

Podłoże toru na liniach kolei dużych prędkości

Kazimierz Towpik

W artykule charakteryzowano oddziaływania pojazdów i zjawiska z nimi związane, występujące w warunkach ruchu z dużymi prędkościami na liniach z nawierzchnią klasyczną i niekonwencjonalną, układanych na podtorzu gruntowym i konstrukcjach obiektów inżynierskich. Wskazuje na wady i zalety stosowanych rozwiązań.



prof. dr hab.
inż. Kazimierz Towpik
Profesor zwyczajny
w dyscyplinie transport
i budownictwo
Politechnika Warszawska,
Międzynarodowa Wyższa
Szkoła Logistyki i Trans-
portu we Wrocławiu
kaztowpik@poczta.onet.pl

Według stanu na koniec 2011 roku na świecie eksploatuje się 15231 km linii dużych prędkości, 8295 km jest w budowie, a 18753 km w planach lub w fazie projektowania. Przewiduje się, że w 2025 r. łączna długość linii KDP na świecie osiągnie 41997 km.

W specyfikacji TSI dotyczącej infrastruktury kolei dużych prędkości [7] rozróżnia się: nowe linie kolejowe kategorii I, przeznaczone do prowadzenia ruchu z prędkościami ≥ 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 jednakże miejscowe ograniczenia prędkości.

Wprowadzanie dużych prędkości wymagało i wymaga rozwiązywania wielu złożonych technicznie zagadnień. Jednym z takich problemów jest zapewnienie podłoża toru, umożliwiającego prowadzenie ruchu z prędkościami 250–320 km/h. Przy tak znacznych prędkościach występują bowiem zjawiska, których nie obserwuje się w nawierzchni i podtorzu linii konwencjonalnych.

Specyfika współpracy pojazdu z torem przy dużych prędkościach jazdy

Wielkość i charakter oddziaływań między pojazdami a nawierzchnią i podtorzem zależą od konstrukcji pojazdów, prędkości jazdy, a także od cech konstrukcyjnych nawierzchni i podtorza oraz stanu utrzymania, zarówno pojazdów jak i nawierzchni. Nawierzchnię i podtorze charakteryzuje: sprężystość

konstrukcji (określana na podstawie pomiaru odkształceń toru pod obciążeniem), tłumienie konstrukcyjne oraz charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe opisujące dynamiczną reakcję konstrukcji na oddziaływanie pojazdów.

Dla eksploatacji infrastruktury drogi kolejowej, w tym również budowl i inżynierskich związanych z torem, istotne są takie czynniki, jak: dynamiczne zachowanie się taboru i warunki współpracy koła z szyną, wielkości sił wywieranych na konstrukcję nawierzchni oraz podtorze, a także zjawiska aerodynamiczne pojawiające się przy dużych prędkościach przejazdu pociągów (zmiany ciśnienia, hałas aerodynamiczny, wywiewanie podsypki, drgania gruntu w sąsiedztwie obiektów infrastruktury itp.). Głównym czynnikiem decydującym o wielkości oddziaływań dynamicznych jest jednak sztywność podłoża szyny [2], [3].

Specyfikacje TSI [8] 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.

Tabor ten musi wykazywać odpowiednią skuteczność hamowania, również na pochyleniach. Określona jest również maksymalna długość pociągu (400 m) i jego masa (do 1000 ton). 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.

Doświadczenia wyniesione z eksploatacji KDP wykazały, że konieczne jest również ograniczenie pionowych nacisków kół pojazdu w zależności od dopuszczalnej prędkości jazdy (170 kN przy prędkościach powyżej 250 km/h i 180 kN dla prędkości do 250 km/h).

Podłoże toru na liniach dużych prędkości z nawierzchnią klasyczną

Klasyczna nawierzchnia kolejowa jest obecnie eksploatowana na wielu liniach dużych prędkości (między innymi na liniach TGV we Francji). Jej konstrukcja nie ulega poważniejszym zmianom. Warstwa podsypki będąca jednym z elementów nawierzchni pracuje w zakresie elastoplastycznym, co między innymi prowadzi w czasie eksploatacji do odkształceń trwałych i różnicowania charakterystyk sprężystości i tłumienia na długości toru, stwarzając konieczność regulacji położenia toru i niezbędnych napraw nawierzchni. Przy dobrym stanie podtorza udział podsypki w odkształceniach toru sięga 80–90% [9].

W warunkach coraz większych prędkości jazdy wzrasta liczba uszkodzeń szyn z powodu mikrouderzeń kół o szyny, charakteryzujących się dużymi częstotliwościami. Drgania szyn powodują zwiększenie przyspieszeń łóżysk osiowych pojazdów i w konsekwencji następuje zauważalny wzrost sił dynamicznych.

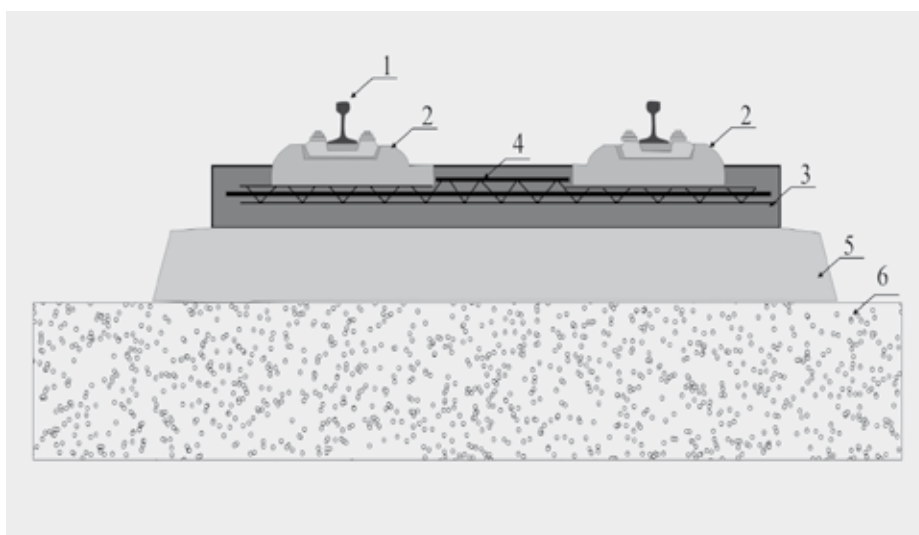
Obserwuje się również zwiększone przyspieszenia drgań podkładów, podsypki i podtorza. Na warstwę podsypki działają przyspieszenia kilkakrotnie przewyższające przyspieszenie ziemskie. Za ich sprawą w pewnych obszarach podsypka podlega naprężeniom rozciągającym, które zanikają dopiero na głębokości 600–800 mm. Pojawia się zjawisko rozluźnienia podsypki [1].

Odpowiednia sztywność pionowa nawierzchni klasycznych na liniach KDP nie przekracza zazwyczaj 150 MN/m (taką na przykład przyjęto dla nowej linii RENFE między Kordobą i Malagą). Uzyskuje się ją przez odpowiedni dobór elementów nawierzchni. W razie potrzeby zmniejszenie sztywności można dodatkowo układać pod warstwą podsypki maty SBM (*Sub Ballast Mats*).

Na wcześniej eksploatowanych liniach KDP z klasyczną nawierzchnią na przeważającej ich długości występuje podtorze gruntowe. Podtorza takiego nie traktuje się jako



1. Widok toru z nawierzchnią niekonwencjonalną na linii dużych prędkości w Holandii (fot. A Massel)



2. Nawierzchnia bezpodsypkowa typu Rheda 2000 układana na liniach KDP:

1 – szyna 60E1 z przytwierdzeniem, 2 – podkład dwublokowy, 3 – płyta betonowa zbrojona, 4 – łącznik podkładu, 5 – płyta betonowa, 6 – warstwa gruntu stabilizowanego hydraulicznie

obiekty mającego spełniać warunki interoperacyjności. Musi jednak spełniać wymagania dotyczące sztywności i wytrzymałości, a jego górne warstwy powinny być zabezpieczone przed oddziaływaniem zwiększonych drgań. Ważne jest zapewnienie równomierności osiadania toru w trakcie eksploatacji. Należy również pamiętać, że w warunkach linii KDL prędkość rozchodzenia się w gruncie fal powierzchniowych (fal Rayleigha) powinna być nie mniejsza niż 150 m/s [9]. Krytyczna prędkość tych fal, zależna od rodzaju ośrodka gruntowego, może decydować o konieczności ograniczenia prędkości pociągów.

Podłoże toru na liniach dużych prędkości z nawierzchnią niekonwencjonalną

Począwszy od lat osiemdziesiątych w europejskich zarządkach kolejowych przy projektowaniu lub modernizowaniu linii kolejowych przyjęto jako zasadę wymiarowanie całego podłoża toru, z uwzględnieniem prócz warstwy podsyпки również warstw pośrednich. W zależności od warunków klimatycznych i gruntowo-wodnych oraz dostępnych technologii stosowano różnego rodzaju warstwy ochronne i filtracyjno-ochronne.

Opracowanie zasad wymiarowania nawierzchni kolejowej mającego na celu za-

pewnienie odpowiedniej sztywności konstrukcji i uwzględniającego geotechniczną i hydrologiczną klasę gruntu podtorza, umożliwiło wprowadzenie na kolejach europejskich określonych standardów konstrukcyjnych.

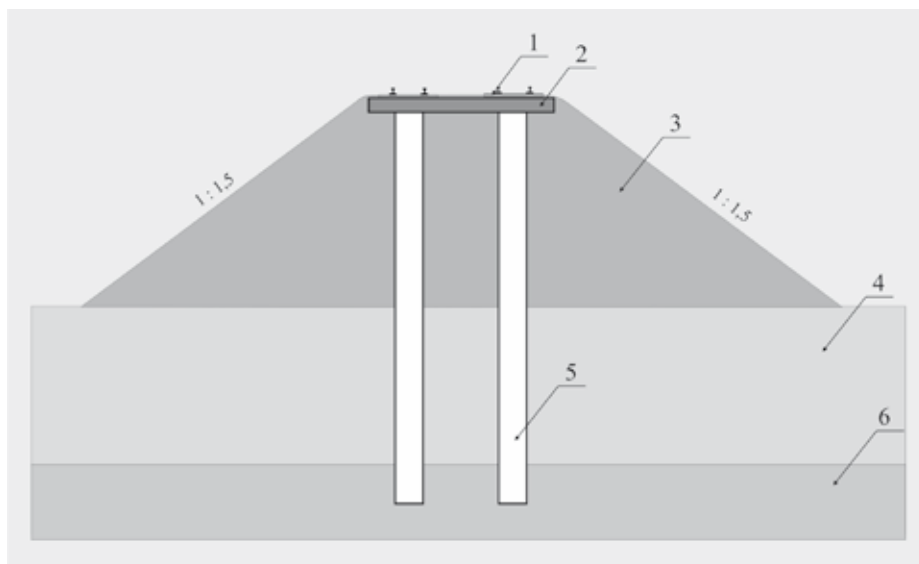
Dynamiczna rozbudowa sieci KDP na świecie ujawniła tendencję stopniowego eliminowania podtorza gruntowego. Pojawiła się ona już przy budowie pierwszych linii dużych prędkości powstających w Japonii. Na liniach Tohoku i Joetsu długość torów ułożonych na mostach i estakadach przekroczyła 70%. Na niedawno ukończonej linii HSL w Holandii tory posadowiono w ok. 85% na konstrukcjach budowli inżynierskich z nawierzchnią niekonwencjonalną, a tylko w 15% na podtorzu ziemnym (rys. 1).

W nawierzchni niekonwencjonalnej podłoże toru powinno być wykonane z materiałów o wytrzymałości umożliwiającej pracę konstrukcji w zakresie odkształceń sprężystych. Projektuje się ją w ten sposób, że każdy kolejny, niżej położony element ma mniejszą sztywność od poprzedniego. Konstrukcja niekonwencjonalna składa się najczęściej z *nawierzchni właściwej* (szyny, przytwierdzenia, podkładu stanowiącego punktowe podparcie szyny lub szyny na płycie betonowej, betonowej warstwy nośnej lub warstwy stabilizowanej hydraulicznie) oraz z *podłoża* obejmującego warstwy ochronne, w tym górną warstwę mrozo-ochronną oraz niezwiązaną warstwę gruntu zagęszczonego lub niesortu spoczywającą na gruncie rodzimym.

Z licznych rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni bezpodsypkowych, układanych na liniach dużych prędkości, wymienić należy nawierzchnie typu: Rheda 2000, Bögl i Getrac. Przykładowy schemat konstrukcji nawierzchni Rheda 2000 pokazano na rys. 2.

W nawierzchni Rheda 2000 szyny są przytwierdzone do dwublokowych podkładów wtopionych w zbrojone betonowe koryto, które z kolei opiera się na betonowej płycie grubości 150 mm. Nawierzchnia tego typu charakteryzuje się dobrą statecznością położenia toru, niewrażliwością na działanie sił podłużnych (pojawiających się, na przykład wskutek ogrzania szyn prądami wirowymi przy hamowaniu), dużą trwałością konstrukcji (60 lat) oraz mniejszymi kosztami utrzymania niż w przypadku nawierzchni klasycznej, pomimo tego, że jest układana na zróżnicowanym podłożu (mosty, tunele, podtorze ziemne, podłoże rozjazdów).

Na liniach KDP przygotowanie podłoża gruntowego pod nawierzchnię niekonwencjonalną wymaga wykonania licznych badań właściwości gruntu i oceny jego nośności. W celu uzyskania wymaganych modułów odkształcenia stosuje się dodatkowe zagęszczanie, stabilizację gruntu (np. cementem), a nawet jego wymianę. Trzeba



3. Posadowienie nawierzchni niekonwencjonalnej bezpośrednio na palach:

1 – szyna, 2 – konstrukcja nawierzchni bezpodsypkowej, 3 – nasyp,
4 – warstwa gruntów plastycznych, 5 – pale, 6 – warstwa gruntu o wymaganej nośności

podkreślić, że budowa nawierzchni bezpodsypkowych na podtorzu ziemnym wymaga dobrego odwodnienia i przestrzegania warunków wymaganej nośności górnej warstwy gruntu właściwie zagęszczonego.

Nie spełniają tych warunków nasypy o wysokości powyżej 10 m oraz głębokie przekopy wykonywane w gruntach spoistych (na przykład ilach) i gruntach podatnych na osiadanie przy zawilgoceniu (lessy, gipsy).

W przypadku występowania gruntów plastycznych można stosować pale, na przykład pale CFG (*cement-flyash-gravel*) wykonywane za pomocą świdrów ślimakowych z mieszaniny cementu, lotnych popiołów i żwiru, przechodzących przez warstwę plastyczną aż do gruntu o odpowiedniej nośności. Właściwa kontrola przebiegu iniekcji cementowej zapobiega ryzyku odkształcenia pali, a ich wprowadzanie możliwe jest także w pobliżu istniejących budowli. Niekiedy nawierzchnie niekonwencjonalne układa się bezpośrednio na palach (rys. 3).

Układanie nawierzchni bezpodsypkowych na mostach zwiększa wymagania co do dokładności wykonawstwa robót, urządzeń srk, instalacji elektrycznych oraz dopuszczalnych oddziaływań wibroakustycznych. Na mostach o rozpiętości mniejszej niż 25 m (zwłaszcza o konstrukcji ramowej oraz pozbawionych łożysk) nawierzchnie bezpodsypkowe układa się bez przerw, na całej długości mostu, a między nawierzchnią i pomostem umieszcza maty, np. STM (*Slab Track Mats*) oraz warstwę utwardzanego tworzywa piankowego w celu dostosowania sztywności nawierzchni do sztywności konstrukcji mostu.

Na mostach o rozpiętości ponad 25 m konstrukcja nawierzchni bezpodsypkowej powinna być przytwardzana do konstrukcji

mostu. Najczęściej między pomostem i nawierzchnią układa się warstwy elastomeru z wypustami zapobiegającymi przemieszczeniom poziomym.

Szczególną uwagę należy zwracać na odcinki przejściowe w miejscach, gdzie następuje zmiana sztywności podparcia toru, a często także występuje zróżnicowane osiadanie. Najczęściej takie odcinki wykonuje się pomiędzy budowlą ziemną a mostem, tunelem lub przepustem [6]. Ich zadaniem jest wyrównanie sztywności pionowej dla uniknięcia skutków zwiększonych dynamicznych oddziaływań (efektu progowego) oraz zapewnienia jednolitego osiadania toru podczas eksploatacji.

Podsumowanie

Na liniach KDP eksploatuje się obecnie zarówno nawierzchnie z warstwą podsyпки, jak i nawierzchnie bezpodsypkowe. W pierwszym i drugim przypadku jest niezwykle istotne, aby były one układane na właściwie przygotowanym podtorzu. Nie dotrzymanie tego warunku prowadzi w eksploatacji do zakłóceń w ruchu i do zwiększonych kosztów utrzymania.

W wyniku decyzji podjętej w 2008 r. rozpoczęto w Polsce projektowanie nowej linii dużych prędkości, która ma połączyć Warszawę przez Łódź z Poznaniem i Wrocławiem. Budowa nowej linii będzie powiązana z modernizacją kilku istniejących linii, przede wszystkim Centralnej Magistrali Kolejowej. Wiąże się to z koniecznością podejmowania decyzji o wyborze typu nawierzchni oraz wykonania niezbędnych napraw istniejącego lub też budowy nowego podtorza kolejowego odpowiadającego warunkom linii dużych prędkości.

W świetle dotychczasowych doświadczeń można stwierdzić, że układanie konstrukcji bezpodsypkowych jest trudne na łukach i na krzywych przejściowych. Zaletą tych konstrukcji jest jednak korzystniejszy z uwagi na skrajnię budowli przekrój poprzeczny linii, co ma znaczenie zwłaszcza w przypadku tuneli i obiektów mostowych. Uzyskuje się porównywalną 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. Budowa nawierzchni bezpodsypkowych wymaga ponadto stosowania zaawansowanych technologii i dużej dokładności robót.

Z drugiej strony eksploatacja linii KDP z nawierzchnią klasyczną może oznaczać wzrost kosztów utrzymania w wyniku występowanie nietypowych zjawisk, takich jak wywiewanie podsyпки i przyśpieszony proces jej niszczenia, jak również może oznaczać wzrost liczby uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych szyn i ograniczenie ich żywotności. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Basiewicz T., Gołaszewski A., Towpik K.: Badania porównawcze nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym na odcinkach doświadczalnych. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej IN-FRASZYN 2010, Zakopane 2010.
- [2] Bałuch H.: „Badawcze aspekty przygotowań do wprowadzenia w Polsce dużych prędkości pociągów” [w:] Materiały Naukowo-Technicznej Konferencji „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie”, Kraków 2008.
- [3] Bałuch H., Bałuch M.: Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru, Wydawnictwo Instytutu Kolejnictwa, Warszawa 2010.
- [4] Darr E., Fiebig W.: Feste Fahrbahn. VDEI Schriftenreihe, Eurailpress 2008.
- [5] Design of new lines for speeds of 300–350 km/h. State of the art, Report UIC, Paris 2009.
- [6] Frühauf W., Jungwirth J., Scholz M., Röder A., Stoiberer H.: „Systemy szynowe na płycie montowane na obiektach inżynierskich”, Przegląd Komunikacyjny 9-10/2010.
- [7] HS TSI Infrastruktura, Dz.Urz. UE nr L 77 z 19.03.2008.
- [8] HS TSI Tabor, Dz. Urz. UE nr L 84 z 26.03.2008.
- [9] Skrzyński E.: Podtorze kolejowe, KOW, Warszawa 2010.