

Łukasz Chudyba

# Porównanie kolejowej nawierzchni podsypkowej z bezpodsypkową

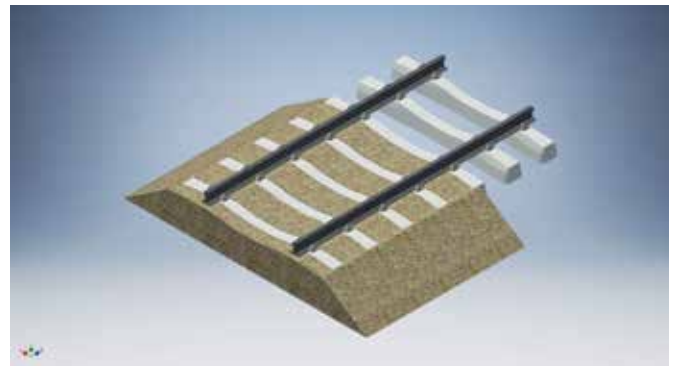
*W pracy porównano wady i zalety stosowania nawierzchni podsypkowych z bezpodsypkowymi w zakresie budowy oraz eksploatacji. Wykonano przegląd dostępnych rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni kolejowych, opisano ich budowę wraz z ich klasyfikacją. Opisano wielowarstwowe modele obliczeniowe toru.*

**Słowa kluczowe:** tor kolejowy, nawierzchnia bezpodsypkowa, model wielowarstwowy.

Dynamiczny rozwój kolei na świecie zdeteminował zmiany w zakresie konstrukcji nawierzchni kolejowych. Stopniowe podnoszenie prędkości na liniach kolejowych oraz poszukiwanie redukcji kosztów utrzymania toru kolejowego doprowadziły do stosowania nawierzchni niekonwencjonalnych, bezpodsypkowych, których konstrukcja oparta jest na sztywnej podbudowie, najczęściej wykonanej w postaci zbrojonej płyty betonowej. Producenci elementów nawierzchni kolejowej prześcigają się w różnych pomysłach na nowe systemy konstrukcji nawierzchni bezpodsypkowej w celu zastąpienia najczęściej stosowanego rozwiązania, jakim jest tradycyjna nawierzchnia oparta na poprzecznie ułożonych podkładach obsypanych podsypką kolejową. W artykule dokonane zostało porównanie tych dwóch rodzajów nawierzchni w celu sprawdzenia ich przydatności eksploatacyjnej na liniach kolejowych.

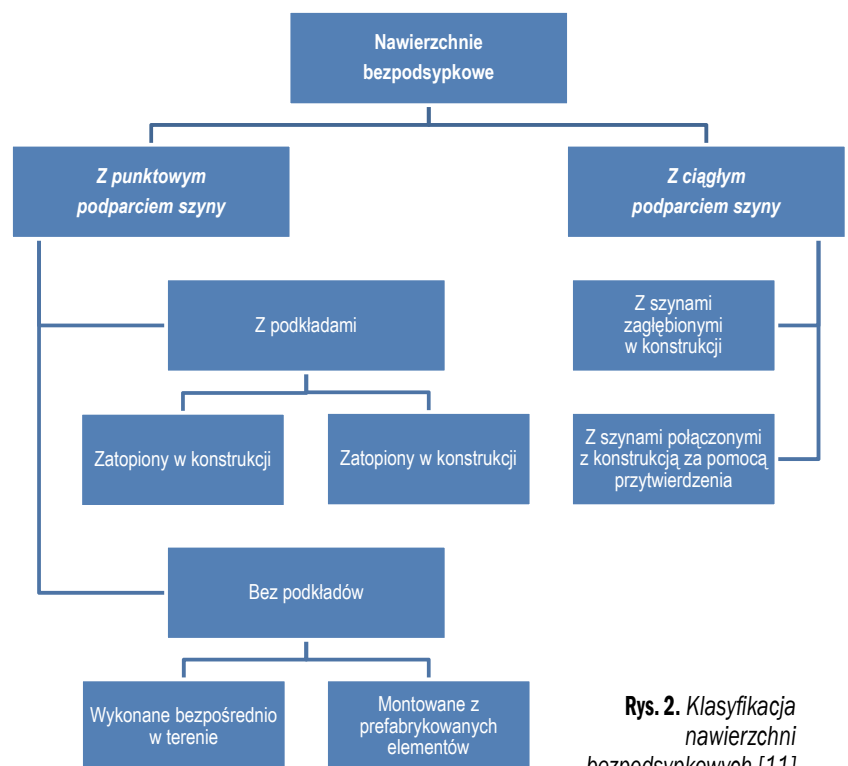
## Konstrukcja toru

Nawierzchnie kolejowe stosowane na całym świecie są realizowane jako różnego typu konstrukcje. Najbardziej popularną jest nawierzchnia podsypkowa z zastosowaniem poprzecznych belek w postaci podkładów drewnianych, strunobetonowych (rys. 1) oraz w mniejszym zakresie podkładów stalowych, jak również rzadziej stosowanych podkładów w postaci ramy oraz podkładów wzdłużnych. Tradycyjna konstrukcja nawierzchni z zastosowaniem podsypki tłuczniowej stosowana jest w niezmiennym kształcie już od ponad 150 lat, osiągając granicę swojej wytrzymałości. Ma to bezpośredni związek ze zwiększającymi się prędkościami na liniach kolejowych oraz znaczącymi oddziaływaniami dynamicznymi [4]. Badania prowadzone w Niemczech w latach 60. XX w. przez R. Ramp'a wykazały, że podsypka jest najsłabszym elementem nawierzchni [10]. Drgania powstałe na skutek przejeżdżającego taboru kolejowego powodują trwałe odkształcenia podsypki, powodując zmiany charakterystyk sprężystości tłumienia na długości toru. Jest to spowodowane pracą rusztu torowego w stadium sprężysto-plastycznym [13]. Powoduje to deformacje układu torowego w pionie i w poziomie oraz osłabienie stabilności podsypki. W przypadku stosowania nawierzchni podsypkowych na liniach dużych prędkości

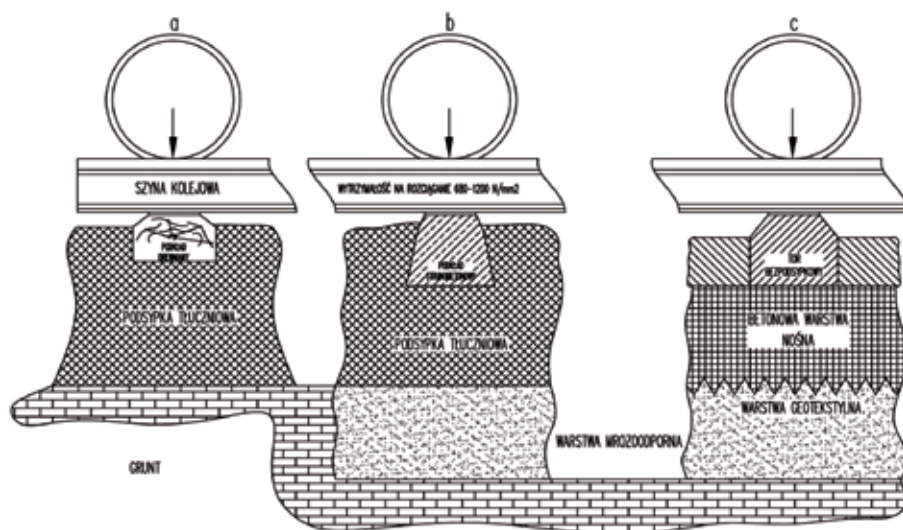


Rys. 1. Klasyczne torowisko podsypkowe z podkładami strunobetonowymi

dochodzi do powstania zwiększonego pędu wiatru podczas przejazdu pociągu, co powoduje odrywanie ziaren tłucznia z przyzmy podsypki, zjawisko nazywane potocznie „latającym” tłuczniem. Konieczne staje się wykonywanie prac naprawczych, rosną także koszty utrzymania torowiska [4]. Zupełnie inne podejście można znaleźć na liniach kolejowych we Francji, gdzie główną stosowaną konstrukcją nawierzchni jest klasyczne rozwiązanie z podsypką. Dotyczy to również nawierzchni na Kolejach Dużych Prędkości. Warto podkreślić, iż obecny rekord prędkości został ustanowiony 3 kwietnia 2007 r. na sieci SNCF Réseau właśnie na torze z podsypką i wynosi on 574,8 km/h. Wysokie koszty utrzymania na-



Rys. 2. Klasyfikacja nawierzchni bezpodsypkowych [11]



Rys. 3. Budowa nawierzchni kolejowej: a) podsypkowej z podkładami drewnianymi, b) podsypkowej z podkładami strunobetonowymi, c) bezpodsypkowej [5]

wierzchni zmusiły zarządców infrastruktury, w szczególności linii kolejowych, do zastosowania nawierzchni bez podsypki.

Alternatywnym rozwiązaniem, dającym możliwość zastąpienia najłabszego elementu jakim jest podsypka kolejowa, jest stosowanie nawierzchni niekonwencjonalnych bezpodsypkowych. Takie działania zapewniają lepszą pracę konstrukcji poprzez zmniejszenie pionowych odkształceń sprężystych. Konstrukcja bezpodsypkowa jest projektowana jako ustrój wielowarstwowy, w którym wartość modułów odkształcenia poszczególnych warstw zmniejsza się wraz z głębokością ich ułożenia [12]. Na chwilę obecną można znaleźć bardzo dużo rozwiązań takich nawierzchni wykonanych w postaci płyt torowych, prefabrykowanych paneli, dwublokowych podkładów lub pojedynczych bloków. Na rysunku 2 przedstawiono podział nawierzchni bezpodsypkowych, ze względu na zastosowaną konstrukcję.

Obecnie w infrastrukturze kolejowej na świecie stosuje się 3 podstawowe konstrukcje nawierzchni: podsypkową z podkładami drewnianymi (rys. 3a) lub strunobetonowymi (rys. 3b) oraz bezpodsypkową (rys. 3c).

### Wymagania stawiane nawierzchniom bezpodsypkowym Podbudowa

Nawierzchnie bezpodsypkowe, w przeciwieństwie do podsypkowej konstrukcji toru, wymagają przygotowania podtorza w sposób praktycznie wykluczający osiadanie. Zabieg ten jest konieczny w celu wyeliminowania zarysowania płyty betonowej podczas nierównomiernego osiadania podłoża gruntowego. Ze względu na wysokość konstrukcji oraz koszty wykonania, nawierzchnie bezpodsypkowe stosowane są głównie w tunelach. W przypadku nawierzchni podsypkowych dopuszcza się osiadanie nasypu 2 cm na długości 10 m, gdyż na kolejnym etapie może ono zostać zrównoważone poprzez podbicie toru. W przypadku nawierzchni podsypkowych konieczne jest wykonanie podbudowy na głębokość 0,5 m poniżej warstwy mrozoochronnej. W przypadku nawierzchni podsypkowych grubość tej warstwy wzrasta do 2,5 m poniżej powierzchni betonowej płyty nośnej. Zaleca się, aby w przypadku nawierzchni bezpodsypkowych warstwa mrozoochronna nie była mniejsza niż 50–70 cm w zależności od rodzaju systemu [14].

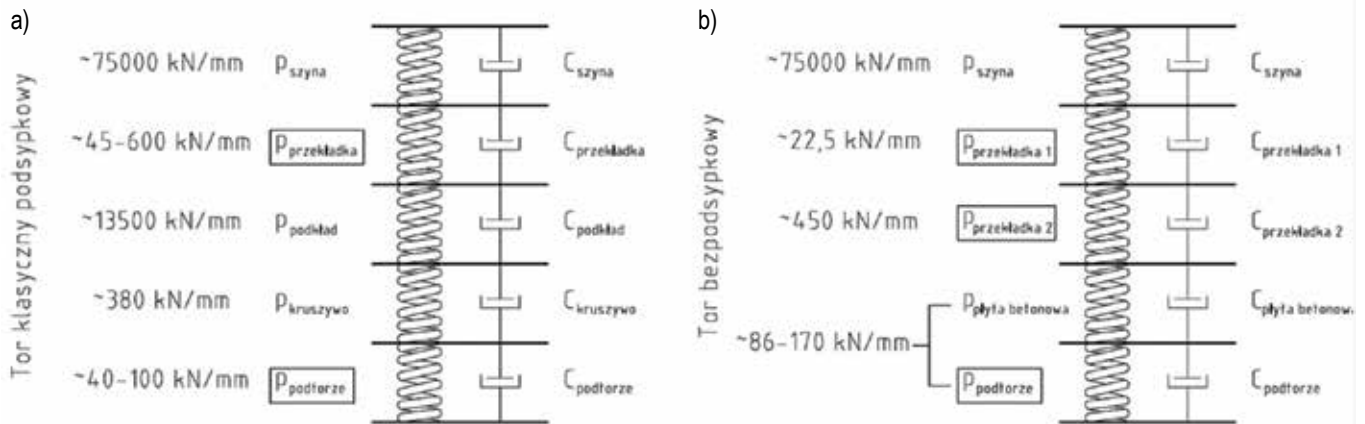
### Konstrukcja i wytrzymałość warstw nośnych

W przypadku warstwy nośnej możemy wyróżnić 3 podstawowe konstrukcje: betonową, asfaltową oraz warstwę związaną hydraulicznie. Warstwa nośna wymusza wykonanie powierzchni górnej w tolerancjach  $\pm 2$  mm. Gdy wykonujemy warstwę nośną w postaci płyty betonowej wylewanej na miejscu budowy należy stosować beton klasy minimum C30/37, w szczególnych przypadkach, w celu zapewnienia mrozoodporności, stosuje się środki zapewniające odpowiednią szczelność lub zwiększoną klasę C40/45. Zaleca się stosowanie cementu w mieszance betonowej w ilości 350–370 kg/m<sup>3</sup>. W celu zabezpieczenia betonu przed zarysowaniem powinno się stosować zbrojenie płyty. Stopień zbrojenia to 0,8–0,9% przekroju poprzecznego płyty. W zależności od rodzaju systemu grubość płyty nośnej nie powinna być mniejsza niż 18 cm.

Warstwę nośną na powierzchni ziemnej z asfaltu wykonuje się w postaci czterech warstw o całkowitej grubości 300 mm. Taką warstwę, tak jak w przypadku płyty betonowej, wykonuje się w tolerancjach  $\pm 2$  mm. Są to wymagania znacząco przekraczające tolerancje wykonania konstrukcji asfaltowych na drogi samochodowe. Ruch pociągów po warstwie nośnej wykonanej z asfaltu dozwolony jest jedynie, kiedy temperatura wewnętrzna w asfalcie nie przekracza 50°C. Wadą asfaltu jest jego wrażliwość na promieniowanie UV, dlatego jego powierzchnia musi być pokryta warstwą kamienia, żwiru lub podobnego materiału [5]. Podbudowa betonowa, zwana warstwą związaną hydraulicznie, układana jest bezpośrednio pod warstwą nośną wykonaną z betonu lub asfaltu, zazwyczaj na głębokość 300 mm. Warstwę związaną hydraulicznie wykonuje się z różnego rodzaju kruszywa naturalnych o maksymalnym rozmiarze 32 mm piasku oraz o zawartości cementu portlandzkiego ok. 110 kg/m<sup>3</sup> [5].

### Modele wielowarstwowe konstrukcji nawierzchni podsypkowej oraz bezpodsypkowej

Tor kolejowy jest konstrukcją wielowarstwową zbudowaną z szyn kolejowych, podkładów oraz systemów przytwierdzeń. Na szynę oddziałują obciążenia taboru kolejowego, które następnie przekazywane są na kolejne elementy nawierzchni. Klasyczna nawierzchnia, oprócz wcześniej wymienionych elementów, posiada również podsypkę mającą za zadanie rozłożyć przekazane obciążenia na górną warstwę nasypu kolejowego. Pod podsypką znajduje się warstwa niesortu, która zabezpiecza nasyp przed uszkodzeniem od podsypki oraz zabezpiecza tor przed powstałym błotem i wychłapami. Podparcie toru odpowiednio zagęszczoną podsypką można uznać jako warstwę sprężystą odpowiedzialną za tłumienie drgań. W przypadku nawierzchni bezpodsypkowych, wykonywanych zazwyczaj w postaci płyt, podstawę nawierzchni stanowi ciągła sztywna betonowa płyta. Płyta w znacznej mierze jest posadowiona na różnego rodzaju warstwach cementowych będących zabezpieczeniem przed nierównomiernym osiadaniem podłoża (w przypadku posadowienia na podłożu ziemnym) oraz na warstwach mrozoodpornych. W przypadku wykorzystania nawierzchni bezpodsypkowych w tunelach oraz na mostach, płyta nośna układana jest na sztywnych betonowych warstwach: płycie mostowej lub płycie spągowej [2].



Rys. 4. Wielowarstwowy model toru: a) podsypkowego, b) bezpodsypkowego [3]

Wiele modeli obliczeniowych toru przedstawia tor jako belkę ciągną na sprężystym podłożu z założeniem losowego charakteru obciążenia, gdzie współczynnik sztywności ( $\rho_{total}$ ) toru kolejowego jest kluczowym parametrem określającym rozkład obciążenia w całym układzie. W artykule [3] współczynnik określono jako:

$$\frac{1}{\rho_{total}} = \sum_{i=1}^v \frac{1}{\rho_i}$$

gdzie:

$i$  – jest każdą kolejną warstwą w wielowarstwowym modelu konstrukcji toru.

Na rys. 4a przedstawiono model toru podsypkowego, natomiast na rys. 4b model toru bezpodsypkowego.

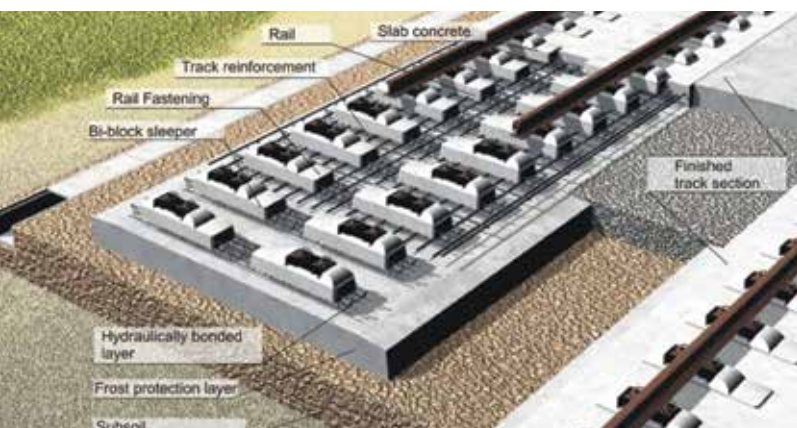
### Przegląd nawierzchni bezpodsypkowych

Najczęściej stosowanym systemem bezpodsypkowym jest nawierzchnia typu RHEDA 2000®. Pierwsza wersja nawierzchni została zabudowana w 1972 r. na stacji Rheda-Wiedenbruck. Konstrukcja nazywana wówczas Rheda Classic składała się z 20 cm warstwy nośnej ułożonej na betonowej płycie nośnej o grubości 14 cm. Na płycie układano podkłady monoblokowe typu B70S. Wieloletnie doświadczenia stosowania nawierzchni bezpodsypkowych wpływały na ewolucję systemu, który dziś stosowany jest pod nazwą Rheda 2000® (rys. 5). Obecnie zastąpiono ciężkie podkłady monoblokowe podkładami dwublokowymi połączonymi trójwymiarową kratownicą. Takie rozwiązanie obniża koszty transportu podkładu oraz ułatwia ułożenie go na warstwie nośnej.

Podkłady dwublokowe zostają ułożone na hydraulicznie związanej warstwie, a następnie zabetonowane, tworząc monolityczną konstrukcję nawierzchni kolejowej. W płycie, w zależności od rodzaju podbudowy (konstrukcja ziemna, obiekt mostowy czy też tunel), stosuje się zbrojenie przeciw skurczowe zapewniające zabezpieczenie płyty przed zarysowaniem w cyklu budowy. Bloki systemu Rheda 2000® mogą być dostosowane do różnych typów systemów przytwierdzeń m.in. Vossloh 300, Pandrol Fast Clip. W celu zastosowania systemu Rheda 2000® w tunelach lub w metrze, gdzie konieczna jest dodatkowa redukcja hałasu oraz drgań powstających na skutek ruchu taboru, zaprojektowano rozwiązanie z zastosowaniem mat wibroizolacyjnych. Podparcie płyty nośnej w zależności od potrzeb eksploatacyjnych wykonywane jest w postaci powierzchniowej (rys. 6), ciągłej lub punktowej.

Innym rozwiązaniem szeroko stosowanym w kolejnictwie jest system wykonany z pojedynczych bloków betonowych. Do najbardziej popularnych rozwiązań można zaliczyć system LVT (Low Vibration Track) oraz EBS (Embedded Block System). Głównym elementem tych nawierzchni są betonowe bloki osadzone w tzw. „gumowych butach” (rys. 7) lub w masach żywicznych (rys. 8). Takie rozwiązanie ma na celu zapewnienie tłumienia drgań oraz redukcji hałasu. Przy montażu istotne jest bezbłędne rozmieszczenie bloków betonowych w celu zapewnienia wymaganej szerokości toru, pochylenia, jak również przechyłki na łukach kołowych i krzywych przejściowych, a w kolejnym kroku trwałe zabetonowanie.

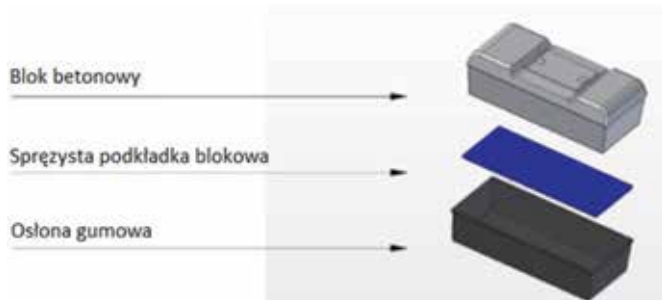
Kolejnym rozwiązaniem nawierzchni bezpodsypkowej jest system FFB, który wykonany jest z betonu sprężonego w postaci płyt



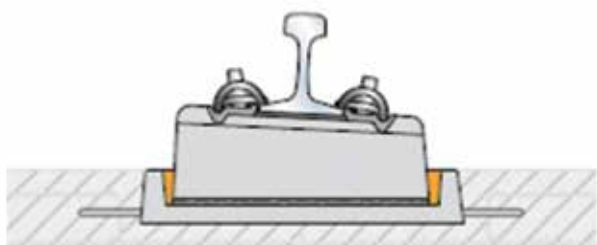
Rys. 5. Konstrukcja nawierzchni Rheda 2000® na powierzchni ziemnej [8]



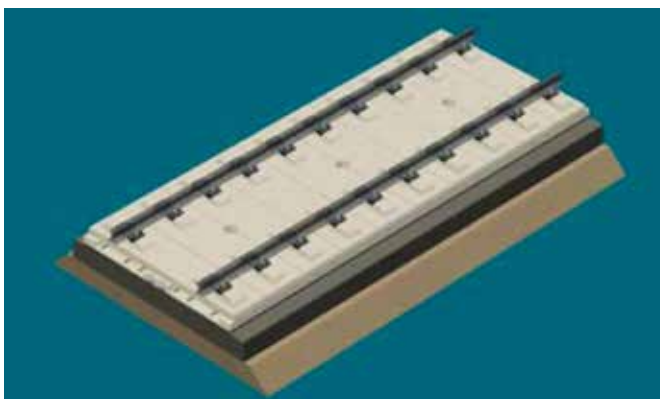
Rys. 6. Rheda 2000® z wibroizolacją [8]



Rys. 7. Konstrukcja nawierzchni LVT [9]



Rys. 8. Konstrukcja nawierzchni typu EBS [6]



Rys. 9. Segment prefabrykowanej płyty betonowej systemu FFB [1]

prefabrykowanych. Każda prefabrykowana płyta o wymiarach 645 x 255 x 20 cm wykonana jest z betonu klasy C45/55 i sprężona poprzecznie. Płyty tworzą segmenty składające się z 10 podpór blokowych o rozstawie przytwierdzeń 65 cm (rys. 9).

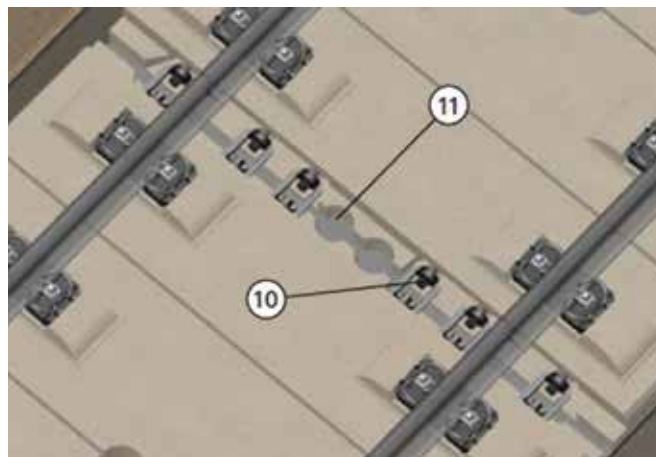
Na miejscu zabudowy, płyty układają się na betonowej płycie i stabilnie łączą ze sobą. Następnie w otwory montażowe wlewa się zaprawę bitumiczno-cementową, która wypełnia przestrzeń i spaja ze sobą warstwę nośną oraz płytę konstrukcyjną (rys. 10) [4].

Kolejną nawierzchnią opartą na konstrukcji płyty betonowej jest system ÖBB – PORR (rys. 11). Technologia oparta jest na płytach torowych o grubości 16 lub 24 cm, maksymalnej długości 5,16 m oraz szerokości 2,40 m. Płyta na powierzchni górnej wykonana jest w sposób umożliwiający zamontowanie systemu przytwierdzenia. Przestrzeń pomiędzy płytą nośną a prefabrykowaną oraz w otworze w płycie wypełnia się specjalną sprężystą warstwą rozdzielającą. Jest to korzystne w przypadku naprawy, ponieważ ułatwia rozdzielanie dwóch połączonych ze sobą warstw [4].

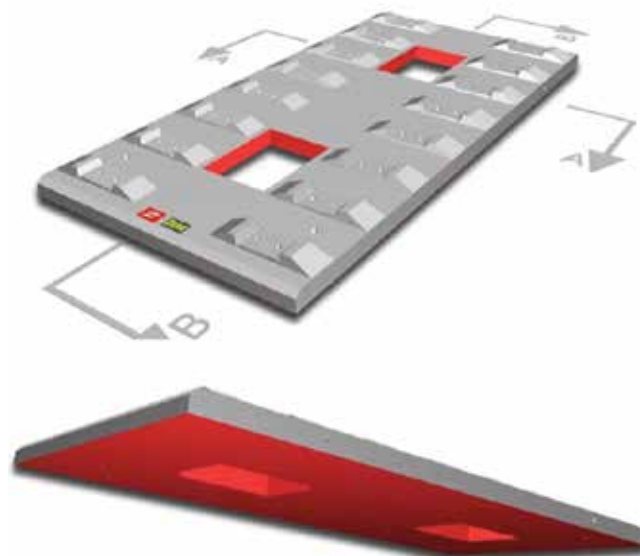
System szyny w otulinie (ERS – *Embedded Rail System*) jest rodzajem bezpodsypankowej nawierzchni kolejowej, w którym zale-

wa bitumiczna zastępuje standardowy sposób mocowania szyny (rys. 12). Nawierzchnia może być wykonywana zarówno na bazie prefabrykowanej płyty, płyty wylewanej in situ lub ewentualnie w postaci konstrukcji stalowej. Ciągłe podparcie szyny ma za zadanie sprężyste przenoszenie obciążenia od taboru kolejowego, redukcję drgań oraz hałasu.

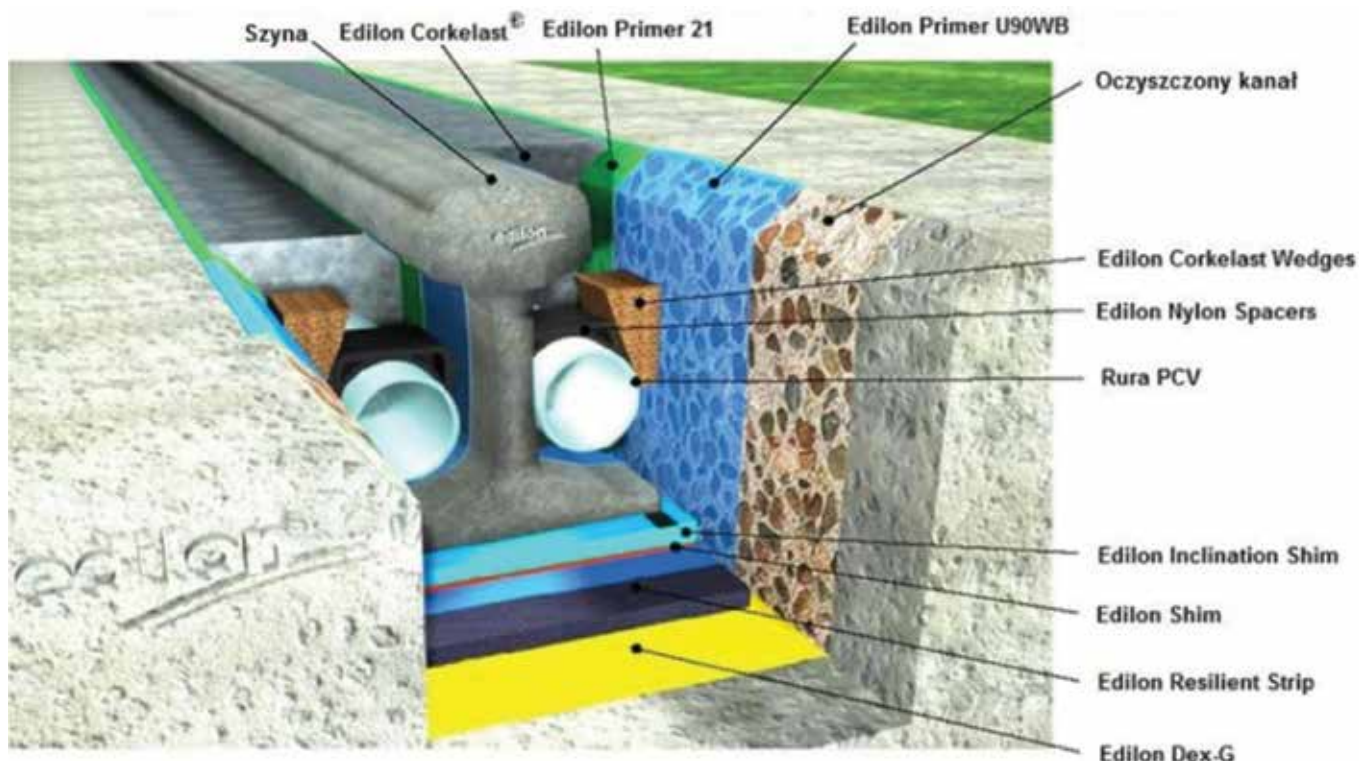
Niekonwencjonalną nawierzchnię systemu GETRAC (rys. 13) stanowią betonowe podkłady ułożone bezpośrednio na podbudowie asfaltowej. Podkłady są mocowane do warstwy asfaltowej za pomocą betonowych bloków kotwiących. Łączą one górną warstwę podbudowy asfaltowej z podkładem za pośrednictwem gniazda kotwiącego znajdującego się w jego środku. Bloki kotwiące mają za zadanie przenosić siły podłużne i poprzeczne na podbudowę asfaltową i utrzymywać stałe położenie podkładów. Zastosowanie takiego rozwiązania powoduje równomierne przekazywanie sił i zapobiega koncentracji naprężeń w narożach. Nawierzchnię asfaltową zaleca się pokryć tłuczniem w celu zagwarantowania izolacji termicznej. Główną zaletą systemu Getrac jest możliwość szybkiej i łatwej zabudowy technologii układania nawierzchni, co umożliwia dużą dzienną wydajność.



Rys. 10. Połączenie dwóch segmentów płyt prefabrykowanych systemu FFB [1]



Rys. 11. Prefabrykowana płyta typu ÖBB – PORR [7]

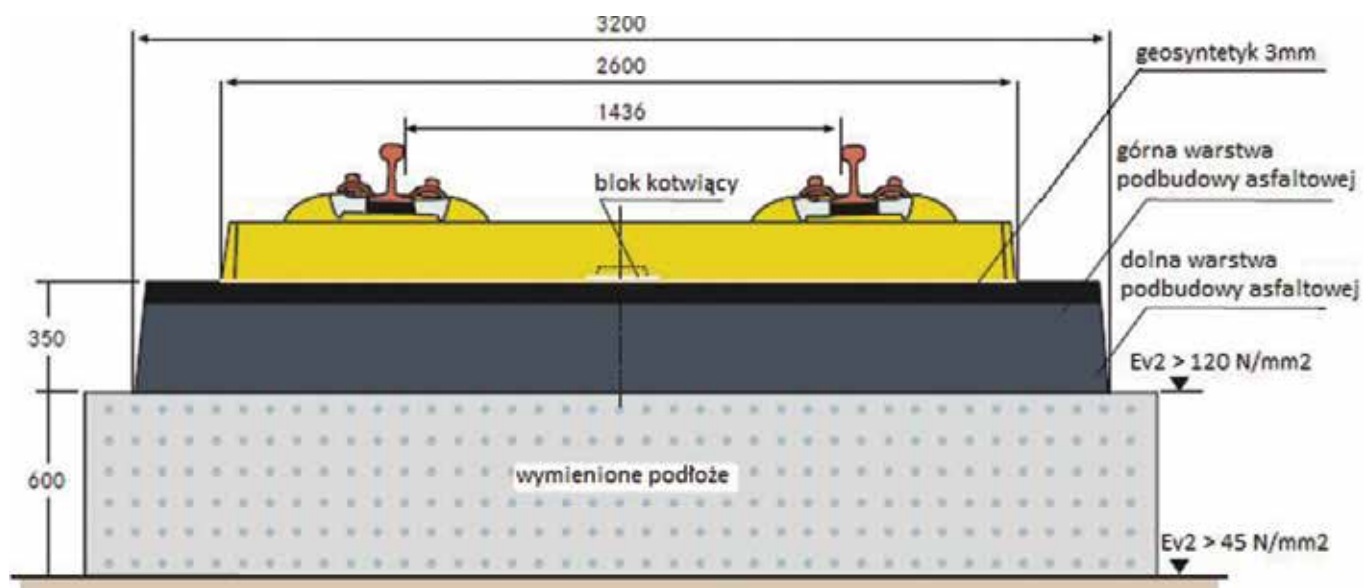


Rys. 12. Konstrukcja nawierzchni typu ERS [6]

### Porównanie nawierzchni bezpodсыpkowej z podсыpkową

Konstrukcja klasycznej nawierzchni podсыpkowej, wykonana z szyn, systemów przytwierdzeń oraz ułożonych poprzecznie podkładów belkowych obsypanych kruszywem, jest najczęściej stosowanym rozwiązaniem na liniach kolejowych na świecie. Największą zaletą takiego rozwiązania jest sprężystość nawierzchni umożliwiająca redukcję drgań oraz hałasu. Rozwiązanie to sprawdza się w większości przypadków. Dużą zaletą są niskie koszty wykonania oraz wysoka wydajność w cyklu budowy. Mimo, iż nawierzchnia podсыpkowa wymaga ciągłego utrzymania, to obecnie proces ten jest wysoko zmechanizowany i nie stanowi większego

utrudnienia dla zarządców infrastruktury w poszczególnych krajach. Wiąże się to również z możliwością poprawy geometrii torów już po montażu oraz podczas codziennej eksploatacji. Ma to szczególne znaczenie, gdy modernizacja linii rozłożona jest na wiele etapów lub naprawa prowadzona jest na różnych odcinkach i rozciągnięta w czasie, a także w przypadkach, gdy na linii dochodzi do częściowych zmian jak np. obiektów inżynierskich, a następnie konieczna jest regulacja wykonanego wcześniej toru lub też jego przesunięcie czy też zmiana geometrii np. układów krzywoliniowych. Takiej możliwości nie ma w przypadku nawierzchni bezpodсыpkowych.



Rys. 13. Konstrukcja nawierzchni typu GETRAC [8]

Wadą nawierzchni podsypkowej jest na pewno koszt związany z diagnostyką oraz utrzymaniem w trakcie eksploatacji. Konieczne jest zastosowanie specjalistycznych maszyn w czasie procesu oraz podczas układania toru kolejowego. Za słaby punkt nawierzchni podsypkowej należy uznać tłuczeń kolejowy, którego cykl życia jest ograniczony, a własności w trakcie eksploatacji pogarszają się, zarówno w przypadku degradacji od zadanego obciążenia, jak również wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń. Dlatego niezbędne są jego systematyczne wymiany oraz oczyszczanie. Brak takich prac może doprowadzić do utraty jego funkcjonalności.

Takich problemów nie spotykamy w przypadku nawierzchni bezpodsypkowych wykonanych z betonu czy też asfaltu.

W przypadku nawierzchni bezpodsypkowej, do zalet należą niskie koszty utrzymania konstrukcji toru w cyklu eksploatacji, jednak jest to osiągnięte przy wysokim koszcie początkowym, czyli zabudowie na linii kolejowej. Duży wpływ ma na to długość toru, bardzo dobra geometria toru, co bezpośrednio wpływa na komfort podróży. Niezmienna geometria bardzo pozytywnie oddziałuje na stan i trwałość innych elementów konstrukcji nawierzchni - systemów przytwierdzeń oraz zmniejsza zużycie szyn. Należy zwrócić uwagę na często popełniany błąd, a mianowicie uznanie tego typu nawierzchni za bez utrzymaniową. Każda stosowana na świecie nawierzchnia wymaga chociażby najmniejszych prac diagnostycznych oraz utrzymaniowych np. poprzez dokręcanie elementów systemu przytwierdzenia, czyszczenie czy też uzupełniania braków i ubytków materiałowych. Do wad nawierzchni bezpodsypkowych, poza dużym kosztem budowy, należy zaliczyć również zwiększoną emisję hałasu, którego redukcja cały czas jest doskonała przez producentów poprzez zastosowanie różnego rodzaju elementów elastycznych pod całym systemem lub w miejscu przytwierdzenia szyn. Stosując nawierzchnie bezpodsypkowe na konstrukcjach ziemnych (w nasypach czy też wykopach), w miejscach, gdzie możliwe jest zjawisko osiadania, konieczne jest zastosowanie dotykowych prac stabilizujących i usztywniających wykonanych bezpośrednio pod płytą torową oraz wykonanie dodatkowego zbrojenia elementów betonowych. W przypadku budowy toru w miejscach, gdzie utrudnione jest zachowanie wymaganej skrajni budowli pionowej, można obniżyć wysokość nawierzchni właśnie poprzez zastosowanie konstrukcji toru jako bezpodsypkowej. Jest to zaleta w przypadku renowacji nawierzchni na istniejących już obiektach inżynierskich - obiektach mostowych lub tunelach. Tor bezpodsypkowy charakteryzuje się również zwiększoną stabilnością w kierunku poprzecznym, co umożliwi w przyszłości zwiększenie prędkości na eksploatowanych liniach bez dodatkowych kosztownych prac spowodowanych modernizacją istniejącego układu torowego. Z bardzo dużymi utrudnieniami spotykamy się w przypadku nawierzchni bezpodsypkowych w chwili wymiany lub też renowacji toru. Zabiegi te są kosztowne i pozbawione zmechanizowanych czynności tak jak w przypadku nawierzchni podsypkowych. Dotyczy to również prac naprawczych powstałych na skutek obciążeń awaryjnych np. wykolejenia taboru.

## Wnioski

Ciągły postęp techniczny widoczny jest we wszystkich segmentach przemysłowych, również w przypadku infrastruktury kolejowej. Prace nad doskonaleniem nawierzchni kolejowych prowadzą do skrócenia czasu prac budowlanych, obniżenia kosztów budowy, jak również prac utrzymaniowych w czasie eksploatacji. Podnoszenie jakości nawierzchni umożliwia większy komfort podróżowania oraz zwiększenie prędkości na liniach kolejowych. Nie jest jednak

możliwe, aby jedno rozwiązanie było tak doskonałe, aby spełnić i zoptymalizować wszystkie wymienione powyżej parametry równocześnie. Trudno jest jednoznacznie pokazać wyższość którejkolwiek z proponowanych konstrukcji nawierzchni kolejowej. Można znaleźć wielu zwolenników, jak i przeciwników tych konstrukcji. Na pewno za nawierzchnią podsypkową przemawia szerokie oraz skuteczne zastosowanie na całym świecie. Wydaje się, że zastąpienie podsypki kolejowej na dużą skalę innym materiałem jest bardzo trudne, a może wręcz niemożliwe. Niemniej jednak można bez problemu znaleźć sektory dla nawierzchni bezpodsypkowych, gdzie ich zastosowanie będzie rozwiązaniem optymalnym np. tunele, mosty lub wiadukty.

## Bibliografia

1. *Feste Fahrbahn Bögl*, Materiały reklamowe firmy Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co.
2. Giannkos K., Tsoukantas S., *Transition zone between ballastless and ballast track: Influence of changing stiffness on acting forces*, „Procedia – Social and Behavioral Sciences” 48, 2012, s. 3548–3557.
3. Giannkos K., Tsoukantas S., *Transition zone between Slab Track and ballasted – Variation of Elasticity and Influence on the Acting Forces*, Greek Department of Concrete (Member of FIB – RILEM), Conference, Limassol, Cyprus 2009.
4. Grulkowski S., Kędra Z., Koc W., Nowakowski M. J., *Drugi szynowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013.
5. Lichtberger B., *Track Compendium*, DVV Media Group GmbH, Hamburg 2011.
6. Materiały promocyjne firmy Edilon Sedra.
7. Materiały promocyjne firmy Porr Technobau und Umwelt AG.
8. Materiały promocyjne firmy RAIL.ONE GmbH.
9. Materiały promocyjne firmy Sonnevillle.
10. Rump R., *Warum Feste Fahrbahn*, „Hestra Verlag” 1997, s. 8–11.
11. Sołkowski J., *Efekt progowy w nawierzchniach szynowych*, Monografia 435, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2013.
12. Towpik K., *Linie kolejowe dużych prędkości*, „Problemy Kolejnictwa” 2010, z. 151.
13. Towpik K., *Nawierzchnie niekonwencjonalne w aspekcie dużych prędkości*, II Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym INFRASZYN 2009”, Radom, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, 2009.
14. Vogel W., Grübl W., *Erdbeuerkr von Neubaustrecken für Feste Fahrbahn*, „ETR – Eisenbahntechnische Rundschau” 1993, 9(42), p. 603–610.

## Autor:

dr inż. **Łukasz Chudyba** – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego

### Comparison of balast and slab tracks

The paper presents comparison of advantages and disadvantages of blast track with ballastless system in assembling and exploitation. It reviews available construction solutions with classification and describes multilayer models.

**Key words:** railway track, ballastless system, multilayer model.