

20. ANALIZA PREFABRYKOWANYCH PODKŁADÓW KOLEJOWYCH WYKONANYCH Z BETONU

1. WPROWADZENIE

Podkłady kolejowe wchodzą w skład podstawowych elementów nośnych w obiekcie liniowym, jakim jest linia kolejowa. Oprócz zapewnienia odpowiedniego położenia szyn względem siebie podkłady przejmują wszelkie oddziaływania dynamiczne oraz statyczne od szyn pod obciążeniem taboru kolejowego i przekazują te obciążenia na podsypkę. Ponadto ich zadaniem jest przeciwstawianie się przesuwom w kierunku poprzecznym i podłużnym całego rusztu kolejowego.

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat, zarówno w Polsce, jak i całej Europie, nastąpił wzrost zastosowania podkładów do budowy linii kolejowych wykonanych z betonu. Obecnie najczęściej stosuje się podkłady wykonane z betonu sprężonego w formie strunobetonowych prefabrykatów.

2. TYPY PODKŁADÓW WYKONANYCH Z BETONU

Pomimo że zastępowanie podkładów drewnianych podkładami wykonanymi z żelbetu czy z betonu sprężonego wiąże się ze wzrostem odkształceń podtorza i podsypki z uwagi na ich sprężysto-kruchość charakterystykę, w ostatnich latach rozwiązanie to jest stosowane coraz powszechniej [4].

Wybrane rodzaje podkładów betonowych przedstawiono na rysunkach 1-3. Na rysunku 1 pokazano podkład z Wytwórni Podkładów Strunobetonowych S.A. z Ujścia, przeznaczony do budowy głównych linii kolejowych. Został on wykonany z betonu klasy B60 sprężonego 8 prętami o średnicy $\phi 7$ mm [10].



Rys. 1. Przykład podkładu strunobetonowego PS-94 z wytwórni WPS S.A. [10]

Fig. 1. The example of pre-stressed concrete sleepers PS-94 from the factory WPS S.A. [10]

Rysunek 2 przedstawia przykład strunobetonowego podkładu kolejowego typ INBK-7. Podkłady te nie są obecnie produkowane w polskich wytwórniach, podobnie jak żelbetowe podkłady blokowe typ BI-3. Na rysunku 3 przedstawiono przykład takiego podkładu. Składa się on z dwóch żelbetowych bloków, na których podpierane są szyny. W celu ograniczenia zużycia betonu podczas produkcji oba bloki zostały połączone ze sobą za pomocą jednego lub dwóch łączników stalowych.



Rys. 2. Przykład podkładu strunobetonowego INBK-7 [7]

Fig. 2. The example of pre-stressed concrete sleepers INBK-7 [7]



Rys. 3. Przykład żelbetowego podkładu BI-3 [9]

Fig. 3. The example of reinforced concrete sleepers BI-3 [9]

W Polsce, przy budowie nowych linii kolejowych, stosuje się jedynie podkłady strunobetonowe. Podkłady żelbetowe spotykane są coraz rzadziej. Nie produkuje się ich ze względu na szereg wad związanych z małą rysoodpornością wynikającą z nieko-

rzystnego wpływu drgań pochodzących od taboru kolejowego. Celem eliminacji tych niedoskonałości najczęściej stosowane są podkłady strunobetonowe.

Zestawienie parametrów wybranych typów podkładów kolejowych wykonanych z betonu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane typy betonowych podkładów kolejowych [8, 14]

Table 1. Selected types of concrete railway [8, 14]

Rodzaj betonu	Typ podkładu		Długość	Dolna szerokość	Wysokość w miejscu podparcia	Produkcja
			mm	mm	mm	
Żelbet	A	belkowy	2300	300	160	aktualnie nie produkowany
	PS		2200	260	170	
	B1-2	blokowy	2300	260	160	
	B1-3		2240	300	210	
Strunobeton	INBK-3	belkowy	2500	265	190	1951-1961 r.
	INBK-4		2300	286	180	1959-1975 r.
	INBK-7		2500	300	194	od 1960 r.
	INBK-8		2500	195	195	1972-1988 r.
	PS-94		2600	300	235	od 2004 r.
	PS-94M		2600	300	226	od 2007 r.
	PS-83		2500	316	205,5	od 1988 r.
	PS-08		2600	300	226	od 2008 r.

3. TECHNOLOGIA WYTWARZANIA STRUNOBETONOWYCH PODKŁADÓW

Na trwałość podkładów kolejowych mają wpływ przede wszystkim materiały konstrukcyjne, z których się je wykonuje, tj. rodzaj stosowanej stali zbrojeniowej, ale również zastosowana metoda sprężania betonu. Beton charakteryzuje się bardzo dużą wytrzymałością na naprężenia ściskające, natomiast niezbyt wysoką wytrzymałością na rozciąganie. W celu poprawy tych parametrów, jak również ograniczenia powstawania rys i spękań, beton spręża się za pomocą stalowych drutów lub cięgien sprężających, podnosząc tym samym wytrzymałość elementu na rozciąganie [2]. Taki kompozyt z betonu i stali można zastosować jako podporę ze względu na fakt, iż uzyskana w ten sposób wytrzymałość podkładów na zginanie jest niezbędna, aby przenieść obciążenia dynamiczne od taboru kolejowego.

Podkłady strunobetonowe produkuje się w różnych technologiach. Proces produkcyjny tych podkładów, które sprężane są splotami, odbywa się na długich torach naciągowych. Do produkcji stosuje się również sztywne formy baterijne, dzięki którym

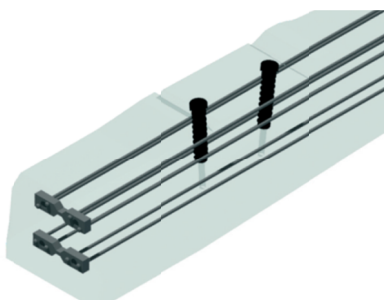
można jednocześnie wykonać cztery podkłady. Przed ułożeniem i zagęszczeniem mieszanki betonowej układa się zestawy zbrojenia. W przypadku tej metody podkłady są sprężane prętami. Jednakże produkcja podkładów kolejowych w każdej z metod odbywa się w pozycji odwróconej, ze względu nałożone kształty tychże elementów [1].

Sposoby kotwienia

Rozróżnia się dwie technologie kotwienia zbrojenia czynnego w podkładach kolejowych, tj. zakotwienie przy użyciu specjalnych płytek oporowych oraz poprzez wykorzystanie przyczepności pomiędzy stalą a betonem. Cechą charakterystyczną dla strunobetonu jest naciągnięcie cięgien sprężających przed zabetonowaniem elementu, zatem sprężenie betonu następuje dopiero po zakończeniu procesu jego twardnienia i pielęgnacji. Wartość siły sprężającej jest uzależniona od wymagań zamawiającego, w tym przypadku zarządu kolei [3].

Zakotwienie poprzez płytki oporowe

Jedną z technologii zakotwienia cięgien w podkładach jest stosowanie na ich końcach specjalnych stalowych płytek oporowych. Schemat zakotwienia przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat podkładu z zakotwieniem poprzez płytki oporowe [12]

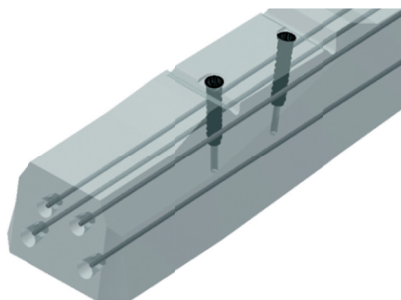
Fig. 4. Scheme of railway sleeper anchorage by using thrust plate [12]

Po osiągnięciu przez beton wczesnej wytrzymałości i zwolnieniu naciągu, siła sprężająca jest przekazywana na powierzchnię podkładu poprzez siły docisku pomiędzy płytkami oporowymi po obu stronach. Istotne jest, aby na każdym końcu cięgna, przy wykorzystaniu technologii BBRV spęczyć na zimno główkę. Technologia ta umożliwia osiągnięcie przez stal sprężającą pełnej wytrzymałości na rozciąganie bez strat od poślizgu w zakotwieniu [1, 3].

Zakotwienie poprzez przyczepność

Mimo że w technologii zakotwienia mechanicznego nie jest konieczne stosowanie stali profilowanej do sprężania, to w przypadku gdy siła sprężająca jest przekazywana na beton poprzez przyczepność, słuszność stosowania stali żebrowanej bądź nagniatanej jest uzasadniona. Powstaje w ten sposób nie tylko przyczepność związana z adhezją, ale także z ciernym kotwieniem się obu materiałów na powierzchni ich styku. Wówczas

siła naciągowa jest wprowadzona przez śruby naciągowe, tzn. elementy, które nakręca się na nagwintowane końce cięgien podczas procesu technologicznego. Schemat kotwienia mechanicznego przedstawiono na rysunku 5 [3, 6].



Rys. 5. Schemat podkładu z zakotwieniem poprzez przyczepność [12]

Fig. 5. Scheme of railway sleeper anchorage by adhesion [12]

Wymagania wykonawcze

Przygotowanie i zbrojenie form

Przed umieszczeniem mieszanki betonowej w formie należy uprzednio dokładnie oczyścić formy i zabezpieczyć je przed przyczepnością betonu. Rozmieszczenie zbrojenia sprężającego i poprzecznego, usytuowanie kotew i wartość siły naciągu ma być zgodne z dokumentacją techniczną, a odchyłki wynoszą odpowiednio:

- ± 4 mm od położenia zbrojenia oraz ± 3 mm od wypadkowej zbrojenia,
- $+ 1$ mm oraz $- 2$ mm od zagłębienia lub wyniesienia kotwy w odniesieniu do górnej powierzchni podkładu,
- $\pm 5\%$ wartości siły naciągowej podanej w dokumentacji technicznej.

Ponadto minimalna wartość otuliny wynosi 15 mm, a minimalna odległość od ścianek formy do zbrojenia konstrukcyjnego wynosi 25 mm [13].

Przygotowanie i dojrzewanie betonu

Stosunek wody do cementu dla betonów używanych do produkcji podkładów nie powinien być większy niż 0,45, przy czym minimalna ilość cementu w betonie wynosi 300 kg/m^3 . Temperatura mieszanki betonowej w trakcie procesu obróbki nie może przekraczać 60°C , a szybkość studzenia i rozgrzewania betonu wynosi maksymalnie 20°C/h . Po upływie 28 dni beton powinien swoją wymaganą końcową wytrzymałością na ściskanie odpowiadać klasie betonu C50/60 [3, 13].

Wytyczne dotyczące sprężania

Obecnie do budowy linii kolejowych PKP stosowane są podkłady sprężane. Beton zostaje sprężony dopiero po osiągnięciu 75% końcowej wytrzymałości na ściskanie. Istotne jest, aby zarówno sprężanie, jak i zwolnienie naciągu odbywało się w sposób łagodny oraz zgodnie z założoną technologią produkcji [5, 13].

4. PODKLĄDY BETONOWE Z WIBROIZOLACJĄ

Celem zmniejszenia obciążeń dynamicznych oddziałujących w znacznym stopniu na podsypkę i podtorze istnieje możliwość zastosowania betonowych podkładów kolejowych z wibroizolacją. Warstwa wibroizolacji jest materiałem sprężysto-plastycznym trwale związanym z dolną powierzchnią podkładu. Sprężysto-kruchy charakter oraz znacznie większa twardość podkładów betonowych w stosunku do drewnianych powoduje znaczne przeciążenia dynamiczne nawierzchni kolejowej. Stosowanie wibroizolacji w produkcji stanowi doskonałą alternatywę dla podkładów drewnianych, mających znacznie lepsze właściwości tłumienia drgań pochodzących od kół taboru kolejowego [4].

Zastosowanie betonowych podkładów z wibroizolacją

Stosowanie podkładów strunobetonowych z warstwą izolacji antywibracyjnej wiąże się z ograniczeniem deformacji torów, zwłaszcza deformacji pionowych. Skutkiem tego jest wydłużenie okresu trwałości toru, a więc oszczędności związane z naprawami [4].

W Niemczech podkłady z wibroizolacją stosowane są jedynie odcinkowo, na długościach od 25 m do maksymalnie 200 m, w miejscach szczególnie narażonych na wpływy dynamiczne. Ze względu na dużą skuteczność w tłumieniu drgań stosuje się je na odcinkach, których stan podtorza jest bardzo negatywny lub zmienny. Ponadto w miejscach skrzyżowań i rozjazdów torów, a także na przejazdach kolejowych. Podkłady z wibroizolacją mają również swoje zastosowanie na mostach o nieznacznych długościach, zastępując tym samym maty podtłuczniowe [11].

5. PODSUMOWANIE

Podkłady kolejowe należą do jednej z najbardziej dominujących dziedzin w masowej prefabrykacji. Z uwagi na dużo większą trwałość coraz częściej zastępują podkłady drewniane. Jednakże z uwagi na oddziaływania dynamiczne od obciążenia taboru kolejowym oraz kruchość betonu podkłady betonowe w szybkim czasie ulegają zarysowaniu, co w znacznym stopniu osłabia ich nośność, ale również naraża na agresję środowiskową, powodując tym samym postępowanie korozji. Rozwiązaniem okazują się podkłady wykonywane z betonu sprężonego, charakteryzującego się dużą rysoodpornością, a co za tym idzie, większą trwałością. Ponadto jest możliwość zastosowania podkładów z wibroizolacją. Stosowanie warstwy izolacji antywibracyjnej ma na celu zminimalizowanie w znacznym stopniu odkształceń dynamicznych podsypki, a tym samym podtorza.

LITERATURA

- [1] Ajdukiewicz A., Mames J. 2004. Konstrukcje z betonu sprężonego. Polski Cement Kraków.
- [2] Baszkiewicz K., Selejdak J., 2014. Comparison of selected properties of reinforced concrete and prestressed concrete structures for bending structural components, w monografii: Toyotarity. Management of technology. Aeternitas Publishing House Alba Iulia.

- [3] Kisilowski J., Kurdowski W., 2014. Solidność elementem bezpieczeństwa systemu. Rynek Kolejowy 5.
- [4] Kwiatkowska E., 2011. Betonowe podkłady kolejowe z wibroizolacją. Inżynier Budownictwa 11(89), 59-61.
- [5] Łodo A., 2002. Strunobeton – sprzęt, technologie, możliwości produkcyjne, zalecenia konstrukcyjne. XVII Ogólnopolska konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, Konstrukcje żelbetowe. Tom II, s. 149-182.
- [6] Madał A., Wołowski W., 2002. Mosty betonowe. Wydawnictwo komunikacji i łączności sp. z o.o. Warszawa.
- [7] Materiały dostępne: http://drogizelazne.org/nawierzchnia.html#3.4._Podk%B3ady z dn. 02-01-2015 r.
- [8] Materiały dostępne: <http://www.strunbet.pl> z dn. 15-12-2015 r.
- [9] Materiały dostępne: <http://www.transportszynowy.pl/torykolpodkladyrodz.php#betonowe> z dn. 02-01-2015 r.
- [10] Materiały promocyjne Wytwórni Podkładów Strunobetonowych S.A. z Ujścia dostępne: http://www.wps-sa.com.pl/pl/oferta/podklad_strunobetonowy_PS-94/ z dn. 02-01-2015 r.
- [11] Müller-Borutta F.H., Kleinert U., 2001. Besohlte Schwellen. Eisenbahntechnische Rundschau 3.
- [12] Raith M., Wawruk J., Wojciechowski J., Cholewa A., 2013. Bezpieczeństwo bez kompromisów. Infrastruktura Transportu 2, 8-13.
- [13] Warunki techniczne wykonania i odbioru podkładów i podrozdnic strunobetonowych WTWIO – ILK3a-5187/01/05.
- [14] Zarządzenie Ministra Komunikacji nr 47 z dnia 1 czerwca 1982 r. w sprawie zatwierdzenia „Przepisów technicznych utrzymania i eksploatacji nawierzchni na liniach kolejowych normalnotorowych użytku publicznego”.

ANALYSIS OF THE PREFABRICATED RAILWAY SLEEPERS MADE OF CONCRETE

Summary. As a result of the development of new and modernization of existing transport routes in railway construction, there has been progress in the field of prefabrication of concrete railway sleepers in recent years. In Poland, there is a wide variety of domestic production of concrete sleepers in the current market. The pre-stressed sleepers dominate because of their durability and high crack and scratch resistance. In the chapter parameters of selected types of railway sleepers was analyzed. In addition, attention was drawn to the parameters of concrete preparation process and production process of sleepers. As a result of analysis, it was found that the best solution is to use the pre-stressed concrete sleepers and that is very important to apply appropriate insulation.