

Andrzej Harassek, Marek Rabsztyń, Jan Raczyński

Rozwój konstrukcji pociągów TGV

We wrześniu 2006 r. minęło 25 lat od rozpoczęcia handlowej eksploatacji pierwszych europejskich pociągów dużej prędkości TGV. Koncepcja techniczna tych pociągów: wykorzystanie dwóch jednostek napędowych na ich końcach oraz zestawu wagonów dla pasażerów opartych na wspólnych wózkach okazała się udana i od samego początku nie ulegała zasadniczym zmianom. Dopiero w ostatnich latach w związku z rozwojem technologii napędu i układów przekształtnikowych rozpoczęły się testy pociągu AGV z napędem rozłożonym w poszczególnych wagonach. W artykule przedstawiony jest rozwój konstrukcji pociągów w kolejnych ich seriach.

Badania nad możliwością wprowadzania bardzo dużych prędkości, znacznie przekraczających 200 km/h, podjęto we Francji w końcu lat 60. XX w. Rozpoczęto też prace nad prototypami odpowiednich pociągów. Początkowo były to zespoły o napędzie spalinowym. Bazując między innymi na doświadczeniach z zespołami ETG i RTG, zakłady Alstom zbudowały eksperymentalny pociąg o napędzie turbinowym, nazwany TGV 001 (*Train à Grande Vitesse* – pociąg dużej prędkości). Skład został oddany do próbnej eksploatacji 4 kwietnia 1972 r. Rozpoczęły się intensywne, trwające do stycznia 1978 r. testy, podczas 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.

Pięciowagonowy zespół TGV 001 składał się z dwóch końcowych wagonów silnikowych i trzech środkowych wagonów pasażerskich. Łączna moc czterech turbin gazowych wynosiła 6500 KM (4810 kW) i przekazywana była na zestawy kołowe za pośrednictwem przekładni elektrycznej (alternator). Konstruktorzy zdecydowali się na przyjęcie rzadko spotykanego rozwiązania: wagony spoczywały na wspólnych wózkach Jacobsa. Miało to na celu zmniejszenie masy zespołu. 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. (Dla ścisłości należy tu dodać, że w TGV 001 wszystkie 5 wagonów połączonych jest wózkami Jacobsa, podczas gdy w seryjnych zespołach TGV krańcowe wagony silnikowe spoczywają na indywidualnych wózkach).

W okresie projektowania TGV 001 koleje francuskie poważnie brały pod uwagę zastosowanie napędu turbinowego do pociągów bardzo dużej prędkości. Przemawiały za tym zarówno większa elastyczność eksploatacyjna, jak i (wówczas) czynniki ekonomiczne, zwłaszcza, gdy chodziło o wprowadzenie bezpośrednich połączeń, korzystających na pewnych odcinkach z linii o stosunkowo niewielkim natężeniu ruchu. Jednakże kryzys paliwowy lat 70., jak i wzrastające znaczenie zagadnień ekologicznych spowodowały zmianę stanowiska SNCF. Gdy w 1976 r. podjęto decyzję budowy nowej linii dużej prędkości Paryż – Lyon, złożono także w firmach Alstom i Francorail – MTE zamówienie na pierwsze dwa

prototypowe zespoły trakcyjne w docelowej wersji eksploatacyjnej. Były to już jednak pociągi o napędzie elektrycznym.

TGV Sud-Est

W końcu 1976 r. rozpoczęto budowę nowej linii, łączącej Paryż i Lyon, nazwanej TGV Sud-Est (znana jest ona także jako PSE: Paris - Sud-Est). Linia została zaprojektowana dla ruchu pociągów pasażerskich z dużymi prędkościami, do 300 km/h. Minimalny promień łuków wynosi 4000 m. Ponieważ na linii założono ruch tylko nowego rodzaju pociągów dużej prędkości, można było ograniczyć dopuszczalny nacisk do 17 t na oś i przewidzieć stosunkowo duże pochyleńca – do 35%. Pozwoliło to na znaczne oszczędności przy budowie linii. Na całej jej długości nie ma ani jednego tunelu, mimo, że na znacznych odcinkach linia przebiega przez góryste tereny.

Pierwsze dwa pociągi TGV Sud-Est oddano do prób w styczniu 1979 r. Przy ich projektowaniu w szerokim zakresie korzystano z wyników wieloletnich testów, zwłaszcza turbinowego pociągu TGV 001. Założono, że nowe zespoły będą mogły poruszać się po całej sieci kolejowej. Przyjęte zostały podstawowe zasady, które stały się standardem budowy pociągów dużej prędkości we Francji: stałe, nierozłączalne w normalnej eksploatacji składy, największy nacisk 17 t na oś, układ dwóch krańcowych wagonów silnikowych na własnych wózkach i doczepnych wagonów pasażerskich zawieszonych na wspólnych wózkach (Jacobsa), przy czym krańcowe wagony doczepne od strony połączenia z wagonem silnikowym mają własny wózek.

Rozwiązanie ze wspólnymi wózkami wagonów pasażerskich pozwoliło między innymi na zmniejszenie masy całego składu, zmniejszenie oporu aerodynamicznego, obniżenie poziomu hałasu, poprawienie komfortu jazdy dzięki uniknięciu umieszczania siedzeń nad wózkami oraz na obniżenie poziomu podłogi i drzwi wejściowych składu. 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 (czego świadectwem może być wykolejenie przed kilku laty pociągu TGV Atlantique przy prędkości 300 km/h, które obyło się praktycznie bez większych następstw).

Zespoły TGV Sud-Est składają się z dwóch wagonów silnikowych i ośmiu doczepnych i mają łącznie 13 wózków. 12 komutatorowych silników trakcyjnych prądu stałego napędza cztery wózki wagonów silnikowych oraz po jednym skrajnym wózku w przylegających do nich wagonach pasażerskich. Silniki trakcyjne zawieszono w pudłach wagonów, a moment napędowy przekazywany jest na zestawy napędne za pośrednictwem wałów Kardana. Całkowita moc zespołu wynosi 6400 kW.

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.

Większość pociągów zbudowana jest jako dwusystemowe, na prąd zmienny 25 kV 50 Hz i stały 1,5 kV. Część składów przystosowana jest również do zasilania prądem 15 kV 16,7 Hz i prze-

znaczona do wjazdu na sieć kolei szwajcarskich, zapewniając bezpośrednie połączenie Paryża z Lozanną i Bernem (teraz także z Zurychem – 15-kilometrowy odcinek od granicy francuskiej do Genewy, również obsługiwanej przez pociągi TGV, jest zelektryfikowany francuskim systemem 1,5 kV prądu stałego).

Każdy wagon silnikowy wyposażony jest w dwa pantografy: jeden dla prądu zmiennego i drugi dla stałego. Podczas jazdy pod napięciem stałym wykorzystywane są pantografy na obu wagonach, natomiast przy zasilaniu prądem zmiennym podniesiony jest tylko jeden pantograf, na tylnym wagonie silnikowym. Przedni wagon jest wówczas zasilany przewodem wysokiego napięcia, biegnącym przez cały skład dachami wagonów.

Długość składu TGV Sud-Est 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 niewiele ponad 16 t na oś. Skrajne wagony pasażerskie mają po 21,8 m, a środkowe – po 18,7 m długości. Dwa zespoły mogą być połączone i pracować w trakcji podwójnej (ze względu na długość składu nie przewiduje się łączenia więcej niż dwóch zespołów).

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, przy jeździe z większymi prędkościami, zaczęły występować dokuczliwe wibracje. Z tego względu wymieniono sprężyny spiralne stałowe w drugim stopniu zawieszenia na amortyzatory pneumatyczne, tak jak w późniejszych pociągach TGV-A.

Skład wyposażony jest w trzy rodzaje hamulców. Wózki silnikowe mają hamulec elektryczny (rezystorowy), wózki toczne są hamowane za pomocą hamulców tarczowych (po cztery tarcze na oś), a wszystkie wózki wyposażone są w dodatkowe hamulce klockowe. Minimalna droga hamowania z prędkości 270 km/h wynosi 3500 m. Na konwencjonalnych liniach z prędkości 180 km/h skład jest w stanie zatrzymać się na drodze 1300 m.

Wszystkie pociągi TGV i nowe linie dużych prędkości wyposażone są w urządzenia sygnalizacji kabinowej z kontrolą prędkości (ATC) systemu TVM (*Transmission Voie Machine*), firmy CS Transport. Na linii TGV Sud-Est jest to wersja TVM 300, przekazująca do pojazdu 18 sygnałów. Na pulpicie maszynisty wyświet-

lanych jest 10 różnych informacji dotyczących dozwolonej prędkości jazdy i konieczności jej zmniejszenia, aż do zatrzymania.

Pociąg TGV Sud-Est ma 3 wagony 1. klasy i 5 wagonów 2. klasy. W sąsiadującym z 1. klasą wagonie mieści się bar. Kilka składów zostało wykonanych w całości jako 1. klasa. Początkowo w typowym składzie było 111 miejsc w 1. klasie i 275 w 2. Liczba ta została w późniejszych latach zmniejszona odpowiednio 108 do i 260, w celu uzyskania większego komfortu. Wszystkie wagony są wykonane jako bezprzedziałowe, z miejscami częściowo umieszczonymi jedno za drugim (jak w samolocie), a częściowo naprzeciw siebie ze stolikiem między fotelami.

Pociąg jest klimatyzowany, łącznie z kabinami maszynisty. Zewnętrzne drzwi są odskokowo-przesuwne, a wszystkie drzwi w pociągu otwierane są automatycznie. Skład ma toalety chemiczne o zamkniętym obiegu, jedna z nich jest przystosowana dla osób niepełnosprawnych na wózkach.

Oprócz opisanych pociągów, warto wspomnieć o jeszcze jednej odmianie zespołów TGV Sud-Est. 1 października 1984 r. weszły do eksploatacji dodatkowe zespoły, zamówione i zakupione przez pocztę francuską. Wykonane są one jako składy półwagone: jeden wagon silnikowy i cztery doczepne. Technicznie nie różnią się one od standardowych pociągów, nie mają jednak okien, a drzwi oraz wnętrza wagonów są dostosowane do przewozu poczty. Pięć wykonanych w ten sposób półówek pomalowano na typowy dla wagonów pocztowych jasnożółty kolor.

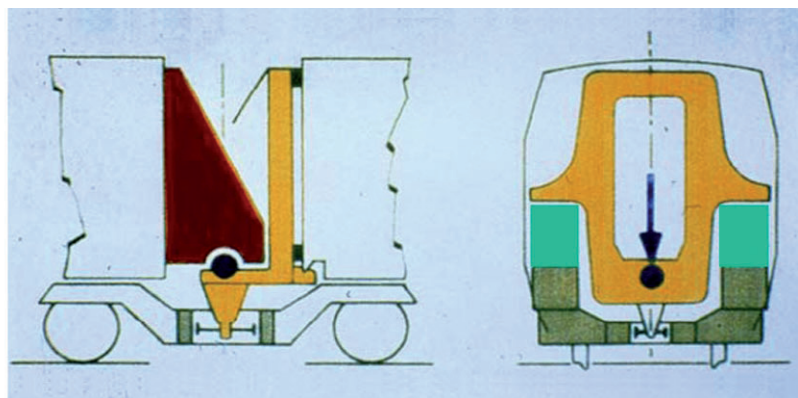
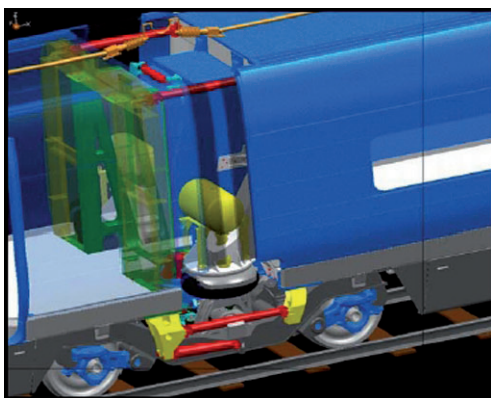
26 lutego 1981 r., skrócony do siedmiu wagonów skład TGV, na odcinku nowej linii Sud-Est, między Passilly a Tonnerre ustalił nowy światowy rekord prędkości – 380 km/h.

Po piętnastu latach eksploatacji pociągi zostały podane renowacji. Zmienione zostało wyposażenie wnętrza wagonów dla zwiększenia



Fot. 1. TGV-PSE w pierwotnym malowaniu

Fot. Alstom/SNCF



Rys. 1. Sposób zawieszenia wagonów na wózku

szenia komfortu podróży, a prędkość maksymalną pociągów zwiększono do 300 km/h. Dokonano także zmiany malowania nadwozi z koloru pomarańczowego z białym pasem na szaroniebieski, jak pozostałych pociągach TGV eksploatowanych przez SNCF.

TGV Atlantique

Pociągi serii TGV Atlantique (TGV-A) weszły po raz pierwszy do eksploatacji 24.9.1989 r. na linii dużej prędkości jazdy Paryż – Courtalain – Le Mans w Bretanii (długość 176 km). Rok później – 30.9.1990 r. – wprowadzono pociągi TGV-A na nowo otwartą drugą odnogę tej linii, długości 87 km, z Courtalain do Tours (kierunek na Bordeaux).

Pociągi TGV-A są drugą generacją pociągów TGV i różnią się dość znacznie od swoich poprzedników, pociągów TGV Paryż – Południowy Wschód (TGV-PSE). Zastosowano inną kolorystykę, zamiast pomarańczowej – srebrno-niebieską oraz zmieniono nieco kształt czoła pociągu. Zwiększeniu uległa też liczba wagonów z 10 do 12 i stąd liczba miejsc pasażerskich w pociągu zwiększyła się z 386 do 485. Zastosowano inne silniki trakcyjne – zamiast komutatorowych prądu stałego są to silniki 3-fazowe synchroniczne prądu przemiennego. Nowe silniki mają 1,5–2 razy wyższy stosunek mocy do masy i dzięki temu można było w zespole TGV-A, przy zastosowaniu tylko ośmiu silników trakcyjnych, uzyskać moc ciągłą zespołu 8800 kW, natomiast w TGV-PSE, przy 12 silnikach trakcyjnych, moc ciągła zespołu wynosi jedynie 6450 kW. Ponadto stosując tylko 8 silników trakcyjnych można było wyeliminować silniki ze skrajnych wózków wagonów pasażerskich, a pozostawić je tylko w członach napędowych. Polepszyło to komfort jazdy w wagonach pasażerskich.

Duża moc umożliwia pociągowi TGV-A na osiąganie prędkości maksymalnej 300 km/h na torze poziomym w czasie 6,5 min na drodze ok. 3,5 km. Podobnie jak pociąg TGV-PSE, tak i pociąg TGV-A jest pociągiem 2-systemowym, przystosowanym do zasilania dwoma rodzajami napięć: 25 kV 50 Hz prądu przemiennego i 1,5 kV prądu stałego.

Układ zasilania silników trakcyjnych pociągu TGV-A jest impulsowy z wykorzystaniem czoperów z tyrystorami GTO w przypadku zasilania napięciem 25 kV i samych tylko czoperów GTO przy zasilaniu napięciem 1,5 kV. Do chłodzenia urządzeń energoelektronicznych zastosowano freon.



Fot. 2. TGV Atlantique w odróżnieniu od TGV PSE ma nieco zmieniony, bardziej opływowy kształt jednostki napędowej. TGV Atlantique 398 na północnej linii LGV (październik 2004 r.) Fot. M. Knappe

Długość całego zespołu TGV-A wynosi 237,5 m, masa 490 t. Wagony silnikowe mają długość 22,1 m, wagony doczepne zewnętrzne – 21,8 m, a doczepne wewnętrzne – 18,7 m. Masa służbowa wagonu silnikowego wynosi zaledwie 68 t, co oznacza, że nacisk na oś wynosi tylko 17 t.

Pudła wagonów środkowych zawieszono na wózkach poprzez specjalne wsporniki, tak jak i w pociągach TGV-PSE. Konstrukcja ta – poza innymi zaletami – pozwala dodatkowo obniżyć wysokość pudła, a przez to środek ciężkości wagonu i wysokość podłogi wagonu, ponieważ odsprężynowanie między pudłem a wózkiem nie znajduje się pod pudłem, a z boku pudła.

Podobnie jak w pociągach TGV-PSE, silniki trakcyjne pociągu TGV-A zawieszono w pudłach wagonów silnikowych, a nie na wózkach. Osiągnięto w ten sposób bardzo dobre odsprężynowanie silnika, a także polepszone własności biegowe wózka ze względu na zmniejszenie jego masy.

Odsprężynowanie wagonów pasażerskich w II stopniu odsprężynowania jest pneumatyczne, w odróżnieniu od stalowego odsprężynowania pociągu TGV-PSE, co poprawia spokojność biegu pociągu. Ciśnienie powietrza w poduszkach powietrznych regulowane jest w zależności od zapełnienia pociągu. Wagony silnikowe pociągu TGV-A oparte są na wózkach poprzez sprężyny spiralne typu flexicoil. Prowadzenie zestawów kołowych jest kolumnowe, z wykorzystaniem sprężyn taśmowych i bloków gumowych.

Pociąg wyposażony jest w hamulce tarczowe pod wagonami tocznymi – po 4 tarcze hamulcowe na oś – oraz hamulce elektrodynamiczne rezystorowe w członach napędowych. Ponadto człony napędowe mają hamulce klockowe, jednostronne. Hamulce pociągu TGV-A pozwalają na awaryjne zatrzymanie pociągu z 300 km/h na drodze 3200–3500 km.

Prowadzenie pociągu TGV-A jest w dużej mierze zautomatyzowane poprzez zastosowanie pokładowego systemu komputerowego 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.

Pociąg TGV-A składa się z 3 wagonów 1. klasy o łącznej liczbie miejsc 116 i 6 wagonów 2. klasy o liczbie miejsc 369. Ponadto w składzie znajduje się wagon bufet wyposażony w lodówki do przechowywania napojów i potraw oraz kuchenki mikrofalowe do przyrządzania posiłków.

Wszystkie wagony klasy 2. są bezprzedziałowe, a spośród wagonów klasy 1. część ma wydzielone, półzamknięte przedziały. Siedzenia, zarówno w klasie 1. jak i 2., są częściowo rozkładane, wyposażone w mechanizm wspomagający rozkładanie.

Dla obniżenia hałasu oraz uzyskania odpowiedniej wytrzymałości na zmiany ciśnienia szyby w oknach bocznych pociągu mają grubość 18 mm, natomiast szyby czołowe w kabinach maszynistowskich 32 mm, co związane jest z dodatkowymi wymaganiami bezpieczeństwa maszynisty w przypadku zderzenia z rzucanym przedmiotem lub ptakiem.

Pociąg TGV-A 18 maja 1990 r. na linii Paryż – Tours, w km 166,8 od Paryża, na spadku 25‰, tuż za mostem nad rzeką Loarą, ustanowił światowy rekord prędkości jazdy – 515,3 km/h. Do ustanowienia rekordu użyto zespołu trakcyjnego TGV-A nr 325, specjalnie przystosowanego do tego celu. Zastosowano między innymi skład 5-wagonowy (2 wagony napędne i 3 doczepne) o łącznej masie 250 t, o zwiększonej średnicy zestawów koło-

wych z 920 mm do 1090 mm oraz zwiększono napięcie w sieci trakcyjnej z 25 do 29,5 kV.

AVE

W 1992 r. oddano do eksploatacji pierwszą linię dużych prędkości w Hiszpanii: Alta Velocidad Española, w skrócie AVE. Do obsługi linii zostało zamówionych 24 pociągów opartych na rozwiązaniach z pociągów TGV-A. Pociągi AVE mają dwa wagony silnikowe i osiem wagonów pasażerskich. Podstawowe parametry tych pociągów 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.

Inaczej też 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, mający miejsce dla podróżujących z niemowlętami oraz przestrzeń do zabawy dla dzieci. Wszystkie wagony są wyposażone w monitory telewizyjne. Urządzenia klimatyzacyjne są dostosowane do cieplejszego, hiszpańskiego klimatu.

Dostarczona została także druga partia 6 pociągów TGV do obsługi szerokotorowej linii Barcelona – Alicante (fot. 3).

Eurostar

Do obsługi nowych połączeń przez tunel pod kanałem La Manche, uruchomionych w 1994 r., zamówiono 38 pociągów Eurostar opartych na rozwiązaniach konstrukcyjnych składów TGV. Większość zmian, jakie wprowadzono w pociągach Eurostar, wynikało z konieczności sprostania wymaganiom bezpieczeństwa, związanych z przejazdem przez tunel, oraz dostosowania się 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 wystawiania elementów zawieszania pneumatycznego i tłumików. Pociągi zostały również dostosowane do wysokich peronów, powszechnych w Wielkiej Brytanii. Realizowane jest to w sposób automatyczny – podczas otwierania drzwi wysokość stopni dostosowywana jest do wysokości peronu. 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 pasażerskich w danej części na drugim końcu jest także oparty na własnym wózku, możliwe jest – w sytuacjach awaryjnych (np. w tunelu) – rozdzielenie pociągu na dwie części i samodzielna ich jazda 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 rejonie Londynu.

Moc maksymalna napędu pociągu wynosi:

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



Fot. 3. Hiszpański pociąg TGV 101 001 Euromed w okolicy Sagunto; w odróżnieniu od poprzednich pociągów zastosowano nową jednostkę napędową z pociągu TGV Thalys PBKA (15.09.2006 r.) Fot. J. Pena



Fot. 4. Na pierwszym planie pociąg TGV kolei SNCF, uprzednio Eurostar. SNCF odkupiło część pociągów Eurostar zbyt licznych ze względu na ograniczenie wcześniejszych planów zakładających uruchomienie pociągów Eurostar na trasach na północ od Londynu. Na drugim planie pociąg TGV Réseau Fot. J. Goździewicz

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 pięć 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 dostosowanych 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.

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

Podobnie jak pociąg TGV-A, pociąg TGV-R ma 2 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.

Thalys

Nowe składy TGV Thalys weszły do eksploatacji w 1997 r. Obsługują one sieć połączeń pomiędzy Francją, Belgią, Niemcami i Holandią.

Pierwsze pociągi Thalys PBA Paryż – Bruksela – Amsterdam były przemalowanymi składami TGV Réseau, doposażone w urządzenia ATC systemu holenderskiego. Dopiero później weszły do eksploatacji nowe składy do obsługi relacji Paryż – Bruksela – Kolonia – Amsterdam (PBKA).

Skład Thalys może być zasilany z 4 systemów napięć 25 kV 50 Hz i 15 kV 16,7 Hz prądu przemiennego oraz 1,5 kV i 3 kV prądu stałego. Jest on też wyposażony w 7 różnych systemów ATP/ATC, w tym 2 francuskie, 2 belgijskie, 2 niemieckie i 1 holenderski.

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 16,7 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 obsługiwane również ruchu prawostronnego, obowiązującego na kolejach NS i DB, poza ruchem lewostronnym obowiązującym na kolejach SNCF i SNCB, stanowisko maszynisty zostało w porównaniu z innymi pociągami serii TGV przesunięte z lewej strony kabiny na jej środek.

TGV Duplex

Szybko rosnące przewozy na pierwszej linii Paryż – Lyon spowodowały zainteresowanie kolei SNCF pociągami o dużej pojemno-



Fot. 5. Czterosystemowy TGV Thalys PBKA 4302 do komunikacji między Francją, Belgią, Holandią i Niemcami – tu jako pociąg relacji Amsterdam – Paryż na holenderskim szlaku w okolicy Willemsdorp (2.07.2006)

Fot. R. Krol

ści, jakimi są konstrukcje z wagonami piętrowymi. Pociągi TGV-D są już III generacją pociągów TGV. W składach tych, oprócz zwiększenia liczby miejsc dla pasażerów, uzyskano znaczną poprawę komfortu podróżowania poprzez zwiększenie powierzchni przypadającej na jednego pasażera o ok. 66% w stosunku do poprzednich typów pociągów TGV.

Konieczność utrzymania nacisku na osie nie większego niż 17 t spowodowała konieczność zastosowania nowych lekkich materiałów konstrukcyjnych, w szczególności profili aluminiowych na wykonanie pudeł wagonów. Masy wózków zmniejszono o 15% poprzez wprowadzenie drążonych osi, lżejszych hamulców tarczowych, lżejszego zawieszenia, a także zbiorników powietrznych wykonanych z aluminium. Zmniejszenia masy dokonano także wewnątrz wagonów. Niezbędne było wprowadzenie nowych materiałów o dobrej izolacji dźwiękowej i cieplnej, ale o małej masie właściwej. Spróbowano więc zastosowania np. pianki melaminowej. Natomiast poprzez zastosowanie magnezu w konstrukcji siedzeń uzyskano obniżenie masy siedzenia w klasie 2. do 14 kg.

Pociąg TGV-D składa się z 2 wagonów silnikowych jednopoziomowych i 8 wagonów doczepnych piętrowych. Wagon doczepny (pasażerski) oparte są na wspólnych wózkach, podobnie jak dotychczas wagony jednopoziomowe. Pociąg składa się z 3 wagonów 1. klasy, 4 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 będą tylko na poziomie górnym.

Podłoga w przedziale pasażerskim na dolnym poziomie jest obniżona o 400 mm w stosunku do obecnych pociągów, a więc przedsionki wejściowe są dwa stopnie wyżej od tej podłogi. Jeden z przedsionków pociągu TGV Duplex jest wyposażony w pomost do wykładania na peron, dla zakrycia szczeliny między peronem a wagonem, dla użytku osób na wózkach inwalidzkich. W tym samym przedsionku będzie także podnośnik, którym będzie można opuścić wózek inwalidzki do poziomu podłogi przedziału pasażerskiego.

W składzie TGV-D jest 548 miejsc, w tym 195 miejsc w klasie 1. i 353 miejsca w klasie 2. Całkowita masa zespołu po wypełnieniu pasażerami wynosi 427 t.

W pociągu TGV Duplex poprawiona została też odporność 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 zgniotu w pociągu TGV Duplex ulokowano przy każdym z końców pociągu oraz między wagonem silnikowym i przyległym wagonem doczeplnym, a także między środkowymi wagonami doczeplnymi. Wykonano także zabezpieczenie przed najeżdżaniem jednego wagonu na drugi poprzez wyposażenie sprzęgów między wagonami doczeplnymi 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 8 silnikami 3-fazowym 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. podpisano umowy na rozpoczęcie prac. Linia została oddana do eksploatacji w 2004 r. Do jej obsługi zamówiono 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 wózków 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 w oparciu o przekazaną z Francji technologię. Dopiero ostatnie 34 zespoły zostały zbudowane w Korei przez firmy Hyundai, Daewoo i Hanjin pod nadzorem specjalistów z Alstoma.

Składy te zostały dodatkowo bardzo dobrze zabezpieczone przed gwałtownymi zmianami ciśnienia z powodu znacznej liczby tuneli na całej trasie – ogółem 138 km linii znajduje się w tunelach.

TGV-POS

W czerwcu 2007 r. zostanie oddana do eksploatacji linia TGV Est z Paryża w kierunku wschodnim. Umożliwi ona stworzenie sieci szybkich połączeń kolejowych we wschodniej Francji aż do Strasburga oraz połączeń międzynarodowych do Luksemburga, Niemiec i Szwajcarii. Do obsługi tych relacji została zakupiona seria pociągów TGV-POS (POS – Paris- Ost Frankreich – Süd Deutschland). Pociągi będą przystosowane do trzech systemów zasilania trakcyjnego: 25 kV AC, 15 kV AC i 1,5 kV DC. Ogółem będzie 15 nowych pociągów, a ponadto część pociągów będzie miała zestawy wagonów pasażerskich zmodernizowane z dotychczas eksploatowanych.

Układ pociągu jest identyczny z TGV Réseau. Poważniejsze zmiany zostały dokonane w jednostkach napędowych. Prędkość maksymalna pociągów wynosi 320 km/h. Zmieniony został też rodzaj napędu z silników synchronicznych, stosowanych począwszy od pociągów TGV-A. Nowe silniki asynchroniczne mają wyższą moc o 100 kW, w wyniku czego moc zainstalowana dla całego pociągu wynosi 9600 kW. Porównanie charakterystyk trakcyjnych dla obu rodzajów napędu przedstawiono na rysunku 2. Zastosowano też nowe moduły przekształtnikowe chłodzone wodą oparte na tranzystorach IGBT 3,3 kV. Każdy z silników jest zasilany własnym przekształtnikiem.

Masa całego pociągu wynosi 389 t.

Pociąg będzie wyposażony w kilka systemów zabezpieczenia ruchu:

- KVB i TVM we Francji;
- LZB w Niemczech;
- ZUB i SIGNUM w Szwajcarii;
- ERTMS poziomu 2.



Fot. 6. Pociąg TGV Duplex na stacji postojowej

Fot. Alstom



Fot. 7. Pociąg TGV Korea

Fot. Alstom

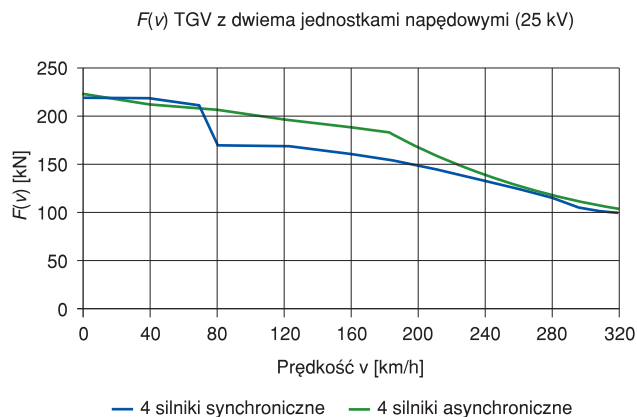


Fot. 8. Pociąg TGV POS podczas jazd testowych

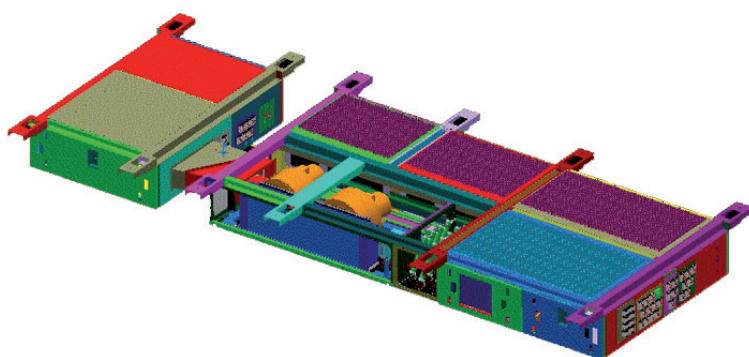
Fot. Alstom

AGV

Próby ruchowe pierwszych wagonów nowego pociągu dużej prędkości Automotrice à Grande Vitesse (AGV) rozpoczęły się w 2001 r. Zasadnicza różnica w konstrukcji zespołu AGV, w porównaniu z dotychczas budowanymi pociągami TGV, polega na umieszczeniu zespołów napędowych w wybranych wagonach składu, zamiast jak dotychczas w dwóch jednostkach napędowych na końcach pociągu. Przy tej samej długości pociągu używano w ten sposób więcej powierzchni dla pasażerów. Postęp, jaki nastąpił w ostatnich latach w dziedzinie energoelektroniki



Rys. 2. Porównanie charakterystyk dla napędu synchronicznego i asynchronicznego
Źr. Alstom



Rys. 3. Zespół przekształtnika trakcyjnego
Źr. Alstom

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.

W efekcie nastąpi też zmniejszenie kosztów budowy zespołu, energochłonności pociągu i kosztów utrzymania przypadających na jedno miejsce do siedzenia. Modułowa budowa zespołu AGV powinna umożliwić lepsze dostosowanie długości pociągu do wymagań przewoźników, gdyż skład z rozłożonym napędem jest łatwiejszy do zmian swojej konfiguracji. Pociągi AGV będą mogły być eksploatowane nawet jako składy tylko 3- lub 4-wagonowe, z dwoma wózkami silnikowymi. Długość pociągu będzie mogła wynosić 140–200 m, a liczba miejsc do siedzenia 280–430.

Nowy pociąg AGV będzie zbudowany tylko z dwóch rodzajów wagonów: skrajnych z kabiną sterowniczą oraz przejściowych. Podobnie będą tylko dwa rodzaje wózków – napędne i toczne. Aparatura trakcyjna będzie montowana pod podłogą w obu rodzajach wagonach.

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

W pociągach AGV zastosowano wiele nowych technologii w dziedzinie napędu trakcyjnego:

- silniki z magnesami stałymi o mocy 700 kW o lepszym wskaźniku mocy na jednostkę masy, wyższej sprawności energetycznej niż silniki asynchroniczne;
- nowy sposób przeniesienia napędu z silnika na zestaw kołowy;
- przekształtniki chłodzone wodą.

Konfiguracja pociągu	Długość (m)	Miejsc do siedzenia
AGV 7 	132	245
AGV 8 	149	322
AGV 10 	183	374
AGV 11 	201	465
Rozstaw siedzeń (mm)	1 klasa 2 klasa	980 880

Transformator

Wspólny blok

Napęd trakcyjny

Rezystory hamowania

Baterie i ładowanie

Zespół sprzężarki

Wózek toczny

Wózek silnikowy

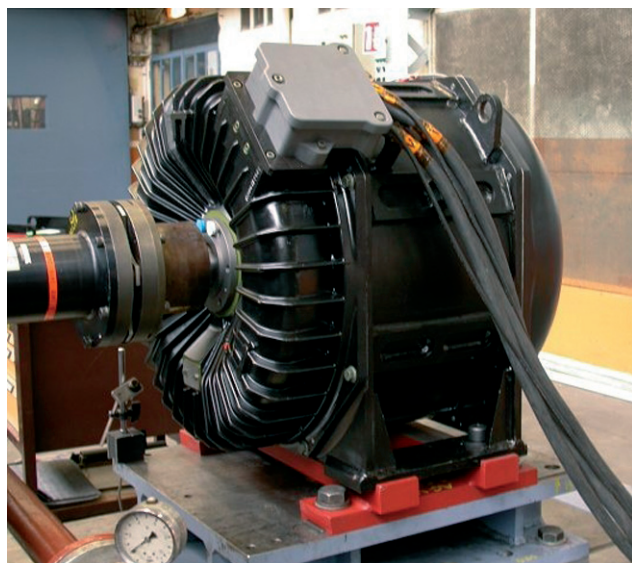
Rys. 4. Przykładowe konfiguracje pociągów AGV

Źr. Alstom

46 **tts** 10/2006

Dane techniczne 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	Synchroniczny	Synchroniczny	Synchroniczny	Synchroniczny	Synchroniczny	Synchroniczny	Synchroniczny	Asynchroniczny	Asynchroniczny z silnikami z magnesami 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	



Fot. 9. Silnik trakcyjny z wykorzystaniem magnesów stałych Fot. Alstom



Fot. 10. AGV

Fot. Alstom

Tabela 2

Wykaz wyprodukowanych pociągów TGV

Seria i operator	Kraj	Liczba	Rok kontraktu	Początek eksploatacji
TGV Sud-Est, SNCF	Francja, Szwajcaria	90 17 razem 109 +3 TGV Postal	1976 1979	1981
TGV Atlantique, SNCF	Francja	105	1987	1989
AVE, Renfe	Hiszpania	24	1989 1994	1992 (i później 6 pociągów Euromed na tor 1668 mm)
TGV Réseau, SNCF, SNCB	Francja, Belgia	50 Bi-system 24 Tri-system 6 Tri-system razem 80	1990 1992 1993	1993
Eurostar, SNCF, SNCB, EUKL	16 Francja 11 Wlk. Brytania 4 Belgia 7 Wlk. Brytania	31 7 razem 38	1991 1993	1993
Thalys SNCF, SNCB, NS, DB	10 Francja 7 Belgia 2 Holandia 2 Niemcy 6 Francja	10 Tri-system (PBA) 17 (PBKA) razem 27	1993 1995	1996
TGV Duplex, SNCF	Francja	30 12 22 18 7+15 wagonów 30 razem 119	1993 1999 2000 2001 2004	1996
TGV Korea, KHRC	Korea	46	1994	2004
TGV POS, SNCF	Francja, Niemcy, Luksemburg, Szwajcaria	15	2003	2007

Źr. Alstom

