

*Dr inż. Jacek Kukulski
Instytut Kolejnictwa*

NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA W KOLEJOWYM TABORZE PASAŻERSKIM

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie
2. Uwarunkowania techniczne dla taboru aglomeracyjnego i regionalnego
3. Uwarunkowania techniczne dla taboru międzyaglomeracyjnego
4. Podsumowanie

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rozwój w Polsce i w Europie taboru kolejowego do przewozów aglomeracyjnych, a także przegląd rozwiązań technicznych taboru do obsługi połączeń międzyaglomeracyjnych. Scharakteryzowano podstawowe parametry techniczne pociągów i zespołów trakcyjnych do obsługi połączeń aglomeracyjnych i międzyaglomeracyjnych, zestawianych z klasycznych składów wagonowych lub składów zespolonych.

1. WPROWADZENIE

Rozwój techniki w ostatnich kilkudziesięciu latach wpłynął również na wprowadzanie nowych rozwiązań technicznych do taboru kolejowego zarówno pasażerskiego, jak i do przewozu ładunków.

Korzystnym czynnikiem, determinującym wprowadzanie nowych rozwiązań technicznych w konstrukcji pojazdów kolejowych, jest znaczne zapotrzebowanie na przewozy pasażerskie aglomeracyjne i międzyaglomeracyjne. Istotną rolę w rozwoju techniki taborowej będzie odgrywać wprowadzenie w życie technicznych specyfikacji interoperacyjności (TSI), obejmujących różne podsystemy kolejowe takie, jak: tabor, infrastruktura, telematyka, hałas, energia, obsługa osób o ograniczonej mobilności ruchowej. Wymusza to na producentach pojazdów kolejowych spełnianie rygorystycznych wymagań. Wprowadzenie TSI w życie powinno obniżyć koszty produkcji i certyfikacji taboru oraz wpłynąć na jego umiędzynarodowienie, czyli powszechną unifikację i standaryzację podsystemów kolejowych w skali kontynentu.

Oprócz specyfikacji TSI, do konstrukcji i eksploatacji taboru kolejowego odnoszą się także inne unijne akty prawne o charakterze ogólnym w postaci Dyrektyw Europejskich. Innym ważnym czynnikiem wpływającym na rozwój pojazdów kolejowych są zwiększające się wymagania pasażerów korzystających z usług przewoźników.

2. UWARUNKOWANIA TECHNICZNE DLA TABORU AGLOMERACYJNEGO I REGIONALNEGO

W chwili obecnej przewozy aglomeracyjne są obok kolei dużych prędkości najszybciej rozwijającym się segmentem kolejowych przewozów pasażerskich. Jednym z czynników stymulujących ich rozwój są problemy transportowe dużych miast europejskich, związane z niemożliwością zapewnienia odpowiedniej infrastruktury drogowej. System kolei aglomeracji miejskiej ogranicza się do obszaru aglomeracji w promieniu do kilkudziesięciu kilometrów od jej centrum. Przewozy aglomeracyjne powinny być zintegrowane z systemem komunikacji miejskiej i wspólnie zarządzane. Istotny jest również odpowiedni dobór taboru kolejowego do obsługi tego typu przewozów. Specyfiką ruchu aglomeracyjnego są:

- krótkie odległości między przystankami,
- duża prędkość handlowa,
- duże potoki i częsta wymiana podróżnych.

Maksymalne prędkości pociągów aglomeracyjnych wynoszą 120–160 km/h. Pociągi składają się zazwyczaj z 2–4 wagonów. Pozwala to na łatwe dostosowanie składu do aktualnego potoku podróżnych. Częstym sposobem zwiększenia liczby miejsc w pociągu do ruchu aglomeracyjnego, jest stosowanie wagonów dwupoziomowych. Daje to dwukrotnie większą przestrzeń dla podróżnych, jednak wadą tego rozwiązania jest długi czas wymiany podróżnych (rys. 1).

Osiągnięty postęp w ostatnich latach w dziedzinie energoelektroniki i przetwarzania energii, zwłaszcza w dziedzinie przekształtników budowanych na elementach IGBT oraz asynchronicznych silników trakcyjnych, umożliwił zabudowanie zespołów napędowych w wagonach pasażerskich bez istotnego ograniczania przestrzeni dostępnej dla pasażerów. Zamiast silników prądu stałego stosowane są silniki asynchroniczne zawieszane niemal zawsze w ramie wózka, a tym samym w pełni usprężynowane. Nowe moduły przekształtnikowe chłodzone wodą lub powietrzem, wykorzystują tranzystory IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). W wypadku zasilania wielonapięciowego (pociągi ICE-3), stosowany jest przekształtnik prąd stały – prąd stały przez odpowiednie podłączenie modułów sterownika. Przekształtniki są wyposażone w tyrystory GTO chłodzone wodą. Napęd między silnikiem i zestawem kół jest przenoszony przez sprzęgło odchylnie i przekładnię zębatą.

Lokomotywy elektryczne, których konstrukcje powstały pod koniec lat dziewięćdziesiątych, były wyposażane w przekształtniki i falowniki, w których zastosowano



Rys. 1. Wagon piętrowy doczepny Kolei Mazowieckich [fot. J. Kukulski]

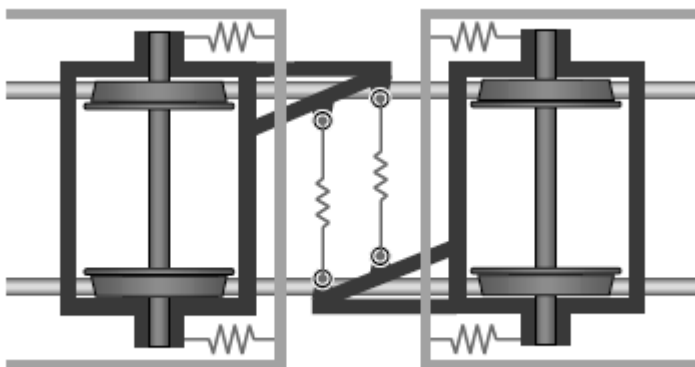
moduły z tyrystorami GTO. W ostatnim okresie pojawiły się lokomotywy z modułami, w których wykorzystano tranzystory mocy IGBT. Wspomniane elementy wykazują istotne zalety w stosunku do tyrystorów GTO, bowiem powodują zmniejszenie masy modułów o około 20%, a ich objętości o około 30% w stosunku do dotychczas stosowanych elementów oraz pracują przy mniejszych o około 50% stratach własnych i większej częstotliwości [9].

Pudła nadwozia są wykonywane z elementów ze stopów lekkich. Szczególną uwagę zwraca się na zabezpieczenia pojazdu przed skutkami zderzenia czołowego. Obowiązują w tym zakresie wymagania, które zostały opracowane m.in. na podstawie zderzeń przeprowadzonych na torze doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie w ramach europejskich programów badawczych SAFETRAIN i SAFETRAM.

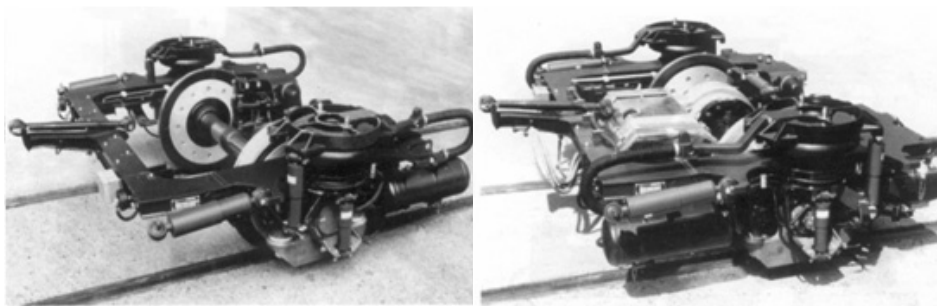
W nowoczesnych zespołach trakcyjnych znalazły zastosowanie skojarzone układy elektrycznego hamulca dynamicznego i hamulca pneumatycznego. Często ze względu na brak miejsca na osi, stosuje się tarcze hamulcowe montowane na kołach pojazdu (zespoły trakcyjne, czy lokomotywy elektryczne).

Również w układach biegowych zaszły zmiany, które często wynikają z uwarunkowań technicznych, m.in. z wysokości podłogi, parametrów trakcyjnych, długości składu, jak i koncepcji składu (przegubowy czy też nie). Regułą w układach biegowych stało się prowadzenie maźnic bez elementów ciernych (wykorzystanie wahaczy i sprężyn zwojowych lub bloków gumowo-metalowych). Jako usprężynowanie drugiego stopnia stosowane są poduszki powietrzne z samoczynną regulacją poziomu nadwozia względem ramy wózka lub sprężyny zwojowe w układzie *flexicoil*.

Dodatkowo pojawiły się układy umożliwiające radialne ustawienie się zestawu kół podczas jazdy po łuku. Przyczynia się to do lepszej współpracy koła z szyną, co ma istotne znaczenie dla eksploatacji zespołów trakcyjnych na liniach kolejowych o znacznej krętości (duża liczba poziomych łuków kołowych). Zostało to zrealizowane przez zastosowanie wózków jednoosiowych, m.in. w zespołach trakcyjnych *Integral Jenbach TS*. Innym przykładem zupełnie nowego układu biegowego z radialnym prowadzeniem zestawu są wózki systemu ADtranz Winterthur – FEBA (rys. 2) czy wózki zespołu trakcyjnego serii X'Trapolis S-tog kolei duńskich (rys. 3).



Rys. 2. Wózki ADtranz Winterthur systemu FEBA [3]



Rys. 3. Jednoosiowe wózki: toczny i napędny zespołu trakcyjnego serii X'Trapolis S-tog, kolei duńskich [8]

Ostatnie lata na polskim rynku kolejowym to dynamiczny rozwój polskich firm produkujących tabor pasażerski. Wiodącymi producentami taboru pasażerskiego do przewozów aglomeracyjnych i regionalnych są PESA Bydgoszcz i NEWAG Nowy Sącz. Główne produkty oferowane przez obu producentów dedykowane do przewozów aglomeracyjnych i regionalnych to spalinowe autobusy szynowe i elektryczne zespoły trakcyjne do $V_{\max} = 160 \text{ km/h}$, spełniające najnowsze wymagania TSI. Na rysunkach 4–6 przed-

stawiono zespoły trakcyjne polskiej produkcji wykorzystywane do obsługi wymiennych segmentów rynku przewozowego.



Rys. 4. Zespół trakcyjny 16WEk serii ED 74 – produkcji PESA [fot. J. Kukulski]



Rys. 5. Zespół trakcyjny 27WE – produkcji PESA [fot. A. Grajda]



Rys. 6. Zespół trakcyjny 19WE – produkcji NEWAG [fot. J. Kukulski]

Podstawowe parametry techniczne nowoczesnych elektrycznych zespołów do obsługi ruchu aglomeracyjnego lub regionalnego wykorzystywanego w Polsce przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Podstawowe parametry techniczne wybranych zespołów trakcyjnych do obsługi ruchu aglomeracyjnego / regionalnego w Polsce

Producent	PESA	PESA	Newag	Stadler
Typ pojazdu	ED 74	27WE	19WE	ER75
Maksymalna prędkość [km/h]	160	160	160	160
Przyśpieszenie rozruchu [m/s^2]	1,0	1,0	1,3	1,2
Typ silników trakcyjnych	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne	asynchroniczne
Układ osi	Bo'2'2'2'Bo'	Bo'2'Bo'2'Bo'2'Bo'	Bo'Bo'+2'2'+2'2'+Bo'Bo'	Bo'2'2'2'Bo'
Moc pociągu [kW]	2000	3360	2240	2000
Procent masy napędnej [%]	40	57	50	40
Długość składu [m]	80,33	107,85	85,00	74,00
Szerokość drzwi [m]	1,3	1,4	1,3	1,3
Wysokość podłogi przy drzwiach wejściowych od główki szyny [mm]	1000	800	1160	800

Należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości asortyment polskich producentów pojazdów szynowych zwiększy się o nową kategorię pociągów poruszających się z $V_{\max} = 200\text{--}250$ km/h.

3. UWARUNKOWANIA TECHNICZNE DLA TABORU MIĘDZYAGLOMERACYJNEGO

W przewozach międzyaglomeracyjnych przeważają potrzeby o charakterze obligatoryjnym, związane przede wszystkim z realizacją podróży służbowych. Wśród czynników determinujących wybór transportu kolejowego dominuje przede wszystkim bezpośrednie połączenie (bez przesiadek) oraz krótszy w stosunku do transportu drogowego czas podróży pociągiem. Dalszymi czynnikami są bezpieczeństwo osobiste, bezpieczeństwo podróży pociągiem oraz komfort podróżowania. Pasażerowie pociągów międzyaglomeracyjnych oczekują zdecydowanego zwiększenia komfortu i skrócenia czasu jazdy i są skłonni zaakceptować wyższe ceny biletów, by usługi te uległy poprawie. Przewozy międzyaglomeracyjne mogą być realizowane w dwojaki sposób: składami wagonowymi ciągniętymi klasyczną lokomotywą elektryczną lub składami zespołowymi. Pociągi do ruchu międzyaglomeracyjnego poruszają się z prędkościami maksymalnymi 160–250 km/h.

3.1. Klasyczny układ pociągu – składy wagonowe

Rozwiązanie to opiera się na zastosowaniu klasycznego składu wagonowego i lokomotywy elektrycznej będącej źródłem napędu. Pojazdy trakcyjne wykorzystywane do ciągnięcia składów wagonowych w ruchu międzyaglomeracyjnym charakteryzują się następującymi cechami [2, 4, 9]:

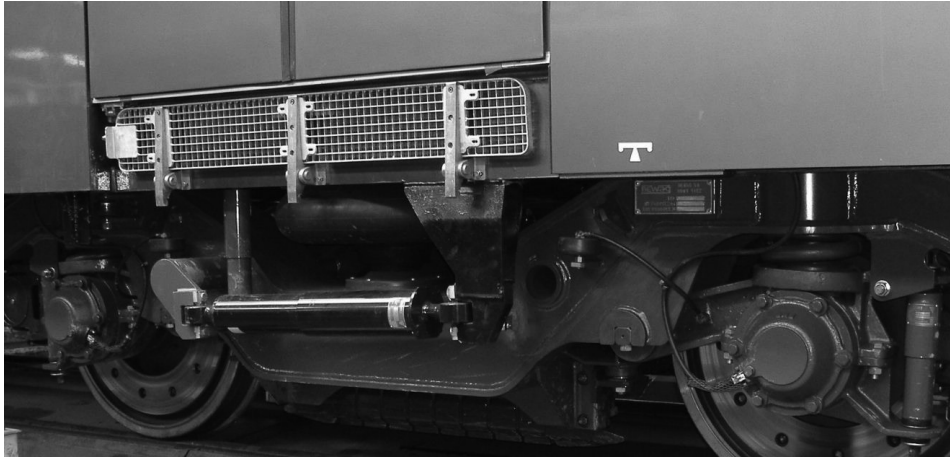
- układ osi Bo'Bo',
- moc ciągła 3 000–7 000 kW,
- masa własna 82–90 ton,
- prędkość maksymalna 160–230 km/h,
- sygnalizacja kabinowa,
- komputer pokładowy do współpracy z systemem ETCS,
- napęd za pomocą silników trakcyjnych prądu przemiennego zasilanych przez układy tranzystorów mocy IGBT,
- pudła wykonane ze stali o podwyższonej wytrzymałości i odporności na korozję,
- prowadzenie łożysk osi bez elementów ciernych,
- układ odsprężynowania drugiego stopnia za pomocą sprężyn śrubowych *flexicoil*,
- całkowicie odsprężynowane silniki trakcyjne, niekiedy częściowo zawieszane w ramie wózka, a częściowo w nadwoziu lokomotywy.

Na rysunku 7 przedstawiono lokomotywę elektryczną ES64U4 w barwach PKP Intercity, która od dwóch lat jest najnowszym nabytkiem w parku taborowym spółki.



Rys. 7. Lokomotywa elektryczna ES64U4 w barwach PKP Intercity S.A. [fot. M. Lalik]

Główne parametry i cechy konstrukcji nowoczesnych wagonów pasażerskich stosowanych w ruchu międzyaglomeracyjnym są ujęte m.in. w karcie UIC 567 i „TSI Pojazdy trakcyjne i wagony pasażerskie”. Budowa nowoczesnych wagonów opiera się na dwóch typach wagonów: Z1 – przeznaczonych do prędkości $V_{\max} = 200$ km/h i Z2 – przeznaczonych do prędkości $V_{\max} = 160$ km/h. Wagony pasażerskie do tego typu przewozów mają zazwyczaj wnętrza o podwyższonym standardzie, m.in.: z klimatyzacją, zamkniętym systemem WC, możliwością korzystania z osobistego komputera i dostępem do Internetu oraz łączności telefonicznej. Zgodnie z TSI PRM są przystosowane do obsługi osób o ograniczonej możliwości poruszania się. Układ biegowy jest często wyposażony w wózek z pneumatycznym zawieszeniem II stopnia (rys. 8), a część hamulcowa w hamulce pneumatyczne – tarczowe i szynowe – magnetyczne. Konstrukcja wózka powinna zapewniać komfort i bezpieczeństwo jazdy oraz spełnienie kryterium torowego (rys. 9). Wszystkie materiały wyposażenia wagonu powinny spełniać wymagania bezpieczeństwa przeciwpożarowego, oraz być odporne na zabrudzenia i uszkodzenia mechaniczne. Pod względem wytrzymałości pudła wagonów muszą uwzględniać wymagania karty UIC 566.



Rys. 8. Usprężynowanie pneumatyczne drugiego stopnia [fot. A. Chojnacki]



Rys. 9. Wózek toczny 25 ANa [11]

3.2. Składy zespolone do przewozów międzyaglomeracyjnych

Podniesienie w niedalekiej perspektywie prędkości eksploatacyjnej na wybranych liniach kolejowych Polski do $V_{\max} = 200 \div 250$ km/h, a w przyszłości także budowa *Kolei Dużych Prędkości* spowoduje potrzebę pozyskania nowych pojazdów trakcyjnych lub składów zespolonych.

Kilka miesięcy temu spółka PKP *Intercity* rozstrzygnęła przetarg na zakup 20 składów zespolonych o prędkości maksymalnej 250 km/h. Pociągi na bazie serii ETR 610 (rys. 10) dostarczy włoski oddział firmy Alstom.

Oprócz klasycznych składów wagonowych, do obsługi segmentu połączeń międzyaglomeracyjnych przewoźnicy krajów europejskich wykorzystują składy zespolone. Zazwyczaj są to połączenia na liniach dużych prędkości, których w Europie mamy już kilka tysięcy kilometrów. Do obsługi tych linii wykorzystywany jest tabor, w którym są stosowane najnowsze rozwiązania techniczne w zakresie kolejnictwa. Maksymalne prędkości konstrukcyjne tych pociągów sięgają 350 km/h. W Europie można dostrzec trzy trendy rozwojowe w pociągach firm Alstom, Siemens i Talgo.

Pociągi AGV firmy Alstom (rys. 11) mogą być budowane jako składy od 3 do 11 wagonów lub więcej. Dla pociągu składającego się z 7 lub 8 wagonów, prędkość maksymalna będzie równa 300 km/h, dla pociągu złożonego z 10 wagonów maksymalna prędkość wyniesie 320 km/h, a skład złożony z 11 lub więcej wagonów osiągnie prędkość 360 km/h. Wynika to z konfiguracji napędu pozwalającego na większy procentowy udział zestawów napędowych dla składów o większej liczbie wagonów [1, 2].



Rys. 10. Pociąg zespolony serii ETR 610 [6]



Rys. 11. Pociąg AGV [fot. J. Kukulski]

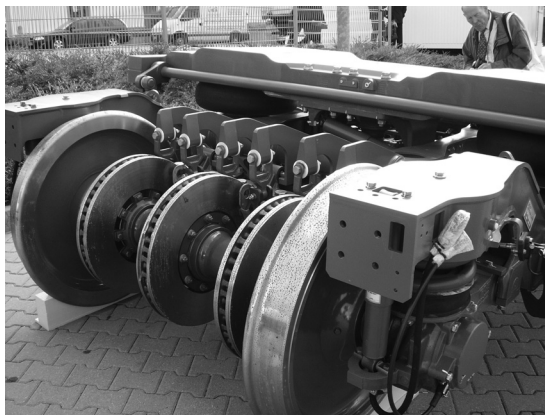
W pociągach ICE-3 firmy Siemens (rys.12) zastosowano napęd silnikami asynchronicznymi, zasilanymi układami tranzystorów mocy IGBT. Przeniesienie napędu między silnikiem i zestawem kół odbywa się przez sprzęgło odchylnie i przekładnię zębatą. Hamowanie jest realizowane za pomocą elektrodynamicznego hamulca odzyskowego, indukcyjnego hamulca szynowego (wagony doczepne) i elektropowietrznego hamulca tarczowego. W części biegowej zespołu wykorzystano zmodyfikowane wózki SGP 400. Jako usprężynowanie I stopnia przewidziano stalowe sprężyny zwojowe i przekładkowe elementy gumowe, jako II stopień wykorzystano sprężyny powietrzne (rys. 13). Wózki toczne mają hamulce tarczowe z tarczami na osi zestawów kół i płozy indukcyjnego

hamulca szynowego. Wózki napędne zostały wyposażone w hamulec z tarczami na kołach. Pociągi ICE-3 jako pierwsze w Europie wyposażono w hamulce wiroprowadowe. Hamulec na prądy wirowe działa na zasadzie wytworzenia siły hamującej przy wykorzystaniu główki szyny jako ośrodka odniesienia w stosunku do uzwojenia pierwotnego, którym są cewki elektromagnesów zawieszane na wózku [1, 10].



Rys. 12. Pociąg ICE-3 [7]

Oprócz hamulca pneumatycznego człony napędne mają hamulec elektrodynamiczny odzyskowy i oporowy, a wszystkie osie zestawu są wyposażone w układ antypoślizgowy. Konstrukcje pudeł są wykonane ze stopów lekkich. W pociągach zastosowano system ETCS (*European Train Control System*) i system radiołączności systemu GSM-R [4].



Rys. 13. Wózek toczny pociągu AVE 103 (ICE-3 *Velaro*) [fot. J. Kukulski]

W odróżnieniu od pozostałych pociągów dużych prędkości, pociągi systemu *Talgo* charakteryzują się trzema rozwiązaniami technicznymi nie spotykanymi w innych konstrukcjach:

- niezależne kinematycznie koła ze stałym prowadzeniem osi,
- pasywny system wychyłu nadwozia,
- oparcie sąsiednich wagonów na jednym półwózku (rys. 14).



Rys. 14. Rozwiązanie konstrukcyjne oparcia nadwozia pociągów Talgo [fot. J. Kukulski]

W tablicy 2 przedstawiono podstawowe parametry techniczne wybranych rozwiązań technicznych składów zespolonych dużych prędkości.

Tablica 2

Podstawowe parametry techniczne wybranych pociągów zespolonych dużych prędkości

Parametry techniczne	AGV	ICE-3	Talgo 350
Prędkość maksymalna [km/h]	360	330	350
Moc pociągu [kW]	6000–12000	8000	8000
Napięcie zasilania	1,5 kV; 3 kV 15 kV, 16,7 Hz 25 kV, 50 Hz	1,5 kV; 3 kV 15 kV, 16,7 Hz 25 kV, 50 Hz	25 kV, 50 Hz
Liczba miejsc siedzących	250–650	384	346
Długość pociągu [m]	130–250	200	200
Nacisk na oś [t]	17	16	17,5
Liczba wagonów w pociągu	7–17	4 silnikowe + 4 doczepne	2 silnikowe + 12 doczepnych

4. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano przegląd rozwiązań konstrukcyjnych taboru do obsługi połączeń aglomeracyjnych i międzyaglomeracyjnych. Ten segment usług przewozowych szybko się rozwija m.in. za sprawą kolei dużych prędkości. Rozwój KDP w Europie i na świecie jest bardzo dynamiczny, co można zauważyć śledząc wydłużającą się listę użytkowników linii dużych prędkości, jak i planowane inwestycje związane z budową i modernizacją tych linii. Oprócz odpowiedniej infrastruktury torowej, istotnym elementem umożliwiającym obsługę połączeń międzyaglomeracyjnych jest tabor. Właściwy dobór pojazdów jest uzależniony od wielu czynników, m.in. technicznych i ekonomicznych.

Dobór właściwych pojazdów do tego typu połączeń kolejowych, mimo daleko posuniętej standaryzacji taboru w Europie, wymaga uwzględnienia lokalnych warunków eksploatacyjnych i potrzeb przewozowych. Elementem, o którym nie można zapomnieć przygotowując specyfikację na zakup nowoczesnego taboru do dużych prędkości, jest zapewnienie właściwego utrzymania taboru przez producenta, bowiem to decyduje o dostępności i niezawodności taboru.

BIBLIOGRAFIA

1. Harassek A., Rabsztyń M., Raczyński J.: *Rozwój konstrukcji pociągów TGV*. „Technika Transportu Szynowego”, 2006, nr 10.
2. Kukulski J., Groll W.: *Nowoczesny tabor do przewozów międzyaglomeracyjnych*. „Problemy Kolejnictwa”, 2009, z. 148.
3. Polach A.: *Single Axle Running Gears FEBA – a New Konzept of Radial Steering* [online], AdTranz Winterthur [dostęp 9 grudnia 2011]. Dostępny w World Wide www.polach.ch/data/object_7/Uni_Milano_2000.pdf
4. Raczyński J.: *Pociągi dużych prędkości – kierunki rozwoju*. „Technika Transportu Szynowego”, 2005, nr 5–6.
5. Raczyński J.: *Tabor do przewozów międzyregionalnych. Pociągi dużych prędkości do $V_{max} = 250$ km/h*. „Technika Transportu Szynowego”, 2007, nr 11.
6. *RailPictures. Net. The best railroad photos on the net* [online], [dostęp 9 grudnia 2011]. <http://www.railpictures.net>.
7. *Szybka Kolej* [online], [dostęp 9 grudnia 2011], Dostępny w World Wide Web: http://pl.wikipedia.org/wiki/Szybka_kolej.
8. Wolfram T., Czarnecki M.: *Dobór nowoczesnego taboru do warunków eksploatacji kolei w Polsce*. „Technika Transportu Szynowego”, 2006, nr 7–8.
9. Wolfram T.: *Elektryczne lokomotywy pociągowe – stan rozwoju*. „Technika Transportu Szynowego”, 2003, nr 11.

10. Wolfram T.: *Tabor kolejowy do przewozów pasażerskich z dużymi prędkościami ze szczególnym uwzględnieniem CMK*. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Linie Dużych Prędkości. Przygotowanie Centralnej Magistrali Kolejowej do prędkości 200–250 km/godz.”, Mąchocice – Ameliówka k. Kielc, 30 września – 1 października 1997 r.
11. *Wózki toczne* [online], Poznańskie Zakłady Naprawcze Taboru Kolejowego [dostęp 9 grudnia 2011], Dostępny w WorldWideWeb: www.zntkpoznan.com.pl/readarticle.php?.artide_id=5.