

Andrzej Massel

Projektowanie profilu prędkości na modernizowanych liniach kolejowych

Parametry geometryczne istniejących linii kolejowych są bardzo zróżnicowane. Różnice te wynikają z konfiguracji terenu, ale też z faktu, że linie powstawały w różnych okresach historycznych, różne też było ich przeznaczenie. Dostosowanie linii do współczesnych wymagań jest o tyle trudne, że wzdłuż linii kolejowych rozwinęła się zabudowa mieszkaniowa oraz przemysł (kolej zawsze pełniła funkcje miastotwórcze). Oznacza to, że nie na całej długości linii jest możliwe uzyskanie zakładanej prędkości. Przyczynami są parametry geometryczne istniejących łuków (promień, długości krzywych przejściowych), a także zagospodarowanie terenu, ograniczające możliwość przesunięć poprzecznych osi torów niezbędnych do zwiększenia promieni łuków, a wymagających wyjścia poza istniejący pas kolejowy.

Rozwiązanie typowego problemu decyzyjnego występującego w procesie analizy możliwego zakresu modernizacji można sprowadzić do udzielenia odpowiedzi na następujące pytanie: czy warto podejmować modernizację konkretnego łuku czy zespołu łuków? Jeżeli odpowiedź jest twierdząca, pojawia się kolejne pytanie: do jakiej prędkości powinny być przebudowywane poszczególne łuki?

Uzyskanie poprawnej odpowiedzi na te pytania wymaga przeanalizowania układu geometrycznego linii jako całości przy ścisłym powiązaniu z analizą jej eksploatacji.

Praktyka modernizacji linii w Polsce

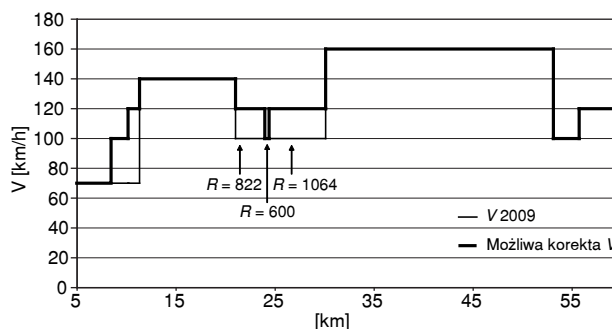
W dotychczasowej praktyce modernizacji linii można zauważyć skutki bardzo oszczędnego określania zakresu poszczególnych projektów, co skutkuje zróżnicowaniem przyjętego profilu prędkości. Często pozostawiane były bez przebudowy łuki o niedogodnej charakterystyce (promień, krzywe przejściowe). W efekcie na zmodernizowanych liniach pozostają ograniczenia prędkości niweczące efekty modernizacji. Charakterystyczne są tu przykłady [3] stacji:

- Sochaczew na linii E20, na której pozostawiono łuki oraz rozjazdy krzyżowe, ograniczające prędkość pociągów ze 160 do 100 km/h,
- Brzeg i Oława na odcinku Opole – Wrocław linii E30, na których pozostawiono ograniczenia prędkości do 100 km/h,
- Skierniewice, na której w ramach modernizacji wbudowano rozjazdy krzyżowe, ograniczające prędkość do 100 km/h oraz łuków na szlakach Skierniewice Park – Płyćwia oraz Płyćwia – Rogów na linii Warszawa – Łódź, na których wskutek zaniechania (bardzo niewielkich) przesunięć zmniejszono prędkość ze 140 km/h do 130 km/h.

Zauważalne jest także niewykorzystywanie możliwości stopniowego (schodkowego) zwiększania prędkości, a przez to skrócenia odcinka o najmniejszej prędkości. Na przykład na linii E20,

przy wyjeździe pociągów z Warszawy, prędkość 70 km/h obowiązuje aż do km 11,3, gdy tymczasem już za łukiem na posterunku Warszawa Włochy (od km 8,4) możliwe byłoby jej zwiększenie do 100 km/h, a na długości stacji Warszawa Gołębki – do 120 km/h (rys. 1).

Na odcinku Płochocin – Błonie, długości około 9 km, obowiązuje prędkość 100 km/h, podczas gdy nawet przy zachowaniu obecnego układu geometrycznego prędkość taka mogłaby obowiązywać tylko na długości około 0,5 km, to jest na łuku o promieniu 600 m w km 23,9–24,4. Na pozostałej części odcinka istnieje możliwość zwiększenia prędkości do 120 km/h (ze względu na układ geometryczny częściowo możliwa byłaby prędkość 140 km/h, jednak jej wprowadzenie wymagałoby dostosowania rozjazdów na stacji Błonie do tej prędkości).



Rys. 1. Profil prędkości na linii Warszawa – Kunowice na odcinku od Warszawy do Sochaczewa

Doświadczenia zagraniczne

W Niemczech, poczynając od drugiej połowy lat 70. XX w., linie magistralne przeznaczone do ruchu pociągów IC były stopniowo dostosowywane do prędkości 200 km/h. Pierwszą taką linią było połączenie Hanoweru z Hamburgiem. Wprowadzanie prędkości 200 km/h odbywało się etapami na odcinku:

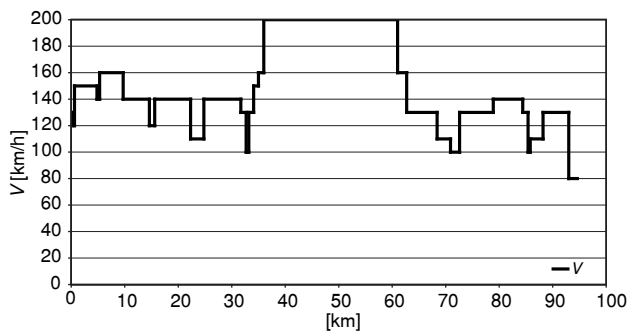
- Langenhagen – Uelzen (na długości 78,4 km) w latach 1978–1984,
- Bad Bevensen – Lüneburg (na długości 20,3 km) w 1983 r.,
- Lüneburg – Meckelfeld (na długości 32,5 km) w 1987 r.

W okresie późniejszym prędkość została także zwiększona między Uelzen a Bad Bevensen. Odcinki jazdy z prędkością 200 km/h są przedzielone odcinkami, na których prędkość jest zmniejszona do 150 km/h (stacja Celle), 130 km/h (stacja Uelzen) i 110–140 km/h (rejon stacji Lüneburg). Ponadto wyjazd ze stacji Hannover Hbf odbywa się z prędkością 40 km/h. W tych warunkach prędkość techniczna pociągów ICE na odcinku Hannover – Hamburg Harburg (odległość 166,6 km) wynosi 151,5 km/h przy pewnej rezerwie, uzasadnionej dużym obciążeniem linii ruchem, który ma przy tym mieszany charakter (kursowanie pociągów ICE, IC, regionalnych i towarowych).

W 1980 r. na długości 58 km prędkość na odcinku Hamm – Bielefeld została zwiększona do 200 km/h, stanowiącym fragment

głównego ciągu przewozowego między Zagłębiem Ruhry a Hanowerem. Należy podkreślić, że na wyjeździe z węzła w Hamm prędkość jest ograniczona do 80–110 km/h, a na węźle Bielefeld do 100 km/h. Obecnie pociągi ICE pokonują odcinek Hamm – Bielefeld (66,9 km) w 24 min, co daje bardzo korzystną prędkość techniczną wynoszącą 167,3 km/h.

Linia (Norymberga –) Fürth Hbf – Würzburg Hbf stanowi element głównego ciągu łączącego Frankfurt nad Menem do Norymbergi i dalej do Wiednia oraz do Monachium. Linią tą kursują z dużą częstotliwością pociągi ICE (do 3 par pociągów na godzinę).



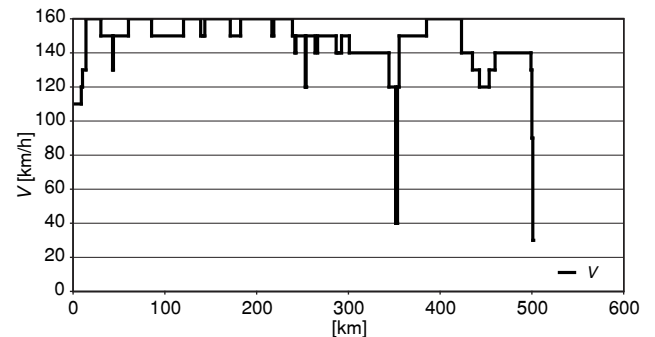
Rys. 2. Profil prędkości na linii Fürth Hbf – Würzburg Hbf

Na początku lat 90. zrealizowano modernizację tej linii z dostosowaniem jej środkowego fragmentu 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. Ogółem na długości 94,6 km znajduje się 26 miejsc zmiany prędkości. W rozkładzie jazdy na 2009 r. najkrótszy czas przejazdu całego odcinka Norymberga – Würzburg, długości 102 km, wynosi 54 min. Prędkość techniczna pociągów ICE na tym odcinku wynosi tylko 113 km/h, przy maksymalnej 200 km/h.

W Wielkiej Brytanii na wielu zmodernizowanych liniach kolejowych osiągnięta jest prędkość maksymalna 125 mil na godzinę (201 km/h). Dzięki dogodnej charakterystyce geometrycznej tych linii (łagodne łuki, niewielkie pochylenia podłużne) możliwe jest faktyczne wykorzystanie tej prędkości na znacznej części trasy przejazdu. Największe prędkości techniczne i handlowe są osiągnięte przez pociągi Intercity na Lini Wschodniego Wybrzeża (East Coast Main Line) łączącej dworzec Kings Cross w Londynie z Edynburgiem. Szczególną uwagę warto zwrócić na odcinek Londyn – York tej linii, którego długość wynosi 303,2 km. Odchylenia od maksymalnej prędkości są na tym odcinku bardzo niewielkie i nawet podczas przejazdu przez duże, węzłowe stacje prędkość nie spada poniżej 160 km/h. Obecnie najszybszy pociąg pokonuje odległość z Londynu do Yorku w 104 min, co daje prędkość techniczną 174,9 km/h.

We Francji proces zwiększania prędkości na liniach konwencjonalnych następował w latach 60. i 70. Jako przykład może posłużyć profil prędkości z linii Paryż – Strasburg przez Nancy. Linia powstała w latach 1849–1852 i została poprowadzona wzdłuż dolin rzek Marny, Omain, Mozy, Mozeli i Meurthe, a ponadto między stacjami Sarrebourg i Saverne przecina pasmo górskie Wogezów [7]. Na linii tej typowe prędkości wynoszą 150 oraz 160 km/h. Charakterystyczny jest fakt, że pomimo dość licznych

miejsc zmian prędkości, różnice prędkości nie są duże i zazwyczaj wynoszą tylko 10 km/h. Po wyjeździe z węzła paryskiego, prędkość pociągu na odcinku do Nancy (352,4 km) nie zmniejsza się nigdzie poniżej 120 km/h. W efekcie jazda pociągu tą trasą jest bardzo płynna, a przyspieszenia czy zwolnienia o 10 km/h, praktycznie nieodczuwalne.



Rys. 3. Profil prędkości na linii Paryż – Strasburg

Na przełomie lat 80. i 90. czas przejazdu odcinka Paryż – Nancy dla pociągu jadącego bez zatrzymania wynosił tylko 2 godz. 34 min, co dawało bardzo dobrą prędkość techniczną – 137,3 km/h. Całą trasę z Paryża do Strasburga luksusowe pociągi TEE Stanislas i Kleber pokonywały w 3 godz. 50 min z jednym postojem w Nancy. Linia Paryż – Strasburg straciła na znaczeniu po oddaniu do eksploatacji linii dużych prędkości LGV Est European w czerwcu 2007 r.

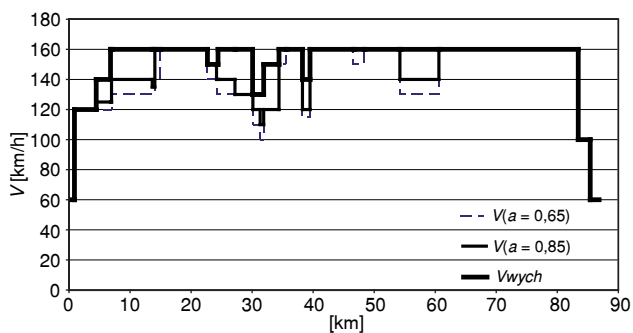
W Czechach tabele prędkości dla poszczególnych linii są określane w następującym układzie [6] – prędkość:

- zasadnicza dla pociągów konwencjonalnych przy niedoborze przechyłki 100 mm (przyspieszeniu niezrównoważonym 0,65 m/s²); niekiedy jest określana dodatkowa, mniejsza wartość dla lokomotyw o układzie osi Co'Co';
- dla pociągów konwencjonalnych, kursujących przy niedoborze przechyłki 130 mm (przyspieszeniu niezrównoważonym 0,85 m/s²);
- dla pociągów z wychylnym nadwoziem (maksymalna wartość niedoboru przechyłki wynosi 270 mm, co odpowiada przyspieszeniu 1,75 m/s²).

W praktyce tablice prędkości dla pociągów konwencjonalnych umieszczane są jedna nad drugą, a tablica umieszczona wyżej wskazuje większą wartość. Prędkości dla pociągów z wychylnym nadwoziem są sygnalizowane osobnymi (pionowymi) tablicami.

Przykładem praktyki modernizacji linii kolejowych w Czechach jest odcinek Ceska Trebova – Olomuniec stanowiący fragment głównego ciągu przewozowego łączącego Pragę z Ostrawą i granicą z Polską oraz ze Słowacją. Modernizacja tego odcinka zakończyła się w październiku 2008 r. Przebiega on w trudnym, górzystym terenie i zakres wykonanych prac był bardzo duży. Obejmował on przebudowę wielu łuków, a nawet przełożenie trasy w kilku lokalizacjach wraz z budową nowych tuneli. Długość odcinka, wynosząca pierwotnie 86,8 km, uległa skróceniu wskutek przebudowy łuków o około 1,8 km, obecnie wynosi więc około 85 km. Mimo znacznego zakresu inwestycji nie uzyskano jednolitej prędkości 160 km/h na całej długości odcinka. Dla pociągów kursujących przy niedoborze przechyłki 130 mm występuje aż 18 zmian prędkości. Pomijając odcinki przywęzłowe, najmniejsza prędkość jest osiągnięta na:

- zespole tukiów w rejonie stacji Hostejn (km 30,1–34,4) – 110–120 km/h;
- tuku przy stacji Zabreh na Morave (km 38,3–39,5) – 120 km/h.



Rys. 4. Profil prędkości na linii Ceska Trebowa – Otumuniec

W rozkładzie jazdy na 2009 r. czas przejazdu odcinka Ceska Trebowa – Otumuniec najszybszych pociągów IC, obsługiwanych taborom konwencjonalnym, wynosi 41 min, a pociągów SC Pendolino z wychylnym nadwoziem – 38 min. Prędkość techniczna wynosi odpowiednio 124,4 km/h oraz 134,2 km/h, przy maksymalnej 160 km/h.

Przedstawione przykłady linii kolejowych z kilku różnych krajów Europy wskazują, że prędkości pociągów są dostosowywane do lokalnych warunków. Bardzo ważna jest relacja między prędkością handlową i maksymalną, określona przez stosunek tych wielkości. Największe wartości tego stosunku dotyczą odcinków Paryż – Nancy oraz Londyn Kings Cross – York i wynoszą 0,86–0,87. Są one zgodne z wartościami podanymi w pracy [1]. Warto podkreślić, że najlepsze efekty w postaci dużych wartości prędkości technicznych i handlowych uzyskano na tych odcinkach, na których prędkości maksymalne są na długich odcinkach stałe lub tylko nieznacznie zróżnicowane. Stąd nie mogą dziwić sytuacje, kiedy korzystniejsze prędkości techniczne uzyskuje się przy prędkości maksymalnej 160 km/h, ale na całej długości odcinka niż przy 200 km/h tylko na jego fragmencie. Ważne jest, czy na odcinku występują miejsca wymagające poważnego ograniczenia prędkości (np. do 100 km/h). Eliminacja takich lokalnych ograniczeń jest zdecydowanie bardziej efektywna niż fragmentaryczne zwiększanie prędkości do 200 km/h.

Celowość zwiększania prędkości do 200 km/h

Znaczenie prędkości 200 km/h wynika z faktu, że jest ona niekiedy traktowana jak swego rodzaju „bariera dźwięku”, czyli prędkość graniczna dla technologii opartej na [5]:

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

Granice tę należy traktować jednak bardzo umownie, o czym świadczy fakt, że w Niemczech, na zbudowanej w latach 40. XIX w. linii Berlin – Hamburg, pociągi ICE-T osiągają prędkość 230 km/h. We Francji natomiast, na kilku odcinkach linii konwencjonalnych, pociągi TGV kursują z prędkością 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.

Z kolei w zakresie sterowania ruchem granica między systemem kolei konwencjonalnej a systemem kolei dużych prędkości

wypada w większości krajów już na poziomie 160 km/h. Dla prędkości większych niż 160 km/h wymaga się wyposażenia linii i pojazdów po nich kursujących w systemy bezpiecznej kontroli jazdy (tzw. sygnalizację kabinową). Ponadto przy takich prędkościach nie są dopuszczalne żadne skrzyżowania w poziomie szyn.

Prędkość 200 km/h ma też istotne znaczenie formalnoprawne, bowiem zgodnie z dyrektywą o interoperacyjności kolei kwalifikuje już daną linię i kursujący po niej tabor do transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości [2].

Przy wprowadzaniu prędkości 200 km/h na modernizowanych liniach w Polsce niezbędne wydaje się rozważenie warunków, jakie powinny zostać zachowane, aby osiągnąć zakładane efekty w eksploatacji, przede wszystkim by taka prędkość była rzeczywiście osiągnięta.

Czas przejazdu 1 km linii przy prędkości 160 km/h wynosi 22,5 s, a przy 200 km/h – 18 s. Oznacza to, że teoretyczna różnica w czasie przejazdu wynosi 4,5 s/km. Przy dłuższych odcinkach jazdy ze stałą prędkością są to różnice znaczące. Na przykład na odcinku 200 km skrócenie czasu jazdy przy zwiększeniu prędkości ze 160 km/h do 200 km/h wynosi 15 min.

Zasadność zwiększania prędkości na danym odcinku uzależniona jest od możliwości faktycznego wykorzystania możliwości jazdy z tą prędkością.

Analiza profilu prędkości na linii Warszawa – Gdańsk

W *Studium Wykonalności modernizacji linii Warszawa – Gdańsk* rozpatrywane były dwie opcje inwestycyjne [4]:

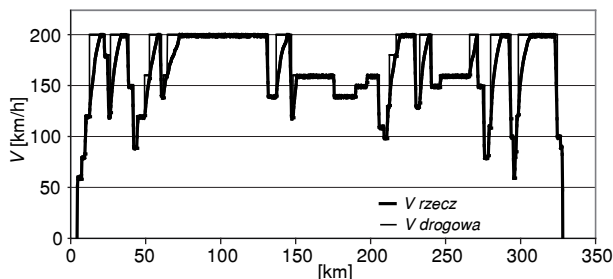
- **1** – dostosowanie infrastruktury do $V=160$ km/h dla pociągów pasażerskich oraz $V=120$ km/h dla pociągów towarowych, a także do wymogów przepisów AGC oraz dyrektyw UE, przede wszystkim dyrektyw o interoperacyjności kolei (96/48 oraz 2001/16);
- **2** – dostosowanie infrastruktury do $V=160$ km/h dla pociągów pasażerskich oraz $V=120$ km/h dla pociągów towarowych jak w opcji 1 oraz do $V=200$ km/h dla taboru pasażerskiego z wychylnym nadwoziem

Linia Warszawa – Gdańsk charakteryzuje się bardzo trudnym układem geometrycznym. Znajdują się na niej 272 łuki o łącznej długości prawie 111 km (34% długości trasy), znaczna ich część ma promienie rzędu 600 m, a w rejonach stacji węzłowych nawet mniej. Dlatego nie jest realistyczne ustalenie takiego zakresu modernizacji układu geometrycznego, przy którym możliwe byłoby osiągnięcie przez pociągi o nadwoziach wychylnych prędkości 200 km/h na całej długości trasy. Przyjęty projekt uwzględni taką prędkość na 10 odcinkach o łącznej długości nieco ponad 180 km. Dodatkowo na 7 odcinkach o łącznej długości rzędu 70 km zaprojektowano prędkość 160–180 km/h.

Należy podkreślić, że z założonymi prędkościami jest powiązany zakres robót modernizacyjnych wymagających przesunięć osi toru na łukach. W szczególności dotyczy on odcinka Nasielsk – Mława, na którym po przebudowie prędkość 200 km/h założono na całej długości (67 km). Przebudowie będzie podlegało 17 łuków, a przesunięcia osi toru wyniosą od kilkudziesięciu centymetrów do kilkudziesięciu metrów. Będą one większe jedynie w km 123,5–125,9, gdzie zaproponowano wyprostowanie przebiegu trasy z zastąpieniem układu trzech istniejących łuków łukiem pojedynczym.

Efektywność wprowadzenia prędkości 200 km/h na 10 odcinkach linii Warszawa – Gdańsk przeanalizowano na podstawie

przejazdu teoretycznego, wykonanego przy nieco innych założeniach niż w *Studium Wykonalności*. Zamiast elektrycznego zespołu trakcyjnego o maksymalnej prędkości 250 km/h (ETR460) przyjęto do obliczeń skład wagonowy o masie 500 t prowadzony lokomotywą o mocy 6000 kW.



Rys. 5. Profil prędkości według *Studium Wykonalności* modernizacji linii Warszawa – Gdańsk

Dla każdego z odcinków o prędkości 200 km/h określono:

- długość odcinka rzeczywistej jazdy z prędkością maksymalną 200 km/h $L_{V_{max}}$ (tolerancja 2 km/h);
- różnicę w czasie jazdy Δt w stosunku do przypadku jazdy z prędkością 160 km/h;
- różnicę w czasie jazdy Δt , ale odniesioną do długości odcinka i wyrażoną w [s/km] – $\Delta t/l$.

Tabela 1

Odcinki na linii Warszawa – Gdańsk o prędkości $V = 200$ km/h według *Studium Wykonalności*

Od km	Do km	Długość l [km]	V_1 [km/h]	V_2 [km/h]	$L_{V_{max}}$ [km]	Δt [s]	$\Delta t/l$ [s/km]
12,300	22,790	10,490	120	180	2,500	30,0	2,86
26,180	38,710	12,530	120	150	4,000	33,2	2,65
52,250	60,640	8,390	160	140	1,250	21,3	2,54
64,170	131,840	67,670	160	140	58,000	277,3	4,10
137,000	147,380	10,380	140	120	1,500	24,7	2,38
216,980	230,380	13,400	180	130	9,000	52,1	3,89
232,420	240,690	8,250	130	150	0,500	18,1	2,19
265,713	271,770	6,057	160	150	0,000	13,3	2,20
279,880	293,820	13,920	110	100	4,750	36,7	2,64
298,320	324,590	26,270	120	100	16,250	90,8	3,46

Wnioski z analizy przejazdu teoretycznego dla $V=200$ km/h są następujące:

- na wszystkich odcinkach pociąg jest w stanie osiągnąć prędkość maksymalną;
- długość odcinka rozpędzania składu pociągu do prędkości 200 km/h wynosi od 5 do 8 km i jest uzależniona od prędkości na odcinku poprzedzającym oraz od profilu linii;
- przy odcinkach o długości 8–10 km prędkość 200 km/h jest utrzymywana bardzo krótko (na długości 1–2 km), po czym pociąg musi hamować przed kolejnym ograniczeniem;
- najbardziej efektywne jest wprowadzenie prędkości 200 km/h na odcinkach najdłuższych, zwłaszcza w km 64,170–131,480 (Nasielsk – Mława), dla których w porównaniu z jazdą z prędkością 160 km/h można uzyskiwać skrócenia czasu jazdy rzędu 4 s na 1 km linii.

Z przedstawionej analizy wynika, że modernizowanie do prędkości powyżej 160 km/h krótkich, kilkukilometrowych odcinków między ograniczeniami jest mało efektywne. Przy charakterystyce większości stosowanych pojazdów trakcyjnych nie ma możliwo-

ści wykorzystania zwiększonej prędkości, a ponoszone są koszty związane z dostosowaniem do niej systemów sterowania ruchem i likwidacji skrzyżowań w poziomie szyn.

Wnioski

W artykule przeprowadzono analizę praktyki kolei europejskich, a także przedstawiono obliczenia wykonane dla jednej z modernizowanych linii kolejowych w Polsce. Wnioski z tych rozważań pozwalają na sformułowanie ogólnych zaleceń do projektowania.

■ Przy projektowaniu profilu prędkości dla modernizowanej lub budowanej linii kolejowej należy uwzględnić takie elementy, jak prędkość maksymalną pociągów pasażerskich wynikającą z typu linii, prędkość maksymalną pociągów towarowych, prędkość minimalną pociągów towarowych, profil podłużny linii, lokalizację miejsc zatrzymania pociągów pasażerskich i towarowych, możliwości przesunięć osi toru w celu korekty układu geometrycznego łuków – istniejące ograniczenia terenowe, a także możliwość i koszty wywłaszczeń.

■ Należy dążyć do zapewnienia stałej prędkości jazdy na możliwie najdłuższych odcinkach.

■ Należy dążyć do uzyskania prędkości zgodnej z zakładaną dla danej linii na możliwie największej części jej długości.

■ Na odcinkach przyległych do miejsc, w których konieczne jest przyjęcie prędkości mniejszej niż maksymalna na linii, dopuszcza się stopniowe zwiększanie prędkości (schodkowanie).

■ Należy unikać dużych (skokowych) zmian prędkości.

■ Nie należy zwiększać prędkości na krótkich odcinkach między kolejnymi ograniczeniami, jeżeli przy charakterystyce planowanych do zastosowania pojazdów szynowych nie jest możliwe wykorzystanie zwiększonej prędkości.

■ Profil prędkości dla linii powinien zostać zweryfikowany przejazdami teoretycznymi wykonanymi (co najmniej) dla najszybszego pociągu pasażerskiego (w obu kierunkach) oraz dla najcięższego pociągu towarowego (w obu kierunkach).

Literatura

- [1] Bałuch H.: *Badawcze aspekty przygotowań do wprowadzenia w Polsce dużych prędkości pociągów*. Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie. Kraków 2008.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie. OJ. L191.
- [3] Massel A.: *Błędy w projektowaniu modernizacji dróg kolejowych. Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym*. INFRASZYN 2009. Zakopane 22–24 kwietnia 2009 r.
- [4] Massel A.: *Modernizacja linii E65 Warszawa – Gdynia. Studium wykonalności*. Rynek kolejowy 7-8/2004.
- [5] Massel A.: *Uwarunkowania wprowadzenia prędkości 200 km/h na wybranych liniach kolejowych w Polsce. Kolej w Polsce dzisiaj i za 5 lat*. SITK. Kraków 5-6 czerwca 2009 r.
- [6] www.k-report.net/koridory/
- [7] www.tgv.pl

Autor

dr inż. Andrzej Massel

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa