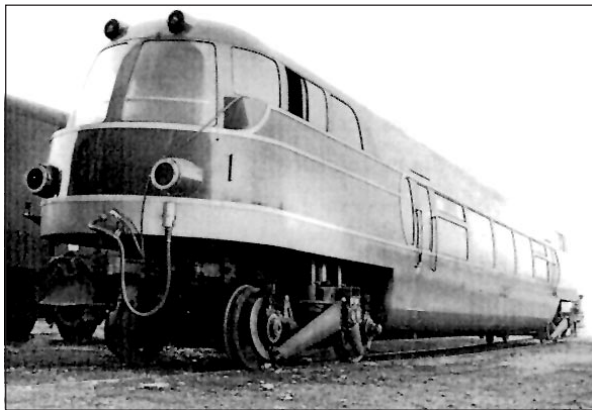


# Pociągi z przechylnym pudłem – rozwój konstrukcji

**Pociągi z przechylnym nadwoziem mają długą i bogatą historię, począwszy od studiów teoretycznych, przez pierwsze jazdy doświadczalne do eksploatacji handlowej. Technologia przechylnego nadwozia została opracowana przez koleje i była nierozdzielnie związana z rozwojem technologii produkcji taboru kolejowego, jak i zmianami organizacyjnymi w technologii produkcji. Zgodnie z tą tendencją, stopniowo zwiększano odpowiedzialność przemysłu pozostawiając zarządom kolejowym nadzór nad wymaganiami funkcjonalnymi. Ponadto producenci taboru łączyli swoje siły i możliwości, tak że w zasadzie trudno dziś określić, kto jest autorem poszczególnych rozwiązań.**

Pierwsze rozważania teoretyczne i eksperymenty z pociągami o przechylnym nadwoziu, kompensującym działanie boczno-ego niezrównoważonego przyspieszenia, co umożliwiało szybszy przejazd przez łuki, zostały przeprowadzone w późnych latach 30. Rozważania były prowadzone przez Pacific Railway Equipment Co w Stanach Zjednoczonych. W latach pięćdziesiątych firma United Aircraft Corporation zbudowała pojazd z przechylnym nadwoziem i testowała go na linii



Fot. 1. Pojazd z przechylnym nadwoziem kolei SNCF z 1957 r.

Chesapeake – Ohio. W 1957 r. koleje SNCF zbudowały pojazd, który mógł osiągnąć przechył pudła równy  $18^\circ$ . Pojazd ten (fot. 1) charakteryzował się owalnym kształtem, umożliwiającym zachowanie skrajni dynamicznej podczas przechyłu nadwozia.

W 1965 r., podczas Międzynarodowych Targów Transportowych w Monachium, koleje niemieckie (DB) przedstawiły spalinowy zespół trakcyjny serii 624 wyposażony w przechylny nadwozie sterowane pneumatycznie. System przechyłu oparty był o przepompowywanie powietrza do mieszkań pojazdu po zewnętrznej stronie osi łuku z mieszkań po wewnętrznej stronie osi łuku. Sterowanie oparte było o element żyroskopowo-wyrównujący. Testy w pełnej skali były przeprowadzone na sześciu jednostkach spalinowych, wprowadzonych do eksploatacji handlowej w 1972 r. Prace studialne zostały zakończone w 1971 r. i zaowocowały wprowadzeniem hydraulicznego systemu przechyłu z zawieszeniem powyżej środka ciężkości. Rozwiązanie takie zastosowano w serii pośredniej zespołów typu 624 w 1973 r. Koleje DB wstrzymały prace nad rozwojem technologii przechylnego nadwozia w 1975 r., skupiając się na adaptacji istniejących systemów.

W późnych latach 60., koleje włoskie (FS) i firma FIAT wspólnie wyposażyły wagon spalinowy w system przechyłu, oddziałujący na pojedyncze fotele pasażerów, a nie na nadwozie pojazdu. Pojazd ten, o oznaczeniu Aln 668, mógł osiągnąć prędkość 100 km/h tam, gdzie konwencjonalne pociągi przejeżdżały z prędkością 60 km/h. Przeprowadzone testy zaowocowały w latach siedemdziesiątych konstrukcją prototypowego wagonu o oznaczeniu Y 0160, który może być traktowany jako protoplasta serii *Pendolino*. Wagony tej serii mogły osiągać prędkość do 250 km/h i przechył nadwozia do  $10^\circ$  podczas przejazdu przez łuki. Przeprowadzone wówczas testy pokazały możliwość przejazdu z prędkością 180 km/h po łuku o promieniu 800 m, gdzie konwencjonalne pociągi poruszały się z prędkością nie przekraczającą 140 km/h. Z uwagi na ograniczoną wytrzymałość poprzeczną toru uzyskano wartość niezrównoważonego przyspieszenia boczno-ego  $2 \text{ m/s}^2$ .

W Wielkiej Brytanii były także od 1969 r. prowadzone intensywne studia teoretyczne. Koleje brytyjskie (BR) zbudowały pojazd z aktywnym systemem przechyłu, oznaczony APT-E (ang. Advanced Passenger Train-Experimental), wprowadzony do prób w 1972 r. Ogółem wyprodukowano trzy prototypy jednostek APT-E, zanim projekt zawieszono w 1986 r. ze względów finansowych. Mniej więcej w tym samym czasie podobne badania były prowadzone w Kanadzie (pociąg LRC) i Szwajcarii (SIG).

W Szwecji pierwsze eksperymenty z aktywnym systemem przechyłu nadwozia były przeprowadzone w 1970 r. z inicjatywy kolei szwedzkich (SJ) i firmy ASEA. W ich wyniku w 1973 r. powstał prototypowy zespół o oznaczeniu X15, będący w istocie poprzednikiem X2000. Rok później, w 1974 r. w Hiszpanii, rozpoczęła się eksploatacja pierwszego pociągu Talgo Pendular, który po latach testów, prób i udoskonaleń został wprowadzony do eksploatacji handlowej w 1980 r.

W Japonii pierwsze próby ze sterowanym pasywnym systemem przechyłu rozpoczęły się w latach 60., kiedy to powstał pociąg o oznaczeniu 381.

Lata 80. i 90. przyniosły spektakularny rozwój technologii pociągów z przechylnym nadwoziem. We Włoszech w 1974 r. został zamówiony prototypowy zespół trakcyjny ETR 401, dostarczony w 1979 r. Jego zmodernizowana wersja nosiła oznaczenie ETR 402. W 1989 r. zespoły trakcyjne ETR 450 rozpoczęły obsługę handlową linii Rzym – Mediolan. Ich następcami były zespoły serii ETR 460 i ETR 480,



Fot. 2. Pociąg ETR 450



Fot. 3. Pociąg ETR 460



Fot. 4. Pociąg VT 61



Fot. 4. Pociąg Talgo Pendular

wprowadzone do eksploatacji w latach 1995–1997. Ogółem eksploatowano 41 składów całopociągowych.

W 1982 r. wprowadzono w Kanadzie do eksploatacji pociąg LRC.

W Szwecji, w 1990 r. zespół X 2000 rozpoczął obsługę linii Sztokholm – Gothenburgh. Sukces komercyjny zaowocował zamówieniem dalszych jednostek, ogółem do eksploatacji wprowadzono 42 składy.

W Niemczech koleje niemieckie (DB) rozpoczęły w 1993 r. eksploatację 20 zespołów VT610. Następnie w 1997 r. wprowadzono 50 zespołów serii VT611 i w 1998 r. 43 zespoły serii ICT-ET. W 1999 r. wprowadzono na DB do eksploatacji 83 zespoły serii VT612 i 20 zespołów ICT-VT. Ponadto od 1994 r. zespoły Talgo Pendular obsługują nocne pociągi ICT.

Także od 1994 r. zespoły trakcyjne Talgo Pendular obsługują dzienne połączenia na linii Seattle – Portland (USA) oraz od 1995 r. w Kanadzie na linii Seattle – Vancouver. W 1995 r. koleje fińskie (VR) wprowadziły do eksploatacji na linii Helsinki – Turku dwa składy z przechylnym nadwoziem typu S 220, docelowo zaś planowane jest wprowadzenie dodatkowo 8 składów.

W 1995 r. koleje czeskie (CD) zamówiły 10 składów całopociągowych z przechylnym nadwoziem w wersji dla trzech systemów zasilania, które mają obsługiwać połączenia na trasie Berlin – Praga – Wiedeń. Od 1996 r. koleje włoskie (FS) razem z kolejami szwajcarskimi (CFF/SBB) rozpoczęły eksploatację 9 zespołów *Cisalpino* typu ETR470. W 1996 r. koleje amerykańskie Amtrak zamówiły pociągi z przechylnym nadwoziem typu *American Flyer* do obsługi korytarza północno-wschodniego (Waszyngton – Nowy York – Boston). W 1996 r. koleje francuskie (SNCF) ogłosiły plany budowy prototypowego pociągu TGV z przechylnym nadwoziem, nazwanego TGV-P, próby na linii rozpoczęły się w 1998 r. W tym samym roku koleje szwajcarskie (SBB/CFF) zamówiły serię 24 pociągów serii ICN (Intercity Neigezug) z przechylnym nadwoziem do projektu *Rail 2000*. W Hiszpanii, gdzie jest eksploatowana liczna flota pociągów Talgo, zamówiono 10 zespołów serii IC 2000 oraz dwa prototypy: zespołu do ruchu regionalnego i Intercity.

W pierwszych miesiącach 1998 r. planowane było wejście do eksploatacji 80 zespołów z przechylnym nadwoziem na linii Londyn – Glasgow, obsługiwanej przez kolej Virgin. W 1998 r. planowane było rozpoczęcie eksploatacji 10 nowych zespołów z przechylnym nadwoziem przez koleje portugalskie (CP) i 16 zespołów przez koleje norweskie (NR).

Zarządy kolejowe eksploatują pociągi z przechylnym nadwoziem w ruchu pasażerskim w komunikacji krajowej i międzynarodowej. Zestawienie parametrów taboru przedstawiono w tabelicy 1, a wymagania i parametry eksploatacyjne dla tego typu taboru przedstawiono w tabelicy 2.

Niezależnie od wprowadzania nowych pociągów do eksploatacji, wiele zarządów kolejowych w Europie prowadzi badania nad pociągami prototypowymi. Zestawienie danych tych pociągów przedstawiono w tabelicy 3. Należy oczekiwać, że badania te będą kontynuowane i na torach wkrótce pojawi się nowa generacja pociągów z przechylnym nadwoziem.

□

#### Literatura

- [1] Lopez Pita A.: *Tilting Trains and Line Construction. options, alternatives and complements*. GIF, Madrid, 1999.
- [2] *First Report on Tilting Train Technology. The State of the Art*. UIC, Paris, 1998.
- [3] Artykuły z czasopism z lat 1980–2000: *Revue Generale Chemins de Fer*, *Glaser's Annalen*, *Eisenbahntechnische Praxis*, *Eisenbahntechnische Rundschau*, *ETR*, *Railway Gazette International*, *Rail Engineering International*, *Modern Railways*, *International Railway Journal*, *Elektrische Bahnen*, *La Vie du Rail*, *Rail International*, *ZEV-Glas. Ann.*, *Schienefahrzeuge*, *European Railway Review*, *Eisenbahntechnik*, *Technika Transportu Szynowego*, *Przegląd Kolejowy*.
- [4] Materiały informacyjne DB AG, SBB/CFF, CP, VR, SJ, FS, SNCF, BR, RENFE, CD, SZ, UIC, ERRI z ostatniego dziesięciolecia.

Autor

dr inż. Janusz Biliński – SIEMENS Technika Transportowa  
Fot. 2–9 – A. Harassek



Fot. 6. Pociąg ICT



Fot. 7. Pociąg ICN



Fot. 8. Pociąg VT 610



Fot. 9. Pociąg Alaris

Tablice 1, 2 i 3 □

## Zestawienie parametrów taboru z przechylnym nadwoziem

Zagadnienie	Jednostki i wymagania	BV/SJ	CD	CFF/SBB	DB AG
Typ pociągu		X 2000	S 860	ICN 2000	VT 610
Rozstaw zestawów kołowych	[mm]	1435	1435	1435	1435
Liczba pociągów		42	10	24	20
Prędkość maksymalna	[km/h]	200	230	200	160
Doświadczenia z eksploatacji pociągów z przechylnym nadwoziem		tak	nie	tak (ETR 470) nie (ICN 2000)	tak
Rodzaj trakcji		w całym składzie	człony napędne	człony napędne	człony napędne
Moc zainstalowana	[kW]	4000	4000	5200	970
Napięcie zasilania		15 kV 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz	3 kV DC 15 kV 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz 25 kV AC	3 kV DC 15 kV 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz	spalinowy z przekładnią elektryczną
Wyposażenie elektryczne		GTO falownik	4 QS choper + falownik	4 QS falownik	—
Dopuszczalny niedomiar przechyłki	[mm]	245	—	275	300
System przechyłu nadwozia		wymuszony (aktywny)	wymuszony (aktywny)	wymuszony (aktywny)	wymuszony (aktywny)
Czas powrotu po wychyleniu	[s]	0	0	w trakcie określania	0
Maksymalny kąt przechyłu	konstrukcyjny [°]	8	8	8	8
	w eksploatacji [°]	8	8	w trakcie określania	8
	w odniesieniu to toru [°]	6,5	6,5	w trakcie określania	7
Zmienność kąta przechyłu nadwozia w odniesieniu do niedomiaru przechyłki (z uwzględnieniem współczynnika podatności przechyłu)	% kompensacji	70	70-80	55	50
Opóźnienie przechyłu przy wjeździe na krzywą przejściową	[s]	0-0,65 (wagon silnikowy) 0-0,25 (pozostałe wagony)	0,4-0,6 (pierwszy wagon) 0,2-0,4 (pozostałe wagony)	w trakcie określania	0,1 (pierwszy wagon) 0,2 (pozostałe wagony)
Opóźnienie przechyłu przy wjeździe na krzywą o stałym promieniu		—	—	w trakcie określania	0
System wykrywania krzywych toru	żyroskopowy	nie	tak	tak	tak
	pomiar przyspieszeń	tak	tak	tak	tak
	obserwacje lub inne rozwiązanie	skręcenie szyn (przemieszczenie podkładów)	—	detekcja przemieszczeń maksymalnych wózka	detekcja przemieszczeń
Wpływ parametrów toru na system wykrywania łuku		filtrowanie, niezależność od parametrów toru	filtrowanie	brak doświadczeń, tor o wysokich parametrach	nie stosowane
Wpływ parametrów toru na opóźnienie przechyłu nadwozia		nie stosowane	filtrowanie	brak doświadczeń, tor o wysokich parametrach	tor o odpowiednich parametrach
Dodatkowe wyposażenie na wypadek awarii systemu przechyłu		samocentrujący system przechyłu	samocentrujący system przechyłu z diagnostyką elektroniczną, czujnik przyspieszenia	samocentrujący mechaniczny system przechyłu	detekcja przemieszczeń, wyłączenie przechyłu przy uszkodzeniu
Uzależnienie funkcjonalne przechyłu poszczególnych wagonów		pierwszy wagon dokonuje pomiaru i steruje pozostałymi	system „master – slave”, transmisja informacji związanej z prędkością	pierwszy wagon dokonuje pomiaru i steruje pozostałymi	pierwszy wagon dokonuje pomiaru i steruje pozostałymi
Rodzaj/charakterystyka systemu sterowania przechylem nadwozia		mikroprocesorowy	mikroprocesorowy	dotychczas nie określony	sterowanie oparte o przyspieszenie poprzeczne

Tablica 1

Zarząd kolejowy						
DB AG	DB AG	FS	RENFE	SNCF	SZ	VR
VT 611	Talgo Pendular	ETR 460/480	Talgo Pendular	TGV-P	SZ-310	S 220
1435	1435	1435	1435/1668	1435	1435	1524
50	150	10/15	657	1	3	2
160	140	250	220	300	200	220
tak	tak	tak	tak	nie	nie	tak
człony napędne	lokomotywa i wagony	człony napędne	lokomotywa i wagony	w całym składzie	człony napędne	człony napędne
1 080	—	5880	—	4500	2000	4000
spalinowy z przekładnią hydrauliczną	obsługiwany przez lokomotywę	1,5/3 kV DC (ETR 460) 3 kV DC/25 kV AC (ETR 480)	obsługiwany przez lokomotywę	1,5 kV DC 25 kV AC	3 kV DC	25 kV AC
—	—	4 QS choper + falownik	—	4 QS choper + falownik	4 QS choper + falownik	4 QS falownik
300	150	275	245 (1435 mm) 282 (1668 mm)	260	—	255
wymuszony (aktywny)	pasywny (naturalny)	wymuszony (aktywny)	pasywny (naturalny)	wymuszony (aktywny)	wymuszony (aktywny)	wymuszony (aktywny)
0	—	po wykryciu zerowej przechyłki	nie dotyczy	w trakcie określania	po wykryciu zerowej przechyłki	po wykryciu zerowej przechyłki
8	3,5	8	3,5 (3 dla 1435 mm)	6,3	8	8
8	3,5	8	3,5 (3 dla 1435 mm)	6,3	8	8
6,7	3,5	6,5	3,5 (3 dla 1435 mm)	5	6	6,5
50	60	80 (60 w odniesieniu do toru)	34 (zależność liniowa)	50	80	70-80
0,1 (pierwszy wagon) 0,2 (pozostałe wagony)	0	0,4 (pierwszy wagon) 0,6 (pozostałe wagony)	0	0,4 (pierwszy wagon) 0,6 (pozostałe wagony) z ograniczeniem do 3° różnicy między kolejnymi wagonami	wjazd w krzywą: 0,4 (pierwszy wagon) 0,0 (pozostałe wagony) wyjazd z krzywej: 0,2 (pierwszy wagon) 0,0 (pozostałe wagony)	wjazd w krzywą: 0,4 (pierwszy wagon) 0,0 (pozostałe wagony) wyjazd z krzywej: 0,2 (pierwszy wagon) 0,0 (pozostałe wagony)
0	0	0,2 (pierwszy wagon) 0,4 (ostatni wagon)	0	—	—	—
tak	nie zależy	tak	nie zależy	tak	tak	tak
tak	nie zależy	tak	nie zależy	tak	tak	tak
detekcja przemieszczeń	nie zależy	—	pomiar kąta przechylenia nadwozia	—	—	kontrola prędkości i przechyłu
nie stosowane	nie stosowane	nie stosowane	nie stosowane	brak doświadczeń	nie stosowane	nie stosowane
tor o odpowiednich parametrach	tor o odpowiednich parametrach	poziom i filtracja sygnału	nie stosowane	brak doświadczeń	filtrowanie	filtrowanie
detekcja przemieszczeń, wyłączenie przechyłu przy uszkodzeniu	—	diagnostyka elektroniki i hydrauliki, czujnik przyspieszenia na nadwoziu	brak dodatkowego wyposażenia	kąt przechyłu nadwozia względem podparcia ograniczony do 6,3°; zabezp. mechaniczne przed nadmiernym przechyłem	samocentryjący system przechyłu z detekcją przemieszczeń, czujnik przyspieszenia na nadwoziu	samocentryjący system przechyłu z detekcją przemieszczeń, czujnik przyspieszenia na nadwoziu
pierwszy wagon dokonuje pomiaru i steruje pozostałymi	—	system „master – slave”, transmisja informacji związanej z prędkością	nie stosowane	pierwszy wagon dokonuje pomiaru i steruje pozostałymi	system „master – slave”, transmisja informacji związanej z prędkością	system „master – slave”, transmisja informacji związanej z prędkością
sterowanie oparte o przyspieszenie poprzeczne	—	mikroprocesorowy z zamkniętą pętlą regulacji	brak	czujniki i mikroprocesory ze stałą kontrolą położenia kąтового	mikroprocesorowy z zamkniętą pętlą regulacji	mikroprocesorowy

Zagadnienie	Jednostki i wymagania	BV/SJ	CD	CFF/SBB	DB AG
		usprężynowanie drugiego stopnia w mechanizmie przechyłu	ciągła przegubowe powyżej belki podparcia	przewodzenie rolkowe, usprężynowanie drugiego stopnia w mechanizmie przechyłu	nadwozie usprężynowane z podparciem, usprężynowanie drugiego stopnia w mechanizmie przechyłu
Rodzaj siłowników		hydrauliczne	hydrauliczne	elektryczne	hydrauliczne
Maksymalna szybkość przechyłu	[°/s]	4	5	5	5
Zastosowana szybkość przechyłu	[°/s]	2,3 (wyjątkowo 4)	2,5	—	3
Wymagania szybkości przechyłu		kryterium komfortu	—	optymalizacja zgodnie z UIC 513 i CEN TC 256 WG7	maks. 3,5
Maksymalna szybkość pełnego przechyłu	[°/s]	6,5	6	optymalizacja komfortu	5,1
Wysokość osi przechyłu nadwozia	[mm]	1700–1800	brak danych	1500–1700	1450
Wysokość środka ciężkości	[mm]	1600–1900	brak danych	1450	1644
Wsp. podatności przechyłu nadwozia		0,1	0,2	0,2	0,2
<b>Parametry podwozia</b>					
Maks. nacisk na oś w wagonie silnikowym	[t]	18,25	12,5	15	14,55
Maks. nacisk na oś w wagonie doczepnym	[t]	12,0	13,5	12,7	14,2
Typ wózka		radialny	H	—	H
Rozstaw osi	[m]	2,9	2,7	2,7	2,45
Średnica kół	[mm]	880	890	860	890
Skrętność osi		tak	nie	tak	nie
Aktywne usprężynowanie poprzeczne		nie	tak	nie	tak
Masa nieusprężynowana	[%]	3			
Masa usprężynowana jednostopniowo	[%]	14			
Masa usprężynowana dwustopniowo	[%]	83 (wagon silnikowy)		70	
Prowadzenie osi i usprężynowania		pasywne (naturalne)	pasywne (naturalne)	aktywne (wymuszone)	
Rodzaj wagonów w pociągu	z miejsc. do siedzenia	+	+	+	+
	z miejsc. sypialnymi				
	barowy	+			
	restauracyjny	+	+	+	+
	bagażowy	+		+	+
Stabilizacja położenia pantografu		w nieprzechylnym wagonie silnikowym	brak, pantograf zintegrowany z wózkiem	elektromechaniczna	napęd spalinowy
<b>Układ hamulcowy</b>					
Hamulec		elektropneumatyczny, elektr. i szynowy	elektropneumatyczny, elektr. odzyskowy, elektr. rezystorowy	elektropneumatyczny, elektr. odzyskowy, elektr. rezystorowy	pneumatyczny, elektrodynamiczny
Droga hamowania od 220 km/h do 0 km/h	[m]				
Droga hamowania od 200 km/h do 0 km/h	[m]	1750	1750	1217	
Droga hamowania od 160 km/h do 0 km/h	[m]	1100	800	785	790
Droga hamowania od 130 km/h do 0 km/h	[m]	700	700		
Dokładność automatycznego utrzymania nastawionej prędkości jazdy	[km/h]	1	1	1 ÷ 2	3
Dodatkowe systemy sterowania prędkością jazdy		nie	tak	nie	tak
Określenie pozycji pociągu			system AVV, balisy magnetyczne		ZUB 100, w przyszłości Eurobalisy
Ograniczenie prędkości w przypadku uszkodzenia systemu			tak		tak
Procedura certyfikacji taboru		według wymagań BV/SJ	UIC 518, według wymagań DU i EBA	UIC 518 i wymagania CFF/SBB	według wymagań DB

Zarząd kolejowy						
DB AG	DB AG	FS	RENFE	SNCF	SZ	VR
nadwozie usprężynowane z podparciem, usprężynowanie drugiego stopnia w mechanizmie przechyłu	przechył układu	ciągła przegubowe powyżej belki podparcia	przechył układu	przechył podparcia podtrzymującego usprężynowanie drugiego stopnia	ciągła przegubowe powyżej belki podparcia	ciągła przegubowe powyżej belki podparcia
elektryczne	brak	hydrauliczne	brak	hydrauliczne	hydrauliczne	hydrauliczne
5	naturalny	5	naturalny	5	5	5
3	1,1	<5	—	w trakcie określania	<5	<5
maks. 3,5	—	zależy od % kompensacji	zależy od przechyłki, promienia łuku i prędkości	—	zależy od przyspieszenia drugiego stopnia	zależy od przyspieszenia drugiego stopnia
5,1	2,8	8	—	w trakcie określania	$5 + \arcsin\left(\frac{DV}{EL}\right)$	$5 + \arcsin\left(\frac{DV}{EL}\right)$
1680	1500	wagon silnikowy: 1475 wagon doczepny: 1530	1500	1600	1500	1500
1696	4100	wagon silnikowy: 1565 wagon doczepny: 1640	4100 - 4300	1650 (w pozycji centralnej)	1600	1600
0,2	-0,3	0,2	-0,34	0,25	0,2	0,2
14,9	—	14	—	17 (w przyszłości 16)	14,6	14,6
14,7	12/17 (bar)	12,5	12/17 (bar)	17 (w przyszłości 16)	14,6	14,6
H	brak wózka	H	brak wózka	H	H	H
2,45	—	2,7	—	3	2,7	2,7
890	800	890	880	920	brak danych	890
tak	tak (kąt = 0°)	nie	tak (kąt = 0°)	nie	nie	nie
nie	nie	tak	nie	nie	tak	tak
		12			12	12
	14	9	14		9	9
	20	79	20		79	79
pasywne (naturalne)	pasywne (naturalne)		pasywne (naturalne)			
+	+	+	+	+	+	+
	+		+			
	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+			
+	+		+			
napęd spalinowy	w nieprzechylnym wagonie silnikowym	brak, pantograf zintegrowany z wózkiem	napęd spalinowy	w nieprzechylnym wagonie silnikowym	brak, pantograf zintegrowany z wózkiem	brak, pantograf zintegrowany z wózkiem
pneumatyczny, elektrodynamiczny	hydropneumatyczny	tarczowy, opóźnienie hamowania 1,2 m/s <sup>2</sup>	tarczowy	—	pneumatyczny, elektrodynamiczny	pneumatyczny, elektrodynamiczny odzyskowy
		2200 (od 250 km/h)				1775
		1450	1820		1560	1410
790		950	1060		984	860
		650	660		641	700 (od 140 km/h)
3		<5		5		1
tak	nie	nie	nie	tak	tak	nie
ZUB 100, w przyszłości Eurobalisy					balisy	
tak				tak	tak	tak z uwagi na komfort
według wymagań DB	według wymagań DB	UIC 518 z modyfikacjami	UIC 518	według wymagań SNCF	UIC 518	UIC 515, ERRI 116 Raport 8, IEC 1193

Zagadnienie	Jednostki i wymagania	BV/SJ	CD	CFF/SBB	DB AG
		<b>Niezawodność</b>			
Niezawodność, gotowość taboru		jak dla taboru konwencjonalnego	jak dla taboru konwencjonalnego	liczba opóźnień na mln km: <30 (1 ÷ 5 min) <5 (5 ÷ 30 min) <1 (ponad 30 min)	100%, w przypadku uszkodzenia prędkość normalna
Niezawodność systemu wykrywania łuków i przechyłu nadwozia			100%, w przypadku uszkodzenia prędkość normalna	w przypadku uszkodzenia prędkość normalna	100%, w przypadku uszkodzenia prędkość normalna
Niezawodność systemu prowadzenia i zawieszenia osi			100%	bliska 100%, system całkowicie mechaniczny	100%, w przypadku uszkodzenia prędkość normalna

### Wymagania i parametry eksploatacyjne taboru z przechylnym nadwoziem

Zagadnienie	Jednostki i wymagania	BV/SJ	CD	CFF/SBB
		<b>Komfort</b>		
Przyspieszenie boczne na poziomie pasażera	wartość teoretyczna [m/s <sup>2</sup> ]	0,5 ÷ 0,8	0,65	1,0
	wartość praktyczna [m/s <sup>2</sup> ]	1,0	0,95	1,0
Dopuszczalne przyspieszenie pionowe	[m/s <sup>2</sup> ]		nie określa się	jak dla taboru konwencjonalnego
Zmienność przyspieszenia wywołana nierównościami toru	[m/s <sup>2</sup> ]	nie określa się	boczne: 0,3, pionowego nie określa się	jak dla taboru konwencjonalnego
Komfort pasażerów	% pasażerów odczuwający dyskomfort		wszyscy pasażerowie siedzą	jak dla taboru konwencjonalnego
Zmienność przyspieszenia poprzecznego	[m/s <sup>3</sup> ]	0,5	0,15	jak dla taboru konwencjonalnego
Choroba lokomocyjna	odległość między krzywymi przejściowymi	nie rozpatruje się	0,4 V (wyjątkowo 0,2 V)	nie rozpatruje się
	liczba przejeżdżanych łuków w ciągu 5 min	nie rozpatruje się	nie rozpatruje się	nie rozpatruje się
	liczba łuków dla których przejazd trwa ponad 1 min	nie rozpatruje się	nie rozpatruje się	nie rozpatruje się
	inne spostrzeżenia	nie liczni pasażerowie mają symptomy choroby lokomocyjnej		
Komfort w wagonach silnikowych		przyspieszenie do 2 m/s <sup>2</sup> w ciągu 1 s	jak w wagonach pasażerskich	
<b>Parametry przejazdu</b>				
Zwiększenie prędkości maksymalnej		25% (maksymalne zwiększenie prędkości)	30%	20 ÷ 30%
Skrócenie czasu przejazdu		20 ÷ 30%	45 min	
Zwiększenie średniej prędkości jazdy po wprowadzeniu taboru z przechylnym nadwoziem	[%]	do 30	15	6 ÷ 10
Klasyfikacja pociągów zgodnie z dopuszczalnymi wartościami przyspieszenia poprzecznego		zgodnie z niedomiarem przechyłki J: kategoria A: J = 100 mm; kategoria B: J = 150 mm; kategoria S (technologia z przechylnego nadwozia): J = 245 ÷ 280 mm	przyspieszenie maksymalne: kategoria A: 0,65 m/s <sup>2</sup> (konwencjonalne) kategoria B: 0,85 m/s <sup>2</sup> (nowe pojazdy) kategoria P: 1,76 m/s <sup>2</sup> (technologia z przechylnym nadwoziem)	przyspieszenie maksymalne: kategoria A: 0,60 ÷ 0,7 m/s <sup>2</sup> (towarowe), kategoria R: 0,80 ÷ 0,98 m/s <sup>2</sup> (pasażerskie), kategoria N: <1,8 m/s <sup>2</sup> (technologia z przechylnym nadwoziem)
Najbardziej znaczące testy		test z prędkością 276 km/h przy niedomiarze przechyłki 380 mm	testy ETR 401, ETR 460, ETR 470, Talgo Pendular	1976-1978: testy lokomotywy z wagonami; 1991: testy komfortu; 1996-1997: procedury akceptacji ETR 470



cd. tab.1

Zarząd kolejowy						
DB AG	DB AG	FS	RENFE	SNCF	SZ	VR
100%, w przypadku uszkodzenia prędkość normalna		3,16 uszkodzenia na mln km z opóźnieniem nie przekraczającym 30 min (gotowość 96%)	jak dla taboru konwencjonalnego	w pierwszym etapie zgodnie z wymogami Fiat Ferrovaria	ograniczona liczba uszkodzeń wpływających na opóźnienia na 100 tys. km przebiegu	4 uszkodzenia na mln km z opóźnieniami nie przekraczającymi 15 min (gotowość 95%)
100%, w przypadku uszkodzenia prędkość normalna		3 spóźnienia na 100 przejazdów (gotowość 100%)				
100%, w przypadku uszkodzenia prędkość normalna			100%			

Tablica 2

Zarząd kolejowy					
DB AG	FS	RENFE	SNCF	SZ	VR
1,0	1,0 ÷ 1,1 (quasistatycznie)	0,8 (quasistatycznie)	1,23	0,8 ÷ 1,0	0,65
1,0 ÷ 1,3	1,0 ÷ 1,2	0,8 (quasistatycznie)	1,23	1,0 ÷ 1,2	1,0
0,24		0,4 (quasistatycznie)	1,0		
	w trakcie opracowania	2,5 ÷ 2,8	zawarte w wartości przyspieszenia pionowego		
wszyscy pasażerowie siedzą	7% z 90% przypadków (według kryteriów BR)		brak danych		wszyscy pasażerowie siedzą
0,3 (dopuszczalna 0,5)			brak danych	UIC 703	0,5
jak zwykle	nie rozpatruje się	0,1 V (V < 100 km/h), 0,4 V (V > 100 km/h)	0,33 V (wyjątkowo 0,2 V) minimum 30 m	nowe linie: 0,5 V, minimum 20 m; istniejące linie: 0,1 V, minimum 10 m	0,5 V; minimum 30 m
jak zwykle	nie rozpatruje się	nie rozpatruje się	40 (linia Lyon – Modane)		nie rozpatruje się
jak zwykle	nie rozpatruje się	nie rozpatruje się	55 (linia Lyon – Modane) 139 (linia Paryż – Tuluza)		nie rozpatruje się
			197 łuków (linia Brive – Caussade)		
jak w wagonach pasażerskich	jak w wagonach pasażerskich		przyspieszenia pionowe i poziome do 2 m/s <sup>2</sup>		jak w wagonach pasażerskich
30%	18%		30 km/h (linia Lyon – Modane)		
			7 ÷ 10 min (linia Lyon – Modane)		
	5 ÷ 10				
nie	przyspieszenie maksymalne: kategoria A: 0,60 m/s <sup>2</sup> kategoria B: 0,8 m/s <sup>2</sup> kategoria C: 1,0 m/s <sup>2</sup> kategoria P: 1,8 m/s <sup>2</sup> (technologia z przechylnym nadwoziem)	zgodnie z nominalnym przyspieszeniem: kategoria N: 0,65 m/s <sup>2</sup> kategoria A: 1,0 m/s <sup>2</sup> kategoria B: 1,2 m/s <sup>2</sup> kategoria C: 1,0 m/s <sup>2</sup>			
testy w sierpniu 1998: prędkość do 200 km/h z przyspieszeniem do 2 m/s <sup>2</sup>	testy na liniach	przyspieszenie do 1,9 m/s <sup>2</sup> , prędkość na torze prostym do 360 km/h (500 km/h na odcinku testowym)	testy ETR 460 z prędkością 220 km/h na odcinku Paryż – Tuluza		

Zagadnienie	Jednostki i wymagania	BV/SJ	CD	CFF/SBB
<b>Dane ekonomiczne</b>				
Wpływ zwiększenia prędkości na zużycie energii		nieznaczny	brak danych	brak danych
Moc wymagana do przechylu nadwozia	[kW]	5 (średnio na wagon)	brak danych	4 (średnio na wagon)
Zwiększenie kosztów zakupu taboru z uwagi na przechylne nadwozie	[%]	5	20	ok. 10
Zwiększenie kosztów utrzymania taboru z uwagi na przechylne nadwozie	[%]	< 5	20	< 10
Zwiększenie kosztów infrastruktury z uwagi na przechylne nadwozie	inwestycje	pomijalne	brak	10 000 CHF/km (linia Gothard)
	utrzymanie	pomijalne	brak	bardzo małe

### Tabor kolejowy z przechylnym nadwoziem – nowe rozwiązania

	CD	CFF/SBB	CP	DB AG	DB AG	DB AG
	Typ pociągu	S860	ICN	PENDOLUSO	VT 605	VT 612
Liczba pociągów	10	24	10	20	83	32
Moc napędowa	cały skład	cały skład	cały skład	cały skład	cały skład	cały skład
System przechylu	aktywny	aktywny	aktywny	aktywny	aktywny	aktywny
Prędkość maksymalna	230 km/h	200 km/h	220 km/h	200 km/h	160 km/h	230 km/h
Dopuszczalny niedomiar przechylki toru	—	275 mm	318 mm	300 mm	300 mm	300 mm
Wysokość środka ciężkości	—	1500/1700	1520/—	1582/—	1680/—	1570/—
Maksymalny kąt przechylu	8°	8°	8°	8°	8°	8°
System przechylu nadwozia	hydrauliczny	elektryczny	hydrauliczny	elektryczny	elektryczny	hydrauliczny
Moc zainstalowana	4000 kW	5200 kW	4000 kW	2240 kW	1120 kW	4000 kW
Napięcie zasilania	3 kV DC + 15 kV 16 2/3 Hz + 25 kV AC	15 kV 16 2/3 Hz	25 kV AC	spalinowy z przekładnią elektryczną	spalinowy z przekładnią hydrauliczną	15 kV 16 2/3 Hz
Wyposażenie elektryczne	4 QS choper + falownik	4 QS falownik	4 QS falownik	GTO falownik	—	—
Nacisk na oś (wagon silnikowy)	13,5 t	15,0 t	14,6 t	14,5 t	14,6 t	16,8 t
Nacisk na oś (wagon doczepny)	—	—	—	—	—	—

cd. tab. 2

Zarząd kolejowy					
DB AG	FS	RENFE	SNCF	SZ	VR
35% na odcinku 163 km (napęd spalinowy)		—	brak danych		brak znaczącego wpływu
2 ÷ 3	5,1 na łukach; 9,7 na krzywych przejściowych; moc zainstalowana: 11,4	0			9 (średnio na wagon)
ok. 5	12	0	brak danych		5 ÷ 7
3 ÷ 5	< 5	0	brak danych		5
pomijalne	pomijalne	pomijalne	1 ÷ 8 mln FF/km (nie zawsze związane z nowym taborem)		1 ÷ 2% (krzywe przejściowe)
pomijalne	bardzo małe	brak	brak danych		brak

Tablica 3

Zarząd kolejowy							
DB AG	NSB	RENFE	RENFE	RENFE	RENFE	SNCF	SZ
ET 415	—	TALGO PENDULAR	IC 2000	TRD	ELECTRIC EXPERIMENTAL	TGV-P	SZ -10
11	16	1	10	1	1	1	1
cały skład	cały skład	cały skład	cały skład	cały skład	cały skład	wagon silnikowy	cały skład
aktywny	aktywny	naturalny	aktywny	aktywny	aktywny	aktywny	aktywny
230 km/h	210 km/h	220 km/h	220 km/h	160 km/h	220 km/h	300 km/h	200 km/h
300 mm	280 mm	282/245 mm	318 mm	318 mm	—	260 mm	—
1570/-	—	-/1450	—	1600/-	—	-/1600	—
8°	7,5°	3,5°	8°	8°	—	6,3°	8°
hydrauliczny	hydrauliczny	naturalny	hydrauliczny	elektryczny	elektryczny	hydrauliczny	hydrauliczny
3000 kW	2646 kW	2×1500 kW	2040 kW	1240 kW	—	4500 kW	2000 kW
15 kV 16 2/3 Hz	15 kV 16 2/3 Hz	spalinowy z przekładnią hydrauliczną	3 kV DC	spalinowy z przekładnią hydrauliczną	3 kV DC	1,5 kV DC + 25 kV AC	3 kV DC
—	—	—	choper + falownik	—	—	choper	choper + falownik
16,8 t	16,5 t	—	15 t	13 t	—	17 t	15 t
—	—	17 t	—	—	—	—	—

□