

Dostosowanie linii konwencjonalnych w wybranych zarządkach kolejowych do prędkości jazdy równej lub większej od 200 km/h

Andrzej MASSEL¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono i porównano doświadczenia uzyskane przy wprowadzaniu prędkości maksymalnej 200 km/h i większej na istniejących, konwencjonalnych liniach kolejowych we Francji, w Niemczech, w Austrii, w Rosji i w Chinach. Zbadano średnią i sumaryczną długość odcinków zmodernizowanych do prędkości 200 km/h (lub większej) oraz ich udział w całkowitej długości linii. Rozpatrzono także cechy zmodernizowanych linii kolejowych, takie jak: zmiany układów geometrycznych toru, likwidacja przejazdów w poziomie szyn, wyposażenie krzyżownic rozjazdów w ruchome dzioby oraz zabudowę systemu bezpiecznej kontroli jazdy pociągu.

Słowa kluczowe: modernizacja, linia kolejowa, prędkość pociągów, układy geometryczne torów, rozjazdy, przejazdy, sterowanie ruchem, tabor kolejowy

1. Wprowadzenie

Analizując historię transportu kolejowego można dojść do wniosku, że jego rozwój w poszczególnych krajach, czy wręcz na całych kontynentach wiązał się z pokonywaniem kolejnych barier: technicznych, organizacyjnych, formalno-prawnych. Jedną z takich barier było przekroczenie w normalnej eksploatacji (a nie tylko podczas jazd doświadczalnych) prędkości maksymalnej 160 km/h i osiągnięcie przez pociągi przewożące pasażerów prędkości 200 km/h. Znaczenie prędkości 200 km/h wynika z faktu, że przez wiele lat była ona traktowana jak swego rodzaju „bariera dźwięku”, czy wręcz jako prędkość graniczna dla technologii opartej na:

- istniejących (konwencjonalnych) liniach kolejowych,
- tradycyjnych składach pociągów prowadzonych lokomotywami [14].

Granica ta jest umowna przede wszystkim dlatego, że istnieją odcinki linii konwencjonalnych przystosowane do prędkości większej niż 200 km/h. W Niemczech, na zbudowanej w latach czterdziestych XIX wieku linii Berlin – Hamburg, pociągi ICE kursują z maksymalną prędkością 230 km/h. Również na wielu odcinkach we Francji, na przykład Le Mans – Nantes oraz Strasburg – Miluza, maksy-

malna prędkość pociągów TGV wynosi 220 km/h. Pod względem taboru wyjątkiem od reguły są składy wagonów *Railjet* kolei austriackich prowadzone lokomotywami elektrycznymi serii 1116 *Taurus*. Maksymalna prędkość tak zestawionych pociągów wynosi 230 km/h.

Należy zwrócić uwagę na aspekt formalno-prawny wprowadzenia prędkości 200 km/h. Zgodnie z załącznikiem 1 do dyrektywy 2008/57/WE, linie dużych prędkości obejmują:

- specjalnie wybudowane linie dużych prędkości, przeznaczone zasadniczo do prędkości równych lub przekraczających 250 km/h,
- specjalnie zmodernizowane linie dużych prędkości przeznaczone do prędkości rzędu 200 km/h,
- specjalnie zmodernizowane linie dużych prędkości, mające szczególne cechy, wynikające z topografii rzeźby terenu i uwarunkowań urbanistycznych; na tych prędkość musi być dostosowywana do konkretnego przypadku.

W Polsce prędkość 200 km/h po raz pierwszy wprowadzono w grudniu 2014 roku, w planowym ruchu pasażerskim na Centralnej Magistrali Kolejowej (CMK). Trzeba jednak pamiętać, że CMK jest linią o szczególnie korzystnych parametrach, odpowiadających liniom dużych prędkości a nie typowym liniom konwencjonalnym [1].

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, zastępca dyrektora ds. studiów i projektów badawczych; e-mail: amassel@ikolej.pl.

2. Dostosowanie istniejących linii kolejowych do prędkości co najmniej 200 km/h w wybranych zarządach

2.1. Koleje francuskie – dostosowanie linii konwencjonalnych do prędkości 200–220 km/h

Koleje francuskie mają ogromny dorobek w zakresie rozwoju infrastruktury i taboru kolejowego. Na początku lat pięćdziesiątych XX wieku podjęto badania nad pociągami dużych prędkości. W 1955 roku na odcinku konwencjonalnej linii kolejowej Bordeaux – Hendaye przeprowadzono jazdy tradycyjnego składu wagonów prowadzonego lokomotywą elektryczną, podczas których osiągnięto prędkość 331 km/h. Było to bardzo duże osiągnięcie, gdyż w tym czasie prędkości rozkładowych pociągów nie przekraczały 140–150 km/h.

We Francji prędkość 200 km/h wprowadzono po raz pierwszy od 28 maja 1967 r. między Les Aubrais (koło Orléanu) i Vierzon (rys. 1). Długość odcinka jazdy z $V = 200$ km/h wynosiła około 70 km. Linia była specjalnie przygotowana do ruchu pociągów z tą prędkością. Wyposażono ją w system sygnalizacji kabinyowej, obrazujący wskazania semaforów na 3 kolejnych odstępach blokowych. Nowatorskim rozwiązaniem było wyposażenie lokomotywy (seria BB 9200) w system pomiaru sił poprzecznych, wywieranych na tor przez zestaw kołowy pierwszego wózka [22].

Na wspomnianym odcinku prędkość 200 km/h osiągał pociąg ekspresowy *Le Capitole* łączący Paryż z Tuluzą, który całą trasę (713 km), z postojami w Limoges, Brive-la-Gaillarde, Cahors i Montauban, pokonywał w ciągu 6 godz. Stosunkowo niska prędkość handlowa (118 km/h, w następnych latach 120 km/h) wynikała z układu geometrycznego torów na południowym odcinku linii, szczególnie na południe od Limoges, na którym prędkość maksymalna wynosi zasadniczo tylko 110 km/h. Prędkość średnia na pokonywanym bez zatrzymania odcinku Paryż-Austerlitz – Limoges-Bénédictins (400 km) była znacznie większa i wynosiła 138 km/h (w 1971 roku 141 km/h).

Następną linią kolejową we Francji, na której wprowadzono prędkość 200 km/h była linia z Paryża do Bordeaux. W maju 1971 roku na tej trasie uruchomiono pociąg TEE *Aquitaine*, który w czasie 4 godzin pokonywał 581 km – odległość dzielącą te miasta – bez postojów na stacjach pośrednich. Prędkość handlowa pociągu wynosiła 145,3 km/h, a maksymalna 200 km/h.

Należy wspomnieć, że wymienione osiągnięcia kolei francuskich z przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych minionego wieku, dotyczyły linii kolejowych zelektryfikowanych prądem stałym

o napięciu 1,5 kV. System ten wymusza bardzo gęste rozmieszczenie podstacji trakcyjnych i dlatego na linii Paryż – Bordeaux zasilanie zapewniają aż 52 podstacje, rozmieszczone średnio co 11 km. Według stanu na 2015 rok [15], ogólna długość 34 odcinków linii konwencjonalnych dostosowanych do prędkości 200 km/h wynosi 1037,2 km (tablica 1). Wynika stąd, że średnia długość odcinka jazdy z prędkością 200 km/h wynosi około 30 km. Dodatkowo, na trzech liniach są eksploatowane odcinki o prędkości maksymalnej równej 180 lub 190 km/h o łącznej długości 81,2 km.



Rys. 1. Rozjazdy na odcinku Les Aubrais – Vierzon
[fot. A. Massel]

Tablica 1

Odcinki linii zmodernizowanych do prędkości 200 km/h we Francji [15]

Linia	$L(V=200 \text{ km/h})$ [km]	Liczba odcinków $V = 200 \text{ km/h}$
Paryż – Bordeaux	370,6	8
Le Mans – Angers – Nantes	139,5	5
Les Aubrais – Vierzon	70,4	1
Strasbourg – Miluza	100,0	1
Miluza – Bazylea	19,0	1
Valence – Marsylia	89,9	3
Paryż – Cherbourg	83,6	3
Nevers – Moulin – St-Germain-des-Fossés	47,7	3
Niort – La Rochelle	44,7	3
Rennes – Brest	36,3	4
Redon – Lorient	36,2	2

Na wybranych odcinkach, będących przedłużeniem linii dużych prędkości, maksymalna prędkość zespołów trakcyjnych jest zwiększona do 220 km/h. Możliwość jazdy z taką prędkością jest wykorzystywana przez pociągi TGV. Dotyczy to na przykład odcinka Le Mans – Nantes przez Angers, po którym

kursują pociągi TGV w relacji Paryż – Nantes (na odcinku Paryż – Le Mans linią dużych prędkości LGV *Atlantique*).

2.2. Koleje niemieckie – pierwsze doświadczenia w zakresie zwiększania prędkości do 200 km/h

Koleje niemieckie mają wieloletnie doświadczenia w zwiększaniu prędkości jazdy pociągów. W latach 1933–1939 tak zwane *Fliegende Züge* („Latające pociągi”), czyli pociągi pasażerskie obsługiwane spalinyowymi zespołami trakcyjnymi, osiągały w codziennej eksploatacji prędkość 160 km/h. Po II wojnie światowej zwiększenie prędkości pociągów na kolejach Republiki Federalnej Niemiec następowało stopniowo. Przez długi czas nie przekraczano prędkości 120 km/h i dopiero od 1958 roku dla wybranych, stosunkowo niewielkich pociągów najwyższej kategorii, prędkość maksymalną zwiększono do 140 km/h. Od 1962 roku pociąg ekspresowy *Rheingold* na niektórych odcinkach zaczął kursować z prędkością 160 km/h.

Wprowadzenie prędkości 200 km/h na sieci Deutsche Bundesbahn (DB) poprzedziły obszerne badania [4], wykonane w latach 1963–1964 pod kierownictwem F. Birmanna. Badania były przeprowadzone na odcinku doświadczalnym Forchheim – Bamberg o długości 24 km, z których 20 km przeznaczono do jazdy z prędkością 200 km/h. Na tym odcinku znajdowały się 4 stacje pośrednie z rozjazdami i skrzyżowaniami różnych typów. Badania toru obejmowały między innymi pomiary naprężeń w pięciu różnych lokalizacjach w torach i w rozjazdach. Pociąg użyty do testów składał się z zaadaptowanej lokomotywy czteroosiowej serii E10, wagonu pomiarowego i wagonu pasażerskiego. Przejazdy odbywały się z prędkościami od 140 do 200 km/h. Badania wykazały przydatność, wprowadzanej wtedy na kolejach niemieckich, nawierzchni S54, przy czym za wskazane uznano zmniejszenie rozstawu podkładów do 0,58 m, a także zaostrenie wartości odchyłek dopuszczalnych przy zwiększonych prędkościach. Zarekomendowano także zmniejszenie nominalnej szerokości toru do 1432 mm.

W 1965 roku prędkość 200 km/h pociągów pasażerskich została po raz pierwszy wprowadzona na linii Monachium – Augsburg. Obowiązywała ona w okresie od 26 czerwca do 3 października tego roku, podczas odbywającej się w Monachium Międzynarodowej Wystawy Komunikacyjnej (IVA) [9]. Wówczas codziennie kursowały specjalne pociągi ekspresowe z Monachium do Augsburga, dla których dopuszczono prędkość 200 km/h na dwóch odcinkach o długościach 10,5 km i 34,3 km, rozdzielonych odcinkiem o prędkości 120 km/h [7]. Pociągi specjalne były prowadzone lokomotywą elektryczną serii E 03 (z pierwszej serii produkcyjnej liczącej 4 egzempla-

rze). Z dniem 14 maja 1968 roku, w trybie specjalnego zezwolenia ministra komunikacji na odstępstwo od ogólnie obowiązujących przepisów (EBO), dopuszczono kursowanie wybranych pociągów ekspresowych na odcinku Monachium – Augsburg z prędkościami maksymalnymi zwiększonymi do [5]:

- 200 km/h dla pociągów TEE 54/55 *Blauer Enzian* oraz F 27/28 *Rheinblitz*,
- 180 km/h dla pociągu TEE 11/12 *Rembrandt*.

Jazdy pociągów z takimi prędkościami były możliwe dzięki wyposażeniu odcinka w urządzenia nowego systemu oddziaływania tor – pojazd (*Linienzugbeeinflussung*). W 1969 roku został opracowany w DB kierunkowy program zwiększania prędkości na liniach pierwszorzędnych (*Hauptbahnen*) [10]. W tym celu zidentyfikowano trzy obszary działań:

1. Określenie w pierwszej kolejności możliwości zwiększenia prędkości, a przez to – skrócenia czasów przejazdów na istniejących liniach pierwszorzędnych. Chodziło przy tym o małe działania inwestycyjne, bez wychodzenia poza istniejący pas kolejowy, takie jak: poprawa zabezpieczenia przejazdów, zaprojektowanie ramp przechyłkowych w łukach, zastosowanie rozjazdów o większych promieniach torów zwrotnych, wydłużenie dróg hamowania, odpowiednie zmiany w urządzeniach sterowania ruchem. Większe przedsięwzięcia budowlane, wiążące się ze zmianą układu geometrycznego linii, uznano za uzasadnione tylko tam, gdzie przy stosunkowo ograniczonych kosztach, można było uzyskać możliwie duże skrócenia czasów przejazdów.
2. Skoordinowanie planowania, prac budowlanych i zamówień, ukierunkowane na osiągnięcie większych prędkości maksymalnych (między innymi przebudowy układów torowych stacji, zabudowy nowej nawierzchni, urządzeń sterowania ruchem, sieci trakcyjnej) i na uniknięcie inwestycji (robót) straconych. Dotyczyło to również zakupów pojazdów szynowych.
3. Plan kierunkowy, jako podstawa przyszłego odcinkowego przekształcania sieci kolejowej przez budowę nowych odcinków wszędzie tam, gdzie istniejące możliwości skrócenia czasów przejazdów uznano za niewystarczające w stosunku do wymagań rynkowych.

Należy podkreślić, że już pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku, istniała w Niemczech świadomość, że docelowo przy zwiększeniu prędkości do 200 km/h będzie konieczne wyeliminowanie wszystkich skrzyżowań w poziomie szyn. Jako rozwiązanie przejściowe, dotyczące przejazdów istniejących jeszcze na wspomnianym odcinku Monachium – Augsburg, przyjęto włączenie urządzeń przejazdowych w system LZB. Dzięki temu możliwość jazdy z prędkością

rozkładową została uzależniona od zamknięcia rogatki na przejazdach [5].

Na odcinku Monachium – Augsburg prędkość 200 km/h została wprowadzona w normalnej eksploatacji na mocy specjalnego zezwolenia ministra komunikacji z 25 września 1977 roku. Zgodnie z zimowym rozkładem jazdy na lata 1977/1978, czas jazdy pociągów TEE oraz IC na odcinku Monachium-Pasing – Augsburg (o długości 54,5 km) wynosił 24 minuty, co dawało prędkość średnią równą 136,3 km/h. Niedługo potem, w latach 1978–1981, prędkość 200 km/h została wprowadzona także na długości 36,5 km na przyległym odcinku Augsburg – Donauwörth (całkowita długość tego odcinka wynosi około 41 km) [16].

Na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku zwiększono prędkość pociągów na następnych odcinkach niemieckiej sieci kolejowej, między innymi na odcinku Hamm – Bielefeld (66,9 km), stanowiącym fragment głównego ciągu przewozowego z Zagłębia Ruhry do Hanoweru. Na tym odcinku były bardzo dobre warunki do zwiększenia prędkości z uwagi fakt, że linia jest tam czterotorowa ze specjalizacją każdej z par torów do określonego rodzaju ruchu. Prędkość 200 km/h obowiązuje na tym odcinku od 1980 roku na długości 58 km w torach przeznaczonych dla pociągów pasażerskich. Warto zwrócić uwagę na bardzo dobrą wartość prędkości średniej pociągów IC na tym odcinku, która w 1981 roku wyniosła 167,3 km/h.

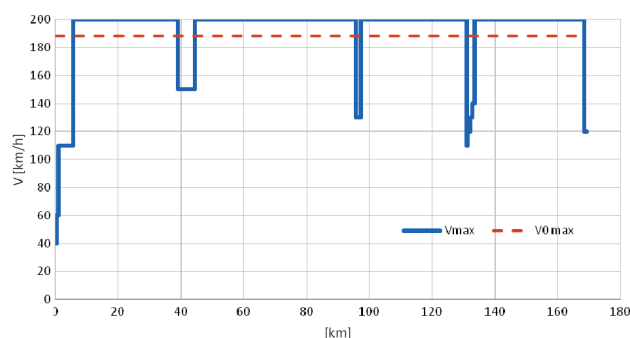
Na intensywnie wykorzystywanej w dalekobieżnym ruchu pasażerskim linii z Hanoweru do Hamburga, wprowadzanie prędkości 200 km/h nastąpiło w kilku etapach:

- na odcinku Langenhagen – Uelzen (na długości 78,4 km) w latach 1978–1984,
- na odcinku Bad Bevensen – Lüneburg (na długości 20,3 km) w roku 1983,
- na odcinku Lüneburg – Meckelfeld (na długości 32,5 km) w roku 1987,
- na odcinku Uelzen – Bad Bevensen do roku 1990.

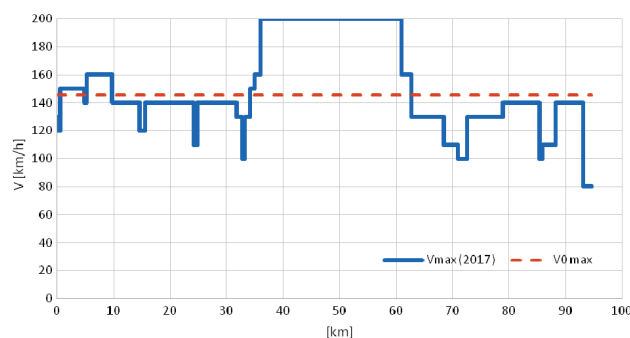
W efekcie, na całej linii Hanower – Hamburg praktycznie obowiązuje prędkość dopuszczalna 200 km/h (rys. 2). Odcinki jazdy z tą prędkością są poprzecinane krótkimi fragmentami w obrębie większych stacji, na których prędkość jest zmniejszona do 150 km/h (stacja Celle), 130 km/h (stacja Uelzen) i 110–140 km/h (rejon stacji Lüneburg). Średnia prędkość pociągów ICE na odcinku Hanower Hbf – Hamburg-Harburg wynosi 151,5 km/h (dane według rozkładu jazdy na lata 2016/2017).

Innym przykładem linii konwencjonalnej, na której wprowadzono odcinkowo prędkość maksymalną 200 km/h jest linia (Norymberga – Fürth Hbf – Würzburg Hbf, będąca częścią głównego ciągu z Frankfurtu nad Menem do Norymbergi i dalej do Wiednia oraz do

Monachium. Tą linią kursują z dużą częstotliwością pociągi ICE. Na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku tę linię zmodernizowano i dostosowano jej środkowy fragment Neustadt (Aisch) – Iphofen do prędkości 200 km/h. Prędkość taka obowiązuje na długości około 25 km. Niestety, odcinki Fürth – Neustadt oraz Iphofen – Würzburg charakteryzują się niekorzystnym układem geometrycznym (liczne łuki o małych promieniach), a prędkość na nich jest lokalnie ograniczona nawet do 100 km/h. Według danych z 2009 roku, na długości 94,6 km znajdowało się 26 miejsc zmiany prędkości. Obecnie, po niewielkich korektach wykresu prędkości, liczba ta zmniejszyła się do 25 (rys. 3). Według rozkładu jazdy na lata 2016/2017, najkrótszy czas przejazdu pociągiem ICE całego odcinka Norymberga – Würzburg o długości 102 km to 53 minuty, co odpowiada średniej prędkości około 115,5 km/h. Jest to bardzo słaby wynik, zważywszy na prędkość maksymalną wynoszącą 200 km/h.



Rys. 2. Profil prędkości maksymalnej na linii Hanower – Hamburg-Harburg: (jako $V_{0 \max}$ zaznaczono wartość średniej ważonej prędkości maksymalnej obliczonej jako średnia harmoniczna) [opracowanie własne]



Rys. 3. Profil prędkości maksymalnej na linii (Norymberga-) Fürth – Würzburg [opracowanie własne]

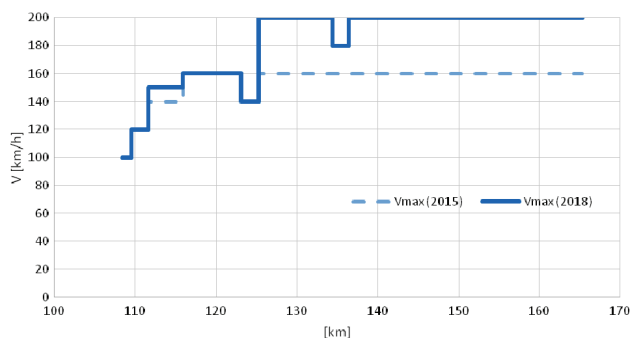
Od czasu nowelizacji w 1992 roku przepisów budowy i eksploatacji kolei EBO, na kolejach niemieckich skrzyżowania w poziomie szyn są dozwolone tylko przy prędkościach pociągów nie przekraczających 160 km/h. Efektem tej regulacji była konieczność wprowadzenia punktowych ograniczeń na tych odcinkach linii o prędkości maksymalnej 200 km/h, na których pozostały jeszcze skrzyżowania w poziomie

szyn. W następnych latach większość przejazdów zastąpiono skrzyżowaniami wielopoziomowymi. Jedynie na odcinku Hamm – Dortmund (31 km), na którym do 1992 roku obowiązywała prędkość 200 km/h, obecnie pociągi kursują z prędkością 160 km/h, co wynika z faktu pozostawienia na tym odcinku wielu przejazdów kolejowo-drogowych.

Mimo rozbudowy sieci kolejowej dużych prędkości, w Niemczech są modernizowane kolejne odcinki linii konwencjonalnych. Najnowszym przykładem odcinka przystosowanego do prędkości maksymalnej 200 km/h jest odcinek linii Halle – Bebra pomiędzy stacjami Erfurt i Eisenach.

Odcinek Erfurt – Eisenach (56,9 km) znajduje się na terenie kraju związkowego Turyngia i stanowi element ważnego ciągu przewozowego z Drezna i Lipska do Frankfurtu nad Menem, jest też elementem sieci transeuropejskiej TEN-T. Odcinek ten po zjednoczeniu Niemiec podlegał już modernizacji i elektryfikacji (*Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 7*) zakończonej w maju 1995 roku. Wprowadzono wtedy prędkość maksymalną 160 km/h.

W związku z budową nowej linii dużych prędkości Berlin – Monachium przechodzącej przez węzeł w Erfurcie, wzrosło znaczenie linii łączących się, dlatego około 2015 roku podjęto modernizację odcinka Erfurt – Eisenach w celu dostosowania go do prędkości 200 km/h. Zakres robót torowych był relatywnie mały z uwagi na modernizację linii przeprowadzoną w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Obejmowała ona wzmocnienie podtorza na długości około 4 km, wymianę nawierzchni na długości 28 km toru, a także wymianę 30 rozjazdów (część rozjazdów z ruchomym dziobem krzyżownicy) [3]. W celu umożliwienia jazdy z prędkością 200 km/h konieczna była także likwidacja jednego przejazdu w poziomie szyn i zastąpienie go skrzyżowaniem wielopoziomowym, przebudowa dwóch obiektów inżynierskich oraz zabudowa systemu bezpiecznej kontroli jazdy ETCS poziomu 2. Różnicę pomiędzy profilami prędkości z okresów przed modernizacją i po modernizacji ilustruje rysunek 4.



Rys. 4. Profil prędkości maksymalnej linii Halle – Bebra na odcinku Erfurt – Eisenach [opracowanie własne]

Roboty modernizacyjne na odcinku Erfurt – Eisenach zakończono przed wejściem w życie w grudniu 2017 roku nowego rozkładu jazdy, w którym czas przejazdu pociągów ICE skrócono o 3 minuty. Wynosi on obecnie 24 minuty, co na stosunkowo krótkim odcinku (odległość 56,9 km) daje prędkość handlową wynoszącą 142,4 km/h. Zestawienie długości odcinków jazdy z prędkością 200 km/h na opisanych wcześniej liniach kolejowych zawarto w tablicy 2.

Tablica 2

Przykładowe odcinki linii zmodernizowanych do prędkości 200 km/h w Niemczech

Linia	$L(V=200 \text{ km/h})$ [km]	Liczba odcinków $V = 200 \text{ km/h}$
Hanower Hbf – Hamburg-Harburg	153,4	4
Bielefeld – Hamm	58,0	1
Fürth Hbf – Würzburg Hbf	25,0	1
Erfurt Hbf – Eisenach	38,0	2

[Opracowanie własne]

2.3. Koleje niemieckie – modernizacja linii konwencjonalnych do prędkości 230 km/h

Na dwóch istniejących liniach kolejowych w Niemczech przeprowadzono modernizację do prędkości 230 km/h. Pierwszą z nich była linia Berlin – Hamburg, jedna z najstarszych linii kolejowych, ukończona w 1846 roku. Linia ta zawsze odgrywała bardzo dużą rolę w sieci komunikacyjnej Niemiec, stanowiąc połączenie stolicy z głównym portem morskim. To na tej linii wprowadzano nowe rozwiązania techniczne i testowano nowe typy pojazdów szynowych do ruchu pasażerskiego, w tym spalinowy zespół trakcyjny o prędkości 160 km/h, wprowadzony do eksploatacji w 1933 roku pod nazwą „Latający Hamburgczyk”. Po II wojnie światowej linię przecięto granicą pomiędzy dwoma państwami niemieckimi i jej znaczenie znacznie zmalało.

Sytuacja zmieniła się po zjednoczeniu Niemiec w 1990 roku. Podjęta została dwuetapowa modernizacja linii Berlin – Hamburg. W maju 1997 roku zakończono elektryfikację linii z odbudową drugiego toru na całej jej długości (poza krótkim odcinkiem w rejonie Hamburga), przy czym prędkość pociągów pozostała na poziomie 160 km/h. Istniała opcja kontynuacji prac modernizacyjnych w celu dostosowania linii do prędkości 200 km/h, z której zrezygnowano, gdyż trwały przygotowania do budowy między Berlinem i Hamburgiem linii kolei magnetycznej, mającej skrócić czas przejazdu między tymi aglomeracjami do około 60 minut. W lutym 2000 r. ostatecznie zaniechano realizacji projektu Transrapid, przede wszystkim z uwagi na bardzo duże jego koszty. W zamian

ząd federalny zdecydował się na realizację drugiego etapu modernizacji istniejącej linii kolejowej.

W celu uzyskania możliwie najkrótszego czasu przejazdu (około 90 minut) jako maksymalną prędkość pociągów przyjęto 230 km/h. Roboty budowlane zrealizowano w latach 2002–2004. Obejmowały one przede wszystkim likwidację przejazdów w poziomie szyn i zastąpienie ich 56 skrzyżowaniami wielopoziomowymi (wiaduktami drogowymi lub kolejowymi). Konieczna była wymiana lub modernizacja 162 rozjazdów w torach głównych zasadniczych (wymiana krzyżownic z dziobem stałym na krzyżownice ruchome). Na linii zbudowano system bezpiecznej kontroli jazdy pociągu LZB, przebudowana została także sieć trakcyjna. W związku ze zwiększeniem prędkości pociągów do 230 km/h zastosowano specjalne rozwiązania zapewniające bezpieczeństwo pasażerów na peronach zlokalizowanych na szlakach oraz przy torach głównych zasadniczych na stacjach, po których przejazdy pociągów odbywają się z taką prędkością. Ogółem, na 33 peronach zainstalowano bariery oddzielające strefę zagrożenia. Wysokość barier wynosi 1,20 m, długość przeszła 4,80 m. Pomiędzy nimi znajdują się przejścia o szerokości 1,20 m. Przekroczenie barier jest dozwolone tylko wtedy, gdy przy peronie stoi pociąg (rys. 5). Wymagania dotyczące bezpieczeństwa na peronach, przy których odbywają się jazdy pociągów z prędkościami powyżej 200 km/h zostały uwzględnione w nowelizacji przepisów budowy i eksploatacji kolei EBO [8].



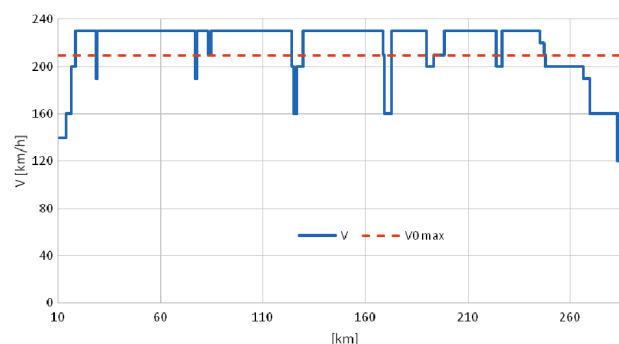
Rys. 5. Bariery na peronie przy torze głównym zasadniczym na linii Berlin – Hamburg [fot. A. Massel]

Koszty drugiego etapu modernizacji linii Berlin – Hamburg wyniosły około 650 milionów EUR. Ruch pociągów ICE z prędkością 230 km/h podjęto w grudniu 2004 roku.

Należy zwrócić uwagę, że w wyniku tej inwestycji uzyskano bardzo korzystny profil prędkości maksymalnej (rys. 6). Prędkość nie mniejsza niż 200 km/h obowiązuje na łącznej długości 243,7 km, w tym

prędkość 230 km/h – na długości 194,4 km. Ponadto na całej długości linii, poza odcinkami w obrębie węzłów berlińskiego i hamburskiego, prędkość pociągów w żadnym miejscu trasy nie spada poniżej 160 km/h. Z taką prędkością odbywa się przejazd przez dwie stacje węzłowe: Wittenberga oraz Ludwigslust (rys. 6). Długości odcinków o $V > 160$ km/h wynoszą odpowiednio:

- Berlin-Spandau – Wittenberga 108,4 km (od km 16,5 do km 124,9),
- Wittenberga – Ludwigslust 42,6 km (od km 126,5 do km 169,1),
- Ludwigslust – Hamburg-Bergedorf 97,0 km (od km 172,6 do km 269,6).



Rys. 6. Profil prędkości maksymalnej na linii Berlin-Spandau – Hamburg Hbf [opracowanie własne]

W efekcie braku znaczących ograniczeń prędkości, jazda pociągów ICE relacji Berlin – Hamburg jest bardzo płynna, a uzyskiwane prędkości handlowe przekraczają 180 km/h (odcinek Berlin-Spandau – Hamburg Hbf).

Drugim przypadkiem konwencjonalnej linii kolejowej, zmodernizowanej do prędkości 230 km/h jest linia Monachium – Augsburg. Jest to ta sama linia, na której w 1965 roku rozpoczęto jazdy pociągami przewożącymi pasażerów z prędkością 200 km/h. Modernizacja linii Monachium – Augsburg wiązała się z jej rozbudową do układu czterotorowego, z wydzieloną parą torów do szybkiego ruchu dalekobieżnego (bez peronów na stacjach pośrednich) oraz z parą torów dla ruchu regionalnego i towarowego [2].

Podobnym przykładem modernizacji linii do prędkości 230 km/h jest odcinek Norymberga – Bamberg – Ebensfeld o długości około 83 km. Odcinek ten, rozbudowywany do układu czterotorowego, jest elementem tworzonego ciągu komunikacyjnego Berlin – Monachium przez Lipsk / Halle – Erfurt – Norymbergę, składającego się z odcinków nowo budowanych linii dużych prędkości oraz linii modernizowanych. Choć uruchomienie połączeń ICE na całej trasie nastąpiło w grudniu 2017 roku, to zwiększenie prędkości powyżej 160 km/h na odcinku Norymberga – Ebensfeld będzie możliwe po uruchomieniu systemu bezpiecznej kontroli jazdy ETCS.

W celu zobrazowania skali wdrożenia zwiększonych prędkości maksymalnych na kolejach niemieckich, warto przytoczyć dane o sumarycznej długości odcinków linii dostosowanych do prędkości większej niż 160 km/h:

- 42 km we wrześniu 1977 roku,
- 157 km w maju 1979 roku,
- 256,3 km w maju 1981 roku,
- 923,5 km w maju 1991 roku (łącznie z odcinkami linii dużych prędkości).

W Niemczech, według stanu na wrzesień 2017 r., ogólna długość linii dużych prędkości i linii zmodernizowanych do prędkości 230 km/h wynosiła 1475 km, przy czym wartość ta nie obejmuje linii zmodernizowanych do prędkości 200 km/h [21]. Uwzględniając również odcinki linii zmodernizowanych do prędkości 200 km/h można oszacować długość sieci nowo zbudowanych linii dużych prędkości oraz linii zmodernizowanych do prędkości nie mniejszej niż 200 km/h na około 2800 km.

2.4. Koleje austriackie – wprowadzenie prędkości 200–230 km/h na przebudowanej linii Wiedeń – Salzburg

Mimo trudnych warunków topograficznych, infrastruktura kolejowa na terenie Austrii od wielu lat podlega systematycznej przebudowie i rozbudowie. Do najbardziej obciążonych ruchem linii kolejowych zawsze należała tzw. Kolej Zachodnia (*Westbahn*) Wiedeń – Salzburg przez Linz o długości około 312 km. Kolej, uruchomiona w 1860 roku była początkowo jednotorowa, jednak już w roku 1902 zakończono jej przebudowę na linię dwutorową. Elektryfikację linii przeprowadzono w latach 1938–1952. W czerwcu 1958 roku prędkość maksymalną na wybranych odcinkach linii zwiększono do 130 km/h. W 1969 roku najszybszy pociąg na trasie – ekspres *Transalpin* pokonywał trasę Wiedeń – Salzburg w czasie 2 godzin 57 minut przy jednym postoju w Linzu. Prędkość maksymalna wynosiła wtedy 140 km/h.

W pierwszej połowie lat osiemdziesiątych sformułowano plany modernizacji Kolei Zachodniej, zakładając potrzebę budowy nowych jej fragmentów na odcinkach o najmniej korzystnym układzie geometrycznym, to jest pomiędzy Wiedniem i Sankt Pölten oraz pomiędzy Attnang-Puchheim i Salzburgiem.

Z dniem 23 maja 1993 roku na fragmencie Kolei Zachodniej pomiędzy Linzem i Wels, wprowadzono prędkość maksymalną 200 km/h [20]. Był to pierwszy odcinek na terenie Austrii, na którym dopuszczono taką prędkość (rys. 7). Był on wyposażony w system bezpiecznej kontroli jazdy pociągu LZB. System ten jest analogiczny z systemem LZB stosowanym na

kolejach niemieckich (DB). Długość odcinka jazdy z prędkością 200 km/h wynosi 17,4 km (od km 194,4 do km 211,8). W tamtym okresie koleje austriackie nie dysponowały jeszcze własnymi pojazdami trakcyjnymi o takiej prędkości maksymalnej. Z tego względu, od wejścia w życie letniego rozkładu jazdy na 1993 rok, z prędkością 200 km/h kursowały planowo tylko trzy pary pociągów międzynarodowych EC, prowadzone lokomotywami elektrycznymi serii 103 należącymi do DB [20]. W następnym roku na sieci kolei austriackich przybył kolejny odcinek wyposażony w urządzenia LZB i dostosowany do prędkości 200 km/h (od Wels do Lambach).



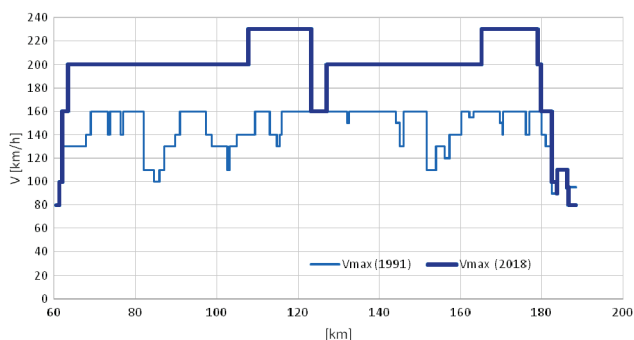
Rys. 7. Stacja Marchtrenk na odcinku Linz – Wels zmodernizowanym w 1993 roku do prędkości 200 km/h [fot. A. Massel]

W następnych latach Kolej Zachodnia była stopniowo rozbudowywana do układu czterotorowego i na odcinku od Wiednia do Linzu stanowi ona dwie wydzielone linie: dla szybkiego ruchu dalekobieżnego oraz dla ruchu towarowego i pasażerskiego ruchu regionalnego (rys. 8). Na odcinku Wiedeń – St. Pölten (60 km), przebiegającym przez górzyście obszar Lasu Wiedeńskiego, powstała linia dużych prędkości uruchomiona w grudniu 2012 roku, natomiast na odcinku Sankt Pölten – Linz wzdłuż linii istniejącej powstała nowa para torów. Należy jednak zwrócić uwagę, że na wielu fragmentach przebiegi tras obu linii różnią się istotnie. Linia dla szybkich pociągów pasażerskich omija niektóre miejscowości (w tym Melk, Haag, Enns), które są obsługiwane parą torów przeznaczonych dla pociągów wolniejszych. W efekcie budowy nowej linii i modernizacji pozostałej części trasy, na odcinku Wiedeń – Linz, możliwy jest ruch pociągów z prędkością maksymalną 200–230 km/h. Odcinki o mniejszej prędkości występują tylko w pobliżu dużych węzłów (Wiedeń, St. Pölten, Linz). Ponadto, przejazd przez stację Amstetten odbywa się z prędkością 160 km/h. Skalę zmian, jakie zaszły na przebudowanym odcinku Sankt Pölten – Linz moż-

na zobrazować przez porównanie wykresu prędkości najszybszych pociągów według rozkładów jazdy na lata 1991/1992 oraz 2017/2018 (rys. 9). Linia Wiedeń – Salzburg jest obecnie częścią jednego z korytarzy sieci bazowej TEN-T o nazwie Ren-Dunaj, przebiegającego od Strasburga przez Monachium, Salzburg, Wiedeń, Bratysławę, Budapeszt do portu w Konstancji nad Morzem Czarnym [19].



Rys. 8. Kolej Zachodnia rozbudowana do układu czterotorowego; linia do ruchu dalekobieżnego ($V = 200$ km/h) – po lewej, linia do pasażerskiego ruchu regionalnego i ruchu towarowego – po prawej [fot. A. Massel]



Rys. 9. Profil prędkości maksymalnej na linii Wiedeń – Salzburg – odcinek Sankt Pölten – Linz Hbf [opracowanie własne]

Według stanu na grudzień 2017 roku, na terenie Austrii eksploatuje się około 235 km odcinków linii (nowo budowanych i modernizowanych), na których prędkość maksymalna wynosi nie mniej niż 200 km/h. Ta nowa i zmodernizowana infrastruktura jest wykorzystywana przez pojazdy o prędkości maksymalnej 230 km/h – pociągi *Railjet* oraz niemieckie elektryczne zespoły trakcyjne serii 411 (ICE-T).

2.5. Koleje rosyjskie – zwiększenie prędkości pociągów na linii Sankt Petersburg – Moskwa

Linie kolejową Sankt Petersburg – Moskwa o długości 650 km oddano do eksploatacji w 1851 roku. Cechą charakterystyczną magistrali jest jej dogodny układ geometryczny, tylko 7,5% długości linii znajduje się w krzy-

wych (47,6 km). Najmniejszy promień łuku na szlakach wynosi 1600 m, na stacjach – 1065 m, pochylenie miarodajne zaś – 6‰. Pociągi pasażerskie na tej linii tradycyjnie kursowały z prędkościami znacznie większymi niż na pozostałych liniach w Rosji. W czerwcu 1963 roku, wkrótce po zakończeniu elektryfikacji linii, uruchomiono dzienny pociąg ekspresowy *Aurora*, którego czas przejazdu wynosił 5 godzin 27 minut. W 1965 roku czas ten skrócono do 4 godzin 59 minut, co dawało prędkość handlową przekraczającą 130 km/h (przy maksymalnej 160 km/h). Poczynając od lat siedemdziesiątych XX wieku, linia stała się poligonem doświadczalnym dla ruchu z dużymi prędkościami.

W pierwszej połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku zbudowano w Fabryce Wagonów w Rydze pierwszy w ZSRR elektryczny zespół trakcyjny, przystosowany do dużych prędkości, oznaczony serią ER200 [6]. Od 1 marca 1984 roku pociąg ten został wprowadzony do regularnej eksploatacji na linii Sankt Petersburg – Moskwa, jednak tygodniowo kursowała tylko jedna para pociągów, a prędkość maksymalna 200 km/h była osiągana na bardzo niewielkiej części trasy (około 10% jej długości).

Projekt kompleksowej rekonstrukcji i kapitalnego remontu magistrali Sankt Petersburg – Moskwa w celu dostosowania jej do dużych prędkości jazdy, opracowano w Instytucie Giprottransput. Konieczne było przeprowadzenie licznych prac badawczych, a następnie wdrożenie ich wyników. Zakres tych prac obejmował między innymi [18]:

- udoskonalenie konstrukcji toru bezстыkowego (w szczególności na mostach),
- projektowanie rozjazdów z ruchomymi dziobami krzyżownic na podrojazdnicach betonowych,
- określenie kształtu pryzmy podsypki oraz konstrukcji górnej warstwy podtorza,
- opracowanie konstrukcji stref przejściowych przy połączeniu mostów z przyległymi nasypami,
- opracowanie rozwiązań odwodnienia podtorza,
- opracowanie sposobów zapewnienia stateczności wysokich nasypów,
- opracowanie nowoczesnych technologii wykonywania robót przy rekonstrukcji podtorza, obiektów inżynierskich i kapitalnego remontu (naprawy głównej) toru.

Wymagania dotyczące materiałów określono następująco:

- szyny I klasy o zaokrąglonych wymaganiach w zakresie prostoliniowości powierzchni tocznej,
- podkłady betonowe z betonu o zwiększonej mrozoodporności,
- materiały podsypkowe (tłuczeń) o podwyższonej trwałości i czystości,
- przewody jezdne o przekroju 120–150 mm² ze stopów z dodatkiem kadmu i srebra.

W celu zwiększenia wytrzymałości nawierzchni, na całej długości linii zastosowano tor bezstykowy z szynami obrabianymi cieplnie. W torach głównych zasadniczych zabudowano rozjazdy z ruchomymi dziobami krzyżownic. Podczas wymiany ciągłej nawierzchni oczyszczono podsypkę (w razie konieczności z całkowitą jej wymianą) na głębokość nie mniejszą niż 0,40 m z wbudowaniem warstwy mieszanek żwirowo-piaskowej oraz geowłókniny. W celu efektywnego wykorzystania sprzętu i zapewnienia wysokiej jakości robót, przewidziano 4-godzinne zamknięcia jednego z torów głównych.

W procesie modernizacji dążono do maksymalnego ograniczenia przebudowy układu geometrycznego linii w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Zakres jego niezbędnych korekt na odcinkach dostosowywanych do prędkości 200 km/h obejmował:

- zwiększenie do 2000 m promienia łuków poziomych,
- likwidację łuków kosзовych,
- zwiększenie do 5300 mm odległości między osiami toru głównego zasadniczego i głównego dodatkowego na stacjach,
- przebudowę łuków z krótkimi krzywymi przejściowymi (i rampami przechyłkowymi),
- zwiększenie do 300 m minimalnej długości odcinków o stałym pochyleniu,
- zmniejszenie do 2‰ algebraicznej różnicy sąsiednich pochyłeń,
- zwiększenie do 20 000 m promieni łuków wyokrąglających załomy profilu.

W zakresie sterowania ruchem, istotną innowacją było wdrożenie systemu sygnalizacji kabinowej KLUB, które nastąpiło w połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. KLUB jest mikroprocesorowym systemem pokładowym, współpracującym z istniejącymi urządzeniami przytorowymi typu ALSN oraz ALS-EN.

W 1997 roku została opracowana koncepcja nowego systemu bezpiecznej kontroli jazdy pociągu o nazwie KURS-B (skrót nazwy od „Kompleksowy zintegrowany system kontroli i bezpieczeństwa pociągu”). Prace nad nim rozpoczęły się w 1998 roku. System ma trzy elementy składowe [23]:

- system sygnalizacji kabinowej KLUB-U,
- system automatycznego sterowania hamowaniem SAUT,
- system kontroli czujności maszynisty TS-KBM.

Poszczególne moduły systemu działają niezależnie. Przyjęta architektura systemu jest otwarta i umożliwia dołączenie w przyszłości kolejnych modułów. Certyfikację systemu sygnalizacji kabinowej KLUB-U zakończono w 1999 roku, w następnych latach system rozszerzono, o nowe funkcje, takie jak integracja mapy cyfrowej oraz użycie satelitarnego systemu lokalizacji GLONASS.

Modernizacją linii Sankt Petersburg – Moskwa nie objęto niestety wszystkich przejazdów kolejowo-drogowych. Poza standardowym zabezpieczeniem w postaci rogatek oraz sygnalizacji świetlnej, te przejazdy wyposażono w specjalne płyty unoszące się ponad nawierzchnię drogi i uniemożliwiające ruch pojazdów. Na stacjach i przystankach pozostały liczne przejścia dla podróżnych w poziomie szyn prowadzące na perony. Wskutek tego, częste są przypadki najeżdżania szybkich pociągów na pieszych.

Od 17 grudnia 2009 roku na linii Sankt Petersburg – Moskwa kursują pociągi dużych prędkości *Velaro* RUS dostarczone przez firmę Siemens i eksploatowane pod nazwą handlową *Sapsan* (Sokół wędrowny). Należy zwrócić uwagę na profil prędkości linii sprzyjający płynnej jeździe pociągów, w efekcie – uzyskiwaniu przez nie bardzo dużych wartości prędkości handlowych. Według danych z października 2011 roku w torze w kierunku nieparzystym (do Moskwy):

- prędkość maksymalna 200 km/h obowiązywała na długości około 472 km,
- prędkość 220 lub 230 km/h na długości około 100 km.

Łączna długość odcinków o prędkości nie mniejszej niż 200 km/h wynosiła więc 572 km, co stanowiło aż 88% długości całej linii. Najdłuższy odcinek nieprzerwanej jazdy z prędkością 200 km/h lub większą znajduje się między stacjami Mała Wiszera i Bołogoje, a jego długość wynosi około 156 km. Najmniejsze prędkości maksymalne są na dużych stacjach pośrednich: Kolpino (80 km/h), Lubań (140 km/h), Mała Wiszera (140 km/h), Bołogoje (100–120 km/h), Twer (100–130 km/h), Klin (120 km/h), Kriukowo (90 km/h – jazda po rozjazdach w kierunku zwrotnym).

W latach 2011–2012, czas przejazdu najszybszego pociągu (bez postojów na stacjach pośrednich) wynosił 3 godziny 50 minut (prędkość handlowa 169,4 km/h), a od października 2013 roku został skrócony do 3 godzin 40 minut (prędkość handlowa 177,1 km/h). W rozkładzie jazdy na 2017 rok, najkrótszy czas podróży między Moskwą i Petersburgiem wynosił już 3 godziny 35 minut, dzięki czemu prędkość handlowa wzrosła do 181,4 km/h.

2.6. Koleje chińskie – kampanie zwiększania prędkości

Koleje w Chinach znane są obecnie przede wszystkim z bardzo szybko rozwijającej się sieci kolei dużych prędkości. Należy jednak pamiętać, że pierwszym krokiem unowocześniania chińskich kolei była modernizacja linii konwencjonalnych prowadzona w latach 1997–2007 podczas tak zwanych kampanii zwiększania prędkości. Kampanie takie zostały zainicjowane przez Ministerstwo Kolei, aby przeciwdziałać utracie przez kolej udziału w rynku przewozowym na

rzecz transportu lotniczego i drogowego. Modernizacja obejmowała następujące działania [13]:

- budowę drugich torów na odcinkach jednotorowych,
- elektryfikację,
- łagodzenie niwelety linii,
- łagodzenie promieni łuków,
- budowę toru bezстыkowego.

O ile podczas pierwszych czterech kampanii, przeprowadzonych w latach 1997–2001, uzyskano zwiększenie prędkości ze 120 km/h do 140 km/h i 160 km/h na liniach o łącznej długości 13 838 km linii, podczas piątej (2004) i szóstej (2007) kampanii na modernizowanych liniach była wprowadzana prędkość 200 km/h. Zakończenie w kwietniu 2007 r. szóstego programu zwiększania prędkości umożliwiło wprowadzenie prędkości 250 km/h na liniach o długości 846 km oraz prędkości 200 km/h na liniach o łącznej długości ponad 6 tysięcy kilometrów [11]. W roku 2007 prędkość wynosząca minimum 200 km/h obowiązywała na następujących liniach:

- linii do ruchu pasażerskiego Qinhuangdao – Shenyang (*Qinshen*),
- linii Qingdao – Jinan (*Jiaoji*),
- większej części linii Shanghai – Kunming (*Zhegan*),
- części linii Guangzhou (Kanton) – Shenzhen (*Guangshen*),
- części linii Pekin – Szanghaj (*Jinghu*),
- części linii Pekin – Guangzhou (*Jingguang*),
- części linii, od Zhengzhou do Xuzhou (*Longhai*).

Wymienione linie charakteryzują się ruchem mieszanym. Kursują po nich pociągi pasażerskie obsługiwane elektrycznymi zespołami trakcyjnymi o prędkości 200–250 km/h, pociągi towarowe o masie 5000–6000 ton oraz pociągi przewożące kontenery w dwóch warstwach przy nacisku osi 25 ton [13].



Rys. 10. Wygrodzenie torów oraz rozjazd z ruchomym dziobem na zmodernizowanym odcinku linii w Chinach [fot. A. Massel]

W celu umożliwienia prowadzenia ruchu mieszanego pociągów pasażerskich i towarowych, koleje

chińskie musiały rozwiązać wiele problemów technicznych i organizacyjnych. Działania dotyczyły następujących ośmiu aspektów [11]:

- 1) analiza techniczna i ekonomiczna,
- 2) badania naukowe i innowacje technologiczne,
- 3) tworzenie i rozwój systemów technicznych,
- 4) opracowanie standardów technicznych oraz przepisów,
- 5) praktyczna weryfikacja wyników badań,
- 6) właściwa modernizacja infrastruktury,
- 7) modernizacja parku taborowego,
- 8) jazdy (testy) weryfikacyjne.

Zakres prac modernizacyjnych zrealizowanych w celu dostosowania linii kolejowych do prędkości 200 km/h obejmował tory wraz z podtorzem, zasilanie sieci trakcyjnej, systemy sterowania i łączności. Przejazdy kolejowo-drogowe były zastępowane skrzyżowaniami wielopoziomowymi, a linie kolejowe były wygradzane (rys. 10). Przy wymianie nawierzchni na liniach modernizowanych zastosowano podkłady typu III oraz rozjazdy dostosowane do dużych prędkości jazdy. Zmiany w układzie geometrycznym torów wiązały się z ich przesunięciami i w szczególności obejmowały łagodzenie (zwiększenie promieni) łuków poziomych oraz zwiększenie odległości pomiędzy osiami torów [11].

3. Porównanie doświadczeń zagranicznych

Z opisu modernizacji linii kolejowych przeprowadzonych za granicą wynika, że różne zarządy kolejowe dążyły do zwiększenia prędkości pociągów pasażerskich na eksploatowanych liniach kolejowych. Porównanie charakterystycznych odcinków zmodernizowanych do prędkości 200 km/h lub większej na kolejach francuskich, niemieckich, austriackich i rosyjskich zawarto w tablicy 3. Przedstawiono w niej następujące charakterystyki:

- całkowitą długość odcinka linii L [km],
- średnią ważoną prędkość maksymalną (obliczoną jako średnia harmoniczną) V_{0max} [km/h],
- sumaryczną długość odcinków o $V \geq 200$ km/h L_{200} [km],
- udziału odcinków o $V \geq 200$ km/h L_{200}/L [%],
- liczby odcinków o stałej prędkości m ,
- średniej długości odcinka o stałej prędkości L_{sr} [km],

Należy podkreślić, że dane te dotyczą całych odcinków linii pomiędzy stacjami końcowymi. W ich całkowitych długościach (L) mieszczą się również odcinki przylegające do dużych stacji węzłowych, przy czym prędkość maksymalna na takich odcinkach zmienia się stopniowo, co dobrze ilustrują zamieszczone w artykule wykresy (rys. 2, 3, 4, 6, 9). Na przykład, na początkowym fragmencie odcinka Kolei

Tablica 3

Porównanie linii zmodernizowanych do prędkości 200 km/h lub większej

Odcinek	L [km]	V_{0max} [km/h]	$L(V=200)$ [km]	L_{200}/L [%]	m	L_{sr} [km]
Paryż Austerlitz – Vierzon Ville	201,1	173,9	128,3	63,8	11	18,3
Hanower – Hamburg Harburg	166,6	188,4	153,4	92,1	14	11,9
Fürth – Würzburg	94,6	145,7	25,0	26,4	26	3,6
Berlin Spandau – Hamburg	276,3	210,0	243,7	88,2	31	8,9
Erfurt – Eisenach	56,9	178,4	38,0	66,8	8	7,1
Sankt Pölten – Linz	122,9	191,0	107,8	87,7	16	7,7
Sankt Petersburg – Moskwa	649,3	190,3	572,0	88,1	60	10,8

[Obliczenia własne na podstawie danych zarządków infrastruktury].

Zachodniej pomiędzy Sankt Pölten i Linzem (rys. 9) prędkość maksymalna wynosi:

- 80 km/h od km 60,6 do km 61,2 – na długości 0,6 km,
- 100 km/h od km 61,2 do km 62,0 – na długości 0,8 km,
- 160 km/h od km 62,0 do km 63,4 – na długości 1,4 km.

Następnie od km 63,4 aż do km 123,3, a więc prawie na 60 km, prędkość maksymalna wynosi 200 lub 230 km/h. Przykład ten dobrze ilustruje fakt, że teoretycznie duża liczba zmian prędkości nie musi oznaczać zmniejszenia funkcjonalności linii, bowiem zmiany prędkości odbywają się z reguły w pobliżu dużych stacji, na których wszystkie lub prawie wszystkie pociągi pasażerskie mają planowe postoje handlowe.

Warto też zwrócić uwagę na znaczne zróżnicowanie charakterystyk odcinków na kolejach niemieckich. Procesy modernizacji w przypadku Niemiec zaczęły się dość wcześnie – już w połowie lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Modernizacji do prędkości 200 km/h podlegały początkowo linie o najlepszej charakterystyce geometrycznej, jednak w następnych dekadach podejmowano próby skrócenia czasu jazdy również na odcinkach o mniej dogodnym układzie

geometrycznym, o czym świadczy przykład linii Norimberga – Fürth – Würzburg.

Przytoczone przykłady wskazują, że przy dużym zakresie przebudowy linii (przypadek odcinka Sankt Pölten – Linz) oraz w korzystnych warunkach terenowych (przypadek linii Berlin – Hamburg, Hannover – Hamburg oraz Sankt Petersburg – Moskwa) udział odcinków jazdy z prędkością 200 km/h lub większą, może wynosić nawet około 90%. Praktycznie w każdym przypadku występują lokalne zróżnicowania prędkości maksymalnej, jednak w dużej części dotyczą one odcinków w pobliżu dużych węzłów kolejowych, na których wszystkie pociągi pasażerskie mają rozkładowe postoje (Hamburg, Sankt Pölten, Linz). Średnia długość odcinka o stałej prędkości waha się od 3,6 km (Fürth – Würzburg) do 11,9 km (Hanower – Hamburg Harburg).

Zwiększenie prędkości pociągów do 200 km/h zawsze wymagało zmian układu geometrycznego na poszczególnych odcinkach (patrz tablica 4). Zmiany te mogły być stosunkowo ograniczone w przypadku linii na terenach nizinnych, przy budowie których przyjmowano duże promienie łuków. Klasycznym

Tablica 4

Porównanie cech zmodernizowanych linii kolejowych

Wyróżnik (cecha)	Francja	Niemcy (V = 200)	Niemcy (V = 230)	Austria	Rosja	Chiny
Modernizacja układu geometrycznego	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Likwidacja przejazdów w poziomie szyn	TAK	TAK ¹⁾	TAK	TAK	NIE	TAK
Rozjazdy z ruchomym dziobem	NIE	NIE	TAK	NIE	TAK	TAK
Perony przy torach głównych zasadniczych	TAK	TAK	TAK ²⁾	TAK	TAK	b/d
System bezpiecznej kontroli jazdy	TAK	LZB	LZB ETCS	LZB ETCS	KLUB-U	CTCS
Tabor dużych prędkości	TGV	ICE	ICE	Railjet	EVS1 EVS2	CRH1 CRH2 CRH5A
Ruch pociągów konwencjonalnych	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Ruch pociągów towarowych	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK

[Opracowanie własne]

¹⁾ Do 1992 roku przejazdy w poziomie szyn przy prędkości 200 km/h były warunkowo dopuszczalne.

²⁾ Lokalizacja peronów przy torach o prędkości maksymalnej 230 km/h pod warunkiem dodatkowych zabezpieczeń.

przykładem są tu linie Berlin – Hamburg oraz Sankt Petersburg – Moskwa. Całkowicie odmienna sytuacja zachodziła przy przebudowie i rozbudowie Kolei Zachodniej (*Westbahn*) w Austrii, która wiązała się ze zmianą przebiegu trasy na długich odcinkach i z koniecznością budowy tuneli.

W większości krajów, w których linie konwencjonalne są modernizowane do prędkości rzędu 200 km/h obowiązuje zasada, że wszystkie skrzyżowania z drogami kołowymi muszą być wielopoziomowe. Odstępstwa od tej zasady były dopuszczalne w Niemczech do 1992 roku. Również w Rosji, na linii Sankt Petersburg – Moskwa, funkcjonują przejazdy w poziomie szyn.

Z analizowanych przykładów wynika, że nie ma jednolitego poglądu nt. konieczności stosowania przy prędkości 200 km/h rozjazdów z ruchomymi dziobami krzyżownic. W Niemczech na liniach o prędkości 200 km/h zasadniczo są zabudowywane rozjazdy z dziobami stałymi. Podobną praktykę można zaobserwować w Austrii. Jednakże na odcinkach, na których prędkość pociągów wynosi 230 km/h są w tych krajach stosowane rozjazdy z dziobami ruchomymi.

Przedstawione przykłady wskazują, że wprowadzenie prędkości 200 km/h na liniach konwencjonalnych w każdym przypadku wiązało się z zabudową urządzeń systemu bezpiecznej kontroli jazdy pociągu – w Niemczech i w Austrii LZB lub ETCS, w Rosji zaś – systemu KLUB-U. W Chinach rozwinięto system CTCS (*Chinese Train Control System*). W przypadku linii o prędkości powyżej 160 km/h jest to system CTCS poziomu 2 [17].

W każdym z analizowanych krajów na zmodernizowanych do prędkości 200 km/h odcinkach linii konwencjonalnych jest eksploatowany tabor dużych prędkości. W Niemczech są to pociągi ICE różnych generacji (ICE1, ICE2, ICE3, ICE-T), w Austrii – składy zespólone typu *push-pull* (*Railjet*) z lokomotywą *EuroSprinter* serii 1116. Na linii Sankt Petersburg – Moskwa, koleje rosyjskie wykorzystują elektryczne zespoły trakcyjne dużych prędkości serii EVS1 i EVS2 należące do rodziny *Velaro*. W Chinach, wraz z realizacją 6 kampanii zwiększenia prędkości, do eksploatacji wprowadzono elektryczne zespoły trakcyjne dużych prędkości kilku typów, w tym serii CRH5A. Należy jednak podkreślić, że na każdej z omawianych linii kursują także konwencjonalne pociągi pasażerskie oraz pociągi towarowe.

4. Wnioski

Wzrost prędkości pociągów jest jednym z zasadniczych praktycznych efektów postępu technicznego w transporcie kolejowym. Warto zwrócić uwagę na to, że zwiększenie prędkości na liniach istniejących, eksploatowanych niekiedy od 150 a nawet od 175 lat, jest du-

żym wyzwaniem. Jest ono jednak konieczne do tego, aby transport kolejowy mógł nadal odgrywać istotną rolę w przewozach pasażerskich na duże i średnie odległości.

W artykule przeanalizowano doświadczenia kilku krajów, w których w ciągu ostatnich 50 lat udało się zrealizować duże inwestycje związane z modernizacją istniejących linii kolejowych do prędkości 200 km/h lub większej. Istotne jest, że doświadczenia zebrane w toku modernizacji (a także później – podczas eksploatacji) umożliwiły w tych krajach budowę nowych linii kolejowych, przeznaczonych do dużych prędkości jazdy. Tak stało się zarówno we Francji, jak i w Niemczech. W obu tych krajach, kilkanaście lat po wprowadzeniu ruchu pociągów z prędkością 200 km/h, oddano do eksploatacji pierwsze odcinki nowych linii dużych prędkości. Jeszcze szybciej przebiega rozwój szybkich kolei w Chinach. W roku 2004 i 2007 zwiększono prędkości maksymalne na tysiącach kilometrów linii konwencjonalnych, a już po 10 latach, we wrześniu 2017 roku, Chiny dysponowały siecią linii dużych prędkości o łącznej długości 26 783 km. Można więc postawić tezę, że modernizacja linii do prędkości rzędu 200 km/h jest naturalnym etapem w rozwoju systemów kolei dużych prędkości.

Eksploatacja zmodernizowanych linii kolejowych wymaga od przewoźników dysponowania pojazdami szynowymi dostosowanymi do takiej prędkości. Często, w pierwszych latach po modernizacji linii, jedynie nieliczne pociągi mogły w pełni wykorzystywać ich parametry. Znane są też przypadki odwrotne, kiedy wprowadzenie nowych typów pojazdów było impulsem do szybkiego podejmowania działań w zakresie infrastruktury (tak się stało w Wielkiej Brytanii, po wprowadzeniu do eksploatacji pociągów HST w drugiej połowie lat siedemdziesiątych XX wieku).

Praktycznie, ze wszystkich przedstawionych osiągnięć kolei charakteryzujących się bardzo zróżnicowanymi warunkami eksploatacyjnymi wynika znaczenie badań naukowych w przystosowywaniu kolei do prędkości 200 km/h i większych.

Literatura

1. Augustowski T., Gołaszewski A.: *Czterdzieści lat Centralnej Magistrali Kolejowej*, Problemy Kolejnictwa 2015, z.167, s. 7–23.
2. Ausbaustrecke Augsburg – München, Bauen bei der Deutschen Bahn. DB ProjektBau GmbH. Eu-railpress 2011.
3. Ausbaustrecke Erfurt – Eisenach, Streckenausbau und Ausrüstung für 200 Kilometer pro Stunde. Materiał informacyjny DB Netze, 2016.
4. Birrmann F.: *Gleisbeanspruchung und Fahrzeuglauf bei Schnellfahrten*, Eisenbahntechnische Rundschau 1965, nr 8, s. 335–351.

5. Bosch O.: *Kreuzungen zwischen Schiene und Strasse auf Schnellfahrstrecken*, Die Bundesbahn 1969, nr 3/4, s. 134–140.
6. Bziuk J. (opr.): *Elektrycznym zespołem trakcyjnym ER200 z Moskwy do Leningradu z prędkością 200 km/godz.*, Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny, 1974, nr 8.
7. Deutsche Bundesbahn, Bundesbahndirektion Augsburg: Buchfahrplan. Heft 2A (Służbowy rozkład jazdy ważny od 30 maja 1965 do odwołania dla wszystkich pociągów pasażerskich na odcinku München–Augsburg–Treuchtlingen).
8. Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO). BGBl. 1967, s. 1563 z późn. zm.
9. Europas schnellster Zug – die Sensation der IVA. Die Bundesbahn 1965, nr 15, s. 534–536.
10. Fakiner F.: *Das Leitprogramm der DB für höhere Geschwindigkeiten auf Hauptbahnen*, Die Bundesbahn 1969, nr 12, s. 559–568.
11. Huawei H.: *Successful speed-up campaign and innovative PDL technologies*, China Railways 2007, nr 29, s. 3–9.
12. Massel A.: *Dostosowanie Centralnej Magistrali Kolejowej do dużych prędkości jazdy*, Technika Transportu Szynowego 2015, nr 4, s. 45–50.
13. Massel A.: *Koleje dużych prędkości na tle rozwoju sieci kolejowej w Chinach*, Problemy Kolejnictwa 2010, z. 151, s. 71–100.
14. Massel A.: *Uwarunkowania wprowadzenia prędkości 200 km/h na wybranych liniach kolejowych w Polsce*, Kolej w Polsce dzisiaj i za 5 lat, Konferencja SITK Kraków, 5–6 czerwca 2009.
15. Mathieu G.: *Généraliser les 200 km/h sur les grandes lignes classiques. Réalisme ou utopie?* Rapport réalisé pour „Qualite Mobilité”, GM-Consultant, 22 marca 2016.
16. Neuer Schnellfahrabschnitt. Eisenbahntechnische Rundschau, 1981, nr 4, s. 270.
17. Ning B., Tang T., Qiu K., Gao C., Wang Q.: *CTCS – Chinese Train Control System*, Computers in Railways IX. WIT Press 2004, s. 393–399.
18. Prokudin I.W., Graczew I.A., Kołos A.F.: *Organizacja pierieustrojstwa żelaznych dorog pod skorostnoje dwiżenie pojezdow*, Marszrut, Moskwa 2005.
19. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1315/2013 z dnia 11 grudnia 2013 roku w sprawie unijnych wytycznych dotyczących rozwoju transeuropejskiej sieci transportowej i uchylające decyzję nr 661/2010/UE. Dz.U. L 348 z 20.12.2013.
20. V_{max} 200 km/h bei den ÖBB. Eisenbahn 1993, nr 1, s. 4.
21. UIC. High speed lines in the World (Summary), 1 listopada 2017.
22. Vuillet G.: *Comparative speeds*, The Railway Gazette, 1 września 1967, s. 648.
23. <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2004-11a24>.

Adaptation of Conventional Railway Lines to the Speed of 200 km/h or More

Summary

The article contains presentation and comparison of experience related to the implementation of the maximum speed of 200 km/h or more on existing, conventional railway lines in France, Germany, Austria, Russia and China. The average and cumulative length of sections upgraded for 200 km/ (or more) and their share in the total length of the line have been investigated. Moreover, the features of modernized railway lines have been analysed, including changes in track geometry, elimination of level crossings, installation of turnouts with swing noses, installation of modern train control systems.

Keywords: modernisation, railway line, train speed, track geometry, turnouts, level crossings, train control, rolling stock

Приспособление обычных железнодорожных линий в избранных железнодорожных управлениях до скорости движения равной или выше 200 км/ч

Резюме

В статье представлен и сравнен опыт по внедрении максимальной скорости 200 км/ч и выше на существующих железных дорогах во Франции, Германии, Австрии, России и Китае. Исследовались средняя и суммарная длина участков модернизированных железнодорожных линий до скорости 200 км/ч (или выше) и их участие в общей длине линий. Рассмотрены также такие свойства модернизированных линий как изменения геометрической структуры пути, ликвидация переездов на уровне рельсов, оборудование пересечений в мобильные острия сердечника крестовины и установку системы безопасного контроля движения поезда.

Ключевые слова: модернизация, железнодорожная линия, скорость поездов, геометрическая структура пути, пересечения, переезды, управление движением, подвижной состав