukowano lub znajdują w trakcie produkcji pociągi dla kolei włoskich i hiszpańskich zaprojektowane i zbudowane przez producentów w tych krajach, także przy kooperacji z czołowymi producentami taboru na świecie.

Najstarszym z nich są pociągi typu ETR 500 produkowane przez przemysł włoski od 1997 r. w kilku seriach. Są one konstrukcyjnie zbliżone do koncepcji pociągów TGV i ICE 1, z dwiema jednostkami napędowymi na końcach pociągów i z ośmioma wagonami doczepnymi między nimi.

Szybki rozwój sieci kolejowej dużej prędkości w Hiszpanii wygenerował duże zapotrzebowanie na nowy tabor. Oprócz dotychczasowych pociągów typu AVE zamówione zostały dwie serie pociągów, które budowane są z udziałem hiszpańskiego przemysłu.

Pociągi S-103 (Velaro E) budowane są w kooperacji z Siemensem, stąd koncepcją są zbliżone do pociągów ICE 3 – 8-wagonowy zespół trakcyjny z czterema wagonami silnikowymi.

Tablica 4

Dane techniczne pociągów serii Shinkansen (seria główna)

Typ pociągu		0	100	200	300	400	500	700
Rok budowy		1964	1986	1980-82	1986	1990	1996	1997
Prędkość maksymalna	[km/h]	220	220	240	220	240	320	300
Układ wagonów		16s	12s+4d	12s	12s+4d	6s+1d	16s	12s+4d
Liczba miejsc do siedzenia		132+1208	168+1153	885	168+1153	399		200+1123
Moc	[kW]	11840	11040	11040	11040	5040	18200	12960
Długość	[m]	393	395	400	395	126		405
Masa	[t]	970	922		922		700	690
Zasilanie	[kW]	25	25	25	25	25		25/15/1,5
Operator		JR Central	JR Central	JR East	JR Central	JR East	JR West	JR Central

Tablica 5

Dane techniczne pociągów serii Shinkansen (inne serie)

Typ pociągu		E1	E2	E3	E4	WIN 350	STAR 21
Rok budowy		1994	1997	1997	1997	1992	1992
Prędkość maksymalna	[km/h]	240	275	275	240	350	350
Układ wagonów		6s+6d	6s+2d	4s+1d	4s+4d	6s	7s+2d
Liczba miejsc do siedzenia		1235	630	270	817	335	528
Moc	[kW]	9840	7200	4800	6720	7200	4620
Długość	[m]	320	200	100	201	153	205
Masa	[t]				415		
Zasilanie	[kW]	25	25	25	25	25	25
Operator		JR East	JR East	JR East	JR East	JR West	JR East

Rys. 18. Pociąg ETR-500 *Fot. A. Harassek*

Rys. 19. Pociąg typu S-103 *Fot. Siemens*

Rys. 20. Pociąg Talgo 350 *Fot. Renfe*

Rys. 21. Układ pociągu Talgo 350 *Źr. Talgo*

Pociągi serii Talgo 350 są budowane w kooperacji z Bombardierem, który dostarcza jednostek napędowych, po jednej z każdego końca pociągu. Między nimi umieszczonych jest 7 do 12 krótkich wagonów doczepnych. Ich cechą charakterystyczną jest wykorzystanie koncepcji stosowanej w pociągach *Talgo*, polegającej na zastosowaniu jednoosiowych wózków wspólnych dla sąsiednich wagonów.

Tablica 6

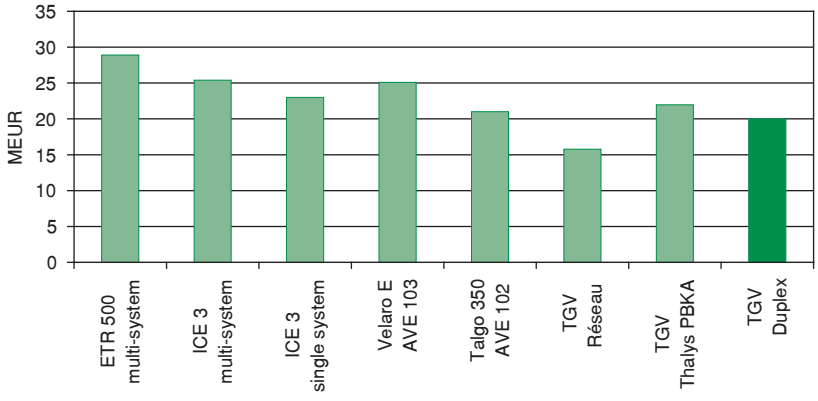
Dane techniczne pociągów innych kolei

Typ pociągu		ETR 500	Talgo 350	S-103
Rok budowy		1997	2003	2004
Prędkość maksymalna	[km/h]	300	350	350
Układ wagonów		2s+8d	2s+7d	4s+4d
Liczba miejsc do siedzenia		90+400	148	404
Moc	[kW]	8800	4000	8800
Długość	[m]	250	200	200
Masa	[t]	520		425
Zasilanie	[kW]	25/3/1,5	25	25
Operator		FS	Renfe	Renfe

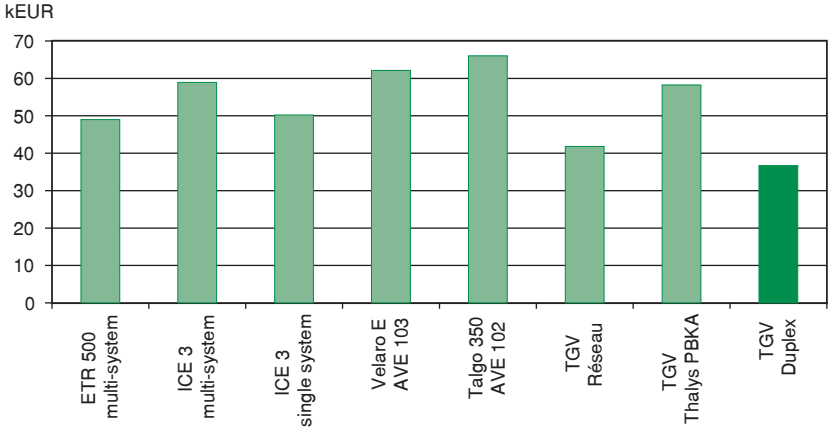
Tablica 7

Koszty zakupu pociągów dużej prędkości [5]

Wskaźnik		Obecne TGV	Obecne ICE 3	Obecne ETR 500	Cel
Cena za pociąg	[mln euro]	16 (1-pokładowy) 20 (2-pokładowy	23	29	—
Cena za 1 miejsce siedzące					
1-pokładowe	[tys. euro]	42	—	—	35–37
2-pokładowe	[tys. euro]	37–39	50	49	31-33
Niezawodność		~10 opóźnień <5 min/1 mln km	>20 opóźnień <5 min/1 mln km	Dyspozycyjność 70%	Maks. 6 opóźnień <5 min/1 mln km



Rys. 22. Ceny wybranych pociągów [5]



Rys. 23. Ceny wybranych pociągów w przeliczeniu na 1 miejsce siedzące [5]

Ceny taboru

Obecnie koszty pociągu dużych prędkości w Europie są bardzo zróżnicowane i wahają się od 16 do 29 mln euro za pociąg. Ceny zależą od wielkości zamówienia. W dobrej sytuacji znajduje się tu producent Alstom, którego pociągi serii TGV są zamawiane przez koleje SNCF w setkach sztuk.

Zakłada się, że postępująca standaryzacja rozwiązań technicznych w związku z wejściem w życie specyfikacji TSI oraz rosnące zamówienia na nowy tabor powinna wpłynąć na obniżenie cen. Dążeniem producentów i zamawiających tabor kolei jest aby średnia cena za jedno miejsce do siedzenia zmniejszyła się do 35 tys. euro, a w pociągach piętrowych do 31 tys. euro. Niezawodność pociągów powinna też osiągnąć poziom maksymalnie 6 opóźnień, nie dłuższych niż 5 min na 1 mln przejechanych kilometrów. ❑

Literatura.

[1] *Decyzja Komisji Europejskiej 734/2002. Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności – Tabor dla kolei dużych prędkości.*

[2] Harassek A., Rabsztyn M., Raczyński J.: *Pociągi dużych prędkości TGV*. EMI-PRESS, 1997.

[3] *Rozwój pojazdów szynowych dużej prędkości na świecie*. Technika Transportu Szynowego 1-2/2002 (tłumaczenie z): Eberhard Jänsch. Vehicle developments for high-speed traffic. Der Eisenbahningenieur 9/2001.

[4] Wolfram T.: *Pociągi szybkiego ruchu pasażerskiego*. Technika Transportu Szynowego 12/1996.

[5] *Business Economics of High-Speed Rail*. Flavio Canetti, Bombardier Transportation. Training for high speed system 6.07.2004, UIC.

III Międzynarodowa Konferencja Naukowa

Telematyka Systemów Transportowych

Katowice, Ustroń 5–7 listopada 2005 r.

■ Transportowe systemy zarządzania ■ Inteligentne Systemy Transportowe ■ Architektura ITS ■ Usługi telematyki dla podróżnych ■ Wyposażenia pojazdów w środki telematyki ■ Europejskie Programy Ramowe ■ Sterowanie w systemach transportowych ■ Urządzenia teletransmisji i telenawigacji ■ Strategie wprowadzania rozwiązań telematyki transportu ■ Systemy monitorowania ruchu ■ Bezpieczeństwo w zarządzaniu i sterowaniu systemami transportowymi ■ Symulacja systemów transportowych ■ Standaryzacja telematycznych systemów transportowych ■ Telematyka w usługach logistycznych ■ Transport w kontekście wstąpienia nowych krajów do UE ■ Ekonomia i polityka transportowa

Informacje

Renata Skowrońska, Politechnika Śląska, Wydział Transportu
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8, tel./fax (32) 603 43 65, e-mail: secretariat@tst-conference.org