

# NAWIERZCHNIE DRÓG KOLEJOWYCH DUŻYCH PRĘDKOŚCI. PROBLEMY WYBORU KONSTRUKCJI

---

Kazimierz Towpik

prof. dr hab. inż., Politechnika Warszawska, Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu

---

*Streszczenie.* W publikacji opisano nawierzchnie z warstwą podsypki oraz nawierzchnie bezpodsypkowe układane na liniach dużych prędkości w aspekcie budowy nowej linii w Polsce. Podkreślono znaczenie właściwego przygotowania podtorza kolejowego oraz wskazano na możliwości wzmocnienia warstwy podsypki.

**Słowa kluczowe:** linie dużych prędkości, nawierzchnie kolejowe, stabilizacja podsypki

## 1. Wstęp

Budowa w Polsce linii dużych prędkości w następstwie decyzji podjętej w 2008 r. wiąże się z koniecznością wyboru typu nawierzchni zapewniającej bezpieczną eksploatację bez nadmiernego zwiększania kosztów utrzymania.

Istotne jest, aby konstrukcja nawierzchni zapewniała dobre warunki współpracy pojazdu z torem bez przekroczenia dopuszczalnych wartości sił dynamicznych oddziałujących na nawierzchnię oraz podtorze. Wartość sił 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 [5].

Nawierzchnię i podtorze charakteryzują: sprężystość konstrukcji (określana na podstawie pomiaru odkształceń toru pod obciążeniem), tłumienie konstrukcyjne oraz charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe, które opisują dynamiczną reakcję konstrukcji na oddziaływania pojazdów. Jednym z głównych czynników decydujących o wielkości oddziaływań dynamicznych jest sztywność podłoża szyny.

Na liniach kolei dużych prędkości (KDP) eksploatuje się obecnie zarówno nawierzchnie z warstwą podsypki, jak i nawierzchnie bezpodsypkowe. W obu wypadkach jest niezwykle istotne, aby były one układane na właściwie przygotowanym podtorzu. Niedotrzymanie tego warunku prowadzi do zakłóceń ruchu i zwiększonych kosztów utrzymania.

## 2. Nawierzchnie linii dużych prędkości

Klasyyczna nawierzchnia kolejowa z warstwą podsypki jest obecnie eksploatowana na wielu liniach dużych prędkości (między innymi we Francji), a jej konstrukcja nie uległa poważniejszym zmianom. Niekorzystną okolicznością jest to, że warstwa podsypki będąca jednym z elementów nawierzchni pracuje w zakresie elastoplastycznym, co powoduje, że w eksploatacji (w przypadku dobrego podtorza), jest ona źródłem 80–90% trwałych odkształceń toru. Następstwem tego jest konieczność wykonywania okresowych regulacji jego położenia oraz niezbędnych napraw.

Wymaganą pionową sztywność nawierzchni (zazwyczaj 150 MN/m) uzyskuje się przez odpowiedni dobór jej elementów – przytwierdzeń o dynamicznej sztywności nie większej od 600 MN/m, z przekładkami i wkładkami izolacyjnymi o odpowiednich właściwościach materiałowych. Tworzywo przekładek powinno zapewniać odpowiednio duży współczynnik tarcia, sprężystość i wystarczającą trwałość. Pod względem sprężystości rozróżnia się przekładki miękkie o sztywności dynamicznej mniejszej od 100 MN/m, średnie o sztywności 100–200 MN/m oraz twarde o sztywności większej od 200 MN/m. Najczęściej jest obecnie stosowany monoblokowy lub dwublokowy podkład betonowy.

W celu zwiększenia sprężystości nawierzchni i uzyskania korzystniejszego rozkładu nacisków, a tym samym spowolnienia procesu zużycia podsypki oraz zużycia falistego szyn, stosowane są również podkłady betonowe z przyklejonymi do dolnej powierzchni podkładkami USP (*Under Sleeper Pads*) z polimerów, o grubości 15–30 mm i sztywności ok. 35 kN/mm. Ich stosowanie nie powoduje ograniczenia wielkości oddziaływań między kołem i szyną, lecz zmniejsza wielkość naprężeń w podsypce.

Lepszą sprężystość nawierzchni na liniach dużych prędkości można także osiągnąć, układając dodatkowo pod warstwą podsypki podtorowe maty wibroizolacyjne wykonane z tworzyw sztucznych lub gumy, w postaci gotowych koryt lub arkuszy o różnych profilach (na przykład maty SBM (*Sub Ballast Mats*) o sztywnościach 0,01–0,06 N/mm<sup>2</sup>). Efektem stosowania mat jest również ograniczenie oddziaływań wibroakustycznych podczas przejazdu pociągów dużych prędkości, zwłaszcza w zakresie drgań o częstotliwości  $\geq 63$  Hz.

Na liniach dużych prędkości nawierzchnia z warstwą podsypki wymaga zwiększonych nakładów na jej utrzymanie. Jest to między innymi spowodowane występowaniem nietypowych zjawisk, takich jak wywiewanie podsypki połączone z uszkodzeniami szyn (wady zwane *belgropis*, nieujęte dotychczas w katalogu uszkodzeń szyn). Uszkodzenia te mają postać zagłębień o średnicy do 4 mm i głębokości 0,05–0,8 mm i są widoczne na powierzchni główki szyny, jako ciemne plamy, w obrębie których występują zazwyczaj również pęknięcia. Obserwowany jest także przyspieszony proces niszczenia materiału podsypki wskutek wysokoczęstotliwościowych uderzeń kół o szyny. Drgania szyn powodują również zwiększenie przyspieszeń łożysk osiowych pojazdów i w konsekwencji zauważalny wzrost sił dynamicznych. Obserwuje się wzrost liczby

uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych główki szyny, wady wewnętrzne prowadzące do pęknięć i złamań oraz zużycie faliste szyn.

Obok nawierzchni klasycznych na liniach dużych prędkości coraz powszechniej układa się nawierzchnie niekonwencjonalne, w których nie występuje warstwa kruszywa kamiennego. Podłoże szyny projektuje się wówczas jako ustrój wielowarstwowy, w którym wartości modułów odkształcenia poszczególnych warstw zmniejszają się wraz z głębokością. Wymaga to odpowiedniego doboru materiału oraz grubości poszczególnych warstw, ponieważ zanikanie naprężeń rozciągających w podłożu następuje na głębokości około 800 mm od spodu stopki szyny, w zależności od sztywności poszczególnych warstw konstrukcji.

Konstrukcja nawierzchni niekonwencjonalnej składa się najczęściej z *nawierzchni właściwej* (szyny, przytwierdzenia, podkładów stanowiących punktowe podparcie szyny lub płyta betonowa, betonowa warstwa nośna lub warstwa stabilizowana hydrauliczna) oraz z *podłoża* obejmującego warstwy ochronne, w tym górną warstwę mrozoochronną oraz niezwiązaną warstwę gruntu zagęszczonego lub niesortu spoczywającą na gruncie rodzimym.

Obecnie na liniach dużych prędkości układa się nawierzchnie o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych (na przykład typu Rheda 2000 lub Bögl i Getrac). W rozwiązaniach tych szyny mogą być przytwierdzone do dwublokowych podkładów wtopionych w zbrojone betonowe koryto, które z kolei opiera się na betonowej płycie. Nawierzchnie bezpodsypkowe charakteryzują się dobrą statecznością położenia toru, niewrażliwością na działanie sił podłużnych, na przykład wskutek ogrzania szyn prądami wirowymi przy hamowaniu, dużą trwałością konstrukcji (60 lat) oraz znacznie mniejszymi kosztami utrzymania niż w przypadku nawierzchni z warstwą podsypki. Nawierzchnie bezpodsypkowe są układane na zróżnicowanym podłożu (mosty, tunele, podtorze ziemne, podłoże rozjazdów) i szczególnie chętnie tam, gdzie liczba obiektów inżynierskich występujących na linii jest znaczna.

Uzyskuje się dobrą dokładność położenia toru, ale możliwość jego regulacji jest ograniczona, a usunięcie skutków awarii lub wykolejenia wymaga znacznie dłuższego czasu niż w przypadku nawierzchni klasycznej.

Zarówno nawierzchnie klasyczne, jak i bezpodsypkowe można układać na podłożu ziemnym pod warunkiem właściwego zagęszczenia gruntu. Nie spełniają tego warunku nasypy powyżej 10 m wysokości, głębokie przekopy wykonywane w gruntach spoistych (na przykład iłach), grunty podatne na osiadanie przy zawilgoceniu (lessy, gipsy) oraz nasypy na podłożu szczególnie podatnym na odkształcenia (na przykład na torfach).

Podtorze na liniach dużych prędkości powinno mieć odpowiednią wytrzymałość i sztywność, a jego górne warstwy powinny być zabezpieczone przed oddziaływaniem zwiększonych drgań. Podtorza kolejowego nie traktuje się jako obiektu mającego spełniać warunki interoperacyjności. Może być ono wykonywane zgodnie z przepisami danego kraju, pod warunkiem spełnienia wymagań dotyczących sztywności i własności wibroakustycznych toru oraz właściwej szerokości międzypodtorzy.

Należy również pamiętać, że przy prędkościach przekraczających 100 km/h 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 zależna jest od rodzaju ośrodka gruntowego [4].

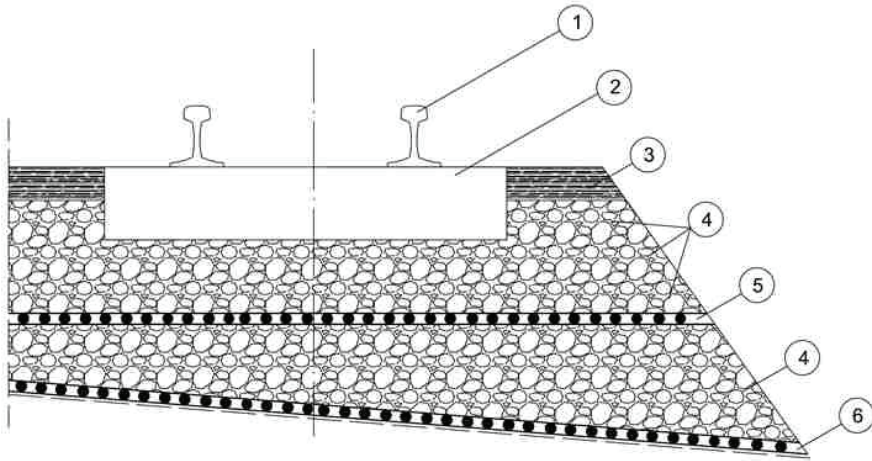
Właściwe przygotowanie podłoża gruntowego na liniach dużych prędkości jest niezwykle ważne i wymaga wykonania badań właściwości gruntu i oceny jego nośności. Uzyskanie wymaganych modułów odkształcenia osiąga się często drogą dodatkowego zagęszczania i stabilizacji gruntu. Warunkiem niezbędnym jest również dobre odwodnienie podtorza.

Na liniach KDP z nawierzchnią bezpodsypkową technologia napraw jest nieco inna. Wymiany szyn dokonuje się z użyciem stosowanych wcześniej technologii, lecz późniejsza regulacja położenia toru wymaga rozmieszczenia przekładek wyrównawczych umożliwiających przywrócenie właściwego położenia toru w obu płaszczyznach. Podobnie można stosować dotychczasowe technologie szlifowania szyn. Pozostaje jednak do rozwiązania problem wymiany nawierzchni po upływie okresu jej żywotności. W przypadku bezpodsypkowych konstrukcji monolitycznych prawdopodobnie konieczne będzie usunięcie 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 na liniach dużych prędkości 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 (na przykład wymiany pękniętych szyn) oraz ocenę ryzyka utraty zdolności eksploatacyjnej przez linię kolejową.

W warunkach polskich wiele okoliczności przemawia za wyborem nawierzchni z warstwą podsypki, między innymi ze względu na warunki terenowe [2] i prawdopodobnie stosunkowo niedużą liczbę obiektów inżynierskich oraz możliwość zastosowania prostszych, znanych technologii budowy, a następnie utrzymania nawierzchni. Warunkiem jest właściwe przygotowanie podtorza ziemnego. Można tu odwołać się do doświadczeń kolei francuskich, które eksploatują nawierzchnie podsypkowe, stosując wzmocnione przytwierdzenia (system FCX), przekładki o dużej sprężystości, podkłady z podkładkami USP, dodatkową stabilizację polimerami górnej warstwy podsypki, jak również układanie dodatkowej warstwy gruntu stabilizowanego bitumem [3].

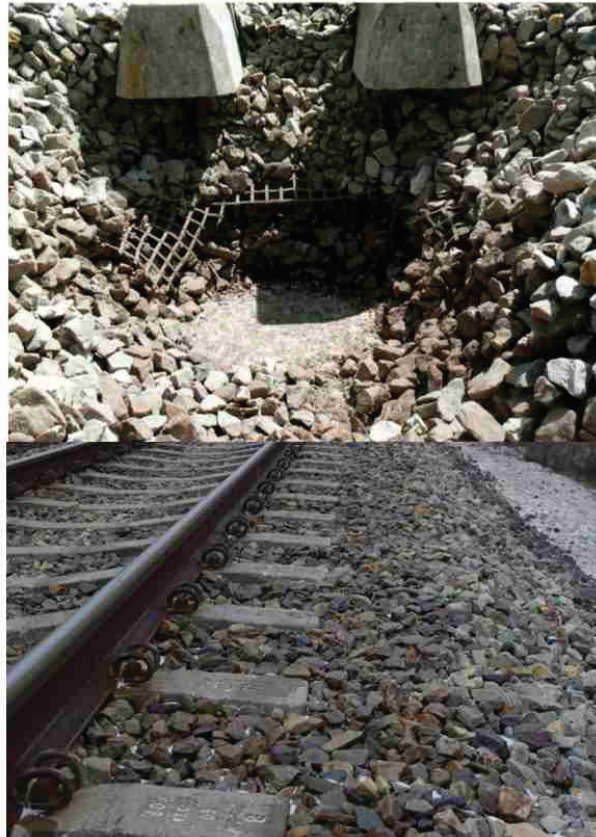
Wyniki badań prowadzonych w latach 2007–2014 na Centralnej Magistrali Kolejowej potwierdzają możliwość zwiększenia odporności nawierzchni na odkształcenia dzięki zastosowaniu kompozytu tłuczniowego w postaci warstwy tłucznia uzbrojonej geosiatkami i miejscowo stabilizowanej chemicznie [1] (rys. 1).



Oznaczenia:

(1) – szyna UIC 60 (60E1), (2) – podkład strunobetonowy, (3) – warstwa tłucznia stabilizowanego chemicznie, (4) – warstwa dolna zagęszczonego tłucznia, (4) – warstwa górna zagęszczonego tłucznia, (5) i (6) – geosiatka (geotłóknina)

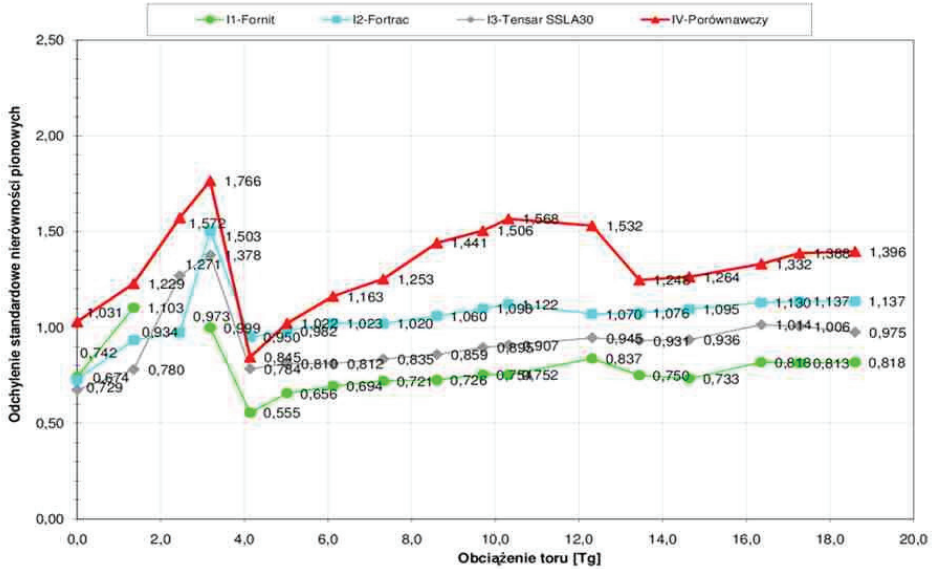
Rys. 1. Nawierzchnia z kompozytem tłuczniowym



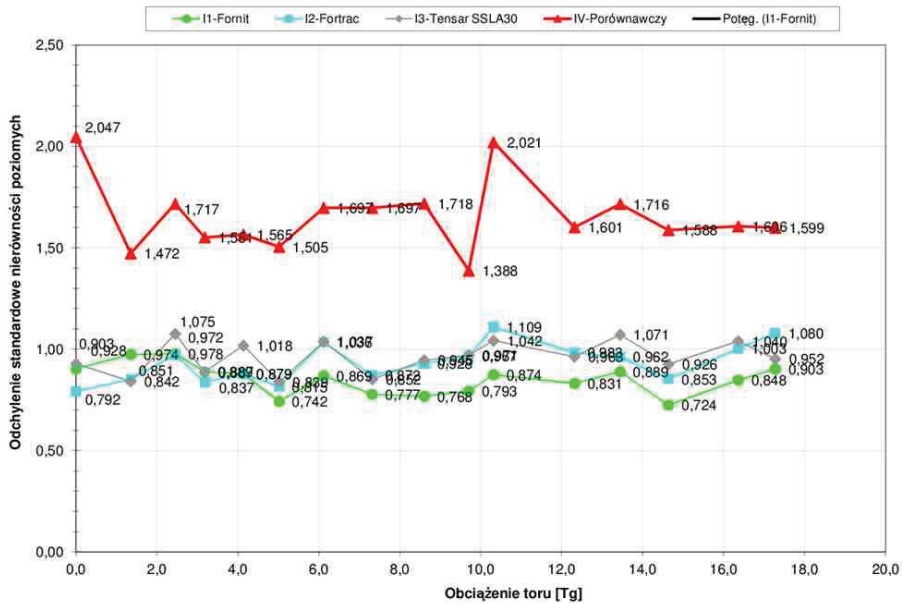
Rys. 2. Odcinek doświadczalny nawierzchni z kompozytem tłuczniowym (widok geosiatek i sklejoną żywicą tłuczeń)



Proponowane rozwiązanie, opisane w licznych pracach prezentowanych na konferencjach, przewiduje jednoczesne mechaniczne i chemiczne uodpornienie warstwy podsypki na zjawisko dekonsolidacji. Mechaniczne uodpornienie polega na uzbrojeniu podsypki dwiema geosiatkami. Pierwsze, dolne uzbrojenie stanowi geosiatka lub geowłóknina ułożona na styku podsypki z górną warstwą podtorza (rys. 2).



Rys. 3. Wartości odchylen standardowych nierówności pionowych dla działek I11, I12 i I13 w zestawieniu z sektorem porównawczym IV



Rys. 4. Wartości odchylen standardowych nierówności poziomych toru dla działek I11, I12 i I13 oraz sektora porównawczego IV

Po ułożeniu i zagęszczeniu pierwszej warstwy tłucznia (4) ułożono na podsypce drugą geosiatkę. Pomiary wykonywano drezyną EM-120 w okresie odpowiadającym przeniesieniu przez nawierzchnię obciążenia ponad 18 Tg. Na rys. 3 i 4 przedstawiono zmiany wartości odchyień standardowych nierówności pionowych i poziomych toru, które wskazują na istotne ograniczenie nierówności poziomych toru przy mniej widocznym, aczkolwiek również zauważalnym wpływie stabilizacji podsypki na zmiany odkształceń pionowych toru.

Podkreślenia wymaga fakt, że ograniczenie odkształceń pionowych toru nastąpiło również na odcinku porównawczym, gdzie dodatkowo ułożono na podtorzu warstwę niesortu.

### 3. Podsumowanie

Na liniach KDP eksploatuje się obecnie zarówno nawierzchnie z warstwą podsypki, jak i nawierzchnie bezpodsypkowe. W obu przypadkach jest niezwykle istotne, aby były one układane na właściwie przygotowanym podtorzu.

Zaletą nawierzchni bez podsypki jest korzystniejszy - z uwagi na skrajnię budowlą - przekrój poprzeczny linii oraz znacznie mniejsze nakłady na utrzymanie. Jednak 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.

Budowa linii dużych prędkości w Polsce wymaga decyzji o wyborze typu nawierzchni. Należy pamiętać, że nawierzchnia ta musi spełniać wymagania RAMS również w zakresie utrzymania, co powinno być przedmiotem analiz na różnych etapach realizacji – dotyczących niezawodności, dyspozycyjności, naprawialności i bezpieczeństwa drogi kolejowej oraz łącznych kosztów LCC. Wiele czynników, takich jak dogodne warunki terenowe oraz prawdopodobnie stosunkowo niewielka liczba obiektów inżynierskich i możliwość użycia prostszych technologii budowy i utrzymania linii, skłania do wyboru nawierzchni podsypkowej.

### Bibliografia

- [1] Basiewicz T., Gołaszewski A., Towpik K., Badania porównawcze nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym na odcinkach doświadczalnych. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej INFRASZYN 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] Pouligny P.A., A new design for ballasted HSL. 9th World Congress on High Speed Rail, Tokyo 2015.
  - [4] Skrzyński E., Podtorze kolejowe. KOW, Warszawa 2010.
  - [5] Towpik K., Koleje dużych prędkości – infrastruktura drogi kolejowej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.