

# Specyfika projektowania, eksploatacji oraz utrzymania dróg kolejowych dużych prędkości (KDP)

tekst: prof. dr hab. inż. **KAZIMIERZ TOWPIK**, Politechnika Warszawska; Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu

W artykule scharakteryzowano tabor oraz kolejowe nawierzchnie klasyczne i niekonwencjonalne eksploatowane na liniach dużych prędkości. Omówiono również ograniczenia w zakresie oddziaływań pojazdów na tor, a także warunki projektowania i utrzymania nawierzchni oraz podtorza na liniach KDP.

## Wstęp

Szybka rozbudowa sieci linii dużych prędkości na świecie sprzyja zrównoważonemu rozwojowi transportu poszczególnych krajów, zarówno pod względem bezpieczeństwa przewozów, jak też zużycia energii i ochrony środowiska naturalnego. Przyczynia się też do ekonomicznego i socjalnego rozwoju społeczeństw, m.in. przez zwiększenie udziału inwestycji w sektorze transportu publicznego, oraz przyspiesza proces modernizacji istniejących sieci kolejowych [3, 4]. Obserwuje się również w wielu krajach komercyjny sukces kolei.

Specyfikacje TSI [8] odnoszące się do infrastruktury linii dużych prędkości różnią nowe linie kolejowe kategorii I, przeznaczone do prowadzenia ruchu z prędkościami  $\geq 250$  km/h, linie kolejowe kategorii II, przystosowane w wyniku modernizacji do prędkości 200 km/h, oraz linie kolejowe kategorii III – nowe lub przystosowane do dużych prędkości, na których występują jednak z uzasadnionych przyczyn miejscowe ograniczenia prędkości.

Doskonalenie konstrukcji pojazdów szynowych, urządzeń sterowania i zabezpieczenia ruchu pociągów, a także innych elementów infrastruktury są również powodem opracowywania i wdrażania przez przemysł nowych technologii, zwiększających bezpieczeństwo i komfort podróżowania.

## Specyfika eksploatacji pojazdów szynowych na liniach KDP

Duże prędkości rozkładowe pociągów udało się w znacznej mierze osiągnąć dzięki udoskonaleniu konstrukcji pojazdów

kursujących po sieci linii dużych prędkości. Postęp w tej dziedzinie dobrze obrazuje ewolucja taboru kolei japońskich. Czołom pojazdów nadano aerodynamiczny kształt oraz mniejszy przekrój poprzeczny, zmniejszono masę pojazdu do 710 t i wyposażono w elektromagnetyczne hamulce, działające na zasadzie prądów wirowych. Zmniejszono również naciski kół, pamiętając jednakże, aby przy prędkościach rzędu 320–350 km/h nie doprowadzić do nadmiernego odciążenia pojazdu, co grozi utratą stateczności aerodynamicznej.

Specyfikacje TSI [9] odnoszące się do kolei dużych prędkości wyróżniają tabor klasy 1, przeznaczony do jazdy z prędkością co najmniej 250 km/h. Pociągi tej klasy to zespoły trakcyjne mające stały skład, własny napęd oraz kabiny maszynisty na obu końcach. Tabor klasy 2, który może obejmować obok zespołów trakcyjnych także pociągi o zmiennym składzie, jest przeznaczony do jazdy z prędkościami 190–250 km/h. Długość pociągów zespołowych nie może przekraczać 400 m, a ich masa 1000 t.

Tabor kursujący na liniach dużych prędkości musi wykazywać (również na pochyleniach) odpowiednią skuteczność hamowania, przy czym maksymalne przyspieszenia przy rozruchu lub opóźnienia przy awaryjnym hamowaniu nie mogą przekraczać  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

## Nawierzchnie kolejowe na liniach KDP i oddziaływania między pojazdem i nawierzchnią

Na liniach dużych prędkości są obecnie eksploatowane zarówno nawierzchnie klasyczne, z warstwą podsypki, jak również

nawierzchnie niekonwencjonalne (bezpodsypkowe). Podstawowym kryterium wyboru konstrukcji nawierzchni jest zazwyczaj bezpieczeństwo jazdy i minimalizacja kosztów utrzymania infrastruktury kolejowej.

Powodem układania na liniach KDP nawierzchni niekonwencjonalnych jest jednak, obok potrzeby zmniejszenia kosztów utrzymania drogi kolejowej, także obserwowany w nawierzchniach klasycznych znacznie szybszy proces zużycia i wywiewania podsypki, z czym wiąże się konieczność częstszej wymiany i uzupełniania podsypki (ryc. 1).

Odpowiednią sztywność pionową nawierzchni, zazwyczaj o wartości 150 MN/m, uzyskuje się przez odpowiedni dobór elementów nawierzchni. Zmniejszenie sztywności na liniach dużych prędkości można osiągnąć, układając dodatkowo pod warstwą podsypki maty SBM (*Sub Ballast Mats*).

Obecnie na liniach KDP są powszechnie układane podkłady betonowe z przytwierdzeniami sprężystymi. Dynamiczna sztywność przytwierdzeń, która w nawierzchniach klasycznych może dochodzić do 600 MN/m, w rozwiązaniach niekonwencjonalnych jest ograniczana do 150 MN/m, ponieważ zmniejsza to oddziaływania kół w poziomej płaszczyźnie toru.

W celu zwiększenia sprężystości nawierzchni i uzyskania korzystniejszego rozkładu nacisków, a tym samym spowolnienia procesu zużycia podsypki oraz zużycia falistego szyn, obecnie układa się również podkłady betonowe z przyklejonymi do dolnej powierzchni podkładkami



Ryc. 1. Wywiewanie ziaren podsypki podczas przejazdu pociągu z dużą prędkością, połączone często z uszkodzeniami taboru oraz powierzchni szyn, źródło: materiały Kongresu Dużych Prędkości na Tajwanie, 2009

z polimerów (*Under Sleeper Pads*), o grubościach 15–30 mm i sztywności ok. 35 kN/mm. Zastosowanie tego rodzaju podatnych podkładek zmniejsza naprężenia w podsypce [1, 2].

Odmianą podkładu, który eksploatuje się m.in. na francuskich liniach TGV, jest podkład wykonywany w postaci dwóch bloków połączonych stalowym łącznikiem lub rurą z tworzywa wypełnioną betonem. Podkłady tego typu nie są podatne na oddziaływanie dużych momentów zginających, wywołanych nierównomiernymi odkształceniami warstwy podsypki pod podkładem. Podkłady dwublokowe wykonuje się również niekiedy z polimero-betonu. Charakteryzuje je wtedy większa sprężystość i zdolność tłumienia drgań. Zastosowanie nawierzchni bezpodsypkowych na liniach dużych prędkości upowszechniło się w miarę doskonalenia technologii produkcji jej prefabrykowanych elementów i technologii montażu, co powoduje, że koszty tych nawierzchni są niższe, zbliżając się do kosztów nawierzchni klasycznych.

W świetle dotychczasowych doświadczeń można jednak stwierdzić, że układanie konstrukcji bezpodsypkowych jest trudne na łukach i na krzywych przejściowych. Zaletą tych konstrukcji jest jednak korzystniejszy – z uwagi na skrajnię budowlą – przekrój poprzeczny linii, co ma znaczenie zwłaszcza w przypadku tuneli i obiektów mostowych. Uzyskuje się wymaganą dokładność położenia toru, a nakłady na utrzymanie są znacznie mniejsze. Jednakże możliwość regulacji położenia toru jest ograniczona, a usunięcie skutków ewentualnej awarii lub wykolejenia wymaga znacznie dłuższego czasu niż w przypadku nawierzchni klasycznej.

Doświadczenia wyniesione z eksploatacji KDP wykazały konieczność powiązania dopuszczalnych wartości nacisków osi pojazdu z prędkością jazdy. Jako dopuszczalną wartość nacisku osi pojazdu przyjmuje się obecnie przy prędkościach powyżej 250 km/h – 170 kN i 180 kN przy prędkościach do 250 km/h.

Głównym czynnikiem decydującym o oddziaływaniach dynamicznych jest jednak sztywność podłoża szyny [5], dlatego też wartość sił dynamicznych wywieranych przez koło pojazdu na szynę nie może przekraczać 180 kN przy prędkościach 200–250 km/h, 170 kN przy prędkościach 250–300 km/h oraz 160 kN przy większych prędkościach jazdy.

Warunki współpracy koła z szyną charakteryzuje ekwiwalentna stożkowatość, której wartość zależy – oprócz geometrii szyny i koła – również od nierówności poziomych toru, zwłaszcza od zmian szerokości toru.

Ekwiwalentną stożkowatość definiuje się następująco:

$$\gamma_e = \frac{1}{\Delta y} \times \frac{\Delta r_1 - \Delta r_2}{2}$$

gdzie:

$\Delta y$  – amplituda poprzecznego przemieszczenia się zestawu kołowego po powierzchni szyn,  $\Delta r_1$  i  $\Delta r_2$  – chwilowe zmiany promieni okręgów tocznych kół.

Wartości ekwiwalentnej stożkowatości w znacznym stopniu zależą od szerokości toru oraz poprzecznego nachylenia szyn i w przypadku dużych prędkości jej graniczne wartości uzależnią się od amplitudy poprzecznego przemieszczenia zestawu kołowego po powierzchniach szyn. Wartości amplitud przyjmuje się następująco:

- $\Delta y = 3$  mm, jeśli  $S - S_R \geq 7$  mm,
- $\Delta y = [(S - S_R) - 1] / 2$ , jeśli  $5 \text{ mm} \leq S - S_R < 7$  mm,
- $\Delta y = 2$  mm, jeżeli  $S - S_R < 5$  mm,

gdzie:

$S$  – szerokość toru

$S_R$  – odległość między obrzeżami kół zestawu.

Odpowiednia ekwiwalentna stożkowatość jest szczególnie istotna przy dużych prędkościach jazdy pociągów pasażerskich. Wymagane  $\gamma_e$  można uzyskać, ograniczając do 1420 mm odległość między obrzeżami kół zestawu, zwiększając na nowo budowanych liniach nominalną szerokość toru do 1436 mm oraz modyfikując profil główki szyny. Bardziej płaski

kształt główki szyny ułatwia uzyskanie ekwiwalentnej stożkowatości o wartości poniżej 0,1.

## Podłoże toru na liniach KDP

Podtorze kolejowe na liniach KDP musi spełniać wymagania dotyczące sztywności i własności wibroakustycznych toru oraz minimalnej szerokości międzytorzy, aczkolwiek nie musi ono spełniać warunków interoperacyjności. Należy pamiętać, że przy większych prędkościach jazdy narastanie drgań w torze i podtorzu może prowadzić do rozluźnienia ziaren gruntu i pionowych odkształceń toru. Nasilenie tego zjawiska zależy od prędkości rozchodzenia się fal powierzchniowych (fal Rayleigha). Krytyczna prędkość tych fal jest zależna od rodzaju ośrodka gruntuwego. Dlatego też podtorze na liniach dużych prędkości powinno mieć większą wytrzymałość i odpowiednią sztywność, a jego górne warstwy powinno się zabezpieczać przed oddziaływaniem zwiększonych drgań [10]. Jest to szczególnie ważne w przypadku układania nawierzchni niekonwencjonalnych.

Podłoże nawierzchni niekonwencjonalnych musi być stabilne i mieć wystarczającą nośność. W przypadku występowania gruntów plastycznych można stosować pale, np. pale CFG (*cement-flyash-gravel*) przechodzące przez warstwę gruntów plastycznych aż do głębokości, na której występuje grunt o odpowiedniej nośności. Niekiedy nawierzchnie niekonwencjonalne układa się bezpośrednio na palach, co eliminuje zjawisko osiadania, a więc obniża wymagania wobec gruntów, z których wykonywany jest np. nasyp.

Na liniach KDP przygotowanie podłoża gruntowego dla nawierzchni niekonwencjonalnych wymaga wykonania licznych badań właściwości gruntu i oceny jego nośności. W celu uzyskania wymaganych modułów odkształcenia stosuje się dodatkowe zagęszczanie i stabilizację gruntu (np. cementem), a nawet jego wymianę. Trzeba podkreślić, że budowa nawierzchni bezpodsypkowych na podtorzu ziemnym wymaga dobrego odwodnienia i uzyskania właściwych modułów odkształcenia podtorza.

Liczba obiektów inżynierskich – mostów, wiaduktów, estakad i tuneli – występujących na nowo budowanych liniach dużych prędkości jest coraz większa, a ich łączna długość może osiągać nawet ponad 80% długości całej linii (ryc. 2).





Ryc. 2. Przykład estakady na nowej linii dużych prędkości w Chinach, fot. A. Massel

Szczególną uwagę należy zwracać na odcinki przejściowe w miejscach, gdzie następuje zmiana sztywności podparcia toru, a także często obserwuje się różnice w osiadaniu toru. Najczęściej takie odcinki występują pomiędzy budowlą ziemną a mostem, tunelem lub przepustem. Wymaga to wyrównania sztywności pionowej dla uniknięcia skutków zwiększonych oddziaływań dynamicznych (efektu progowego) i uzyskania niejednorodnego osiadania toru podczas eksploatacji. Jednym ze stosowanych rozwiązań jest układanie pod nawierzchnią na końcowym odcinku pomostu obiektu inżynierskiego maty z tworzywa piankowego oraz stabilizowanie gruntu zaprawą cementową za przyczółkiem.

### Specyfika projektowania i utrzymania linii KDP

Przy projektowaniu trzech zasadniczych elementów układu linii: prostych, łuków kołowych i krzywych przejściowych, uwzględniane są parametry geometryczne w postaci minimalnych promieni łuków poziomych, maksymalnej przechyłki toru położonego w łuku i maksymalnego pochylenia rampy przechyłkowej, jak również parametry kinematyczne – niedomiar i nadmiar przechyłki (wyrażający ekwiwalentną wartość niezerównoważonego przyspieszenia bocznego działającego na pojazd jadący po łuku), prędkość zmiany wartości przechyłki oraz prędkość zmiany niedomiaru przechyłki.

W przypadku projektowania linii KDP dokumenty TSI podają jedynie maksymalne wartości niedomiaru przechyłki, uwzględniające kryteria homologacji taboru. Podaje się je dla poszczególnych

przedziałów prędkości jazdy po torach szlakowych i torach zasadniczych rozjazdów, w zależności od kategorii torów linii dużych prędkości.

Przy projektowaniu krzywych przejściowych zakłada się, że wartości przyrostu przyspieszenia muszą mieścić się w przedziale 0,30–0,70 m/s<sup>2</sup>, natomiast prędkości podnoszenia się koła podczas jazdy po rampie przechyłkowej – w przedziale 28–49 mm/s<sup>2</sup>. Wartość maksymalna przechyłki wynosi 180 mm (wyjątkowo może być zwiększona do 200 mm), a minimalna 20 mm.

Eksploatacja linii z prędkościami rzędu 200–300 km/h powoduje znaczny wzrost kosztów utrzymania nawierzchni podsynekowych i występowanie nietypowych zjawisk, takich jak wywiewanie podsypki i przyspieszony proces jej niszczenia. Obserwuje się również wzrost liczby uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych szyn. Do charakterystycznych wad i uszkodzeń występujących w torach linii dużych prędkości należą uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe główki szyny, wady wewnętrzne prowadzące do pęknięć i złamań oraz zużycie faliste. Na liniach z nawierzchnią podsypkową, na których odbywa się ruch z prędkościami przekraczającymi 200 km/h, obserwuje się również wady zwane *belgropis*, będące uszkodzeniami powierzchni szyn przez wywiewane ziarna podsypki.

Nierówności toru ocenia się w odniesieniu do maksymalnych dopuszczalnych odchyłek od ich wartości średnich. Nierówności zalicza się do trzech przedziałów długości fal odkształcenia  $\lambda$ : D1 ( $3 < \lambda \leq 25$  m), D2 ( $25 < \lambda \leq 70$  m) i D3 ( $70 < \lambda \leq 150$  m), dla nierówności poziomych tylko dla przedziału D3. Ustalono trzy granice odchyłek:

- odchyłki, po których przekroczeniu należy ocenić, czy nie powinny być przeprowadzone roboty utrzymania – poziom AL (*Alert Limit*, czyli granica czujności),
- odchyłki, po których przekroczeniu konieczne są naprawy zapobiegające dalszemu narastaniu odkształceń – poziom IL (*Intervention Limit*, granica działań planowych),
- odchyłki, których przekroczenie stwarza ryzyko wykolejenia, więc wymagają natychmiastowej naprawy, ograniczenia prędkości pociągów lub wyłączenia toru z ruchu – poziom IAL (*Immediate Action Limit*, granica działań bezpośrednich) [1].

Na podkreślenie zasługuje fakt, że metodologia utrzymania nawierzchni na liniach dużych prędkości musi uwzględniać zmiany, które następują w sposobach eksploatacji tych linii [5]. Na nowych liniach zaczęto układać nawierzchnie bezpodsynekowe z nowymi typami przytwierdzeń, wprowadzono system ERTMS-ETCS i związany z nim GSM-R, zastosowano nowe materiały, udoskonalono systemy monitorowania, a także wprowadzono zmiany w technologii i organizacji utrzymania nawierzchni.

Uważa się obecnie, że na wszystkich etapach realizacji inwestycji (podczas projektowania, wykonawstwa i eksploatacji) należy uwzględnić tzw. wymagania RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability, Safety* – niezawodność, dyspozycyjność, naprawialność, bezpieczeństwo), a przy zawieraniu kontraktów żądać analizy kosztów uzyskania wymaganej trwałości (*Life Cycle Costs*) oraz określenia procedur zapewniających warunki utrzymania odpowiadające RAMS.

W czasie projektowania i realizacji inwestycji należy również analizować zależność oczekiwanej dostępności linii od kosztów utrzymania (okresów pomiędzy kolejnymi awariami, przewidywanych czasów usuwania awarii itp.). Pożądane jest stosowanie rozwiązań zwiększających zdolność eksploatacyjną linii, np. układów redundancyjnych w urządzeniach srk, systemów monitorowania pracy rozjazdów i pantografów, urządzeń do pomiaru sił między kołami pojazdów i szynami itp. Szczególnie istotne jest ustalenie wymagań co do początkowej jakości obiektu po zakończeniu budowy i w pierwszym okresie po oddaniu do eksploatacji.

Na liniach KDP z nawierzchnią bezpodsynekową technologia napraw jest nieco

inna. Wymiany szyn dokonuje się z użyciem wykorzystywanych wcześniej technologii, stosując niezbędne przekładki wyrównawcze w celu uzyskania właściwego położenia toru w obu płaszczyznach. Podobnie można stosować dotychczasowe technologie szlifowania szyn.

W przypadku nawierzchni niekonwencjonalnych zużycie szyn, także zużycie fałiste, jest na ogół mniejsze, co pozwala na wydłużenie okresów między wymianami oraz szlifowaniem szyn, w tym również prewencyjne szlifowanie szyn.

Problem wymiany nawierzchni niekonwencjonalnej po upływie okresu żywotności nie został dotąd rozwiązany. W przypadku bezpodsytkowych konstrukcji monolitycznych wymiana wiąże się z usunięciem całej nawierzchni. W pozostałych rozwiązaniach możliwa jest naprawa warstwy betonowej lub bitumicznej na miejscu, po usunięciu szyn i podkładów.

Analiza kosztów budowy i eksploatacji nawierzchni bezpodsytkowych powinna zatem uwzględniać specyfikę ich utrzymania, w tym naprawy w tunelach i na obiektach mostowych, stosowane technologie budowy, oszacowanie strat ruchowych wynikających z potrzeby wykonania napraw (np. wymiany pękniętych szyn) oraz przewidywać ocenę stopnia ryzyka utraty zdolności eksploatacyjnej przez linię kolejową.

### Oddziaływanie na otoczenie linii KDP

Źródłem hałasu aerodynamicznego, który zaczyna dominować przy prędkościach przekraczających 220–250 km/h, jest pokonywanie oporów powietrza przez elementy pojazdu (zwłaszcza wózki), konstrukcję pantografu i połączenia między wagonami. Dodatkowym źródłem emisji akustycznej jest również współpraca pantografu z siecią (iskwienie, poślizgi pantografu).

W celu ograniczenia szkodliwych oddziaływań na otoczenie występujących podczas przejazdu pociągu z dużą prędkością przyjmuje się, że nie spowoduje on wzrostu prędkości powietrza na poboczu (mierzonej na wysokości 1,2 m, w odległości 3,0 m od osi toru) o wartość większą niż 15,5 m/s przy prędkości pociągu do 189 km/h, 20 m/s przy prędkości 190–249 km/h oraz 22 m/s przy wyższych prędkościach. Maksymalne zmiany ciśnienia (mierzone na wysokości od 1,5 m do

3,3 m ponad poziomem główki szyny) nie mogą przekroczyć 795 Pa.

W pewnych warunkach, na przykład tam, gdzie tor linii dużych prędkości ułożony jest na obiektach inżynierskich o znacznej wysokości, zagrożeniem dla bezpieczeństwa jazdy może być nagłe boczne uderzenie wiatru. Wpływ bocznego wiatru ocenia się, rozpatrując jego oddziaływanie na najbardziej wrażliwy pojazd w składzie pociągu.

Ogranicza się również wartość zmiany ciśnienia podczas przejazdu pociągu tunelem o określonym przekroju poprzecznym. Przy prędkości pociągu  $\geq 250$  km/h i przekroju poprzecznym tunelu 63 m<sup>2</sup> zmiana ciśnienia nie może przekroczyć 1600 Pa.

W celu zmniejszenia wibroakustycznych oddziaływań pociągów dużych prędkości na otoczenie stosuje się w nawierzchni rozwiązania konstrukcyjne sprzyjające częściowemu tłumieniu drgań w miejscu ich powstawania, ogranicza się możliwość przenoszenia drgań poprzez stosowanie ekranów akustycznych oraz innych rozwiązań chroniących otoczenie przed oddziaływaniem drgań. Między innymi układa się podtorowe maty wibroizolacyjne wykonywane z tworzyw sztucznych lub gumy, w postaci gotowych koryt lub arkuszy o różnych profilach. Rozróżnia się maty układane pod warstwą podsypki (SBM) oraz układane pod płytami betonowymi (STM – *Sub Track Mats*). Uważa się, że skuteczność stosowania mat układanych pod warstwą podsypki jest najlepsza w przypadku drgań o częstotliwości  $\geq 63$  Hz, a pod konstrukcjami niekonwencjonalnymi przy  $\geq 30$  Hz.

### Podsumowanie

Obserwowany rozwój kolei dużych prędkości, liczących obecnie na świecie ponad 15 tys. km eksploatowanych linii, przynosi dalsze doskonalenie konstrukcji pojazdów szynowych i urządzeń infrastruktury drogi kolejowej oraz przyspiesza proces modernizacji kolei konwencjonalnych.

Uległo zmianie podejście do projektowania i realizacji kolejnych etapów budowy linii KDP, uwzględniające analizy kosztów uzyskania wymaganej trwałości obiektu i procedury zapewniające odpowiedzialność, dyspozycyjność i naprawialność drogi kolejowej linii dużych prędkości.

Układanie nawierzchni bezpodsytkowych oraz przystosowanie obiektów in-

żynierskich do warunków prowadzenia ruchu z prędkościami do 320 km/h wymaga zastosowania nowych technologii budowy i utrzymania nawierzchni.

Doświadczenia wyniesione z eksploatacji linii dużych prędkości wskazują również na konieczność zapewnienia właściwego podtorza na liniach KDP.

### Literatura

- [1] Bałuch H.: Badawcze aspekty przygotowań do wprowadzenia w Polsce dużych prędkości pociągów. W: *Materiały Naukowo-Techniczne Konferencji „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie”*. Kraków 2008.
- [2] Bałuch H., Bałuch M.: *Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru*. Wydawnictwo Instytutu Kolejnictwa. Warszawa 2010.
- [3] Barron de Angoiti I., Veitch A.: *Does high-speed rail contribute to a more sustainable transport system?*. „European Railway Review” 2012, Vol. 18, Issue 1, pp. 6–7.
- [4] *Biała księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*. Komisja Europejska. Bruksela 2011.
- [5] *Design of new lines for speeds of 300–350 km/h. State of the art. Report UIC*. Paris 2009.
- [6] Dyrektywa Unii Europejskiej 2008/232/WE dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. „Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej” 2008, L. 84, t. 51, z 26 marca, s. 133–392.
- [7] Dyrektywa Komisji Europejskiej 2008/217/WE dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. „Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej” 2008, L. 77, t. 51, z 19 marca, s. 1–105.
- [8] HS TSI Infrastruktura. „Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej” 2008, L. 77, t. 51, z 19 marca, s. 1–105.
- [9] HS TSI Tabor. „Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej” 2008, L. 84, t. 51, z 26 marca, s. 133–392.
- [10] Skrzyński E.: *Podtorze kolejowe*. KOW. Warszawa 2010.