

Mgr inż. Iwona Nowosińska

PROBLEMY WYBORU KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI – ANALIZA METODĄ ANKOT

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Nawierzchnia na kolejach dużych prędkości
3. Charakterystyka nawierzchni
4. Problemy wyboru rodzaju nawierzchni – metoda ANKOT
5. Wnioski

STRESZCZENIE

W artykule scharakteryzowano rodzaje nawierzchni kolejowych, stosowanych do budowy i modernizacji linii. Opisano rozwój nawierzchni klasycznych i niekonwencjonalnych na kolejach dużych prędkości (KDP). Metodą analizy kontrastowej obiektów technicznych ANKOT przedstawiono problem wyboru nawierzchni podsypkowej lub bezpodsypkowej.

1. WSTĘP

W pracach nad wyborem typu nawierzchni dla linii Kolei Dużych Prędkości (KDP), należy poświęcić szczególną uwagę kwestii ich interoperacyjności. Należy również przeprowadzić wiele testów i badań oraz wykorzystać wiedzę i doświadczenia państw europejskich w celu określenia spójnych wytycznych projektowych, a następnie związanej z tym technologii budowy, eksploatacji i utrzymania nawierzchni.

W zakresie budowy nawierzchni do wyboru są dwa rozwiązania – nawierzchnia z warstwą podsypki i nawierzchnia bezpodsypkowa. W artykule przedstawiono aspekty oceny każdej z nich, które należałoby uwzględnić przy wyborze rodzaju nawierzchni nowo budowanych i modernizowanych linii w Polsce.

2. NAWIERZCHNIA NA KOLEJACH DUŻYCH PRĘDKOŚCI

Pierwsze oddanie do eksploatacji kolei dużych prędkości nastąpiło w 1964 roku w Japonii na linii Tokio – Osaka. W Europie koleje dużych prędkości zadebiutowały we

Francji – za przełom uznaje się uruchomienie w 1967 roku pierwszej linii, na której pociągi poruszały się z prędkością do 200 km/h. Do europejskiego wyścigu o prędkość pierwsze przystąpiły Włochy, rozpoczynając w 1970 roku budowę linii Rzym – Florencja [9]. Następne systemy kolei dużych prędkości powstały w Niemczech, Hiszpanii i Wielkiej Brytanii. W tych państwach zapoczątkowano nową erę szybkich przewozów pasażerskich, przy czym ich rozwój przebiegał w różny sposób w poszczególnych krajach. W celu zachowania konkurencyjności nastąpiło zróżnicowanie rozwiązań technologicznych oraz ciągłe doskonalenie systemów.

Jednym z głównych elementów, rozróżniającym technologie zastosowane na liniach KDP, jest rodzaj nawierzchni. Po ponad czterdziestoletnim doświadczeniu od uruchomienia pierwszej KDP, w krajach eksploatujących i wciąż powiększających sieć szybkich linii trwa nieustająca dyskusja na temat zastosowania technologii nawierzchni z warstwą podsypki lub bez warstwy podsypki, zastępowanej warstwami betonowymi. Obecny stan kształtuje się następująco:

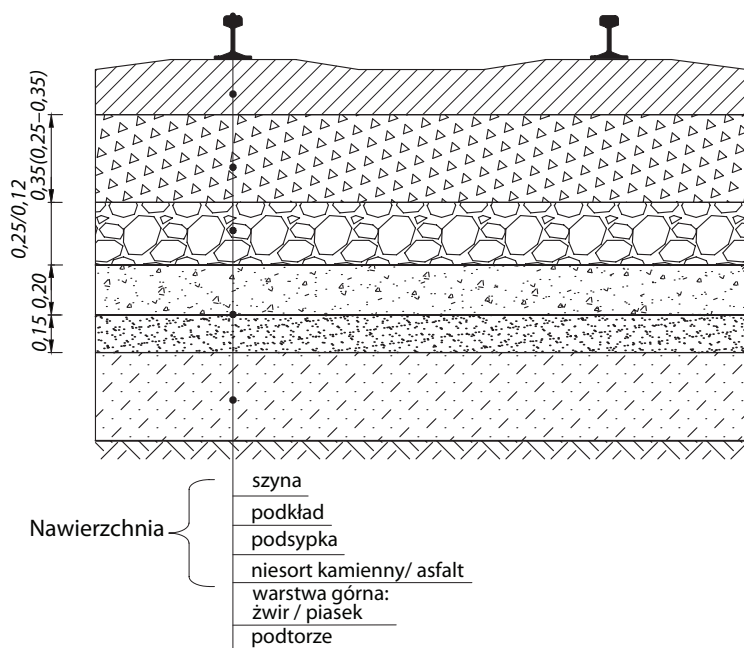
- Francja, Włochy i Hiszpania:
 - nawierzchnia w technologii podsypkowej – szlaki,
 - nawierzchnia w technologii bezpodsypkowej: tunele, wiadukty i mosty, stacje,
- Niemcy, Japonia, Tajwan [6]:
 - nawierzchnia w technologii bezpodsypkowej: tunele, wiadukty i mosty, stacje, szlaki,
- Chiny [11, 15]:
 - nawierzchnia w technologii podsypkowej – dla linii o $V \leq 300$ km/h,
 - nawierzchnia w technologii bezpodsypkowej – dla linii o $V > 300$ km/h.

3. CHARAKTERYSTYKA NAWIERZCHNI

3.1. Nawierzchnia podsypkowa

Nawierzchnia podsypkowa jest najbardziej znanym rodzajem nawierzchni. Jest stosowana na liniach konwencjonalnych od początków kolejnictwa i jest określana mianem nawierzchni kolejowej klasycznej. Wzrost prędkości na liniach spowodował ciągłe doskonalenie elementów nawierzchni podsypkowej. Głównymi elementami konstrukcji nawierzchni podsypkowej (rys. 1) są:

- szyny,
- złączki, np. przytwierdzenia,
- podkłady,
- podsypka.



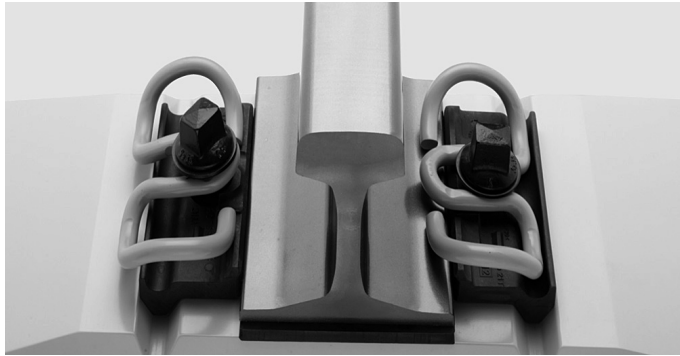
Rys. 1. Schemat typowej konstrukcji nawierzchni podsypkowej

Szyny o profilu 60E1 są standardowym typem szyn eksploatowanych na KDP. Dobór typu szyny jest dokonywany na podstawie cech wytrzymałościowych i jakościowych (odporność na uszkodzenia, odkształcenia, wytrzymałość zmęczeniowa i zużycie eksploatacyjne). Szyny układa się z poprzecznym pochyleniem 1:20 lub 1:40, a wyokrąglenia główki mają promienie 12,7 lub 13 mm, dalej 80 mm i 300 mm w osi symetrii szyny. Minimalna masa szyny wynosi 53 kg/m [3].

Przekładki podszynowe, umieszczone pomiędzy szyną i podkładem, umożliwiają częściowe wytłumienie drgań wywołanych obciążeniami dynamicznymi przenoszonymi na podkłady. Wybór rodzaju przytwierdzenia zależy od założeń przyjętych dla konstrukcji nawierzchni. Rozróżnia się dwie główne zasady pracy przytwierdzenia: pionowe przemieszczanie szyny wraz z przytwierdzonym do niej podkładem oraz pionowe przemieszczanie szyny w granicy 1 mm względem podkładu.

Zasadniczą rolą przytwierdzenia jest przymocowanie stopki szyny do podkładu, zapewniające utrzymanie stałej szerokości toru i poprzecznego pochylenia szyn. Przytwierdzenia sprężyste mają za zadanie pochłanianie obciążeń dynamicznych i tym samym wpływają na ograniczenie zużycia podsypki i podkładów. Na liniach KDP stosuje się obecnie przytwierdzenia sprężyste lub zawierające elementy sprężyste dociskające stopkę szyny do podkładu. Najczęściej stosowane przytwierdzenia sprężyste produkuje firma Pandrol (np. typ „Pandrol FastClip”) i Vossloh. Stosuje się także przytwierdzenia typu Nabla i DE (Deenik-Eisses). Przytwierdzenie „Pandrol Fastclip” jest stosowane między

innymi na kolejach włoskich, np. na linii Florencja – Rzym, przytwierdzenie firmy Vossloh (rys. 2) zastosowano na liniach w Hiszpanii, np. na linii AVE Madryt – Barcelona, a typ „Nabla” na liniach TGV we Francji.



Rys. 2. Przytwierdzenie typu W21T firmy Vossloh [24]

Podkłady mają długość 2,30–2,60 m, wysokość 0,180–0,235 m, ich rozstaw wynosi najczęściej 0,6 m (wartość zmienna w zależności od kraju), masa 224–400 kg. Stosuje się podkłady monoblokowe z betonu sprężonego lub dwublokowe z betonu zbrojonego. Rolą podkładów jest przeniesienie obciążeń pionowych na podsypkę i zapewnienie wymaganego położenia geometrycznego toru.

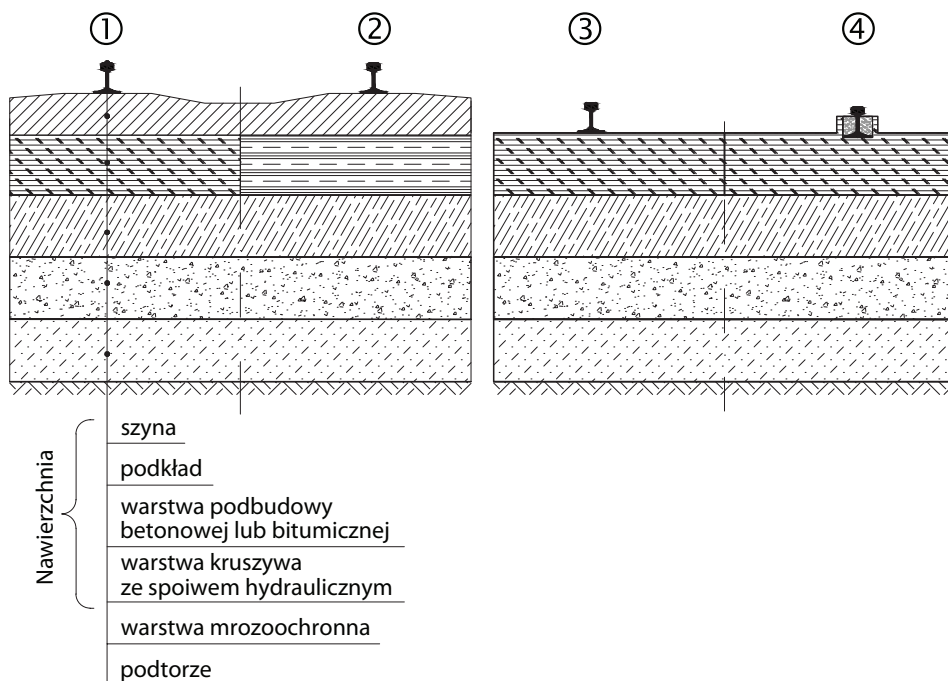
Na liniach KDP stosuje się zazwyczaj podkłady monoblokowe o dużej masie z betonu sprężonego, w celu ograniczenia odkształceń poziomych toru (np. podkłady na hiszpańskiej linii AVE Madryt – Barcelona mają masę 315 kg). Podkłady dwublokowe, stosowane m.in. na liniach TGV we Francji, nie są podatne na oddziaływanie dużych momentów zginających, wywołanych nierównomiernymi odkształceniami warstwy podsypki pod podkładami [26]. W ograniczonym zakresie są stosowane podkłady drewniane (z drewna dębowego, bukowego lub z drewna tropikalnego), zwłaszcza gdy jest wymagana mniejsza sztywność nawierzchni.

Podsypka jest warstwą tłucznia z twardych skał (granit, bazalt) o uziarnieniu 31,5–50 mm. Zadaniem podsypki jest: przejęcie obciążeń z przekazaniem ich na torowisko, szybkie odprowadzenie wód opadowych oraz przeciwdziałanie przesunięciom podłużnym i poprzecznym toru. Grubość warstwy podsypki wynosi od 0,25 do 0,35 m. Zastosowanie grubości mniejszych lub większych od zalecanych może spowodować znaczne odkształcenia toru. Na liniach niemieckich, hiszpańskich, francuskich i włoskich stosuje się warstwy podsypki o grubości 0,35 m. W celu zabezpieczenia górnej części podtorza, pod podsypką stosuje się tzw. warstwę przejściową (o grubości około 0,25 m) z niesortu kamiennego. Możliwe jest wykonanie warstwy przejściowej z asfaltu o grubości 0,12 m, stosowanej na przykład na liniach kolei włoskich.

3.2. Nawierzchnia bezpodsypkowa

Nawierzchnia bezpodsypkowa, określana jako niekonwencjonalna, w odróżnieniu od nawierzchni klasycznej nie ma warstwy podsypki, a podłoże tworzą warstwy wykonane z gruntu stabilizowanego hydraulicznie (np. stabilizowanego cementem), z bitumu (warstwa asfaltowa) oraz z elementów betonowych – prefabrykowanych lub wykonywanych na miejscu [2]. Projektowanie warstw konstrukcji bezpodsypkowej polega na obliczeniu rozkładu obciążeń na podporze przekazywanych przez każdy element konstrukcji o malejącej stopniowo sztywności od szyn, aż do podporza. Warstwy konstrukcji (rys. 3) są następujące:

- szyny,
- przytwierdzenia,
- podkłady,
- podbudowa betonowa lub bitumiczna (asfaltowa),
- warstwa stabilizowana hydraulicznie,
- warstwa mrozoochronna (z kruszywa).



Rys. 3. Schematy typowych konstrukcji nawierzchni bezpodsypkowej: 1) szyna z podkładami na podbudowie betonowej: RHEDA 2000, RHEDA Dywidag, Stedef, Züblin; 2) szyna z podkładami na podbudowie bitumicznej: GETRAC, ADT; 3) szyna na podbudowie betonowej: Bögl, ÖBB, Shinkansen; 4) szyna w otulinie na podbudowie betonowej: Edilon

W nawierzchniach bezpodsypkowych również stosuje się szyny 60E1 oraz przytwierdzenia, umożliwiające regulację położenia toru w płaszczyźnie pionowej i poziomej (np. ± 8 mm), konieczną ze względu na korektę niedokładności ułożenia toru i odkształceń w eksploatacji. W nawierzchniach niekonwencjonalnych najczęściej są stosowane przytwierdzenia firmy Vossloh oraz systemy Nabla i Sonneville.

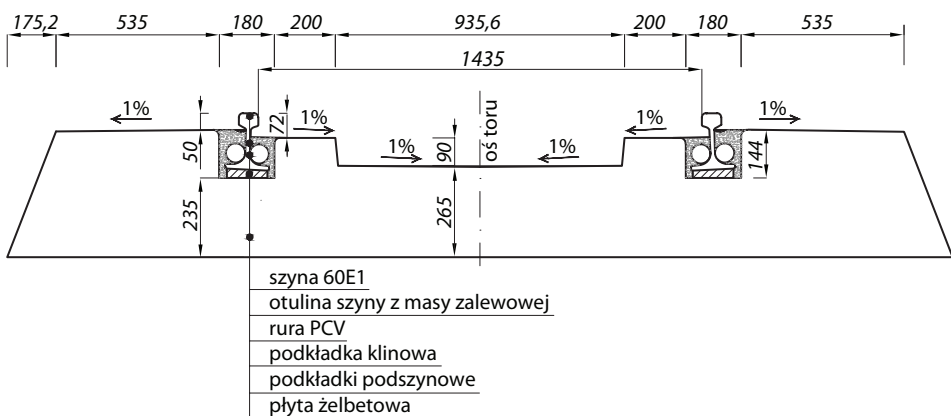
Warstwę podbudowy betonowej wykonuje się na miejscu jako warstwę zbrojoną lub układa z płyt prefabrykowanych. Warstwa stabilizowana hydraulicznie jest wykonywana z mieszaniny kruszywa i betonu (żwiro-beton). Jej zadaniem jest zapobieżenie przekroczeniu nośności podtorza, tj. chroni ona podłoże przed osiągnięciem maksymalnych obciążeń, spowodowanych działaniem czynników eksploatacyjnych (np. drgań). Boczne powierzchnie warstwy muszą być zabezpieczone przed działaniem czynników atmosferycznych, np. przez pokrycie bitumem.

Przy wymiarowaniu konstrukcji zakłada się rozkład obciążeń pod kątem 45° . Warstwa podbudowy betonowej (warstwa nośna) jest zbrojona poprzecznie w celu redukcji pęknięć o szerokości większej niż 0,5 mm. Szywność konstrukcji powinna wynosić średnio 80 kN/mm [4]. Początkowo niekonwencjonalne konstrukcje nawierzchni stosowano w tunelach i na obiektach inżynieryjnych (mosty, wiadukty) o dużej sztywności konstrukcji nośnej, co pozwalało zmniejszyć ciężar własny konstrukcji oraz łatwo montować gotowe elementy nawierzchni bezpodsypkowej.

Ponieważ nawierzchnie bezpodsypkowe stosowane na liniach KDP eliminują wywiezanie podsypki, a wraz z doskonaleniem technologii wykonania ich koszt zmniejszał się, nastąpiło rozpowszechnienie nawierzchni niekonwencjonalnej również na szlakach. Obecnie opracowano kilkanaście systemów nawierzchni bezpodsypkowej (rys. 3).

System Edilon (szyny w otulinie)

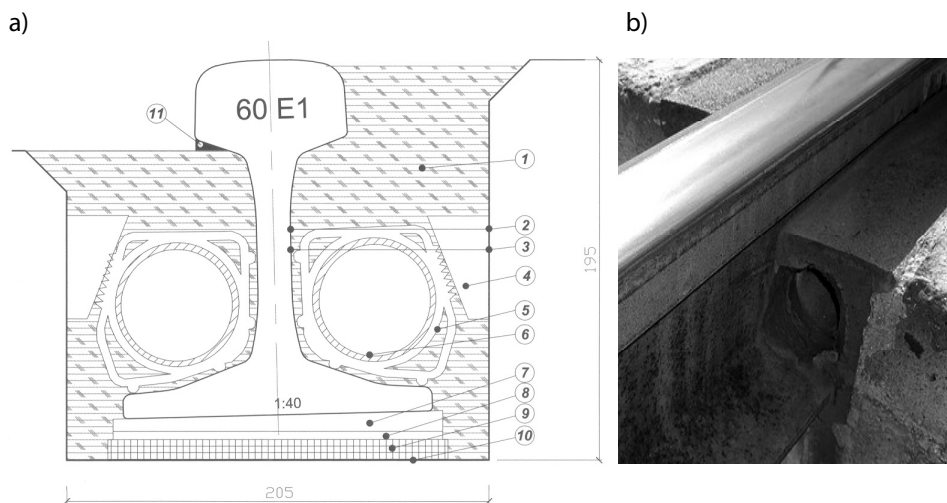
Jest systemem powszechnie stosowanym na stacjach linii dużych prędkości. Idea systemu polega na mocowaniu szyny w płycie żelbetowej, zamiast klasycznego sposobu



Rys. 4. Przykładowy przekrój poprzeczny systemu Edilon

przytwierdzenia. Warstwa podsypki i podkłady są zastąpione przez płyty prefabrykowane lub wykonywane na miejscu płyty żelbetowe z kanałami, w których umieszcza się szyny, mocowane za pomocą masy zalewowej (na bazie żywic poliuretanowych). Po obu stronach szyny są umieszczane rury z tworzyw sztucznych, zapewniające oszczędność masy zalewowej oraz dające możliwość prowadzenia w nich kabli (rys. 4).

Szyna jest oparta na podkładce klinowej regulującej, o nachyleniu 1:20 (lub 1:40) oraz na podkładce podszynowej sprężystej, umożliwiającej regulację położenia szyny w płaszczyźnie pionowej (rys. 5). Przez dobór sztywności masy zalewowej (Edilon Corkelast) i ciągłej przekładki podszynowej, uzyskuje się projektowaną sztywność podparcia i wymagane pionowe ugięcie szyny. System Edilon zapewnia sprężyste przenoszenie obciążeń od taboru kolejowego i tłumienie drgań oraz redukcję hałasu. Dzięki prostej technologii wykonania i zmniejszonych kosztach utrzymania nawierzchni, system szyny w otulinie jest sprawdzonym i powszechnie stosowanym rozwiązaniem, głównie na stacjach. System Edilon zastosowano m.in. na stacjach linii dużych prędkości w Hiszpanii (Madryt i Barcelona) oraz w Holandii (Best).

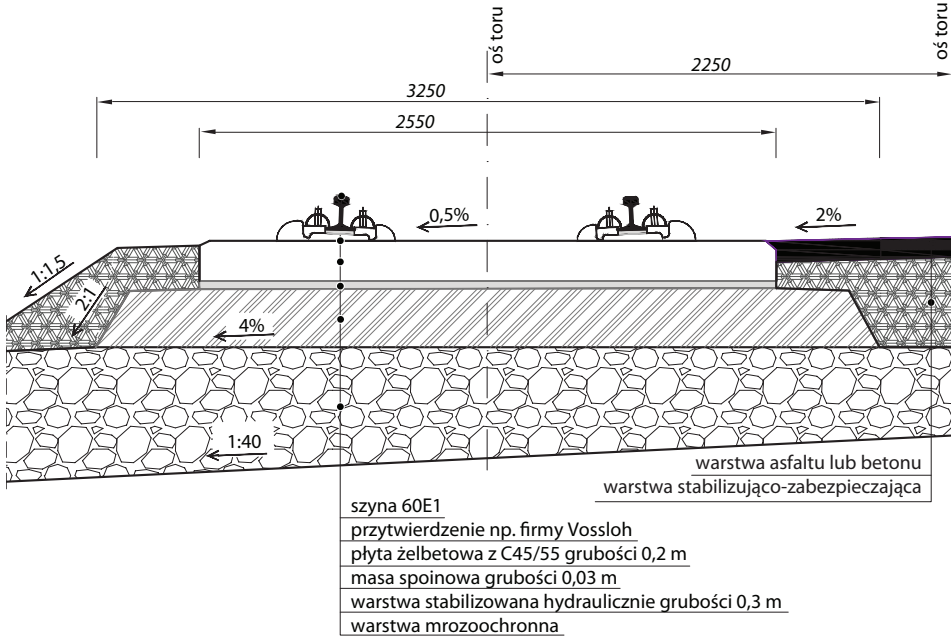


Rys. 5. Szczegóły systemu Edilon [23]: (a) przekrój poprzeczny; 1) sprężysta otulina szyny – masa zalewowa, 2–3) powierzchnie pokryte materiałem gruntującym i materiałem zwiększającym przyczepność masy zalewowej, 4) klin do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie poziomej, 5) element mocujący rurę PCV, 6) rura PCV – zmniejszająca zużycie masy zalewowej, może służyć również do przeprowadzenia kabli teletechnicznych, 7) podkładka klinowa zapewniająca nachylenie szyny (1:20 lub 1:40), 8) podkładki podszynowe do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie pionowej, 9) ciągła, sprężysta przekładka podszynowa, 10) warstwa kleju do wklejenia przekładki podszynowej, 11) materiał uszczelniający; (b) szczegół mocowania szyny

System Bögl

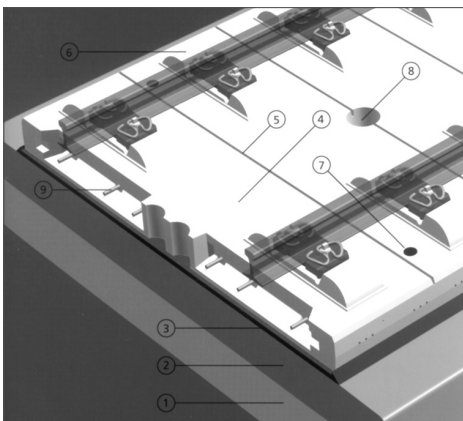
Jest systemem złożonym z płyt prefabrykowanych wykonanych z betonu zbrojonego, sprężonego lub zbrojonego włóknami stalowymi (rys. 6). Wyposażone w przytwierdzenie,

np. firmy Vossloh płyty o wymiarach 6,45 m x 2,55 m x 0,20 m są układane na warstwie podbudowy stabilizowanej hydraulicznie. Płyty, montowane w odstępach 5 cm są łączone w kierunku podłużnym prętami stalowymi (np. GEWI).



Rys. 6. Przykładowy przekrój poprzeczny systemu Bögl

a)



b)



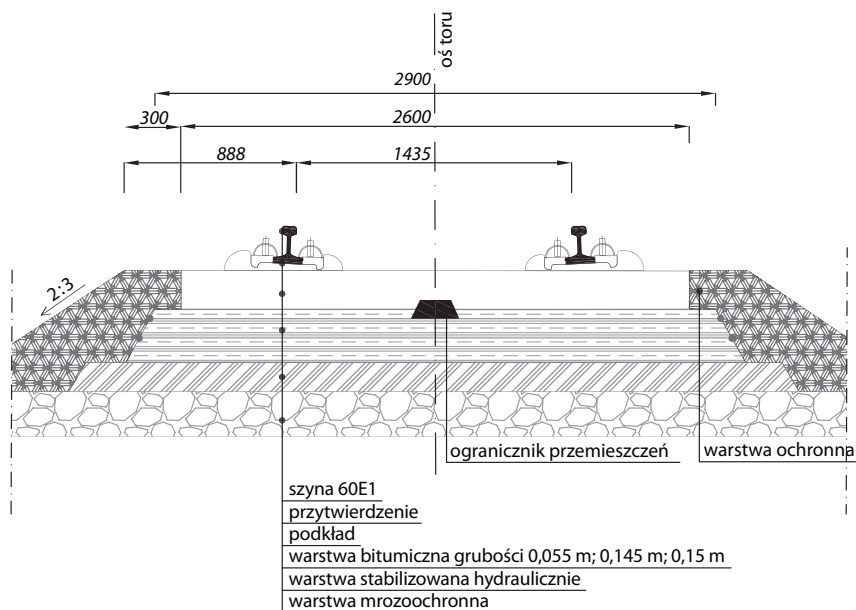
Rys. 7. Nawierzchnia z płyt prefabrykowanych Bögl: (a) konstrukcja: 1) warstwa mrozochronna, 2) warstwa stabilizowana hydraulicznie (grubość 0,3 m), 3) masa spoinowa (grubość 0,03 m), 4) płyta żelbetowa z betonu klasy C45/55, grubość 0,2 m, 5) dylatacja, 6) podparcie szyny, 7) urządzenie wyrównujące, 8) otwór na masę spoinową, 9) stal GEWI; (b) tory na linii ICE Norymberga – Ingolstadt [5]

System ten może być wykorzystywany na szlakach, tunelach i wiaduktach. Cieszy się dużym zainteresowaniem w Niemczech, gdzie między innymi został zastosowany po raz pierwszy w 2003 roku przy budowie linii dużych prędkości Norymberga – Ingolstadt na odcinku długości około 70 km (rys. 7) oraz w Chinach, gdzie w 2008 roku oddano do eksploatacji linię Pekin – Tianjin o długości 117 km [11].

System GETRAC

Nawierzchnia bezpodsypkowa GETRAC (rys. 8, 9), charakteryzuje się asfaltową podbudową o grubości warstwy 0,30–0,35 m, na której spoczywają betonowe podkłady monoblokowe. Podkłady są połączone z warstwą asfaltową elementami o kształcie bloczka, który pełni funkcję mocującą, tzn. jest zaprojektowany w taki sposób, że przenosi do warstwy asfaltu siły poprzeczne i podłużne, zapobiegając przemieszczaniu podkładów. W tym systemie można wykorzystać wiedzę i sprzęt stosowany do budowy dróg samochodowych. Dodatkową zaletą systemu GETRAC jest możliwość zmniejszenia wysokości konstrukcyjnej nawierzchni, co jest bardzo atrakcyjne w przypadku zastosowania w tunelach. Odznacza się szczególną łatwością i szybkością montażu. System GETRAC jest zastosowany m.in. przy budowie tunelu Schluchten w Niemczech.

Podobnym do GETRAC jest system ATD, który różni się głównie kształtem podkładów. Jest stosowany głównie w Niemczech, np. w Staffelde na odcinku o długości 10 km.



Rys. 8. Przykładowy przekrój poprzeczny systemu GETRAC [7]

a)



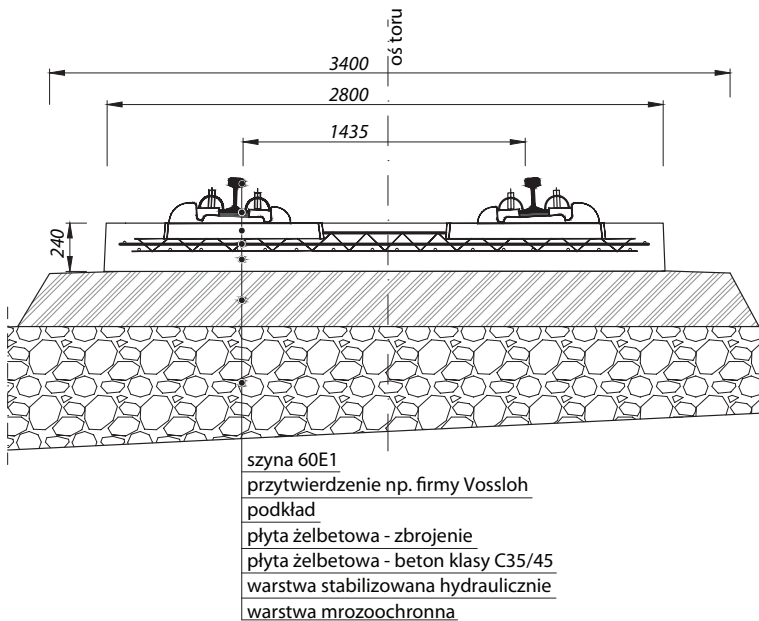
b)



Rys. 9. Nawierzchnia typu GETRAC [7]

System RHEDA 2000

System RHEDA 2000 [13], określanej jako monolityczny, tworzy betonowa warstwa nośna układana na miejscu, z którą są zintegrowane dwublokowe podkłady (rys. 10). Płyta nośna, wykonana z betonu klasy C35/45 (lub C30/37), ma na szlakach i w tunelach grubość 0,22–0,24 m i szerokość 2,80 m.



Rys. 10. Przykładowy przekrój poprzeczny systemu RHEDA 2000

W systemie RHEDA 2000 stosuje się szyny typu 60E1 na podkładach ułożonych z rozstawem od 600 do 750 mm. Konstrukcja jest zbrojona podłużnie, dzięki czemu

ogranicza się powstawanie szczelin i pęknięć. Zbrojona płyta żelbetowa o średniej grubości 0,24 m jest oparta na podbudowie betonowej o grubości 0,30 m i warstwie mrozoodpornej o grubości 0,50 m, spoczywających na podtorzu z gruntu stabilizowanego cementem.

System RHEDA 2000, będący najnowszym rozwiązaniem z rodziny RHEDA (rys. 11), charakteryzuje się możliwością znacznego obniżenia wysokości konstrukcji i dobrą współpracą podkładu i płyty żelbetowej dzięki unowocześnieniu sposobu zbrojenia. System RHEDA 2000 można stosować zarówno w tunelach, na mostach i wiaduktach, jak i na szlakach. Został wybudowany m.in. w Hiszpanii, głównie w tunelach, np. w tunelu w San Pedro o długości 12 km oraz w Niemczech m.in. na linii Norymberga – Monachium (odcinek o długości 75 km).

System Shinkansen

System nawierzchni bezpodsypkowej Shinkansen został opracowany dla japońskiej sieci linii kolejowych dużych prędkości. Zastosowano go do budowy ponad 1000 km linii na szlakach, mostach, wiaduktach i w tunelach. Składa się z płyt żelbetowych o wymiarach 4,95 m x 2,34 m x 0,19 m ułożonych na specjalnie przygotowanej podbudowie betonowej (płyta betonowa) lub warstwie stabilizowanej cementem. Pod płytą i pomiędzy połączeniami płyt umieszcza się warstwę z zaprawy cementowo-asfaltowej (rys. 12).

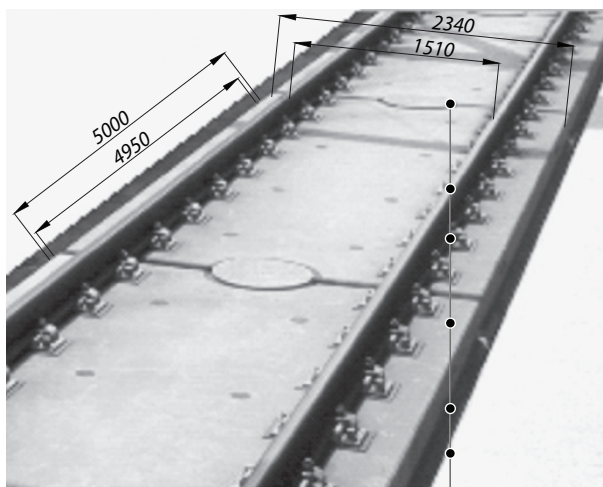
3.3. Podtorze

Podtorze, jako fundament nawierzchni kolejowej, wymaga szczególnej analizy zarówno w nawierzchniach klasycznych, jak i niekonwencjonalnych. Podtorze jest budowlą ziemną lub budowlą inżynierską, której zadaniem jest przenoszenie obciążeń z rusztu torowego, osadzonego na podsypce. Zazwyczaj podtorze jest wykonane jako nasyp lub przekop wraz z urządzeniami odwodniającymi i zabezpieczającymi. Podczas projektowania podtorza, należy przyjąć najbardziej niekorzystne warunki, tj. maksymalne: prędkości, natężenie przewozów i nacisk osi. Konstrukcja podtorza powinna charakteryzować się sprężystością, odpornością na drgania oraz na oddziaływanie warunków atmosferycznych, ze szczególnym uwzględnieniem odprowadzenia wody. Podtorze, jako budowla inżynierska, musi mieć wymaganą wytrzymałość.

Projektując podtorze dla KDP, należy spełnić wymagania dotyczące sztywności pionowej, wibroakustyki toru i minimalnej szerokości międzytorza. Bardzo ważnym elementem jest utrzymanie wymiarów przekroju poprzecznego oraz jakości materiału podczas całego czasu eksploatacji. Wymagania te wpływają na szczególnie ważną dla KDP równomierność osiadania toru, która nie może przekraczać 10 mm na długości 10 m [20]. W przypadku nawierzchni bezpodsypkowych, należy górne warstwy podtorza projektować według odrębnych projektów opracowanych lub konsultowanych z producentem wybranego systemu nawierzchni. Duże prędkości stawiają większe wymagania



Rys. 11. Nawierzchnia typu RHEDA 2000 [19]



ogranicznik przemieszczeń
 szyna 60E1
 przytwierdzenie
 płyta żelbetowa
 zaprawa cementowo-asfaltowa
 warstwa stabilizowana cementem

Rys. 12. Nawierzchnia typu Shinkansen [29]

techniczne w stosunku do podtorza, co wymaga dokładnego rozpoznania warunków geologicznych i gruntowo-wodnych, zastosowania materiałów dobrej jakości oraz ich właściwego zagęszczenia.

Zaleca się rozpoznanie geologiczne przez badania wstępne, obejmujące wiercenia co 500 m, a następnie lokalizacyjne, w odstępach 200–300 m. Z doświadczenia zarzą-

dów kolei zachodnioeuropejskich wynika, że dla nawierzchni niekonwencjonalnych wiercenia lokalizacyjne są zalecane nawet co 50 m, zwłaszcza na odcinkach o zmiennej charakterystyce gruntowej. Podłoże dla nawierzchni bezpodsypkowej i podsypkowej wymaga badań właściwości gruntów oraz określenia nośności. Duże prędkości wymagają odpowiedniego przygotowania podłoża, w większości przypadków jest niezbędna miejscowa wymiana gruntów słabonośnych lub wzmocnienie podłoża przez zastosowanie nowoczesnych metod, opartych na technologii wibrowymiany i wgłębego zagęszczania (np. system Kellera) [25]. Do tego celu stosuje się również zagęszczanie, stabilizację oraz wzmacnianie przez zastosowanie geosiatek, czy też zastosowania systemów zbrojenia podtorza geosyntetykami.

Konstrukcja podtorza wynika z istniejących w terenie warunków gruntowo-wodnych, mających wpływ na wybór rodzaju nawierzchni. Technologia budowy i utrzymania nawierzchni na liniach KDP w Hiszpanii, gdzie teren jest głównie wyżynny, a grunt zazwyczaj kamienisty bez wód gruntowych, jest odmienna od technologii stosowanej w Belgii lub Niemczech, gdzie najczęściej występują tereny nizinne i miejscowo zawilgocone.

4. PROBLEMY WYBORU RODZAJU NAWIERZCHNI – – METODA ANKOT

Główną cechą odróżniającą nawierzchnię niekonwencjonalną od tradycyjnej jest sposób przekazania obciążenia na podtorze. W nawierzchni podsypkowej rola ta przypada warstwie podsypki, natomiast w nawierzchni bezpodsypkowej – warstwie z betonu (płyty betonowej) lub warstwie asfaltu.

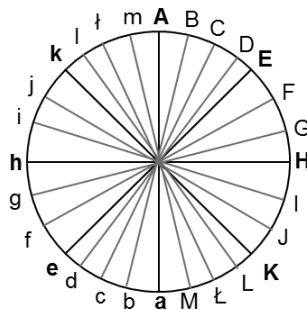
O wyborze rodzaju nawierzchni decyduje zarządca kolei w danym kraju, co następuje na etapie wykonania projektu. Podjęcie decyzji nie ogranicza się tylko do rozważań dotyczących konstrukcji, ale wymaga analizy następujących zagadnień:

1. ukształtowanie terenu,
2. warunki gruntowo-wodne,
3. warunki atmosferyczne,
4. układ i profil linii,
5. warunki i koszty eksploatacji oraz utrzymania linii,
6. parametry projektowane – obciążenia, naprężenia, wibroizolacja itp.,
7. osiadanie torowiska, nasypów i podłoża (po wybudowaniu i w okresie eksploatacji),
8. ocena emisji wibroakustycznej,
9. dostępność materiałów,
10. dostępność i znajomość technologii,
11. zdobyte dotychczas doświadczenie,
12. bezpieczeństwo ruchu,
13. awaryjność i usuwanie usterek,

14. dostępność toru,
15. oddziaływanie na otoczenie przejazdu pociągów dużych prędkości (np. wywiewanie podsypki, zmiany ciśnienia itp.),
16. wytyczne w aktach prawnych obowiązujących w danym kraju.

W celu porównania nawierzchni podsypkowych z nawierzchniami bez warstwy podsypki, z uwzględnieniem wielu wymienionych zagadnień, posłużono się metodą ANKOT (**AN**aliza **K**ontrastowa **O**biektów **T**echnicznych).

Metoda ANKOT polega na zestawieniu przeciwstawnych cech, aspektów i elementów opisujących dane zagadnienie (tablice 1 i 2). Cechy przeciwstawne umieszcza się na przeciwległych końcach średnicy koła (rys. 13 i 14). Utworzony zbiór skontrastowanych właściwości stanowi rozszerzenie opisu typów nawierzchni, gdyż przedstawia je z różnych punktów widzenia (tabl. 3). Metoda ANKOT pozwala na wyeliminowanie przypisania dla badanego obiektu nadmiaru cech pozytywnych lub negatywnych.



Rys. 13. Schemat metody ANKOT dla nawierzchni podsypkowej

Tablica 1

Metoda ANKOT dla nawierzchni podsypkowej

a	Zastosowanie technologii podsypkowej.	A	Technologia alternatywna bezpodsypkowa stosowana na obiektach inżynierskich.
b	Mały koszt budowy.	B	Duży koszt eksploatacji.
c	Duża dostępność na rynku materiałów do modernizacji linii (np. kruszywa).	C	Brak wytycznych projektowych określających różnice sztywności dla stref przejściowych pomiędzy odcinkami wzmocnionymi i bez wzmocnienia.
d	Dobrze zmechanizowane procesy utrzymania.	D	Specjalistyczny sprzęt do budowy i utrzymania.
e	Zachowanie wysokiej jakości i dokładności prowadzonych robót.	E	Niewystarczająca kadra kierownicza (uprawnienia budowlane).

Tablica 2 (cd.)

c	Mniejsze koszty prac utrzymaniowych.	C	Konieczność wcześniejszego przeprowadzenie prób i badań wybranych systemów, których rozwiązania i urządzenia zostaną zastosowane w Polsce.
d	Duża trwałość warstw nośnych nawierzchni.	D	Konieczność dokładnego rozpoznania podłoża, wykonania badań właściwości gruntu i oceny nośności.
e	Duża dokładność ułożenia szyn, co wpływa na wysoki komfort podróży.	E	Konieczność stosowania przytwierdzeń umożliwiających regulację położenia toru w płaszczyźnie poziomej ± 8 mm i płaszczyźnie pionowej 30 mm (50–60 mm).
f	Zachowanie wysokiej jakości i dokładności prowadzonych robót.	F	Niewystarczająca kadra kierownicza (uprawnienia budowlane).
g	Łatwość utrzymania nawierzchni. (np. brak podbijania).	G	Brak doświadczenia w naprawach i pracach diagnostycznych – mała wiedza o nowych technologiach umożliwiających naprawy bez przerywania ruchu.
h	Trudności przy naprawie nawierzchni – mało zmechanizowane procesy utrzymania.	H	Łatwy dostęp do toru dla służb utrzymaniowych i ratowniczych.
i	Wykorzystanie nowoczesnych technologii do zbrojenia podbudowy i warstwy ochronnej podtorza.	I	Naprawy związane z osiadaniem podtorza są trudne i wymagają długiego czasu wykonania.
j	Możliwość zastosowania mniejszych promieni łuków.	J	Kosztowne systemy wzmacniania konstrukcji drogi kolejowej.
k	Większy poziom hałasu.	K	Mniejszy ciężar i wysokość konstrukcji.
l	Obciążenia z szyn są przekazywane z płyty żelbetowej na wzmocnione i odwodnione podtorze.	L	Konieczność zabezpieczenia górnej warstwy podtorza przed oddziaływaniem drgań.
ł	Konieczność zwiększenia gęstości badań geotechnicznych na odcinkach niejednorodnych do odległości co 50 m.	Ł	Zastosowanie technologii nawierzchni niekonwencjonalnych na szlakach i obiektach inżynieryjnych (mosty, wiadukty tunele itp.).
m	Możliwość zastosowania technologii na szlakach i obiektach inżynieryjnych.	M	Brak specyfikacji i wytycznych projektowych określających zastosowanie systemu bezpodsykowego na szlakach i obiektach inżynieryjnych.

Tablica 3

Porównanie charakterystyk nawierzchni podsypkowej i bezpodsykowej

Lp.	Zastosowanie technologii podsypkowej	Zastosowanie technologii bezpodsykowej
1	Mały koszt budowy (średnia wartość europejska 500 Euro/metr [4]).	Duży koszt budowy (średnia wartość europejska 1300 Euro/metr [4]).
2	Trwałość nawierzchni 40 lat (wymiana podsypki po około 13–20 latach).	Trwałość nawierzchni 60 lat.

Tablica 3 (cd.)

3	Duży koszt eksploatacji (utrzymanie, zużycie i zanieczyszczenia podsypki).	Mniejszy koszt eksploatacji (utrzymanie, długi okres eksploatacji).
4	Możliwa korekta położenia torów podczas budowy i eksploatacji.	Duża dokładność ułożenia szyn, stosowanie przytwierdzeń umożliwiających regulację położenia toru w płaszczyźnie poziomej ± 8 mm i płaszczyźnie pionowej 30 mm (50–60 mm).
5	Przekazanie obciążeń na podtorze przez warstwę podsypki.	Przekazanie obciążeń na podtorze przez warstwę płyt betonowych lub asfaltu.
6	Duże doświadczenie zdobyte na liniach konwencjonalnych (projekt, budowa i utrzymanie).	Brak doświadczeń w zastosowaniu nawierzchni niekonwencjonalnych na szlakach (projekt, budowa i utrzymanie).
7	Osiadanie podtorza zredukowane przez zwiększenie grubości warstwy podsypki.	Duże wymagania w zakresie osiadania. Problematiczne miejscowe osiadania, które wymagają czasochłonnych napraw. Na szlakach konieczność zastępowania nasypów estakadami.
8	Mniejsze drgania i hałas – zdolność podsypki do tłumienia dźwięków.	Wydłużony okres eksploatacji systemów przytwierdzeń i szyn.
9	Dobre właściwości podsypki do odprowadzania wody; podsypka jest sprawdzonym rozwiązaniem w warunkach klimatu umiarkowanego; duża wrażliwość na zanieczyszczenia, konieczność czyszczenia i wymiany.	Konieczność zastosowania bardzo dobrego systemu odwodnienia; konstrukcja narażona na agresywne działanie warunków atmosferycznych (np. różnica temperatur).
10	Problematiczne zagadnienie podrywania ziaren kruszywa (podsypki).	Zwiększenie gęstości badań geotechnicznych na odcinkach niejednorodnych do odległości co 50 m.
11	Brak wytycznych projektowych określających różnice sztywności dla stref przejściowych pomiędzy odcinkami wzmocnianymi i bez wzmocniania.	Konstrukcja o wysokich modułach sztywności, możliwość redukcji grubości i ciężaru nawierzchni.
12	Łatwość pozyskania materiału na podsypkę.	Odporność na zanieczyszczenia, działanie substancji chemicznych (np. smary, oleje).
13	Dobrze zmechanizowane procesy utrzymania; duże doświadczenie w naprawach i pracach diagnostycznych nawierzchni konwencjonalnej.	Brak doświadczenia w naprawach i pracach diagnostycznych; dłuższy czas napraw; konieczność wykorzystania nowych technologii umożliwiających naprawy bez przerywania ruchu.

5. WNIOSKI

W Polsce trwa obecnie modernizacja infrastruktury kolei przy wsparciu unijnych funduszy inwestycyjnych. Modernizuje się linię E65 Południe (CMK) w celu jej przystosowania do dużej prędkości. W opracowaniu jest projekt koncepcyjny nowej KDP „Warszawa – Łódź – Poznań / Wrocław” tzw. „linia Y” [1, 14, 16, 17, 18, 21, 22, 27, 28]. Decyzja

o wyborze typu nawierzchni wymaga zapoznania się z doświadczeniami innych krajów oraz adaptacji wybranych rozwiązań do warunków panujących w Polsce. Wytypowane nawierzchnie należy poddać badaniom na specjalnie przygotowanych odcinkach próbnych oraz ich dostosowania do miejscowych warunków przez:

Zapewnienie zgodności z aktami prawnymi, wytycznymi i normami

Istniejące wytyczne w zakresie diagnostyki, utrzymania i budowy nawierzchni dotyczą linii konwencjonalnych. Konieczne jest opracowanie aktów prawnych i norm dla nawierzchni podsypkowych i bezpodsypkowych, przeznaczonych dla linii KDP nowych i modernizowanych. Celowe jest wykorzystanie doświadczeń z budownictwa drogowego i ziemnego, co również wymaga regulacji prawnych. Konieczne jest również dostosowanie przepisów do norm europejskich i specyfikacji interoperacyjności.

Uzyskanie zgodności z wymaganiami / wytycznymi określonymi przez zarządcę kolejowego w zakresie projektowania i budowy nawierzchni

Konieczne jest opracowanie szczegółowych specyfikacji i wytycznych określających wymagania dotyczące zastosowanej nawierzchni stawiane przez zarządcę linii.

Uwzględnienie ukształtowania terenu i warunków gruntowo-wodnych

Są to podstawowe dane, niezbędne zarówno na etapie koncepcji, projektu, jak i budowy, mające wpływ na wybór rodzaju nawierzchni. Zasadniczymi parametrami są: nośność gruntów, ustalenie zwierciadła wód podziemnych i wskazanie gruntów słabonośnych. Wpływają one na liczbę i rodzaje obiektów inżynierskich, pochylenia torów, wysokości nasypów i głębokości przekopów oraz system odwodnienia. Podczas eksploatacji linii napotyka się na nierównomierne i długotrwałe osiadanie, wywołane niewłaściwym rozpoznaniem gruntów, obciążeniami dynamicznymi i wpływem nacisku wysokich nasypów. Takie osiadania można łatwiej korygować przy nawierzchni podsypkowej.

W wypadku nawierzchni bezpodsypkowej jest niewskazane stosowanie wysokich nasypów. Dodatkowo dla obu rodzajów nawierzchni należy wskazać nowe technologie wzmacniania gruntów podtorza wraz z metodami obliczeń i doбором dostępnych rozwiązań. Odpowiednie ukształtowanie terenu sprzyja zastosowaniu dużych promieni łuków, odpowiednich dla nawierzchni z warstwą podsypki, bądź też decyduje o budowie estakad lub wiaduktów z nawierzchnią bezpodsypkową.

Warunki atmosferyczne

Największym zagrożeniem jest pogarszanie się właściwości technicznych podtorza pod wpływem działania zróżnicowanych temperatur i opadów, wywołujących procesy erozji, wietrzenia i działania mrozu. Temperatura wpływa na zmiany właściwości i szybsze zużycie elementów nawierzchni. Nawierzchnia bezpodsypkowa wymaga doboru odpowiednich materiałów, dobrej jakości wykonania robót oraz odpowiedniego zabezpieczenia, aby nie doprowadzić do mikropęknięć, przez które jest możliwe przenikanie wody,

co ostatecznie prowadzi do pęknięcia całej płyty. Podsypka ma naturalne właściwości odprowadzające wodę. W obu rozwiązaniach nawierzchni jest istotne odpowiednie odwodnienie sytemu, gdyż spływająca po skarpach nasypu woda, może spowodować miejscowe osuwiska.

Dostępność materiałów

Warunek ten odnosi się w przeważającej części do miejsca produkcji. Należy przeanalizować, czy dane elementy można produkować w kraju (jeżeli tak, to należy wskazać producentów polskich lub zagranicznych), czy trzeba je transportować z innych państw? Przykładem są podkłady w systemie RHEDA 2000 lub płyty żelbetowe systemu Bögl, które wymagają prefabrykacji w certyfikowanych zakładach, co wiąże się z dostawą materiałów z dużych odległości. Ważna jest również certyfikacja materiałów, które mogą zostać wbudowane lub wykorzystane jako elementy zamienne przy pracach utrzymaniowych. Istotna jest również dostępność technologii i materiałów do wzmacniania gruntów i nasypów (np. geosyntytyki). Należy wcześniej określić parametry, jakie powinny spełniać materiały i starać się, aby polscy producenci zapewniali dostawy. Na terytorium naszego kraju są liczne kopalnie kruszyw, z których pozyskiwany tłuczeń spełnia jakościowe normy materiałowe dla linii dużych prędkości. Możliwe jest także zapewnienie dostaw nie tylko na etapie budowy, ale również na etapie eksploatacji do robót utrzymaniowych. Warto również dodać, że w Polsce mamy wielu doświadczonych specjalistów od nawierzchni betonowych. Ich doświadczenie będzie bardzo cenne przy budowie systemów z płyt betonowych.

Określenie rodzaju przewozów

Jest to ważny czynnik, który ma wpływ na wybór rodzaju nawierzchni. W wypadku nawierzchni bezpodsypkowej i wyłącznych przewozach pasażerskich, należy liczyć się z niepełnym wykorzystaniem potencjału i w konsekwencji inwestycją nieuzasadnioną ekonomicznie. Nawierzchnia podsypkowa jest o ponad połowę tańsza na etapie budowy, a pory nocne mogą być wykorzystane na prace diagnostyczne i utrzymaniowe oraz usuwanie awarii. W wypadku nawierzchni niekonwencjonalnych naprawy są znacznie rzadsze, niż w nawierzchni z warstwą podsypki, przy której jest konieczne prowadzenie ciągłych prac diagnostycznych i utrzymaniowych.

Warunki eksploatacji i utrzymania linii

Warunki eksploatacji określa maksymalna prędkość i dotychczasowe doświadczenie dotyczące utrzymania konwencjonalnych linii na podsypce. Parametr prędkości dotyczy bezpośrednio nawierzchni na podsypce, na której stwierdzono zjawisko podrywania ziaren kruszywa. Trwają badania nad rozwiązaniem tego problemu. Obecnie na tych liniach prędkość jest ograniczona do 320 km/h (Francja, Hiszpania). Prace utrzymaniowe i diagnostyczne dla obu rodzajów nawierzchni wymuszają zakup specjalistycznych maszyn i urządzeń oraz dysponowania odpowiednio wyspecjalizowaną kadrą. Nawierzchnia

podsypanka wymaga znacząco większych nakładów na prace utrzymaniowe, co wpływa na większe koszty eksploatacji. Trwałość tej nawierzchni określa się na 40 lat, a doświadczenia, np. z francuskich KDP mówią o konieczności całkowitej wymiany podsypanki po 15 latach. Nawierzchnia bezpodsypanka charakteryzuje się niższymi kosztami eksploatacji z uwagi na mniejszą potrzebę prac diagnostycznych i utrzymaniowych oraz dłuższy okres eksploatacji (60 lat).

Przy wyborze rodzaju nawierzchni dla linii KDP należy uwzględnić również fakt, że polska kadra naukowa i wykonawcza zdobyła duży zasób wiedzy na temat diagnostyki i utrzymania dróg kolejowych na dotychczas eksploatowanych liniach.

BIBLIOGRAFIA

1. Bałuch H.: *Wielkości kinematyczne w projektowaniu układów geometrycznych toru na kolejach dużych prędkości*. „Problemy Kolejnictwa”, 2011, z. 152.
2. Chudyba Ł.: *Kolejowe Nawierzchnie Bezpodsypankowe*. Prezentacja firmy Thyssen Krupp GfT Polska Sp. z o.o. na seminarium SITK RP Oddział w Krakowie. Kraków, 28.06.2011.
3. Czyczuła W.: *Infrastruktura kolei dużych prędkości w technicznych specyfikacjach interoperacyjności*. „Technika Transportu Szynowego”, 2005, nr 5/6.
4. *Feasibility study ballastless track – Report*. UIC Infrastructure Commission Civil Engineering Support Group, Version 08/04/2002, March 2002.
5. *FFB Feste Fahrbahn Bögl*. [online], [dostęp 19 kwietnia 2012], Dostępny w Word Wide Web: www.max-boegl.de.
6. *First N700 Shinkansen car on show*. „International Railway Journal”, 2005, No 5.
7. *GETRAC. Die Feste Fahrbahn aus Asphalt*. [online], [dostęp 19 kwietnia 2012], Dostępny w Word Wide Web: www.getrac.de.
8. Graff M.: *Historia pociągów TGV Eurostar – pierwszych międzynarodowych pociągów dużych prędkości*. „Technika Transportu Szynowego”, 2011, nr 3.
9. Graff M.: *Włoskie linie i pociągi dużych prędkości*. „Technika Transportu Szynowego”, 2011, nr 1–2.
10. Kłosek K.: *Zbrojenie geosyntetykami*. „Infrastruktura Transportu”, 2008, nr 2.
11. Massel A.: *Linie dużych prędkości na tle rozwoju sieci kolejowej w Chinach*. „Problemy Kolejnictwa”, 2010, z. 151.
12. *Master Plan dla Transportu Kolejowego w Polsce do 2030 roku*. Ministerstwo Infrastruktury, załącznik do Uchwały Nr 277 Rady Ministrów z dnia 19 grudnia 2008, Warszawa, grudzień, 2008.
13. Nawrat W., Chudyba Ł.: *RHEDA CITY i RHEDA 2000 w transporcie miejskim*. „Infrastruktura Transportu”, 2011, nr 1.
14. Poliński J.: *Perspektywy rozwoju kolei dużych prędkości w wybranych krajach Europy środkowo-wschodniej*. „Problemy Kolejnictwa”, 2006, z. 143.

15. Pomykała A.: *Linia dużych prędkości Pekin – Tianjin*. „Technika Transportu Szynowego”, 2010, nr 11–12.
16. *Program budowy i uruchomienia przewozów Kolejami Dużych Prędkości w Polsce*. Ministerstwo Infrastruktury. Warszawa, październik 2008.
17. *Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym*. Konferencja naukowo-techniczna PKP PLK S.A. Zakopane, 9–11 kwietnia 2008. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB. Radom, 2008.
18. Raczyński J.: *Koleje dużych prędkości a restrukturyzacja polskiej sieci kolejowej*. Komitet Rozwoju Kolei Dużych Prędkości w Polsce, 2007.
19. *RHEDA 2000 Ballastless Track System*. [online], [dostęp 19 kwietnia 2012], Dostępny w Word Wide Web: www.railone.com.
20. Skrzyński E.: *Podtorze kolejowe*. Warszawa, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, 2010.
21. *Standardy techniczne, szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{\max} \leq 200 \text{ km/h} / 250 \text{ km/h}$* . Wersja 1.1. Warszawa, CNTK, 2009.
22. Starczewska M.: *Stawiamy na prędkość*. „Kurier PKP”, 2008, nr 13.
23. *System ERS (Embedded Rail System) szyny w otulinie*. Broszura firmy Tines S.A.
24. *System W21T. Schienenbefestigungssystem für Betonschwellen*. [online], [dostęp 19 kwietnia 2012], Dostępny w Word Wide Web: www.vossloh-fastening-systems.com.de.
25. Topolnicki M., Świniarski J.: *Wzmacnianie podłoża gruntowego linii kolejowych metodą wibrowymiany i głębokiego zagęszczenia*. Materiały Jubileuszowej Sesji Naukowej „Geotechnika w budownictwie i inżynierii środowiska”. Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska. Gdańsk, 15.06.2000.
26. Towpik K.: *Linie kolejowe dużych prędkości*. „Problemy Kolejnictwa”, 2010, z. 151.
27. Wojewódzka-Król K.: *Koleje dużych prędkości w europejskiej polityce transportowej*. „Problemy Kolejnictwa”, 2011, z. 153.
28. *Wstępne studium wykonalności budowy linii dużych prędkości Wrocław / Poznań – Łódź – Warszawa*. Raport nr 2, CNTK, Warszawa, październik 2005.
29. Zwolski J.: *Koleje – wykład dla inżynierskich studiów dziennych i zaocznych. Część 3: Tor Specjalny*. Politechnika Wrocławska, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego.