

Rozwój pojazdów szynowych dużej prędkości na świecie

analizy

Pociągami dużej prędkości (HSR) określa się pociągi jeżdżące z prędkością rozkładową 200 km/h i więcej. Pierwsze takie pociągi uruchomiono 1.10.1964 r. w Japonii, na linii z Tokio do Osaka (Tokaido-Shinkansen). Rozwój pociągów dużej prędkości trwa od lat 60. i wykazuje nadzwyczajną dynamikę – szczególnie w Japonii, Francji i Niemczech.

Pociągi dużej prędkości w Japonii

W 1957 r. rząd japoński zdecydował się dobudować do istniejącej, wąskotorowej sieci kolejowej nową, o wysokich standardach technicznych, sieć pociągów dużej prędkości o normalnej szerokości toru (1435 mm), nazwaną pociągami Shinkansen. Zaczęto budować nowe linie, które miały stać się podstawą przyszłych korytarzy transportowych między gęsto usytuowanymi miastami japońskimi.

W następstwie prywatyzacji Japońskich Kolei Państwowych (JNR) w kwietniu 1987 r. i ich podziale na sześć niezależnych kolei, także i sieć linii Shinkansen została podzielona i przeszła pod zarządek trzech kolei – JR Central, JR West i JR East. Obecnie koleje te prowadzą ruch pociągów Shinkansen na sieci długości ponad 1840 km. Niektóre z linii lokalnych zostały także przebudowane z wąskotorowych (1067 mm) na normalnotorowe. Na trzech takich liniach, 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 całym 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 (fot. 1).

Przed wymianą taboru, każda z trzech kolei zamawiała swój własny tabor próbny (WIN 350, Star 21, 300 X) do zbadania nowej konstrukcji. Badano w szczególności ulepszone układy biegowe, nowe systemy napędowe (w tym

napęd silnikami 3-fazowymi) i osiągnięcie założonych prędkości – prowadzono próby nawet do prędkości 450 km/h.

Po 30 latach od uruchomienia obecne pociągi Shinkansen poprawiły znacznie swoje osiągi, gdyż muszą wciąż konkurować z liniami lotniczymi. Czasy przejazdów w stosunku do lat 60. i 70. zostały znacznie skrócone. I tak na przykład czas przejazdu całej linii Tokaido (515 km) z Tokio do Osaki wynosi obecnie tylko 2 godz. 30 min. Jednak dalsze zwiększanie prędkości hamowane jest przez dwie poważne przeszkody – nadmierny hałas wytwarzany podczas jazdy oraz czynniki aerodynamiczne.

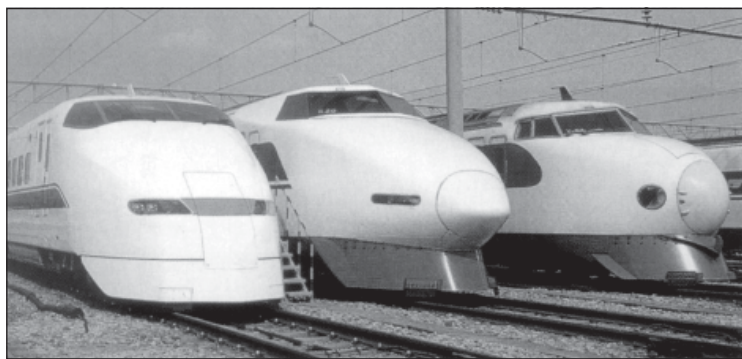
Problemy hałasu

Patrząc na linie dużej prędkości Shinkansen widać wyraźnie, że są to rzeczywiście linie dobudowane do poprzedniej sieci. Wobec gwałtownie rozrastających się miast japońskich i wielkim zagęszczeniu różnorodnych budowli, linie Shinkansen poprowadzono na estakadach zbudowanych często z płyt betonowych o gładkiej powierzchni. Stacje są zbudowane jako wielokondygnacyjne, a perony pociągów Shinkansen zlokalizowane przeważnie na trzecim lub czwartym poziomie. W tej sytuacji wytwarzany hałas może się rozchodzić bardzo daleko. Dlatego prawie wszędzie zbudowane są bariery akustyczne wzdłuż torów, a ponadto same tory wykonane są jako „tory o niskim hałasie”.

Postanowiono zmniejszyć także hałas od pantografów, gdyż stwierdzono, że stanowią one poważne źródło dźwięku. Zastosowano specjalne owiewki aerodynamiczne, które ograniczają rozprzestrzenianie się dźwięku. Najlepszy aerodynamicznie pantograf został skonstruowany dla najnowszego pociągu Shinkansen serii 700. Różni się on od dotychczasowych konstrukcji, w tym i europejskich, tym, że wysokość pantografu została znacznie zmniejszona. Praca na krótkim pionowym odcinku w połączeniu ze znacznym zredukowaniem zygzakowania przewodu jezdnego wpłynęła na wyciszenie współpracy pantografu z siecią.

Aerodynamika

Inżynierowie japońscy byli prekursorami w dziedzinie aerodynamiki pojazdów szynowych. Gdy budowali „nowe linie magistralne”, jak nazywano linie Shinkansen, stosowano dość oszczędne przekroje poprzeczne tuneli. Przy szerokości taboru aż 3,38 m stosowano na linii Tokaido odległość między osiami torów tylko 4,20 m. Prowadzone badania

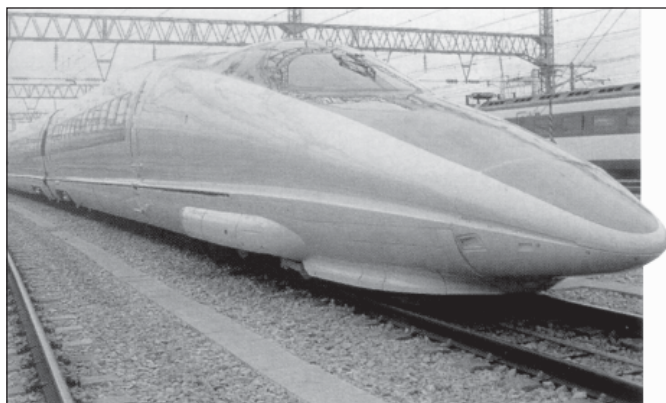


Fot. 1. Pociągi Shinkansen (od lewej do prawej – seria 300, seria 100 i seria 0)

aerodynamiczne uwzględniały zjawiska występujące w czasie mijania się pociągów, jednak ostatecznie okazało się, że przekrój poprzeczny tunelu, wynoszący 64 m², dla dwutorowej linii jest za wąski. Przy wjeździe do tunelu pociąg z pełną prędkością (ponad 200 km/h) wytwarzały się bardzo duże zmiany ciśnienia. W tej sytuacji, aby nie narażać pasażerów na nieprzyjemne odczucia, pociąg należało wykonać jako hermetycznie szczelny. Efekt fali ciśnieniowej jeszcze się zwiększył, kiedy zaczęto stosować w tunelach tory na płytach betonowych, zamiast na tradycyjnych podkładach. Wjazd pociągu powodował wówczas na drugim końcu tunelu potężny huk. Zneutralizowanie tego efektu było możliwe przez wykonanie w tunelu stalowych występów lub zmian w jego przekroju, które były jednocześnie połączone z poprzecznymi otworami wentylacyjnymi.

W zespołach Shinkansen czoło pociągu było często zmieniane. Po nosie ostrzowym, który jest szczególnie widoczny w serii 500 (fot. 2), najnowszy kształt nosa – zastosowany w seriach E4 i 700 – nazywany jest „dziobem kaczora”. Wraz ze swoim przedłużeniem o kształcie łyżki rozkłada on początkową falę ciśnienia, redukując w ten sposób gradient ciśnienia dp/dt , przez co uzyskuje się falę „mikrociśnienia”.

W tabelicy 1 przedstawiono szczegółowe dane różnych serii pociągów Shinkansen. Nie ma w niej jednak danych



Fot. 2. Pociąg Shinkansen serii 500 eksploatowany przez kolej JR Central

trzech zespołów zbudowanych dla linii „mini Shinkansen”, obsługiwanej przez koleje JR East (serie 400, E2 i E3). W 1999 r. koleje JR Central i JR West postanowiły połączyć swoje prace badawcze i zająć się w przyszłości tylko usprawnianiem pociągów Shinkansen serii 700.

Pojazdy piętrowe (2-poziomowe) dużej prędkości

Do obsługi ruchu podmiejskiego w obrębie wielkiego Tokio kolej JR East zakupiła pociągi oznaczone serią E4, składające się z wielkich wagonów (do ośmiu), symetrycznych wewnątrz wzdłuż osi podłużnej.

Na rysunkach 1 i 2 oraz w tabelicy 2 przedstawiono porównanie japońskiego pociągu piętrowego E4 z pociągiem piętrowym TGV Francuskich Kolei Narodowych (SNCF). Należy zauważyć, że pociąg piętrowy TGV jest przeznaczony do jazdy dalekobieżnych, natomiast pociąg piętrowy E4 – do podróży na krótszych odległościach. W pociągach Shinkansen stosunek miejsc w klasie 1. do liczby miejsc w klasie 2. jest znacznie mniejszy niż w europejskich pociągach dużej prędkości. I tak w pociągu E4 wynosi on 6,6%, a w pociągach przeznaczonych dla dalszych odległości najwyżej 15% (seria 300).

Pociąg TGV Duplex (fot. 3) ma oprócz znacznego zwiększenia liczby miejsc w stosunku do jednopoziomowego pociągu TGV, dużą prędkość i odpowiedni komfort jazdy niezbędny w przypadku długich podróży. Uważa się, że pociąg ten obniża koszty eksploatacyjne przypadające na jedno miejsce o 15% w stosunku do pociągu jednopoziomowego. Przy budowie tego pociągu zastosowano wiele nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych, które pozwoliły w szczególności utrzymać się przy dopuszczalnym nacisku na oś 17 t, wymaganym przez zarząd infrastruktury. Pociąg Duplex jest pierwszym pociągiem TGV, który ma pudło wykonane z aluminium.

Pociągi dużej prędkości we Francji

Prototypem pociągów dużej prędkości TGV (Trains a Grande Vitesse) we Francji był pociąg próbnny TGV 001, napędzany

Tablica 1

Pociągi Shinkansen (16 wagonów, 400 m długości, 3,38 m szerokości, ok. 1320 miejsc w pociągu)

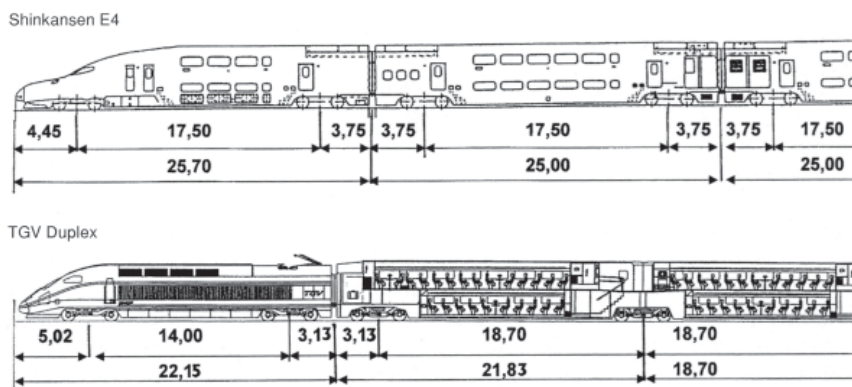
Seria pojazdu	0	100	300	500	700	
Przewoźnik	JNR	JNR	JR Central	JR West	Central + West	
Rok oddania do eksploatacji	1964	1985	1992	1996	1999/2000	
Materiał pudła	Stal	Stal	Aluminium	Aluminium	Aluminium	
Liczba wagonów silnikowych	16	12	10	16	10	
Liczba pantografów	8	3	2	2	2	
Wysokość wagonu	[m]	3,975	4,00 ¹⁾	3,69	3,65	
Masa w stanie ładownym	[t]	970	925	710	ok. 700	708
Maksymalny nacisk na oś	[t]	16,0	16,0	11,3	10,8	ok. 11
Moc silników	[MW]	11,8	11	12	18,2	13,2
Prędkość maksymalna	[km/h]	220	220	270	320 ²⁾	185

1) 2–4 piętrowych wagonów na pociąg o wysokości 4,49 m ponad główkę szyny.

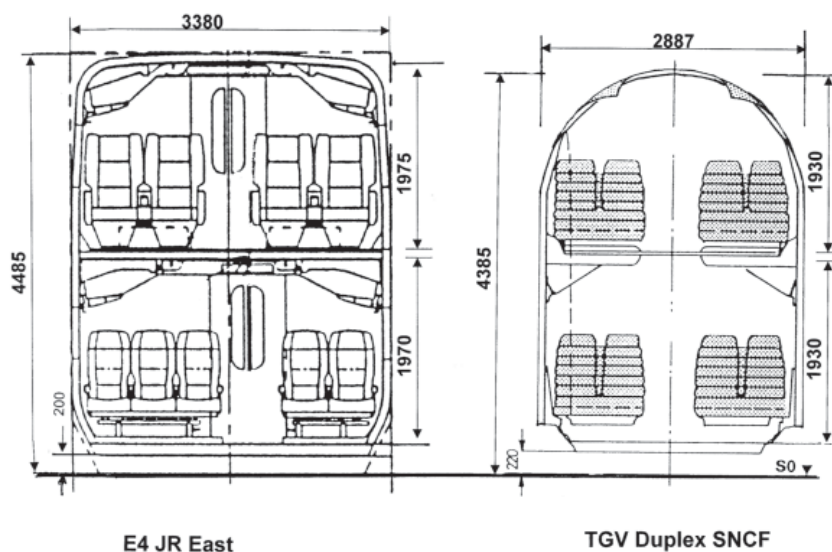
2) Jest to prędkość konstrukcyjna, prędkość eksploatacyjna 285 km/h.

turbiną gazową i zbudowany w 1972 r. Pociągi TGV weszły do regularnej eksploatacji na sieci SNCF od września 1981 r. po zbudowaniu pierwszej linii dużej prędkości Paryż – Lyon. Linie tę uruchomiono z zamiarem konkurowania z liniami lotniczymi na tej trasie i od samego początku przyniosła ona duży sukces handlowy. Zgodnie z dekretem rządu francuskiego z 11.5.1991 r. sieć linii kolejowych dużych prędkości ma być stopniowo rozszerzana na cały kraj. W ciągu minionego 10-lecia zbudowano m.in. linię Paryż – Lille – Calais i odgałęzienie do połączenia z siecią dużych prędkości kolei belgijskich, a ostatnio (7.6.2001 r.) otwarto przedłużenie linii Paryż – Lyon do Marsylii i Montpellier (linia TGV Méditerranée). Ponadto wprowadzono na linii Paryż – Lyon udoskonaloną sygnalizację typu TVM 430, która pozwala na mniejsze odstępy międzypociągowe, przy jednocześnie zachowanej dotychczasowej prędkości maksymalnej pociągów 300 km/h. Ogółem sieć linii dużych prędkości we Francji obejmuje już ponad 1550 km.

Pociągi TGV PSE (PSE – Paris Sud-Est) zaprojektowano tak, aby przejeżdżać trasę Paryż – Lyon, długości 425 km, w 2 godz. Pociągi miały początkowo prędkość maksymalną 270 km/h, a ze względu na duże wzniesienia na linii (do 35%) potrzebowały 12 osi napędnych w składzie. Uzyskano to poprzez wyposażenie w takie osie, poza dwoma wagonami silnikowymi, także dwóch przyległych wagonów doczepnych – po jednym wózku w wagonie. W dalszym rozwoju pociągów TGV moc silników trakcyjnych została zwiększona poprzez zastosowanie silników 3-fazowych synchronicznych, zamiast poprzednich silników prądu stałego. Pozwoliło to na



Rys. 1. Porównanie pociągów piętrowych Shinkansen E4 i TGV Duplex



Rys. 2. Przekroje poprzeczne pociągów E4 i TGV Duplex

Tablica 2

Porównanie pociągów piętrowych – japońskiego serii E4 i francuskiego TGV Duplex

Seria pojazdu	E4	TGV Duplex
Rok wejścia do eksploatacji	1997	1995
Układ wagonów	8-wagonowy zespół trakcyjny, w tym 4 wagony silnikowe	2 wagony silnikowe i 8 doczepnych (doczepne na wspólnych wózkach)
Długość [m]	201,4	200,2
Szerokość [m]	3,380	2,887
Wysokość [m]	4,485	4,385
Liczba siedzeń	klasa 1. 54 klasa 2. 763 ogółem 817	197 384 545
Napięcie zasilania	25 kV 50 Hz	25 kV 50 Hz + 1,5 kV DC
Moc znamionowa [MW]	6,72	8,8
Masa pojazdu w stanie próżnym [t]	415	380
Masa pojazdu w stanie ładownym [t]	ok. 476	424
Prędkość maksymalna [km/h]	240	300



Fot. 3. Pociągi dużej prędkości na wystawie Eurailspeed w Berlinie w 1998 r. – od lewej: TGV Duplex, TGV Thalys, ETR 500 kolei FS i TGV Pendulaire kolei SNCF (z przechylnym nadwoziem)

wyeliminowanie silników z wagonów z pasażerami i ograniczenie ich tylko do wagonów silnikowych (tabl. 3). Jednocześnie prędkość maksymalna zmodernizowanych zespołów została zwiększona do 300 km/h.

Po około dwuletniej eksploatacji zaczęły występować w zespołach TGV-PSE przy jeździe z większymi prędkościami dokuczliwe wibracje. Z tego względu wymieniono sprężyny spiralne stalowe w drugim stopniu zawieszenia na poduszki powietrzne, co wyeliminowało tę usterkę. Dotychczas wszystkie pociągi TGV zbudowane były w ten sposób, że wagony skrajne były wagonami silnikowymi, niedostępnymi dla podróżnych, a między nimi były wagony doczepne, osadzone na wspólnych wózkach. Jest to zasada pociągu przegubowego. W skład rodziny pociągów TGV wchodzi także 4-systemowy pociąg Thalys, a także dostarczone dla Hiszpanii pociągi AVE i pociągi KTX dostarczone dla Korei Południowej.

Zachowanie się pociągów piętrowych w tunelach

Pierwsza linia TGV, Paryż – Lyon została zbudowana całkowicie bez tuneli, ale za to musiano dopuścić duże pochYLENIA pionowe linii, o czym już wspomniano. W później budowanych liniach dużej prędkości odstąpiono od tej zasady, częściowo z powodu postawienia jeszcze dodatkowych wy-

magań. Wielkie przyrosty ciśnienia w czasie mijania się pociągów w tunelach powodowały, że zaczęto budować tunele o coraz większych przekrojach poprzecznych. I tak na linii Paryż – Ocean Atlantycki (TGV Atlantique) zbudowano tunele o przekroju 71 m², natomiast na linii TGV Mediteranée, gdzie dodatkowo uwzględniono mijanie się dwóch pociągów piętrowych z prędkością 300 km/h każdy, zastosowano przekroje 100 m².

„Blokujący przekrój”, tzn. stosunek powierzchni przekroju poprzecznego taboru do przekroju tunelu liczonego od wysokości główki szyny, co ma wpływ na wytwarzane w tunelu ciśnienie, dla taboru TGV Duplex wynosi 0,114, natomiast odpowiednia wartość dla japońskiego taboru piętrowego E4 wynosi 0,22. Oznacza to, że dla tej samej prędkości ciśnienie wytwarzane w tunelu jest dla pociągu japońskiego 2-krotnie wyższe niż dla francuskiego. Porównując kwadraty odpowiednich prędkości maksymalnych otrzymamy w równaniu wciąż stosunek 1,25:1.

Koleje SNCF jeżdżą coraz szybciej

Już dwukrotnie koleje SNCF upamiętniły otwieranie nowych linii TGV ustanawianiem imponujących rekordów prędkości. W maju 1990 r. na linii Paryż – Tours/Le Mans ustanowiono rekord prędkości jazdy – 515 km/h, natomiast 26.5.2001 r. ustanowiono rekord prędkości w jeździe długodystansowej, przejeżdżając odległość 1067 km, od kanału La Manche do Marsylii, w czasie 3 godz. 18 min, jadąc na trasie nawet z prędkością 367 km/h. Pociągi TGV pokonują w normalnej eksploatacji trasę Paryż – Marsylia, długości ok. 750 km, w 3 godz.

Mimo wspaniałych osiągnięć z obecnym składem pociągu TGV, zdolnym do osiągnięcia prędkości 360 km/h, w którym to składzie są wydzielone dwa wagony silnikowe, postanowiono w końcu lat 90. zrezygnować z tego układu i zbudować TGV nowej generacji (nouvelle generation). Będzie to zespół trakcyjny nazwany „automotrice a grande vitesse” (AGV), co oznacza zespół z napędem rozłożonym na wiele osi. Wszystkie wagony będą w tej sytuacji dostępne dla podróżnych. Innym projektem jest przechylny zespół TGV. W tym celu jeden z pociągów TGV został wyposażony w układ przechyłu i jest poddawany próbom w celu zbadania możliwości zwiększenia prędkości jazdy na liniach konwencjonalnych, które mają znacznie mniejsze promienie łuków od linii dużych prędkości.

Dalszy rozwój pociągów dużej prędkości we Francji będzie zależał od wyników współpracy francusko-niemieckiej w sprawie budowy wspólnego takiego pociągu. Można się spodziewać, że pociąg ten zacznie kursować po nowej linii TGV Paryż – Wschodnia Francja – Południowe Niemcy (POS), znanej we Francji jako linia TGV Est-Européen, z prędkością do 320 km/h w 2008 r.

Pociąg Eurostar – pociągiem uniwersalnym

Pociąg Eurostar jest oparty o francuski TGV, kursuje od 1994 r. między Paryżem, Londynem

Pociągi TGV

TGV		PSE	Atlantique	Reseau
Rok wejścia do eksploatacji		1981	1989	1996
Długość	[m]	200	237,4	200
Szerokość	[m]	2,814	2,904	2,904
Wysokość ponad główką szyny	[m]	3,43	3,48	3,48
Liczba siedzeń		386/350*	485	377
Masa	[t]	418	475	416
Maksymalny nacisk na oś	[t]	16,3	17	17
Liczba osi napędnych		12	8	8
Moc znamionowa	[MW]	6,45	8,75	8,85
Prędkość maksymalna	[km/h]	270/300*	300	300

* Po modernizacji w latach 2000/2001.

Tablica 3



Fot. 4. Pociąg Eurostar na dworcu Waterloo w Londynie



Fot. 5. Acela Express

a Brukselą (fot. 4, tabl. 4). Przejeżdża on 50-kilometrowy tunel pod kanałem La Manche w 20 min. z prędkością 160 km/h. Na wypadek ewentualnej awarii w tunelu pociąg może być podzielony na pół i wyciągnięty z tunelu w dwóch częściach, każda w przeciwnym kierunku przez znajdujące się na końcach składu wagony silnikowe. Dla umożliwienia poruszania się po sieci kolei brytyjskich musiały być w pociągu wykonane następujące urządzenia:

- odbieraki prądu z trzeciej szyny o napięciu 750 V, umieszczone 76 mm nad poziomem główki szyny i 1,124 mm od osi toru, które są składane w czasie jazdy po terenie Francji i Belgii;
- zmieniony przekrój poprzeczny pudła i wysuwane stopnie ze względu na inną skrajnię brytyjską (niezgodną ze skrajnią UIC) dla zmieszczenia się w peronach o wysokości 915 mm nad główką szyny i usytuowanych w odległości 1,446 m od osi toru na prostej.

W Anglii pociąg Eurostar jeździ tymczasowo po konwencjonalnej linii od wybrzeża kanału w Folkstone do Londynu (dworzec Waterloo). Od kilku lat budowana jest od Folkstone do Londynu (dworzec St. Pancras) nowa linia dużej prędkości długości 108 km. Na terenie Francji i Belgii pociąg jedzie po liniach o prędkości maks. 300 km/h. Jadąc z Londynu przez Calais linia rozgałęzia się w miejscowości Fretthun, 12 km na południe od Lille i pociągi skręcające na Brukselę jadą po łącznicy z prędkością 220 km/h.

Pociągi dużej prędkości w Stanach Zjednoczonych

W Stanach Zjednoczonych w latach 90. opracowano wiele projektów linii dużych prędkości, jak choćby linia Dallas – Houston, czy projekt Florida Overland Express, które jednak z przyczyn finansowych nie zostały zrealizowane. Uruchomione zostały jednak pociągi dużej prędkości w Korytarzu Północno-Wschodnim – Waszyngton – Nowy Jork – Boston. Projekt za-

kładał modernizację torów i elektryfikację linii na całej długości, a także zakup odpowiedniego taboru. Pociągi o nazwie Acela Express, o prędkości maksymalnej 240 km/h zaczęły kursować 11.12.2000 r. (fot. 5, tabl. 4). Wagony silnikowe pociągów Acela, oparte są na wagonach TGV, chociaż – jak i w przypadku pociągów Eurostar – są wyposażone w silniki trójfazowe asynchroniczne w odróżnieniu od TGV, które mają silniki trójfazowe synchroniczne.

Tablica 4

Porównanie pociągów Eurostar i Acela Express

Nazwa pojazdu	Eurostar	Acela Express
Rok produkcji	1994	2000
Układ wagonów	2 wagony silnikowe i 2×9 doczepnych na wspólnych wózkach	2 wagony silnikowe i 6 doczepnych
Długość [m]	394	202,30
Szerokość [m]	2,814	3,162
Wysokość nad główką szyny [m]	3,691	4,232
Miejsc do siedzenia	794	301
System zasilania	25 kV 50 Hz, 3 kV DC, 750 V DC	25 kV 60 Hz, 12,5 kV 60 Hz, 11 kV 60 Hz
Liczba osi napędnych	12	8
Moc znamionowa [MW]	12,0	9,2
Prędkość maksymalna [km/h]	300	240

Tablica 5

Pociągi w relacjach Londyn – Paryż – Bruksela

Relacja		Londyn – Paryż		Londyn – Bruksela		Paryż – Bruksela
		A	B	A	B	Thalys, TGV
Odległość	[km]	501	487	388	374	313
Czas jazdy		2 h 55 min	2 h 20 min	2 h 55 min	2 h 20 min	1 h 25 min
Średnia prędkość	[km/h]	172	209	133	160	221

A – obecny czas jazdy od dworca Londyn Waterloo.

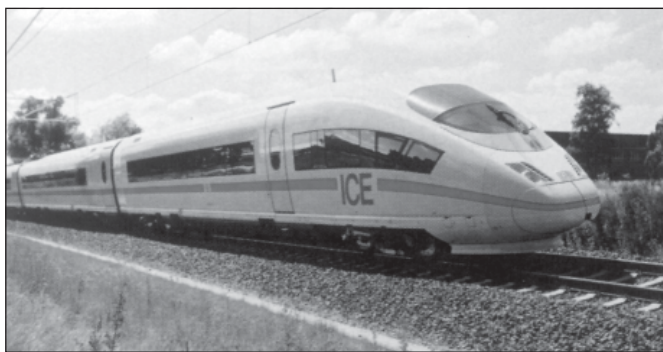
B – czas jazdy po zbudowaniu nowego połączenia od tunelu do dworca Londyn St. Pancras (CTRL).

Pociągi InterCity Express (ICE) w Niemczech

Rodzina pociągów ICE została zapoczątkowana pociągiem InterCity Experimental w 1985 r. Został on wyposażony w 3-fazowe silniki asynchroniczne. Był to pierwszy pociąg na świecie, który przekroczył prędkość 400 km/h, co nastąpiło 1.5.1988 r. na nowej linii Fulda – Würzburg w czasie przejazdu po moście na rzece Men koło Gemünden. Pierwszy pociąg ICE został oddany do eksploatacji w 1991 r. i był złożony z dwóch wagonów silnikowych i 10–14 wagonów doczepnych. Każdy skład miał włączony wagon restauracyjny, znajdujący się między wagonami klasy 1. (są 2–4 takie wagony) oraz wagonami klasy 2. Taki układ wagonów stosowany jest także w pociągach IC prowadzonych lokomotywami i ze względu na jednolitość ustawienia ułatwia pasażerom przesiadkę na stacjach, ponieważ wagony tej samej klasy stoją przy peronie naprzeciwko siebie.

Pociąg ICE został zaprojektowany przede wszystkim jako wygodny dla pasażerów. Jest on wyposażony w szerokie stopnie i drzwi wejściowe o szerokości 90 cm, a ponadto w obszerne przedsionki i korytarze, wygodne siedzenia oraz pobudzające wyobraźnię i bogato zróżnicowane wyposażenie wewnętrzne. Wagony ICE są o 20 cm szersze od tradycyjnych wagonów używanych dotychczas w pociągach InterCity w Niemczech, a tym samym są o 20 cm szersze od dopuszczalnego wymiaru według karty UIC. Budując pociąg ICE kierowano się tym, że będzie on kursował tylko po niemieckiej sieci kolejowej. Tym niemniej po szczegółowych analizach został on również dopuszczony dojazd w krajach sąsiednich – Austrii, Szwajcarii, Belgii i Holandii.

Ze względu na dużą liczbę tuneli na liniach dużych prędkości w Niemczech, pociągi ICE, tak jak pociągi Shinkansen w Japonii, musiały być zbudowane hermetycznie i stały się w ten sposób pierwszymi takimi pociągami w Europie. Wymagania hermetyczności spełniają także przejścia międzywagonowe, szerokości 110 cm, co sprawia, że drzwi między wagonami mogą być w czasie jazdy zawsze otwarte. Jak wiele innych pociągów, tak i pociągi ICE miały okres „dziecięcych usterek”. Na przykład uszkadzały się toalety próżniowe. W odróżnieniu od toalet stosowanych w samolotach czy pociągach TGV, które używały do splukiwania roztwór aldehydu mrówkowego, w toaletach pociągów ICE zastosowano wodę. Niestety, chociaż było to rozwiązanie przyjazne dla środowiska, prowadziło do korozji pomp, które pracowały w tym układzie.



Fot. 6. Zespół ICE 3

Jak wspomniano, pociągi ICE weszły do eksploatacji w czerwcu 1991 r., ale po paru miesiącach zaczęto w wagonach odczuwać wibracje. Okazało się, że sprężyny w wózkach „Minden-Deutz” nie były w stanie tłumić drgań powodowanych przez owalne koła. Tym niemniej możliwe wydawało się rozwiązanie problemu w samym zarodku, poprzez zastosowanie gumowo-odsprężynowanych kół. W kilka lat później, w 1998 r. jedno z takich kół złamało się ze strasznymi skutkami. W rezultacie koła we wszystkich pociągach ICE zostały wymienione na typu monoblokowego na czas, w jakim przyczyna wypadku zostanie ostatecznie ustalona. Jednocześnie w tym samym czasie wprowadzono w lokomotywowniach system kontrolowania dynamicznej reakcji koła w zależności od jego owalności.

W ciągu lat niezawodność pierwszych 60 wyprodukowanych zespołów ICE pierwszej generacji stopniowo zwiększała się i w 1997 r. średni przebieg jednego zespołu osiągnął 530 tys. km rocznie. Było to także wynikiem dobrego utrzymania zespołów w trzech głównych lokomotywowniach znajdujących się w Hamburgu, Monachium i Berlinie.

Pociągi ICE drugiej generacji

Już pociągi ICE pierwszej generacji znacznie skróciły czasy jazdy na osi północ-południe w Niemczech. Po zjednoczeniu Niemiec 3.10.1990 r. powrócono do pomysłu szybkich połączeń także na osi wschód-zachód. W ciągu trzech lat pierwsze pociągi ICE zaczęły dojeżdżać do Berlina. Był plan aby zakupić więcej, nieznacznie zmodernizowanych, zespołów pierwszej generacji, z nowej generacji wózkami z usprężynowaniem pneumatycznym. Jednak sprawy potoczyły się inaczej. Na wiosnę 1994 r. wyprodukowano pociąg ICE 2, utworzony z połowy poprzedniego składu, tj. z wagonem silnikowym z jednej strony, a z drugiej strony z kabiną sterowniczą. W bardzo krótkim czasie powstał najszybszy na świecie pociąg w systemie *push-pull* (ciągniono-pchany) i jednocześnie pojawił się problem zachowania się takiego lekkiego wagonu czołowego (z kabiną sterowniczą) w czasie jazdy z prędkością 280 km/h podczas silnego wiatru boczego.

Wyposażenie wewnętrzne w nowym pociągu zostało w większości utrzymane z poprzedniego, a jedynie siedzenia poustawiano ciaśniej. Pewne przedziały zostały zlikwidowane, a także obniżony został wysoki dach wagonu restauracyjnego (poprzednio 4,29 m nad główką szyny). Jeżdżenie z połową składu umożliwiło bardziej oszczędne obsługiwanie linii o małym natężeniu ruchu. Nowe pociągi ICE 2 jeździły np. jako dwa zespoły z Berlina do Kolonii i po drodze dzieliły się w Hamm, skąd jeden jechał dalej przez Dortmund – Düsseldorf, a drugi przez Wuppertal.

Uniwersalne pociągi ICE 3

W związku z budową nowej linii dużej prędkości Kolonia – rejon Ren/Men potrzebny był pociąg nowej generacji. Trasa miała mieć pochYLENIA do 40% i prędkość dopuszczalną do 300 km/h. Zarówno układ napędu, jak i system hamulcowy musiały być więc specjalnie zaprojektowane, do czego przyczyniało się jeszcze wymaganie wielosystemowości pocią-

gu (uniwersalność). W związku z tym w końcu 1993 r. grupa robocza, złożona z przedstawicieli DB i przemysłu taboru kolejowego, zaleciła zbudowanie pociągu w formie zespołu trakcyjnego, z napędem rozłożonym na wiele osi i odejście tym samym od pociągu z wydzielonymi wagonami silnikowymi. Nowy pociąg nazwano ICE 3. Ten typ pociągu ma aparaturę trakcyjną zlokalizowaną pod podłogą i następujące zalety w porównaniu z pociągiem zespołowym:

- większą o 20% liczbę miejsc do siedzenia, przy długości pociągu ok. 200 m;
- łatwość uzyskania nacisku na oś 16 t;
- znaczny zapas współczynnika przyczepności kół do szyn, niż w pociągu z wagonami silnikowymi (tabl. 6);
- małą wrażliwość na uszkodzenie się któregoś z silników podczas rozruchu pociągu nawet na stromym wzniesieniu, gdyż jest więcej silników w składzie i istnieje zapas przyczepności koło–szyna;
- możliwość lepszego wykorzystania hamowania elektrodynamicznego ze względu na większą liczbę silników.

W pociągu ICE 3 zastosowano hamulce na prądy wirowe jako dodatkowy układ hamowania. Urządzenia hamulcowe są umieszczone między kołami na osiach nienapędzonych i współpracują z szynami na zasadzie przyczepności magnetycznej. Przy maksymalnej sile hamującej, np. w przypadku hamowania nagłego, szyna jest podgrzewana 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.

Wymieniając „ekologiczne zalety” pociągu ICE 3 należy zauważyć, że jest to pierwszy pociąg na świecie wyposażony w całkowicie nie chemiczny system klimatyzacji, gdyż pracujący na zasadzie krążenia ochłodzonego powietrza. Koleje DB zaproponowały takie rozwiązanie i początkowo go finansowały (w latach 1993–1994), aż do czasu rozpoczęcia produkcji seryjnej. Następnie projekt ten został włączony do umowy na produkcję zespołów ICE 3.

Pierwszą pracą zespołów ICE 3 było wożenie gości w czasie Wystawy Światowej EXPO 2000 w Hanowerze na wiosnę 2000 r. Do regularnej eksploatacji weszły w listo-

padzie 2000 r. na trasie Frankfurt n/M. – Kolonia – Amsterdam jako pociągi ICE International. Obsługują one tę linię wspólnie z kolejami holenderskimi NS. Koleje DB mają 13 zespołów ICE 3, natomiast koleje NS – 4 (fot. 7). W tablicy 7 przedstawiono dane wszystkich pociągów ICE, w tym także ICE-T, oraz pociągu Thalys TGV.

Tablica 6

Właściwości trakcyjne wybranych typów pociągów

Typ pojazdu	ICE 2	Thalys	ICE 3
Liczba osi napędnych	4	8	16
Maksymalny nacisk na oś [t]	19,5	17	12,5
Maksymalna siła rozruchowa [kN]	200	220	300
Współczynnik przyczepności	0,261	0,165	0,153
Maksymalna siła przyspieszająca przy prędkości 250 km/h [kN]	62,5	115	80
Współczynnik przyczepności przy prędkości 250 km/h	0,082	0,086	0,041



Fot. 7. Sprzęgnięte zespoły ICE 3 na stacji Arnhem, Holandia; z lewej zespół kolei NS, z prawej kolei DB

Tablica 7

Porównanie pociągów ICE, własność kolei DB z pociągiem Thalys, należącym do międzynarodowej spółki

Typ pojazdu	ICE 1	ICE 2	ICE 3	ICE 3 1-systemowy	Thalys 4-systemowy	ICE-T 4-systemowy
Układ wagonów	2 s+12 d	1 s+7 d	8 wagonów	8 wagonów	2 s+8 d	7 wagonów
Długość [m]	358	205	200	200	200,2	184,4
Szerokość [m]	3,02	3,02	2,95	2,95	2,904	2,85
Wysokość [m]	3,84	3,84	3,89	3,89	3,48	3,91
Liczba miejsc do siedzenia	649	368	391	380	375	357
+ w wagonie restauracyjnym	38	23	24	24	—	24
ogółem	685	391	415	404	375	381
Moc znamionowa [MW]	9,6	4,8	8,0	8,0	8,8	4,0
Masa w stanie próżnym [t]	795	410	409	435	390	373
Masa w stanie ładownym [t]	846	440	440	465	418	402
Prędkość maksymalna [km/h]	280	280	330	330	300	230

Pociąg Thalys i jego prawdopodobny następca

Zamówienie na pociąg dużej prędkości do ruchu między Francją i Niemcami (HGZ-E-TGV) zostało złożone wspólnie przez koleje DB i SNCF jeszcze w latach 1985/1986. Zostało to zrealizowane w projekcie nazwanym PBKA – Paryż – Bruksela – Kolonia – Amsterdam, którego udziałowcami są cztery koleje: DB, SNCF, SNCB i NS. Koleje te opracowały następnie w latach 1988–1990 „Wytyczne handlowe dla pociągów PBKA”.

Przewidziano dwa warianty pociągu:

1. PBKA/F – o prędkości 300 km/h z zasilaniem 15 kV 16 2/3 Hz, mogący dokonać rozruchu na pochyleniu 40‰ i hermetycznie szczelny, jako wariant bardziej wymagający i nadający się także na linię Kolonia – Ren/Main.
2. PBKA – na prędkość 220 km/h, która jest wystarczająca przy niemieckim systemie zasilania, z pozostawieniem do rozważania w przyszłości obsługi linii Kolonia – Frankfurt n/M.

Zgodnie z umową podpisaną 28.01.1993 r. zakupiono ogółem 17 4-systemowych zespołów Thalys w wykonaniu



Fot. 8. Zespół ICE-T po wytoczeniu z hali produkcyjnej w zakładach DWA w Görlitz (3.4.1998 r.)

nie nadających się do pracy na linii K-R/M. Koleje DB zakupiły dwa zespoły, które będą eksploatowane przez SNCF (Westrail) na podstawie zamówienia. Całkiem niedawno otwarty został nowy rozdział we współpracy francusko-niemieckiej. 16.12.1999 r. podpisano w Strasburgu memorandum pomiędzy DB i SNCF na wspólne opracowanie wymagań dla ujednoliconego pociągu dużej prędkości. Pociąg ten ma być zbudowany wspólnie w przyszłości.

Pociągi z przechylnym nadwoziem

Rozwiązanie to jest coraz częściej stosowane na świecie do obsługi linii konwencjonalnych o dużej liczbie łuków. Niektóre z tych pociągów łączą zalety pociągów dużej prędkości z dobrym pokonywaniem łuków. Jednak wymaga to spełnienia przeciwstawnych warunków. Jazda z dużą prędkością na liniach prostych wymaga stabilnego zachowania się układu biegowego i stąd stosunkowo sztywnego podwozia, gdy tymczasem warunkiem szybkiego przejeżdżania przez łuki jest elastyczność poprzeczna układu biegowego.

Warunki te spełniają pociągi ICE-T (fot. 8) oraz Pendolino ETR 460 (fot. 9). Oba pociągi mają przechył aktywny o kąt 8° w stosunku do płaszczyzny toru, chociaż faktycznie jest on zmniejszony do 6,5° z powodu kołysania się wagonów na drugim stopniu zawieszenia. Jazdy pociągów z przechylnym nadwoziem są stosowane na sieci kolei niemieckich z prędkościami do 160 km/h w celu umożliwienia szybszego przejazdu przez łuki. Jednak nie zamierza się przekraczać tej prędkości, gdyż łączyłoby się to z koniecznością zastosowania nowocześniejszej sygnalizacji, ponieważ przy prędkościach powyżej 160 km/h istnieje wymóg stosowania sygnalizacji LZB, tj. ciągłego sterowania pociągu.

System przechyłu biernego – Talgo

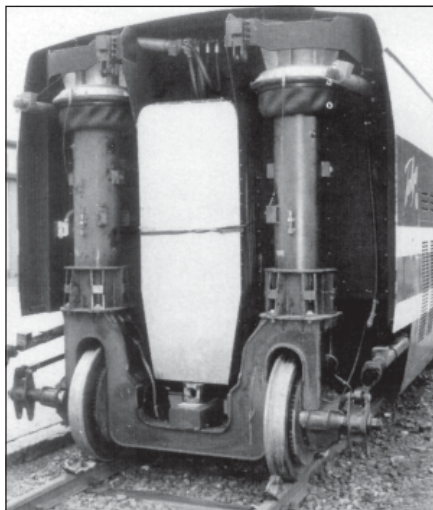
Systemy przechyłu aktywnego wymagają zamontowania odpowiednich urządzeń i dostarczenia znacznych ilości energii do uruchomienia i regulacji przechyłu. Z tego powodu system przechyłu biernego, jak to zastosowano w Hiszpanii dla pociągu Talgo, jest rozwiązaniem bardziej nowoczesnym. Ostatnimi nowościami w rodzinie Talgo są człony napędowe (fot. 10), które mogą pracować z tymi samymi składowymi



Fot. 9. Zespół Pendolino ETR 460 kolei włoskich FS; taki pociąg ustanowił rekord prędkości PKP – 250 km/h



Fot. 10. Wagon silnikowe Talgo; z lewej – Talgo XXI, z prawej – Talgo 350



Fot. 11. Układ zawieszenia wagonów doczepnych Talgo



Fot. 12. Pociąg Eurotrain, który brał udział w przetargu na linię dużej prędkości Taipei – Kaosiung na Tajwanie w 1999 r.

mi wagonów oznaczonymi także symbolem Talgo XXI. Wagon silnikowy Talgo XXI z napędem spalinowym ma prędkość maksymalną 220 km/h i jest wyposażony w wózki napędne o zmiennym rozstawie kół. Natomiast Talgo 350 jest wagonem silnikowym o napędzie elektrycznym i prędkości 350 km/h, zbudowanym do pracy na nowej linii Madryt – Barcelona.

Zasada Talgo polega na zastosowaniu indywidualnych kół sztywno prowadzonych w kołysce o kształcie litery W oraz sprężyn powietrznych zamontowanych na szczycie dwóch stalowych kolumn (fot. 11). Takie rozwiązanie pozwala na swobodny przechył pudła pojazdu na łukach o kącie 4° , co jest wynikiem działania siły odśrodkowej. Zestaw kołowy jest prowadzony przez pręty łączące go z pudłem w taki sposób, że jest on zawsze utrzymywany w pozycji prostopadłej do osi toru (ustawienie promieniowe).

Ujednolicenie

W artykule nr 129b układu z Maastricht z 7.2.1992 r. stwierdza się, że Unia Europejska ma zamiar zbudowania transeuropejskiej sieci kolejowej dużych prędkości o ujednoliconych parametrach. Dalej dyrektywa Rady UE nr 96/48 EC z 23.7.1996 r. na temat ujednolicenia europejskich linii du-

żych prędkości wprowadza szczegółowe postanowienia w sprawach przyszłego przekraczania granic przez pociągi dużych prędkości. Jednak ujednolicenie może być osiągnięte także bez takich dyrektyw, co zostało udowodnione uruchomieniem międzynarodowych pociągów ICE, TGV, Eurostar czy Thalys.

Innym przykładem ujednolicenia była jazda pokazowa pociągu Eurotrain – utworzonego z wagonów silnikowych ICE i wagonów doczepnych TGV Duplex, który na linii dużej prędkości Getynga – Hanower osiągnął prędkość 316 km/h, wioząc w tym czasie ok. 200 zaproszonych gości (fot. 12). Wprawdzie zostało to osiągnięte w specjalnych warunkach, ale pokazało, że współpraca może być bardzo owocna, jeśli obie strony przekażą swoje najlepsze osiągnięcia. □

*Na podstawie:
Eberhard Jänsch
Vehicle developments for high-speed traffic
Der Eisenbahningenieur 9/2001
Tłum. Marek Rabsztyń*