

# Rozwiązania w zakresie kolejowych nawierzchni bezpodsypkowych stosowanych w Europie

## Solutions of non-ballast tracks which are used in Europe



**Mateusz Szczygieł**

Mgr inż.

Projektant Torowy w Egis Poland  
sp. z o.o

szczygieł.mateusz1996@gmail.

**Streszczenie:** Stale rozwijające się sieci kolejowe które co raz częściej przechodzą przez tereny zabudowane generują nowe problemy do rozwiązania, które próbuje się rozwiązać poprzez stosowanie różnego rodzaju nawierzchni bezpodsypkowych. W artykule skupiono się na przedstawieniu i krótkiemu scharakteryzowaniu różnych typów kolejowej nawierzchni bezpodsypkowej stosowanych w Europie. Przedstawiono rozwiązania różniące się od siebie sposobem tłumienia wibracji, technologią zabudowy, sposobem przenoszenia obciążeń, właściwościami eksploatacyjnymi i utrzymaniowymi. Każde z przedstawionych rozwiązań ma swoje zalety i wady. Ważne jest aby w opisanych rozwiązaniach projektanci poruszali się swobodnie i odpowiednio je dobierali do warunków lokalnych.

**Słowa kluczowe:** Nawierzchnia bezpodsypkowa; Płyta podtorowa; Nawierzchnia niekonwencjonalna

**Abstract:** Constantly growing railway networks, increasingly in built-up area, create new problems necessary to fix. In this article focused on presented and short characterize different types non-ballasted tracks used in Europe. Solutions showed in this article are different in a sphere of vibration damping, building technology, method of transferring load, operational and maintenance properties. Every from presented solutions have advantages and disadvantages. The most important is good knowledge solutions by designers and appropriate selection solutions to local conditions.

**Keywords:** Non-ballast track; Track slab; Unconventional track

### Wstęp

Kolej jest jednym z najbardziej ekologicznych środków transportu, pozwala na stosunkowo sprawne przewożenie dużych ilości materiałów w krótkim czasie korzystając z energii elektrycznej, która może być pozyskiwana z odnawialnych źródeł [1]. W ostatnich latach doświadczamy intensywnego rozwoju infrastruktury kolejowej oraz podnoszenia jej parametrów, co razem wraz z, z coraz wyższymi wymaganiami środowiskowymi wymaga również rozwoju rozwiązań nawierzchniowych. W ostatnich kilkudziesięciu latach w Europie odpowiadając na zapotrzebowanie rozwoju infrastruktury prężnie rozwijał się obszar związany z nawierzchniami bezpodsypkowymi,

gdzie kolejni producenci odpowiadając na pojawiające się potrzeby tworzyli nowe rozwiązania. Obecnie stosuje się wiele różnych rozwiązań odpowiadających różnym potrzebom, bez wyróżnienia rozwiązań wiodących. W dalszej części opracowania opisano najbardziej popularne rozwiązania stosowane w Europie odpowiadające różnym problemom, ograniczeniom i warunkom lokalnym.

### Rozwiązania systemu przytwierdzeń bezpośrednich

Najprostszym rozwiązaniem nawierzchni bezpodsypkowych jest rozwiązanie z przytwierdzeniem bezpośrednim do płyty betonowej lub betonowej belki ciągłej znajdującej się

pod szyną. Nawierzchnia najczęściej składa się z blachy żebrowej dostosowanej do pochylenia poprzecznego szyny i możliwości zastosowania odpowiedniego przytwierdzenia. Na rynku są dostępne zarówno standardowe rozwiązania z stalowymi płytkami żebrowymi podobnymi do używanych, wraz z podkładami drewnianymi, jak i rozwiązania podkładek wykonanych z tworzyw sztucznych. Rozwiązanie z płytką z tworzywa sztucznego oraz z przytwierdzeniem typu skl oferuje między innymi firma Vossloh. Jest to rozwiązanie przeznaczone dla metra, tramwajów, ale również dla kolei konwencjonalnej do prędkości maksymalnej 250 km/h [2]. Elementy wchodzące w rozwiązanie proponowane przez firmę Vossloh przedstawiono na Rysunek



1. Elementy składowe systemu przytwierdzenia DFF200 do nawierzchni bezpodsypkowych dla kolei konwencjonalnych firmy Vossloh, Źródło: [2]

## 1.

Stalowa płytką żebrową, lub podkładka z tworzywa sztucznego jest kotwiona w płycie lub belce betonowej poprzez wkręty wkręcane w dyble zatopione lub wklejone w beton. Nawierzchnie można wykonać zarówno metodą „od góry do dołu” jak i „od dołu do góry”. W przypadku wykonywania metodą „od góry do dołu”, w pierwszej kolejności, na specjalnych bramkach montażowych podwiesza się szyny w właściwym położeniu, następnie do szyny przykręca się przytwierdzenia od spodu, tak aby na etapie montażu elementy przytwierdzenia wisiały przykręcone do szyny. Po przymocowaniu przytwierdzeń przygotowuje się zbrojenie płyty lub belki i wykonuje się betonowanie na mokro in situ. Betonem wypełnia się przestrzeń od górnej powierzchni budowli ziemnej do spodu płytki żebrowej lub troszkę niżej w przypadku zastosowania podlewów tłumiących. Jest to metoda pozwalająca na dokładniejsze wykonanie toru w planie i profilu, niż w przypadku wykonywania nawierzchni metodą „od dołu do góry”. W przypadku wykonywania nawierzchni metodą „od dołu do góry”, najpierw wykonuje się żelbetową płytę lub belkę, a później nawierca się otwory, w które za pomocą kotew chemicznych wkleja się dyble. Następnie wkręca się w nie wkręty mocujące podkładki żebrowe. Następnie ewentualnie w przypadku konieczności zastosowania wykonuje się pod-

lew tłumiący drgania i przytwierdza się szynę. Jest to rozwiązanie cechujące się niższą dokładnością wykonania, gdzie bardzo ważne jest aby góra płyty lub belki betonowej była wykonana na właściwych rzędnych. Rozwiązania z przytwierdzeniami bezpośrednimi, są też stosowane wraz z podlewami z elastycznych mas stosowanymi pomiędzy podkładkę żebrową, a płytę betonową, w celu tłumienia wibracji. Materiały do wykonania takiego podlewu sprzedaje między innymi firma Sika, system oferowany przez firmę Sika przedstawiono na Rysunek 2.

Niezależnie od zastosowanej metody budowy na rynku dostępne są rozwiązania pozwalające na wykonanie regulacji powykonawczej w różnych zakresach. Produkty wykorzystujące przytwierdzenia typu skl z przekładkami kątowymi wykazują się dużą elastycznością pod względem możliwości regulacji powykonawczej, zaś rozwiązania z łapką typu K lub inne osadzone na stalowych przekładkach żebrowych np. typ Pm60 lub Pm49 wykazują się niską podatnością na późniejszą regulację. W wypadku uszkodzenia, elementy przytwierdzeń wykazują się łatwością w naprawie. Zawsze można usunąć uszkodzony dybel z płyty betonowej, na przykład poprzez odwiercenie i przy pomocy odpowiednich kotew chemicznych wkleić nowy. Elementy są małych rozmiarów przez, co nie potrzeba demontowania szyny na dłuższych zakresach. Możliwa jest zabudowa rozjazdów kolejowych na płytkach żebrowych kotwionych w ten sposób do podbudowy betonowej.

W praktyce nawierzchnie te wykorzystuje się raczej dla torowisk tramwajowych, gdzie przy odpowiednim zaprojektowaniu w dość wygodny sposób można zastosować wypełnienia pomiędzy szynami pozwalające na zastosowanie tzw. zielonych torowisk. W Warszawie tego typu rozwiązanie zastosowano na pierwszym odcinku I linii metra, gdzie zastosowano stalowe płytki, wraz z elastycznym podlewem tłumiącym drgania. Jeżeli chodzi o kolej konwencjonalną, to rozwiązania te wykorzystuje się w miejscach, gdzie należy zastosować konstrukcje

specjalne, na przykład w halach, w których mamy kanały przeglądowe, w przypadku zastosowania kanału przeglądowego wyniesionego względem poziomu podłogi, możliwe jest bezpośrednie przykręcenie płytek żebrowych do słupków z profili stalowych typu HEB, HEA. Rozwiązanie może być przydatne w przypadku położenia toru na obiektach inżynierskich, gdzie być może możliwe byłoby zespolenie konstrukcji obiektu, wraz z konstrukcją nawierzchni torowej.

## System szynowych podpór blokowych w otulinie EBS

Wiodącą Polską firmą w zakresie nawierzchni bezpodsypkowych jest firma Tines, która oferuje system szynowych podpór blokowych w otulinie EBS przedstawiony na Rysunek 3. Podpora blokowa składa się z 3 elementów: podpory betonowej, w której umiejscowione są dyble pozwalające na przykręcenie przytwierdzenia szyny oraz wyprofilowanej w sposób umożliwiający zastosowanie przekładek kątowych do przytwierdzenia typu skl. Podpora jest tak wyprofilowana, aby nadać szynie odpowiednie pochylenie poprzeczne, najczęściej jest to 1:40. Drugim betonowym elementem podpory jest gniazdo, które stanowi zewnętrzną i spodnią część podpory. Gniazdo ma bezpośredni kontakt z betonową płytą podbudowy, w której jest zatopiona podpora. Oba elementy podpory są połączone z sobą za pomocą elastycznej masy która jest pierwszym elementem tłumiącym drgania. Podpora ma kształt trapezowy rozszerzający się do dołu, podobny do kształtu klasycznego betonu strunobetonowego. Kształt ten może przeciwdziałać efektowi wybożenia toru w płaszczyźnie pionowej, pojawia się jednak wątpliwość, czy kształt ten nie powoduje, pojawiając się na górnej powierzchni płyty betonowej naprężeń rozciągających, które w eksploatacji mogą powodować spękania. Podpory systemu EBS jest podkładem monoblokowym, gdzie pod każdy tor szynowy montuje się oddzielne bezpośrednio niezwiązane ze sobą pod-

pory.

Zgodnie z informacjami przekazanymi przez firmę Tines podpory są produkowane w dwóch wariantach [4]:

- Podpora typu LR, przeznaczona do prędkości maksymalnej 140 km/h i maksymalnego obciążenia na oś wynoszącego 160kN
- Podpora typu HR, przeznaczona do prędkości maksymalnej 250 km/h i maksymalnego obciążenia na oś wynoszącego 245 kN

Nawierzchnia wykorzystująca podpory systemu EBS jest wykonywana metodą „od góry do dołu”. W pierwszej kolejności układa się wibroizolację, która jeżeli projekt tak przewiduje powinna znaleźć się pod płytą podtorową. Na ułożonej wibroizolacji układa się zbrojenie płyty podtorowej. Po ukończeniu zbrojenia płyty podtorowej następuje montaż rusztu torowego na specjalnych bramkach montażowych. Na wykonanym zbrojeniu układane są podpory blokowe a następnie do nich przytwierdza się szyny. Na taki zmontowany ruszt nakłada się odpowiednie bramki montażowe, które stabilizują tor podczas betonowania i jednocześnie pozwalają na wyregulowanie toru z wysoką dokładnością. Po wyregulowaniu toru następuje betonowanie płyty podtorowej wylewanej „na mokro” w miejscu wbudowania nawierzchni. Dzięki zastosowaniu elementów tłumiących drgań w konstrukcji podpory oraz możliwości zastosowania drugiego elementu tłumiącego

znajdującego się pod płytą torową, system ten zapewnia wysokie właściwości w zakresie tłumienia drgań.

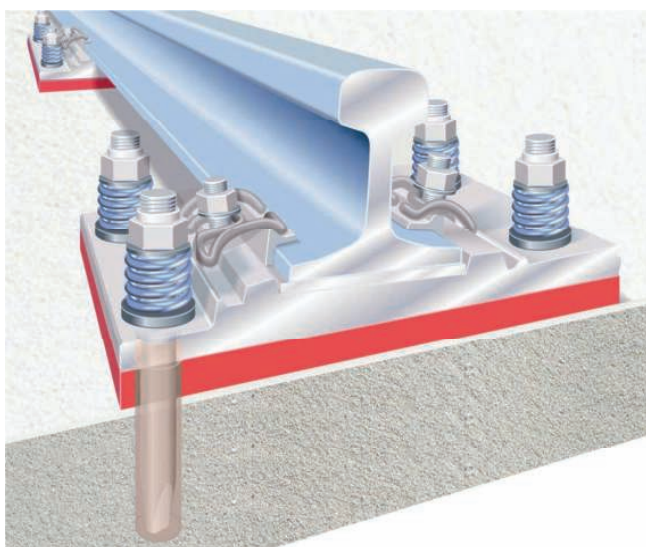
Po wykonaniu nawierzchni, w związku z zastosowaniem przytwierdzeń sprężystych typu skl, wraz z przekładkami kątowymi możliwa jest powykonawcza regulacja toru w planie oraz w profilu w kierunku „do góry”. W przypadku uszkodzenia podpory konieczne jest jej obkucie i późniejsze „wklejenie” nowej podpory w płytę podporową przy użyciu specjalnych materiałów udostępnianych przez producenta. Jest to proces czasochłonny i wymagający demontażu szyny na znacznym odcinku lub jej rozcięciu, bardzo utrudnione a wręcz prawie że niemożliwe jest wymienienie wibroizolacji znajdującej się pod płytą podtorową. W przypadku w przypadku jej zużycia i utraty przez nią właściwości użytkowych. Na podporach systemu EBS istnieje możliwość zabudowy rozjazdów kolejowych. W takim przypadku podpory podrozjazdowe mają wymiary dostosowane do wymiarów stosowanych w konstrukcji rozjazdów stalowych płyt żebrowych. Niektóre podpory rozjazdowe zamiast gniazda w kształcie trapezu wykonanego z betonu posiadają gniazda w kształcie prostokątnym wykonane z stali.

Nawierzchnia torowa w systemie szynowych blokowych podpór w otulinie była realizowana głównie w Polsce, nie przyjęła się na zachodzie Europy pomimo, iż że tego typu nawierzchnię produkuje także Holen-

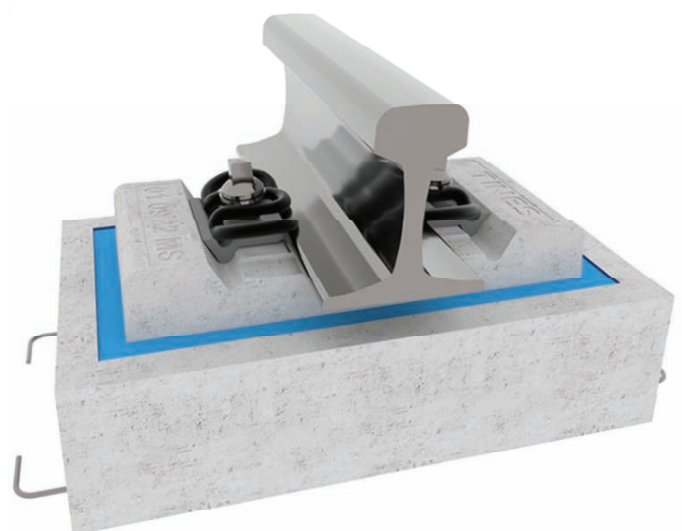
derska firma: Edilon)(Sedra. W Polsce największymi inwestycjami było wykonanie nawierzchni torowej na: łącznicy z stacji Warszawa Służewiec do stacji Warszawa Lotnisko Chopina, Gdańsku Głównym, II linii metra w Warszawie oraz na stacji Łódź Fabryczna.

## System podpór blokowych systemu Low Vibration Track (LVT)

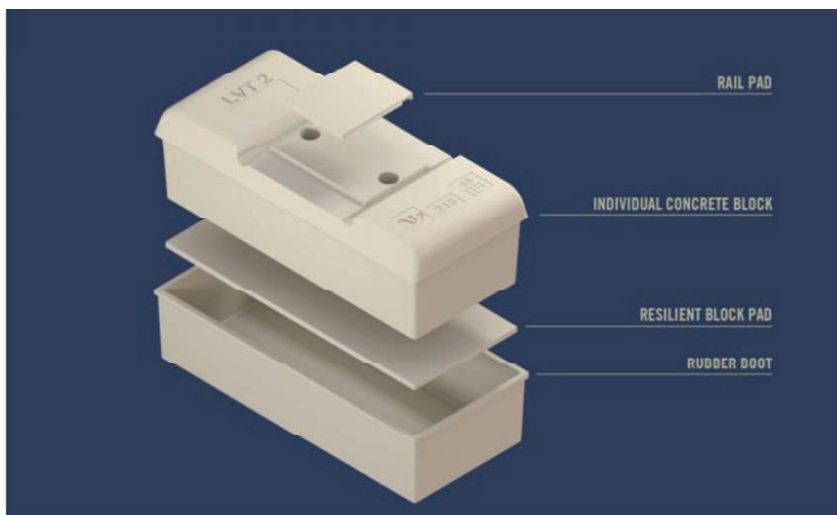
System szynowych podpór blokowych LVT produkowany przez Szwajcarską firmę Sonnevile i wydaje się być stosunkowo podobny do systemu szynowych podpór blokowych EBS, gdzie oba są systemami podpór monoblokowych dopuszczonych do prędkości maksymalnej 250 km/h. Jednakże jest tutaj kilka dość znaczących różnic. Podstawowymi różnicami względem systemu EBS firmy Tines jest kształt podpory, co można zaobserwować na Rysunek 4, podpora systemu LVT również w przekroju ma kształt trapezowy, lecz odwrotnie niż w EBS szerszy bok trapezu znajduje się na powierzchni płyty, a węższy- wewnątrz przez, co podkład może mieć swobodę w wyciąganiu z płyty podtorowej. Wydaje się to korzystniejsze w typowej pracy nawierzchni, gdzie jak wiadomo szyna podczas przykładania do niej obciążenia na fragmentach jest wyciągana do „góry” [6]. Kształt ten może być mniej korzystny w przypadku zastosowania na terenie otwartym, gdzie doświadczają się dużych różnic temperatury, takie ukształtowanie kształtu podpory może powodować większą podatność na wyboczenie.



2. Rozwiązanie firmy Sika wraz podlewem tłumiącym drgania, źródło: [3]



3. System szynowych podpór blokowych w otulinie EBS, źródło: [4]



4. Szynowa podpora blokowa typu LVT produkowana przez Szwajcarską firmę Sonneviller, źródło: [5]

Drugą dużą różnicą jest rozwiązanie styku pomiędzy podporą, a płytą betonową i rozwiązanie tłumienia drgań. Podpory LVT podobnie jak EBS przewidują tłumienie drgań w samej konstrukcji podpory, jednakże odbywa się to w delikatnie odmienny sposób. Styk pomiędzy podporą, a płytą podtorową w systemie LVT stosuje się gumowy „but”, co przedstawiono na Rysunek 4. Jest to gumowa osłona oddzielająca podporę od płyty podtorowej, dodatkowo ponad gumowym butem, a pod podporą można ułożyć przekładkę o różnych grubościach tłumiącą drgania. Bardzo dużą zaletą tego systemu jest fakt, że uszkodzoną podporę można wymienić w czasie rzędu kilku godzin bez konieczności ingerencji w płytę podtorową i odkręcania szyny na znacznym odcinku lub jej rozcinania. W tym systemie wystarczy lewarkami torowymi podnieść szynę do góry, odkręcić przytwierdzenia i podpora jest zdemonstrowana. Natomiast aby zamontować nową wystarczy przykręcić przytwierdzenia i opuścić szynę, jest to bardzo korzystne z względów utrzymaniowych. Jest tutaj także bardzo duża zaleta pod względem utrzymaniowym jeżeli chodzi o wibroizolację, przy podniesieniu szyny i podpory można w szybki sposób wymienić zużytą podkładkę tłumiącą lub wymienić na wkładkę o innej grubości np. w przypadku zmian w zabudowie i konieczności większej ochrony akustycznej, lub w przypadku gdy okazuje się, że próby w terenie po oddaniu inwestycji do użytkowania wskazują na

większe drgania niż w analizie wykonanej na etapie projektowym. Można wtedy po prostu zwiększyć grubość podkładki i wyregulować szynę na przekładkach podszynowych.

Montaż szynowych podpór blokowych typu LVT wykonuje się metodą „od góry do dołu”, co oznacza, że najpierw przygotowuje się zbrojenie płyty podtorowej, następnie montuje się ruszt torowy na specjalnych bramkach montażowych i reguluje położenie toru w planie i w profilu. Po wykonaniu regulacji można przystąpić do wylewania betonu płyty podtorowej na mokro „in situ” bezpośrednio na budowie. System wykorzystuje przytwierdzenia typu skl oraz przekładki kątowe, co pozwala na późniejszą powykonawczą regulację położenia toków szynowych w planie i profilu. Wykonywanie nawierzchni metodą „od góry do dołu” wraz z późniejszą możliwością regulacji powykonawczej pozwala na osiągnięcie wysokiej dokładności montażowej. Szyna jest cały czas odkryta, co pozwala na bezproblemowe wykonanie prac diagnostycznych i utrzymaniowych. Producenci systemu szynowych podpór blokowych LVT również posiadają w ofercie podpory o zróżnicowanych wymiarach pozwalające na montaż na nich stalowych elementów rozjazdów kolejowych.

Najśłynniejszą realizacją z wykorzystaniem szynowych podpór blokowych LVT jest nawierzchnia torowa w najdłuższym kolejowym tunelu w Europie, długim na ponad 50 km tunelu Gotharda pod alpami, łączącym

Włochy ze Szwajcarią [7]. Tunel ten jest dopuszczony do jazdy z prędkościami maksymalnymi rzędu 250 km/h, nocami jest bardzo intensywnie wykorzystywany do ruchu towarowego. Dodatkowo warto również wspomnieć, że system został zastosowany w Eurotunelu pod kanałem La Manche łączącym Francję z Wielką Brytanią.

## System Rheda 2000

Rheda 2000 jest konstrukcją pośrednią pomiędzy konstrukcjami złożonych z podpór blokowych a płytami prefabrykowanymi. W przeciwieństwie do systemów podpór monoblokowych, tutaj podkład składa się z dwóch podpór blokowych połączonych belką złożoną z prętów zbrojeniowych, które wystają również z spodu podpory. Zbrojenie które jest elementem podpór blokowych jest zalewany razem z płytą podtorową przez, co bardziej trwale łączy podpory z płytą podtorową, tworzymy monolityczną całość, gdzie podpora pracuje razem z płytą podtorową. W związku z zastosowaniem belki zbrojeniowej łączącej podkłady, nie ma możliwości lokalizowania np. tak, jak jest to w metrze warszawskim korytek odwodnieniowych pomiędzy szynami, pomiędzy szynami nie możemy instalować żadnej infrastruktury. W samej konstrukcji podpory nie przewidziano elementów tłumiących drgania przez, co na drgania pracuje cała płyta, a jedyna wibroizolacja znajduje się pod płytą podtorową. Poprzez trwałe związanie podpór z płytą podtorową, tor jest bardzo dobrze zabezpieczony na ewentualne wyboczenie, które tutaj wydaje się być wręcz niemożliwe do wystąpienia.

Nawierzchnia torowa w technologii Rheda 2000 jest wykonywana metodą „od góry do dołu”, co pozwala na osiągnięcie bardzo dużej dokładności, jeżeli chodzi o położenie toru. Podkłady są układane na wcześniej przygotowanym zbrojeniu płyty podtorowej, szyny są przytwierdzone do podkładów, a następnie po wyregulowaniu toru następuje betonowanie płyty podtorowej, wraz ze zbrojeniem wystającym z podpór. Połączenie podkładów bel-

ką zbrojoniową ułatwia montaż, gdyż sam podkład utrzymuje odpowiednią szerokość toru. Do systemu Rheda 2000 stosuje się przytwierdzenie sprężyste skl wraz z przekładkami kątowymi, które pozwalają na późniejszą powykonawczą regulację toru w planie i profilu. Szyna po wykonaniu płyty, jest odkryta, co pozwala na szybką diagnostykę i wymianę szyn. Zważając na to, że podpory są dość dużych rozmiarów, a jednocześnie podpora jest związana zbrojeniem z płytą podtorową, ewentualna wymiana podpory, jest dużo trudniejsza, niż w klasycznym systemie podpór. Producent systemu Rheda 2000 przewiduje w swojej ofercie podpory pozwalające na zamontowanie rozjazdów kolejowych. Nawierzchnie torową typu Rheda 2000 najczęściej układa się na warstwach wzmocnionych spoiwami hydraulicznymi, bądź w betonowych korytach na obiektach inżynierskich lub w tunelach.

W Polsce system Rheda 2000 ma dopuszczenie do prędkości maksymalnej 250 km/h. Na świecie jest użytkowana do prędkości maksymalnej 320 km/h, w Polsce jej dystrybutorem jest firma Railway GTF Polska z grupy ZUE. Producentem jest niemiecka firma PCM Railone AG.

System Rheda 2000 jest jednym z najbardziej popularnych systemów nawierzchni bezpodsypankowej na świecie. Jest on bardzo popularny w Niemczech oraz na bliskim wschodzie i w Azji. Przy użyciu systemu Rheda 2000 zrealizowano inwestycje w takich krajach jak: Arabia Saudyjska, Chiny, Korea Południowa, czy Tajwan. W sumie wykonano znacznie ponad 3400km nawierzchni torowej w tym systemie, w Tabeli 1 przedstawiono wybrane największe realizacje z użyciem systemu Rheda2000.

## System Getrac

System Getrack jest systemem niemieckim firmy Railone, która jest również producentem systemu Rheda 2000. System Getrac jest dużo mniej popularny niż Rheda2000. System ten jest dość ciekawą konstrukcją, która nie do końca przyjęła się na rynku.

Tab. 1. Zestawienie wybranych realizacji z użyciem systemu Rheda 2000

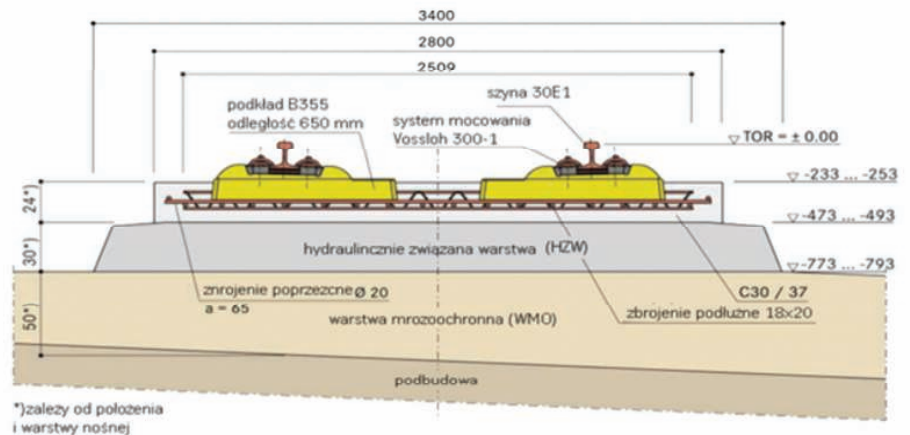
Długość pojedynczego toru [km]	Linia kolejowa	Kraj realizacji
55	Stuttgart - Wendlingen	Niemcy
160	Mecca - Medyna	Arabia Saudyjska
44,8	Berlin - Monachium	Niemcy
460	Seul-Mokpo	Korea Południowa
221	Seul-Busan	Korea Południowa
1960	Wuhan-Guanzhou	Chiny
88	Taipei - Kaohsiung	Tajwan
72	Norymberga - Ingolstadt	Niemcy
160	Amsterdam - Bruksela	Holandia/Belgia
170	Kolonia-Frankfurt	Niemcy

Źródło: [9]

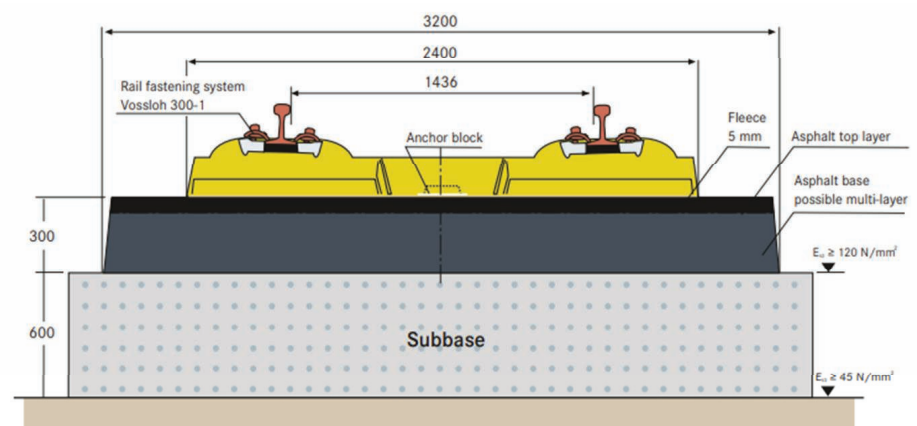
Konstrukcja Getrac w swoich rozwiązaniach nawiązuje do rozwiązań drogowych, gdzie na podbudowę grunтовую układa się warstwę lub warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej. Na przygotowanych warstwach podbudowy z betonu asfaltowego układa się podkłady betonowe z specjalnymi wypustkami, które wkłada się do wnęk pozostawionych w warstwach asfaltowych. Ten pewien rodzaj kotwienia zapobiega przemieszczaniu się podkładów, jak również przenosi poziome siły oddziaływujące na tor, w tym także

siły, które mogłyby powodować wyboczenie toru w planie. Przekrój przez nawierzchnię torową wykonaną przy użyciu system Getrac przedstawiono na Rysunek 6.

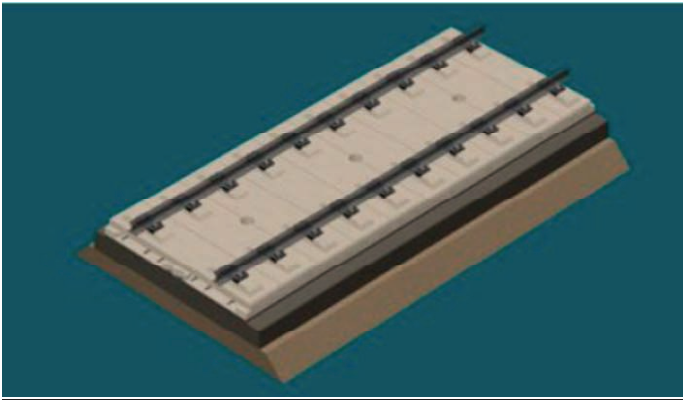
Nawierzchnie w systemie Getrac wykonuje się w technologii „od dołu do góry”. Technologia jest bardzo podobna do stosowanej przy budowie dróg kołowych, warstwy asfaltowe układa się rozścielaczami i zagęszcza stalowymi walcami, a materiał przyjeżdża z wytwórni mas bitumicznych. Pozwala to na szybki i sprawny mon-



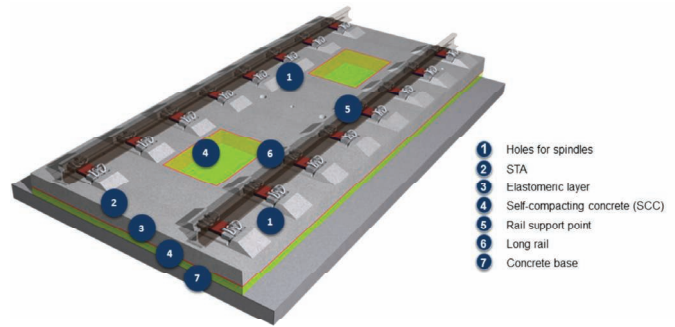
5. Nawierzchnia torowa z użyciem systemu Rheda 2000, źródło: [8]



6. Przekrój przez nawierzchnie torową w systemie Getrac, źródło: [10]



7. Prefabrykowana płyta torowa typu Max Bogl, źródło:[11]



8. Prefabrykowana płyta torowa typu STA Porr, źródło: [12]

taż. Na wykonanych podbudowach asfaltowych układa się betonowe podkłady, a następnie przytwierdza szyny, metoda jest szybka i wygodna logistycznie, gdyż po podbudowach cały czas mogą poruszać się pojazdy budowy. Montaż nawierzchni w tym systemie jest bardzo sprawny, jeżeli chodzi o czas wykonania, lecz jest mniej dokładny niż przy nawierzchniach budowanych od góry do dołu. Konieczna jest późniejsza regulacja toru w planie i profilu na elementach przytwierdzenia, co jest możliwe dzięki zastosowaniu przytwierdzeń typu skl z przekładkami kątowymi. Szyna pozostaje odkryta z możliwością zainstalowania elementów zabudowujących torowisko do poziomu płaszczyzny główki szyny. W każdej chwili zapewniony jest dostęp do szyny w celach utrzymaniowych i diagnostycznych oraz możliwe jest wykonanie regulacji toru w planie i profilu.

Rozwiązanie nie zabezpiecza toru na wyoboczenie w płaszczyźnie pionowej. Wydaje się, że rozwiązanie może być z powodzeniem stosowane na szlakach, gdzie mamy do czynienia z zwiększonymi obciążeniami dynamicznymi a zmniejszonymi statycznymi. Jednocześnie zdaniem autora pod wątpliwość należy poddać zastosowanie nawierzchni posadowionych na podbudowach asfaltowych w obrębie stacji kolejowych gdzie tabor kolejowy jest odstawiany na długotrwałe postoje i mamy do czynienia z zwiększonymi obciążeniami statycznymi, a zmniejszonymi dynamicznymi. Jednakże warto zauważyć, że rozwiązanie jest podobne do stosowanego na francuskiej sieci tgv, gdzie zamiast sto-

sowanej w Polsce warstwy ochronnej z kruszywa stabilizowanego mechanicznie stosuje się warstwy ochronne z betonu asfaltowego na, której układa się nawierzchnie podsypkową. Problematyczne może być ulokowanie wibroizolacji. Podkłady betonowe są kotwione w podbudowie asfaltowej przez, co przenoszą się drgania. Wydaje się, że rozwiązanie wygodne ze względu na szybki czas pracy oraz możliwość wykorzystania maszyn drogowych, lecz posiadające wady, jeżeli chodzi o przekazywanie obciążeń statycznych i dynamicznych..

Rozwiązanie zastosowano tylko na około 20km linii kolejowych w okresie od roku 1994 [9], największą realizacją było wykonanie w tej nawierzchni w tunelu o długości 7,5km na linii kolejowej pomiędzy Frankrutm, a Goettingen w Niemczech. Ostatnie realizacje datowane są na lata około 2010 roku [9].

### Prefabrykowane płyty torowe typu Max Bogl

Założeniem tego systemu jest dostarczenie na budowę gotowych prefabrykowanych płyt betonowe, które po montażu dają efekt płyty bardzo zbliżonej do tej złożonej z podpór typu Rheda 2000. Płyty prefabrykowane Max Bogl, są płytami betonowymi prefabrykowanymi o długości 6,45m i grubości 20cm. Przywożona jest w całości na budowę. Wygląd prefabrykowanej płyty torowej typu Max Bogl przedstawiono na Rysunek 7.

W odróżnieniu od systemu Rheda 2000, który zabudowuje się „od góry do dołu”, płyty Max bogl zabudowuje

się „od dołu do góry”. Najpierw przygotowuje się warstwy podbudowy, ostatnią warstwę podbudowy stanowi warstwa z kruszywa stabilizowanego chemicznie, lub betonu drogowego, albo konstrukcyjnego. Warstwy podbudowy muszą być wykonane w bardzo wysokiej dokładności, aby udało się w odpowiedniej pozycji ułożyć prefabrykowane płyty. W celu wypełnienia i zapewnienia dobrego podparcia płyty na całej powierzchni, pod płytę przez otwory w płytach wtłacza się masę wypełniającą o grubości około 3 centymetrów. Dokładność montażu jest mniejsza niż w systemach montowanych od góry do dołu. Płyty max bogl zapewniają możliwość regulacji położenia szyny w planie i profilu dzięki zastosowaniu przytwierdzeń sprężystych typu skl. Wykonanie nawierzchni z prefabrykowanych płyt torowych typu Max Bogl jest zdecydowanie szybsze od płyt wylewanych na mokro na budowie, dzięki temu, że na budowę przyjeżdżają gotowe prefabrykowane elementy. Skrac to czas budowy w porównaniu do Rheda 2000. Prefabrykowana płyta torowa stanowi monolityczną konstrukcję, w związku z czym nie ma do czynienia z punktem wrażliwym na styku podpory z płytą betonową.

Rozwiązanie stosuje się dla kolei dużych prędkości w Europie Zachodniej i w Azji do prędkości 300 km/h i większej. Największymi realizacjami są linie dużych prędkości łączące Pekin i Thanjin i Pekin-Szanghaj, w Chinach płyty Max Bogl zamontowano na ponad 6 000 km linii kolejowych kolei dużych prędkości. Rozwiązanie dodatkowo było stosowane na liniach kolei

dużych prędkości w Niemczech, np. na linii Norymberga-Ingolstadt, gdzie płyty Max Bogl zamontowano na długości ok 35 kilometrów [11].

Do płyt w ramach potrzeby przewidziana, jest również zabudowa do poziomu główki szyny umożliwiająca poruszanie się pojazdów kołowych po nawierzchni. Elementy zabudowy mogą być w każdym momencie demontowalne przez, co zawsze możliwy jest dostęp diagnostyczny i utrzymaniowy do szyny. Zabudowane płyty mogą być dobrym rozwiązaniem np. w obrębie tuneli, gdzie byłaby konieczność zapewnienia możliwości wjazdu dla służb ratowniczych. Istnieją też wersje płyt Max Bogl przeznaczone do zabudowy na nich rozjazdów kolejowych. W obrębie płyt, nie ma elementów tłumiących drgania. Chcąc ograniczyć drgania przenoszone na środowisko należy stosować wibroizolacje pod płytą prefabrykowaną. W razie potrzeby możliwa wymiana całej płyty, brak możliwości wymiany pojedynczej podpory, co powoduje konieczność odkręcenia szyn na znacznym odcinku lub ich rozcięcie. Obciążenia od pojazdu szynowego przejmuje cała płyta, jako element monolityczny. Przed zabudową konieczny jest do wykonania projekt warsztatowy zawierający schematy układania elementów prefabrykowanych, w przypadku np. krzywych przejściowych prefabrykat musi być wykonany pod konkretne miejsce wbudowania.

## **Prefabrykowane płyty torowe typu STA Porr**

Austriacka firma Porr opracowała prefabrykowane płyty torowe zbliżone do tych które produkuje niemiecka firma Max Bogl. Płyty STA Porr są długości 5,4 metrów. Największą różnicą względem płyt max bogl jest technologia w jakiej zabudowuje się płyty. Płyty max bogl zabudowujemy metodą „od dołu do góry”, a płyty STA Porr zabudowujemy metodą „od góry do dołu”.

Prefabrykowane płyty torowe typu STA, układa się na wcześniej przygotowanym zbrojeniu i poziomuje się na specjalnych śrubach poziomujących

przy użyciu otworów specjalnie pozostawionych w konstrukcji płyty na potrzeby regulacji wysokości. Pozwala to na osiągnięcie wyższej dokładności montażowej niż w przypadku płyt Max Bogl, choć prawdopodobnie wydłuża to czas wykonania nawierzchni i utrudnia logistykę budowy, gdyż po ułożonym zbrojeniu nie można poruszać się żadnym pojazdem, może mieć to znaczenie w przypadku gdy nie mamy wolnej przestrzeni obok toru, w celu rozstawienia maszyn budowlanych, jak na przykład w tunelach. Po wyregulowaniu położenia płyty w planie i profilu wykonuje się betonowanie płyty znajdującej się pod prefabrykatem. Beton pod prefabrykat dostarcza się poprzez pozostawione w prefabrykacie prostokątne otwory przeznaczone do dostarczenia betonu. Zaletą tej nawierzchni względem innych wykonywanych metodą „od góry do dołu”, jest to, że po wypoziomowaniu płyty można po niej dostarczyć na wagonach beton do miejsca wbudowania. Wadą jest to, że trudniej jest wyregulować całą płytę względem pojedynczych podkładów, a elementy będące częścią krzywych przejściowych muszą być zamontowane w konkretnym miejscu na jakie zostały wyprodukowane. Przed wyprodukowaniem płyt musi zostać wykonany projekt warsztatowy z dokładnym rozmieszczeniem każdej płyty, co powoduje, że później na budowie każda płyta musi zostać ułożona w konkretnym miejscu z wysoką dokładnością. Płyty STA Porr są produkowane z materiałów elastomerowych, co oznacza, że płyta ma większe właściwości sprężyste do odkształcania i późniejszego powrotu do wymiaru bazowego. Wydaje się to istotne w kontekście wytrzymałości płyt na cykliczne odkształcenia pod przejeżdżającymi pociągami, w pracy pod obciążeniem bierze udział cała płyta, płyta jest monolityczna, czyli nie ma tu potencjalnych problemów z stykiem podpory szynowej z płytą betonową.

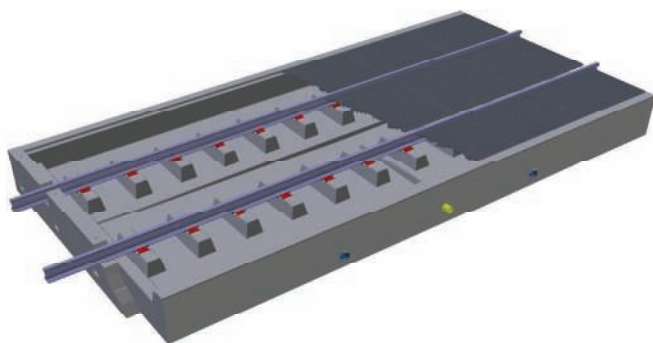
Producent oferuje również nakładki pozwalające zabudować płytę do poziomu główki szyny, mogą to być nakładki demontowalne, co pozwala

na stały dostęp diagnostyczny i utrzymaniowy do szyn. Jednocześnie zabudowa pozwala na zastosowanie np. na przejazdach, punktach wkolejania, czy w innych miejscach, gdzie może być konieczne poruszanie się po torze pojazdów kołowych. Możliwe jest wyprodukowanie płyt przystosowanych do zabudowy rozjazdów, płyty są przeznaczone również dla kolei dużych prędkości w tym do prędkości 350 km/h. W razie uszkodzeń konieczna jest wymiana całej płyty, nie ma możliwości wymiany pojedynczej podpory, co generuje konieczność odkręcenia szyny na znacznym odcinku, lub jej rozcięcie. Tłumienie drgań może odbywać się tylko poprzez zastosowanie mat wibroizolacyjnych, pod wylewaną na budowie płytą podbudowy. Poddbudowę może stanowić warstwa kruszywa stabilizowana spoiwem hydraulicznym lub warstwa betonu drogowego lub konstrukcyjnego.

Na świecie zabudowano około 1 600km linii kolejowej na prezentowanej nawierzchni, największymi realizacjami są: linia dużych prędkości w Wielkiej Brytanii HS2, długość ok. 400km, linia w Indiach z Delhi do Merut o długości ok 165km, metro w Doha ok. 174km, linia dużych prędkości w Niemczech z Erfurt do Leipzig/Halle o długości ok. 179 km, czy linia dużych prędkości w Niemczech z Ebenfeld do Erfurt na odcinku o długości ok 88 km. Dodatkowo nawierzchnie wykonywano na licznych krótszych odcinkach linii kolejowych w Niemczech, Austrii i Wielkiej Brytanii [13].

## **Torowa nawierzchnia szczelna – wanny szczelne**

Wyjątkowym typem prefabrykowanych torowych płyt betonowych są płyty w kształcie wanny szczelnej oferowane przez niemiecką firmę Betonfertigteile. Konstrukcja jest o tyle nietypowa, że została tak skonstruowana, aby zbierać ścieki mogące wydostać się z taboru lub urządzeń do obsługi taboru i odprowadzać je do kanalizacji. Wanna szczelna to koryto o długości 2,5 metra, 5 metrów lub 7,5 metra i szerokości 3,80 z której wystają podpo-



9. Wanna szczelna systemu GTW, źródło: [14]



10. Torowa prefabrykowana płyta betonowa systemu gtp, źródło: [15]

ry do których przytwierdzana jest szyna, poprzez przytwierdzenia typu skl z przekładkami kątowymi. Wanna jest całkowicie szczelna, co uniemożliwia przepływ ścieków do środowiska, a dno wanny jest tak ukształtowane aby ścieki spływały na środek wanny i dalej były odprowadzane na zewnątrz do kanalizacji na której mogą być zamontowane urządzenia podczyszczające. Wygląd wanny szczelnej przedstawiono na Rysunek 9.

Wanny stosuje się w miejscach, gdzie konieczne jest zabezpieczenie aby ścieki i substancje niebezpieczne nie dostały się do środowiska, wanny stosuje się np.:

- Na stanowiskach do przeładunku materiałów niebezpiecznych
- W obszarze stanowisk do mycia pojazdów celem odprowadzenia ścieków powstających podczas mycia pojazdu .
- Na stanowiskach do defekalniania składów pasażerskich .
- Na torach służących do odstawiania taboru z ładunkami niebezpiecznymi .
- W obrębie stacji paliw np. do tankowania taboru o trakcji spalinowej.

Wanna szczelna może posiadać zabudowę do poziomu główki szyny np. z elementów podobnych do krat Wema, pozwala to na przykład na wspólne korzystanie z dystrybutorów paliwa poprzez pojazdy szynowe i kołowe oraz na bezpieczne poruszanie się pracowników obsługi.

Wanny szczelne systemu GTW montuje się poprzez układanie elementów prefabrykowanych żurawiami koło-

wymi na wcześniej przygotowanej podbudowie z gruntu zagęszczonego mechanicznie. Montaż jest wykonywany metodą „ od dołu do góry” przez, co warstwy podbudowy muszą zostać wykonane z bardzo wysoką dokładnością tak, aby wanna została posadowiona na właściwych rzędnych. Bardzo ważnym elementem jest zadbanie o odpowiednie zabezpieczenie połączeń poszczególnych elementów wanien tak, aby na styku, nie było możliwości przedostania się żadnego ścieku do gruntu. Najczęściej stosuje się specjalne blachy przykrywające dylatacje, tak aby uszczelnić szczelinę pomiędzy poszczególnymi elementami prefabrykowanymi. System posiada dopuszczenia UTK do stosowania w Polsce. Położenie szyn można regulować poprzez odpowiednie przekładki w płaszczyźnie poziomej i pionowej jednakże zważając na to, że wanny szczelne są przeznaczone praktycznie tylko do montowania w obrębie bocznic oraz torów bocznych, gdzie zakłada się prędkości rzędu 20 km/h. Dużo ważniejszym elementem od dokładnego położenia toków szynowych jest szczelność nawierzchni. Elementy zabudowy nawierzchni do poziomu główki szyny są demontowalne, co pozwala na dostęp do szyny w każdym momencie eksploatacji nawierzchni. Na płytach nie ma możliwości zabudowy rozjazdów, maksymalna długość prefabrykatu jest zależna od promienia łuku poziomego.

W Polsce wanny szczelne zastosowano w licznych lokalizacjach, na przykład na stacji w Ełku w torze do odstawiania uszkodzonych wagonów z substancjami niebezpiecznymi [16].

## Prefabrykowane płyty torowe typu GTP

System prefabrykowanych płyt torowych gtp niemieckiej firmy Betonfertigteile, płyty w których główka górna powierzchnia płyty jest na poziomie główki szyny. System bardzo podobny do systemu ERS, z tą różnicą, że zamiast podparcia ciągłego posiada podparcie punktowe z przytwierdzeniem sprężystym typu skl, rowek szynowy może zostać wypełniony grysem z cienką warstwą uszczelniającą na górnej powierzchni z masy bitumicznej lub żywicy poliuretanowej. Ewentualnie mogą zostać zastosowane wypełniacze gumowe. Wypełnienie rowka szynowego nie stanowi żadnej funkcji konstrukcyjnej. Jedynym celem w jakim jest używana to wypełnienie i uszczelnienie, aby w rowku szynowym nie stała woda prowadząca do korozji szyn. W razie potrzeby wypełnienie rowka można wybrać, a szynę podregulować lub wymienić. W Polsce nawierzchnia ma dopuszczenie do prędkości maksymalnej 160 km/h. Konstrukcja jest przeznaczona przede wszystkim do rozwiązań specjalnych, na przejazdy kolejowo-drogowe, place ładunkowe, porty lub tory w budynkach, gdzie po jednej powierzchni musi poruszać się pojazd szynowy i kołowy. Prefabrykowaną płytę torową systemu GTP przedstawiono na Rysunek 10.

W systemie płyt GTP montaż jest wykonywany metodą „od dołu do góry”. Zaletą systemu jest szybki montaż, co może być bardzo dużą zaletą na przykład podczas prac na przejazdach



kolejowo-drogowych. Płyty mają długość 2,5 metra. Wadą jest konieczność przygotowania podbudowy płyty z dokładnością praktycznie do milimetra, gdyż po ułożeniu płyty istnieje możliwość regulacji położenia szyny wyłącznie w poziomie na przekładkach kątowych. Manewrowanie ciężką płytą, także nie pozwala na osiągnięcie tak dużych dokładności, jak przy torze montowanym na brankach montażowych. Na każdej płycie dla każdej szyny są przygotowane 4 gniazda w których montuje się przytwierdzenia sprężyste. Płyta pracuje jako całość dla obu toków szynowych i dla 4 przytwierdzeń co, może wywoływać dodatkowe naprężenia w płycie. W związku z brakiem możliwości wyciągania do góry podkładu przez szynę, brak ewentualnego słabego punktu na styku podpory z płytą podtorową, bardzo wysoka odporność na wyboczenie szyny poprzez zastosowanie ciężkiej betonowej płyty.

Wibroizolacja w tym systemie odbywa się dopiero poprzez matę wibroizolacyjną umieszczoną pod płytą prefabrykowaną, nie ma możliwości zamontowania rozjazdów kolejowych, ale producent oferuje wersję prefabrykatu z poszerzonym rowkiem szynowym np. na potrzeby montażu koźłów oporowych samohamownych. Tak, jak w przypadku systemu ERS, wykonanie spoin trzeba wykonać przed umieszczeniem szyn w rowkach szynowych. Wadą jest brak możliwości regulacji toru pionie np. w przypadku gdy usiadzie nam nasyp.

Nawierzchnia systemu GPT jest używana w Polsce i na świecie. Wykonuje się z niej konstrukcje przejazdów kolejowo-drogowych, nawierzchnie w portach, czy w zakładach do których doprowadzane są bocznicę. W Pol-

sce w systemie płyt GPT wykonano na przykład torę wystawiennicze przy Amber-Expo w Gdańsku, gdzie co dwa lata odbywają się jedne z największych targów wystawienniczych kolejowych TRAKO. Nawierzchnie z płyt typu GPT wykonano też np. w Euroterminalu w Świnoujściu [16].

## System szyny w otulinie ERS

System szyn w otulinie ERS jest systemem charakteryzującym się podparciem ciągłym szyny. Szyna zostaje osadzona w rowku szynowym, który później zostaje wypełniony masą zalewową. Producent ma w ofercie także betonowe płyty prefabrykowane, które wraz z przytwierdzeniem typu ERS mogą stanowić kompletną nawierzchnię na przejeździe kolejowo-drogowym, na torach w portach czy na torach tramwajowych, gdzie konieczne jest zintegrowanie nawierzchni torowej z drogową. Największą wadą systemu jest brak możliwości regulacji w planie i profilu po wypełnieniu rowka szynowego, brak możliwości montażu koźłów oporowych samohamownych, czy brak dostępu do szyny w celach diagnostycznych i utrzymaniowych. Zaletami systemu jest integracja nawierzchni torowej z drogową i krótki czas wykonania. System nawierzchni ERS w prefabrykowanej płycie przedstawiono na Rysunek 11.

W przypadku zastosowania płyt prefabrykowanych, nawierzchnie wykonuje się metodą „od dołu do góry”, czyli najpierw wykonuje się warstwę podbudowy, warstwę podbudowy muszą być wykonane w wysokiej dokładności, aby po ułożeniu na nich prefabrykatu dało się osiągnąć odpowiednią rzędność na główce szyny. Gdy mamy już ułożone płyty na podbu-

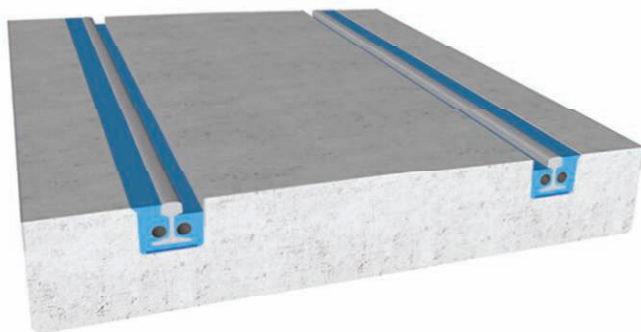
downie należy oczyścić kanał szynowy, oraz szynę. Jeśli istnieje taka potrzeba to złącza szynowe muszą zostać wykonane przed umieszczeniem szyny w kanale. Kanał szynowy oraz szyna muszą zostać zagruntowane przed umieszczeniem w kanale, po zgruntowaniu szynę umieszcza się w kanale, a następnie wykonuje się regulację w planie i profilu. W profilu poprzez dobranie przekładki pod szynę odpowiedniej grubości i w planie, poprzez odpowiednie dociśnięcie klinów mocujących szynę. Po wyregulowaniu całość rowka szynowego wypełnia się masą mocującą.

W Polsce system ERS wykonuje się głównie na torowiskach tramwajowych, przejazdach kolejowo-drogowych, oraz torach bocznic, gdzie konieczne jest zintegrowanie nawierzchni drogowej z kołową. System mocowania ERS można też zastosować w przypadku wykonywania kanałów przeglądowych dla pojazdów szynowych.

## Podsumowanie

Rozwój infrastruktury kolejowej, coraz bardziej wyśrubowane wymagania środowiskowe oraz uwarunkowania lokalne, które sprawiają że coraz częściej infrastrukturę kolejową otaczają zabudowania miejskie stawiają przed środowiskiem nowe potrzeby i wyzwania którym próbuje się sprostać, jednocześnie powodują dynamiczny rozwój branży nawierzchni torowych bezpodsytkowych.

W artykule przedstawiono najpopularniejsze rozwiązania w zakresie nawierzchni bezpodsytkowych stosowanych w Polsce i w Europie. Każde z tych rozwiązań posiada swoje wady i zalety, odpowiada pewnym potrzebom i wymaganiom, jakie przed nimi postawiono. Na rynku nie wyróżnia się rozwiązania wiodącego, które byłoby stosowane w większości sytuacji. Dobór rozwiązania zawsze jest podyktowany wymaganiami i ograniczeniami lokalnym. Nie ma rozwiązania, które sprostałoby wszystkim wymaganiom i oczekiwaniom. Rozwój systemów nawierzchni bezpodsytkowych jest



11. System szyny w otulinie ERS firmy Tines wraz z prefabrykowaną płytą torową, źródło: [17]

bardzo dynamiczny i pomimo tego że, każde kolejne pojawiające się na rynku rozwiązanie stara się coraz bardziej eliminować wady poprzednich to nadal nie mamy rozwiązania uniwersalnego.

W zależności od rodzaju konstrukcji oddziaływania statyczne i dynamiczne od oddziaływania pojazdu szynowego na tor są przenoszone na podbudowę w różny sposób. W związku z tym, każde rozwiązanie oddziałuje na środowisko w inny sposób i konkretne rozwiązania mogą wykazywać się różnymi parametrami, jeżeli chodzi np. o tłumienie drgań, wytrzymałość na naprężenia i wytrzymałość zmęczeniową. ◀

## Materiały źródłowe

[1] <https://www.eea.europa.eu/pl/highlights/transport-zmotoryzowany-pociag-samolot-samochod>

[2] [https://media.vossloh.com/media/01\\_product\\_finder/vfs/pf\\_system\\_dff\\_200/Vossloh\\_System\\_DFF\\_200\\_EN.pdf](https://media.vossloh.com/media/01_product_finder/vfs/pf_system_dff_200/Vossloh_System_DFF_200_EN.pdf)

[3] <https://www.sika.com/en/solutions-for-projects/streetscape/rail.html#discrete>

[4] <https://tinesrail.com/produkty-i-systemy/szynowe-podpory-blokowe-w-otulinie-tines-ebs>

[5] <https://www.sonnevill.com/low-vibration-track-lvt>

[6] „Przybliżone modelowanie układu „pojazd szynowy–nawierzchnia–podłoże” – Tomasz Lewandowski, Paweł Muzolf, Włodzimierz Idczak, Biuletyn WAT Vol. LXVI, Nr 2, 2017

[7] <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/szwajcaria-otwarcie-tunelu-gotarda-76807.html>

[8] <https://www.railwaygft.pl/oferta-railway-gft/technologie-specjalne/rheda-2000>

[9] <https://www.railone.com/filead->

[min/daten/05-presse-medien/downloads/referenzen/20220901\\_references\\_EN\\_final.pdf](https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/referenzen/20220901_references_EN_final.pdf)

[10] [https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Getrac\\_EN2012\\_ebook.pdf](https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/downloads/broschueren/en/Getrac_EN2012_ebook.pdf)

[11] <https://pdf.archiexpo.com/pdf/max-boegl/slab-track-bogl/59913-263856.html>

[12] <https://slabtrackaustria.com/our-technology/>

[13] <https://slabtrackaustria.com/reference-list/>

[14] <https://www.bfl-gmbh.pl/szczelne-wanny-torowe.html>

[15] <https://www.bfl-gmbh.pl/przejazdy-kolejowe.html>

[16] <https://www.bfl-gmbh.pl/realizacje.html>

[17] <https://tinesrail.com/oferta/kolej/zintegrowana-nawierzchnia-kolejowo-drogowa-typu-tines-l/>

## REKLAMA



## RAILPROFILE 2D

### LASEROWY POMIAR PROFILU KAŻEGO RODZAJU SZYN ORAZ ROZJAZDÓW

Urządzenie obsługiwane jest przez aplikację na telefonie z systemem Android™.

Railprofile 2D mierzy pełny profil główki szyny oraz wylicza parametry dotyczące obszaru szlifowania. Dostępna jest również funkcja związana z pomiarem rozjazdu lub jego elementów. Urządzenie prezentuje wynik pomiaru bezpośrednio na ekranie aplikacji.

Więcej informacji na [www.graw.com](http://www.graw.com)

[www.goldschmidt.com](http://www.goldschmidt.com)

