

KONSTRUKCJA NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ W ŁUKU O MAŁYM PROMIENIU¹

Dorota Karolina Błaszkwicz

mgr inż., Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: 12 628 2358, e-mail: dorotablaszkiewicz@gmail.com

Włodzimierz Czyczula

prof. dr hab. inż., Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: 12 628 2358, e-mail: czyczula@pk.edu.pl

Małgorzata Urbanek

mgr inż., Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, tel.: 12 628 2358, e-mail: murbanek@pk.edu.pl

Streszczenie. *W artykule autorzy dokonali porównania różnych typów konstrukcji nawierzchni kolejowej w łuku o małym promieniu, w celu doboru najlepszego rozwiązania zarówno pod względem finansowym jak i utrzymaniowym. W pracy przedstawiono także koncepcję dwóch innowacyjnych rozwiązań konstrukcji nawierzchni kolejowej z zastosowaniem podkładów stalowych typu V, oraz podkładów strunobetonowych typu V, które stanowią udoskonalenie dotychczas stosowanych rozwiązań.*

Słowa kluczowe: *nawierzchni kolejowa, podkład, tor bezstykowy, mały łuk*

1. Wstęp

Obecnie, nie tylko w Polsce najczęściej stosowanym rozwiązaniem konstrukcji nawierzchni kolejowej w łuku o małym promieniu jest konstrukcja toru z zastosowaniem podkładów drewnianych i toru klasycznego (stykowego). Jednak nawierzchnia kolejowa wykonana na podkładach drewnianych jest konstrukcją charakteryzującą się najmniejszą trwałością spośród możliwych rozwiązań. O trwałości podkładów drewnianych w dużym stopniu decydują czynniki atmosferyczne, powodujące zmiany wilgotności i temperatury drewna, a w następstwie ich pękanie, odrywanie warstwy drewna nienasyconego i stwarzanie dogodnych warunków dla rozwoju grzybów rozkładających drewno. Ze względu na dużą różnorodność tych czynników, ciężko jest określić żywotność podkładów drewnianych w sposób jednoznaczny [1]. W Polsce przyjmuje się, że trwałość podkładów drewnianych wynosi od 25-30 lat.

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Błaszkwicz D. 33%, Czyczula W. 35%, Urbanek M. 32%

Zastosowanie toru klasycznego w tego rodzaju konstrukcji również pociąga za sobą negatywne skutki, takie jak: zwiększenie oddziaływań dynamicznych, mniejszą spokojność jazdy oraz większy hałas. Obecnie stopniowo odchodzi się od stosowania toru stykowego w torach kolejowych, w większości projektów, przy budowie lub modernizacji linii kolejowej zaleca się stosowanie toru bezstykowego.

Aktualne obowiązujące w Polsce przepisy kolejowe, w sposób szczegółowy określają warunki zabudowy nawierzchni kolejowej w łuku o małym promieniu z zastosowaniem toru bezstykowego. Zgodnie z poprawką do rozporządzenia [2], w łukach o promieniu nie mniejszym niż 190 m w torach głównych dodatkowych i bocznych oraz w łukach o promieniu nie mniejszym niż 250 m w torach szlakowych i głównych zasadniczych, tor bezstykowy można zastosować w przypadku wymuszenia naprężeń w tokach szynowych odpowiadających temperaturze przytwierdzenia $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ i jednoczesnego zastosowania rozwiązań zwiększających stateczność toru bezstykowego lub niezawodność użytkowania. Ograniczenia te wynikają z konieczności zapewnienia odpowiednich oporów zarówno w kierunku poprzecznym jak i podłużnym podkładu umieszczonego w podsypce.

W świetle przedstawionych wyżej informacji nasuwa się myśl, że konieczne jest poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcji nawierzchni kolejowej, które mogą zostać zastosowane w łuku o małym promieniu. Rozwiązania te powinny stanowić atrakcyjną opcję w stosunku do rozwiązań obecnie stosowanych; wymagane jest, aby charakteryzowały się większą żywotnością, mniejszymi nakładami na utrzymanie oraz powinny być bardziej atrakcyjne pod względem finansowym.

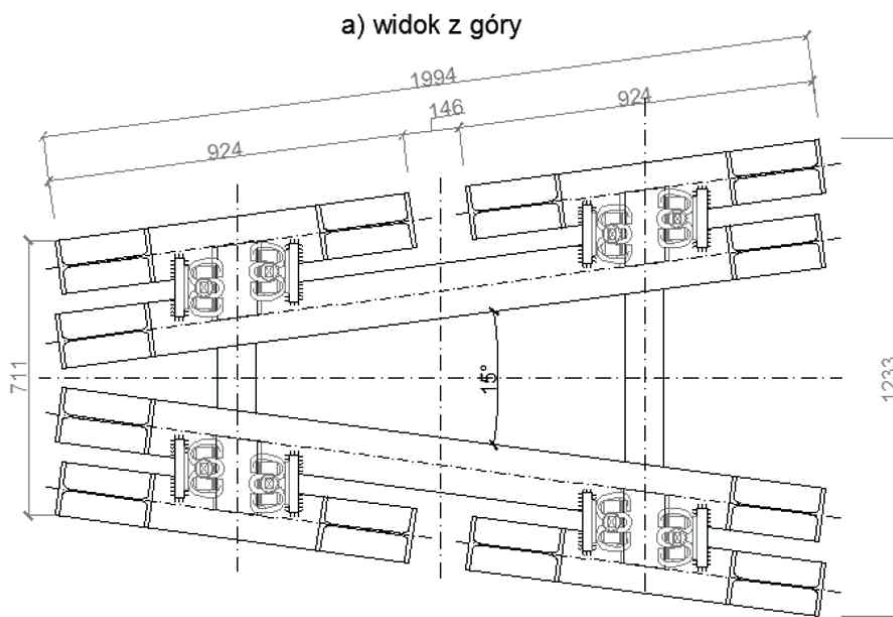
Spełnienie wymagań dotyczących zwiększenia stateczności toru oraz podniesienie standardów konstrukcji nawierzchni kolejowej stało się inspiracją do pracy nad nowymi rozwiązaniami. W artykule przedstawione zostały dwie propozycje takich rozwiązań. Pierwszą stanowi podkład stalowy typu V ze zmodyfikowanym przytwierdzeniem typu S15 oraz torem bezstykowym [3], drugą podkład strunobetonowy typu V z przytwierdzeniem typu SB oraz torem bezstykowym [4]. Rozwiązania te powstały w ramach Projektu Rozwojowego nr 10-0004-10/2010 „Nawierzchnia kolejowa o podwyższonym standardzie i zmniejszonym oddziaływaniu na środowisko”, finansowanego przez NCBiR [5].

2. Opis ogólny innowacyjnych rozwiązań

Podkład stalowy typu V jest innowacyjnym rozwiązaniem przeznaczonym do budowy nawierzchni szynowej (por. [3] oraz rys. 1). Konstrukcja podkładu stalowego w całości wykonana jest z elementów stalowych w gatunku S 235 JRG. Główny szkielet podkładu wykonany jest z dwuteownika szerokostopowego typu HE 140 AA. Do górnej powierzchni podkładu dospawane zostają rygielki, wykonane z pręta kwadratowego o boku 25 mm i długości 150 mm. Rygielki, tak jak w przypadku podkładu stalowego typu Y, przenoszą siły poziome, zapewniają zachowanie odpowiedniego prześwitu toru i utrzymują w stałym położeniu sys-

tem przytwierdzenia oraz usztywniają całą konstrukcję podkładu [6]. Do każdego z ramion podkładu mocuje się po cztery rygielki, w odległości dopasowanej do wymaganego prześwitu toru. Do dolnej powierzchni podkładu zostaje dospawany kątownik o wymiarach 100 x 50 mm i grubości ścianki 6 mm, w dwóch długościach, odpowiednio dostosowanych do geometrii podkładu. Kątownik zostaje dospawany do dwuteownika dłuższym ramieniem. Kątownik po zasypaniu podsypką zapewnia zwiększony opór poprzeczny przy ruchu podkładu w podsypce.

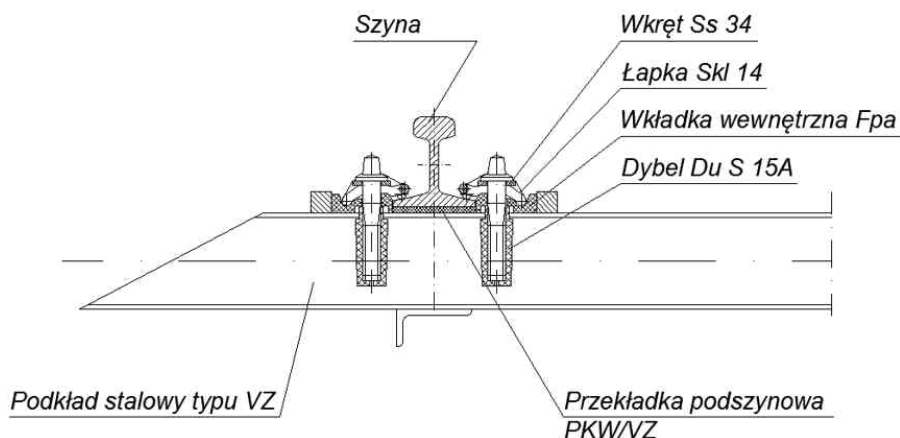
Konstrukcja podkładu stalowego typu V wykonana jest z sześciu dwuteowych belek ułożonych, w analizowanym przypadku, pod kątem 15° , połączonych od spodu kątownikami, a od góry rygielkami. Końce każdej z dwuteowych belek są ścięte pod kątem 30° , dzięki czemu zmniejsza się masa całego podkładu oraz łatwiej umieszcza się go w podsypce. Na rys. 1 przedstawiono schemat podkładu stalowego typu V.



Rys. 1. Schemat ogólny podkładu stalowego typu V

W podkładach stalowych typu V przewidziane jest wykonanie przytwierdzenia w systemie mocującym typu S15, ze specjalnie zaprojektowaną przekładką podszynową. Istnieje możliwość stosowania innych typów punktów mocujących, np. przytwierdzenie typu SB, które jest obecnie najbardziej rozpowszechnione na polskich liniach kolejowych. Na jednym podkładzie umieszczone zostają cztery punkty mocujące, każdy punkt zapewnia podwójne podparcie szyny. Szyna jest przymocowana za pomocą łapek sprężystych, wkrętów oraz dybli. Zakładając rozstaw osiowy podkładów w nawierzchni normalnotorowej o prześwicie 1435 mm, co 1,245 m uzyskujemy 1606 sztuk przytwierdzeń na jednym kilometrze szyny,

a więc więcej od wymaganej wartości 1500 sztuk [7]. Na rys. 2 przedstawiono przekrój przez podkład stalowy typu V wraz z przytwierdzeniem.

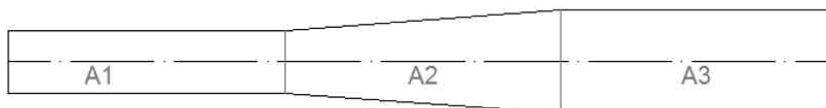


Rys. 2. Przekrój poprzeczny podkładu stalowego typu V

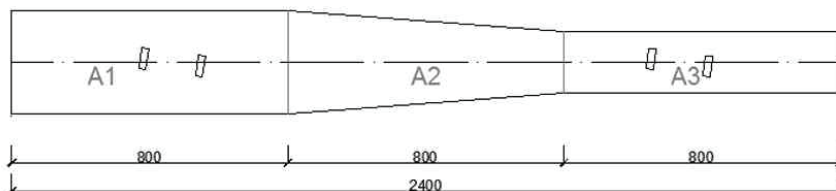
Podkłady stalowe typu V można dostosować do konstrukcji nawierzchni w łuku o małym promieniu. Wymagane przez [8] zwiększenie prześwitu toru w łuku o promieniu poniżej 250 m, uzyskuje się poprzez odpowiednie, co do wartości poszerzenia, przesunięcie górnych rygielków, które decydują o położeniu punktów mocujących. Przy niewielkich wartościach poszerzenia może być ono wykonane za pomocą zastosowania odpowiednio większych lub mniejszych płytek prowadzących. Kolejny warunek określony w [8], który mówi o konieczności stosowania przewodnic w łukach o promieniu mniejszym niż 300 m, oraz dodatkowe warunki opisane w [2], które określają konieczność stosowania przewodnic w łukach o długości części kołowej nie większej niż 50 m w torze klasycznym lub w łukach o promieniu mniejszym niż 190 m w torze bezстыkowym, spełniony jest dzięki dospawaniu specjalnego kształtownika (koziołka stalowego) do powierzchni podkładu. Koziołek ten jest mocowany już na etapie produkcji, a następnie na placu budowy zostaje do niego dokręcony kształtownik stalowy. Kształtownik jest odsunięty od bocznej krawędzi szyny o 60 mm. Profil zostaje dostarczany z przygotowanymi wcześniej odpowiednio nawierconymi otworami, przez które zostaje dokręcony do koziołka.

Drugie rozwiązanie konstrukcji nawierzchni w łuku o małym promieniu może stanowić podkład strunobetonowy typu V. Konstrukcja podkładu strunobetonowego typu V powstała na skutek połączenia dwóch betonowych belek ułożonych pod kątem 15°, wykonanych z betonu sprężonego, połączonych od dołu stalowym kątownikiem o wymiarach 100x50x6 mm. Na rys. 3 przedstawiono schemat pojedynczej belki strunobetonowej [4].

a) widok z dołu

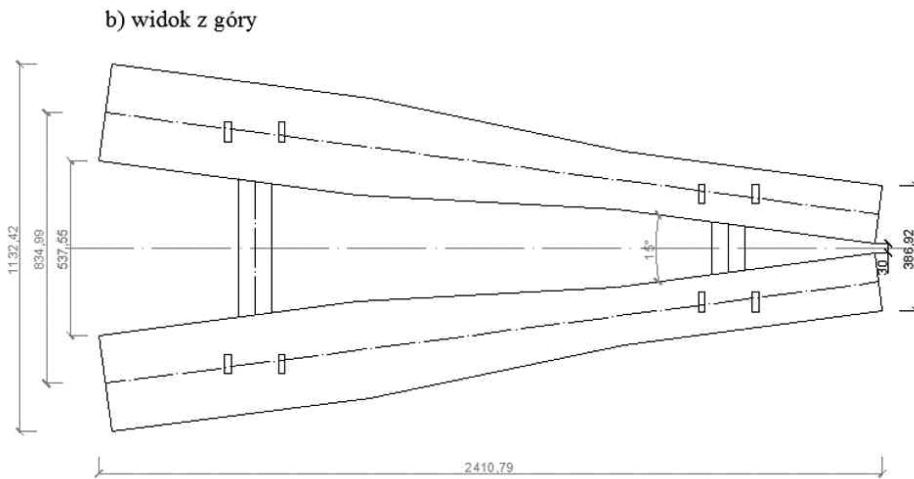


b) widok z góry



Rys. 3. Pojedyncza belka strunobetonowego podkładu typu V (widok z góry i od dołu)

Pojedyncza belka strunobetonowa utworzona jest z dwóch skrajnych, prostokątnych stref podporowych opisanych na rysunku nr 3, jako A1 oraz A2 oraz trapezowej strefy środkowej. Strefy te mają taką samą długość, każda stanowi $1/3$ długości podkładu, lecz różnią się pod względem szerokości. Części skrajne połączone są ze sobą poprzez strefę środkową. Dolna powierzchnia wszystkich stref leży w jednej płaszczyźnie. Górne powierzchnie stref podporowych, w części podszynowej, wykonane są ze spadkiem 1:20 lub 1:40, w celu zapewnienia odpowiedniego pochylenia szyn. Powierzchnia górna strefy środkowej wykonana jest równoległe do powierzchni dolnej. Belki podkładu strunobetonowego typu V wykonane są, zgodnie z obowiązującymi przepisami, z betonu klasy minimum C50/60 i sprężone przy pomocy strun lub prętów. Pojedyncze belki zostają połączone ze sobą za pomocą dwóch kątowników, które dospawane są do pojedynczych belek poprzez płytkę stalową, umieszczoną w podkładach. Umieszczony w dolnej warstwie podkładu kątownik nie tylko łączy pojedyncze belki tworząc konstrukcję podkładu, ale również zapewnia zwiększenie oporu poprzecznego. Belki strunobetonowe wykonywane są w specjalnych formach, które mają częściowo wycięte krawędzie boczne. Taka zmiana przekroju nie wpływa niekorzystnie na wytrzymałość przekroju, pozwala natomiast uzyskać oszczędność materiału. Wycięcia w bocznych krawędziach podkładu ułatwiają również zasypanie podkładu kruszywem; tłuczeń wchodzi w wyłobione miejsca, zapewniając większą stabilność konstrukcji. Wycięcia te zmniejszają również masę całego podkładu. Na rys. 4 przedstawiono schemat podkładu strunobetonowego typu V.



Rys. 4. Schemat podkładu strunobetonowego typu V

Przytwierdzenie szyn do podkładów strunobetonowych typu V może być dowolne; podczas analizy autorzy przyjęli zastosowanie przytwierdzenia typu SB.

Konstrukcje nawierzchni na podkładach strunobetonowych typu V można stosować również w łukach o małym promieniu. Wymagane przepisami poszerzenie toru uzyskuje się w specjalnie przygotowanych formach. Formy te mają odpowiednio przesunięte gniazda przytwierdzeń. Taki projekt wykonywany jest na specjalne zamówienie po otrzymaniu dokładnej specyfikacji. Możliwe są także inne rozwiązania, ale wymaga to wprowadzenia modyfikacji w konstrukcji przytwierdzenia typu SB lub zastosowania innego przytwierdzenia. Prowadnica w podkładach strunobetonowych typu V może być wykonywana przez dokręcenie do szyny specjalnego profilu stalowego [9].

Zarówno w przypadku podkładów stalowych typu V, jak i podkładów strunobetonowych typu V, konieczne jest stosowanie podkładów przejściowych w celu przejścia z toru z podkładami klasycznymi (belkowymi) do toru z podkładami typu V. Podkłady przejściowe mają proste jedno ramię, natomiast drugie jest ułożone pod odpowiednim kątem. W zależności od potrzeby wyróżniamy podkłady prawe i lewe.

3. Porównawcza analiza kosztowa wybranych rozwiązań konstrukcji nawierzchni

W ramach analizy dokonano zestawienia kosztów wykonania konstrukcji nawierzchni kolejowej w łuku o małym promieniu, z zastosowaniem poszczególnych rozwiązań. Analizie poddany został projekt wykonania 300 m odcinka nawierzchni kolejowej w łuku o małym promieniu z prowadnicą. Liczbę potrzebnych podkładów, przytwierdzeń oraz potrzebnego tłucznia obliczano in-

dywidualnie dla każdego typu nawierzchni, zgodnie z wymaganiami normatywnymi, w odniesieniu do danego rozwiązania konstrukcyjnego.

Analizę przeprowadzono dla następujących typów konstrukcji:

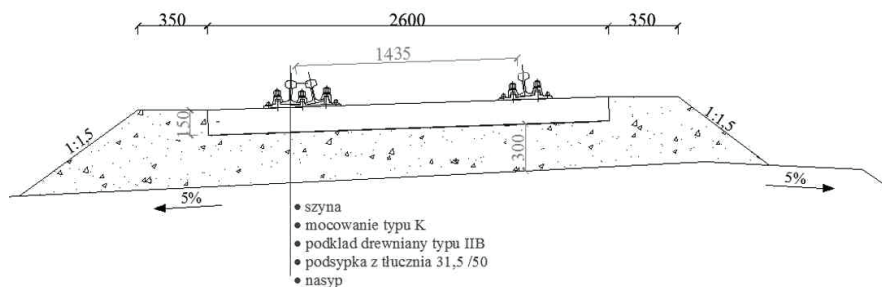
- nawierzchnia na podkładach drewnianych typu IIB, podsypce tłuczniowej, z przytwierdzeniami typu K;
- nawierzchnia na podkładach stalowych typu Y, z przytwierdzeniami S-15, na podsypce tłuczniowej;
- nawierzchnia na podkładach stalowych typu V, z przytwierdzeniami S-15, na podsypce tłuczniowej;
- nawierzchnia na podkładach strunobetonowych typu V, z przytwierdzeniami SB, na podsypce tłuczniowej.

Dla wszystkich typów konstrukcji nawierzchni przyjęto ten sam typ szyny (49E1 – por. [10]) oraz założono, że przechyłka wynosi 75 mm (równomierna warstwa podsypki pod podkładem, która wynosi 350 mm dla podkładów strunobetonowych, w pozostałych konstrukcjach 300 mm), a szerokość ławy przymy podsypki (obsypanie czoł podkładu) wynosi 350 mm. Chociaż, zgodnie z polskimi przepisami [8], ława podsypki przy zastosowaniu toru bezстыkowego powinna mieć szerokość 450 mm, tym niemniej – przy zastosowaniu specjalnych rozwiązań, zwiększających opór poprzeczny podsypki - szerokość ławy może być zmniejszona, nawet do 300 mm (por. [6]).

W dalszej części artykułu przedstawione zostały przekroje poprzeczne, dla poszczególnych rozwiązań oraz koszt materiałów, niezbędnych do wykonania 300 metrowego odcinka nawierzchni, położonej w łuku o małym promieniu.

Na rysunkach (5-8) przedstawiono przekroje przez nawierzchnię z zastosowaniem poszczególnych typów podkładów, natomiast w tabelach 1-4 ujęto zestawienie kosztów dla tych konstrukcji.

A. Nawierzchnia na podkładach drewnianych:



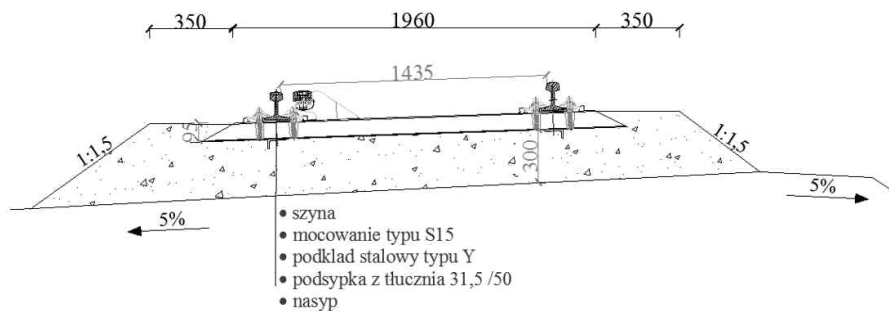
Rys. 5. Przekrój przez typową nawierzchnię z zastosowaniem podkładów drewnianych

Tabela 1. Zestawienie kosztów budowy odcinka nawierzchni kolejowej z zastosowaniem podkładów drewnianych

Nazwa	Jednostka	Liczba na 300 m	Cena jednostkowa	Cena całkowita [zł]
Szyna	kg	29658	2,7	80076,6
Przytwierdzenie	szt.	1000	65	65000
Podkład	szt.	500	115	57500

Kruszywo	m ³	577,05	51,7	29833,485
Punkt mocujący prowadnicy	szt.	500	90	45000
Szyna do prowadnicy	kg	14829	1,3	19277,7
			suma	277410,1

B. Nawierzchnia na podkładach stalowych typu Y:

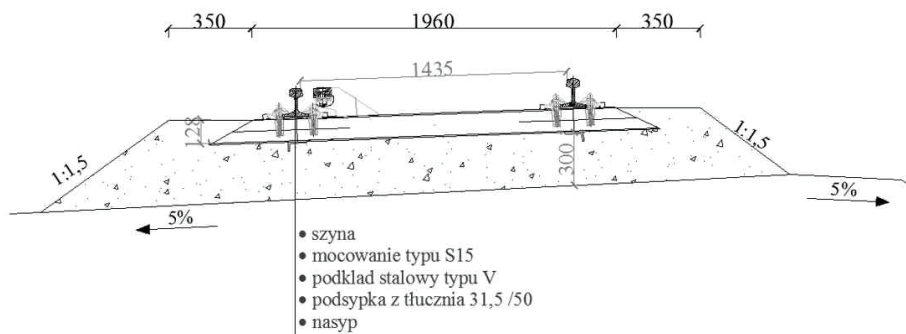


Rys. 6. Przekrój przez typową nawierzchnię z podkładami stalowymi typu Y

Tabela 2. Zestawienie kosztów budowy odcinka nawierzchni kolejowej z zastosowaniem podkładów stalowych typu Y

Nazwa	Jednostka	Ilość na 300m	Cena jednostkowa	Cena całkowita [zł]
Szyna	kg	29658	2,7	80076,6
Podkład z prowadnicą	szt.	241	1900	457900
Kruszywo	m ³	455,63	51,7	23556,071
			suma	561532,67

C. Nawierzchnia na podkładach stalowych typu V:



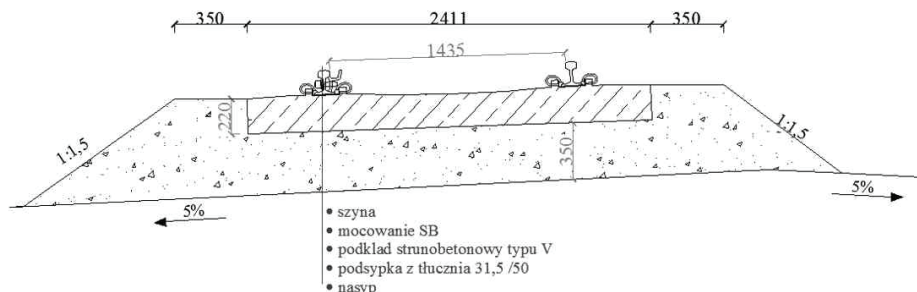
Rys. 7. Przekrój przez typową nawierzchnię z podkładami stalowymi typu V

Tabela 3. Zestawienie kosztów budowy odcinka nawierzchni kolejowej z zastosowaniem podkładów stalowych typu V

Nazwa	Jednostka	Ilość na 300m	Cena jednostkowa	Cena całkowita [zł]
Szyna	kg	29658	2,7	80076,6
Podkład z prowadnicą	szt.	223	1732	386236

Kruszywo	m ³	498,7	51,7	25782,79
suma				492095,4

D. Nawierzchnia na podkładach strunobetonowych typu V



Rys. 8. Przekrój przez typową nawierzchnię z zastosowaniem podkładów strunobetonowych typu V

Tabela 4. Zestawienie kosztów budowy odcinka nawierzchni kolejowej z zastosowaniem podkładów strunobetonowych typu V

Nazwa	Jednostka	Ilość na 300m	Cena jednostkowa	Cena całkowita [zł]
Szyna	kg	29658	2,7	80076,6
Punkt mocujący	szt.	1124	10	11240
Podkład	szt.	281	380	106780
Kruszywo	m ³	771,41	51,7	39881,897
profil do prowadnicy	szt.	211	185	39035
suma				277013,5

Zestawienie kosztów budowy dla poszczególnych typów nawierzchni przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Zestawienie kosztów budowy 300 metrowego odcinka nawierzchni przy zastosowaniu poszczególnych rodzajów nawierzchni

Rodzaj nawierzchni (podkładu i przytwierdzenia)	Cena [zł]
podkład drewniany typu IIB z przytwierdzeniem typu K	277410,1
podkład stalowy typu Y z przytwierdzeniem typu S15	561532,7
podkład stalowy typu V z przytwierdzeniem typu S15	492095,4
podkład strunobetonowy typu V z przytwierdzeniem typu SB	277013,5

4. Wnioski

Po uwzględnieniu analizy kosztów, zakładanej żywotności nawierzchni oraz zapewnienia odpowiedniej stateczności toru można uznać, że najbardziej korzystnym rozwiązaniem konstrukcyjnym nawierzchni kolejowej w torze o małym promieniu łuku jest zastosowanie konstrukcji z podkładami strunobetonowymi typu V i przytwierdzeniem typu SB. Podkłady betonowe charakteryzują się większą

odpornością na działanie czynników atmosferycznych od podkładów drewnianych, ale mniejszą niż podkłady stalowe. Prace przy zabudowie takiego podkładu również są ograniczone. Podkład zostaje dostarczony z wcześniej zamontowanymi kotwami do mocowanie, na miejscu budowy wystarczy ułożyć szynę i przymocować łapkę sprężystą. Konstrukcja takiej nawierzchni wymaga jednak większego zapotrzebowania na tłużeń, ponieważ wymagane jest tu minimalna grubość kruszywa 35 cm, a nie tak jak w innych przypadkach 30 cm. Jest to jednak projekt innowacyjny, wymagający przeprowadzenia szeregu badań i analiz, w celu określenia jego dokładnych parametrów i właściwości.

Kolejnym etapem udoskonalania konstrukcji nawierzchni kolejowej w łuku o małym promieniu może być praca nad nową nawierzchnią bezpodsytkową dostosowaną do takiej geometrii toru.

Literatura

- [1] Sancewicz S.: Nawierzchnia kolejowa. Warszawa 2010.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju, z dnia 5 czerwca 2014 r., zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [3] Czyczyła W., Stawowiak S., Błaszkiwicz D., Projekt techniczny podkładu stalowego typu V. Kraków, 2012.
- [4] Czyczyła W., Stawowiak J., Kopia B., Brózda P., Zgłoszenie patentowe nr 400181; Betonowy podkład podsypkowej nawierzchni szynowej i nawierzchnia wykonana z takich podkładów.
- [5] Projekt rozwojowy nr 10-0004-10/2010, Kraków 2013, „Nawierzchnia kolejowa o podwyższonym standardzie i zmniejszonym oddziaływaniu na środowisko”.
- [6] „Specyfikacja techniczna – Podkład stalowy Y, Tor podsypkowy” nr 2000-03.09.
- [7] Dz. U. UE, Decyzja komisji z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych.
- [8] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [9] Błaszkiwicz D., Konstrukcja nawierzchni kolejowej w łukach o małym promieniu. Praca magisterska, Kraków 2012.
- [10] PN-EN 13674-1. Kolejnictwo, Tor, Szyna, Część 1: Szyny kolejowe Vignole’a o masie 46 kg/m i większej.