

Badania laboratoryjne przyczepności przez odrywanie podkładek podpodkładowych (USP)

Laboratory pull-off tests for bond strength of under sleeper pads (USP)



Cezary Kraśkiewicz

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

c.kraskiewicz@il.pw.edu.pl



Jarosław Medyński

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej

j.medynski@il.pw.edu.pl



Wojciech Oleksiewicz

Dr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

w.oleksiewicz@il.pw.edu.pl



Dominika Stańczak

Inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej

d.stanczak@il.pw.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań przyczepności przez odrywanie od powierzchni betonowej, zastępującej powierzchnię spodu podkładu, kilku prototypowych podkładek podpodkładowych, określanych dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads). Podkładki te były poddane uprzednio badaniom odporności na warunki atmosferyczne. Podkładki USP są stosowane w podsypkowych konstrukcjach nawierzchni kolejowej w celu redukcji emitowanych do otoczenia drogi kolejowej drgań materiałowych i akustycznych (wibracji i hałasu) oraz w celu redukcji naprężeń występujących w podsypce – w szczególności w warstwie podsypki bezpośrednio pod podkładem. Przedstawione wartości zbadanej przyczepności podkładek USP do podkładów zostały zestawione z wymaganiami stosowanymi przez zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej.

Słowa kluczowe: Podkładki podpodkładowe (USP); Badania materiałowe; Przyczepność przez odrywanie; Odporność na warunki atmosferyczne

Abstract: In the present paper results of pull-off tests performed on several prototypical under sleeper pads (USP) attached to the concrete body are presented. The pads had been tested beforehand for resistance to severe environmental conditions. The USP are used in the ballasted track systems to reduce the material and acoustic vibration emitted to the railway track's surroundings (vibration and noise) and to reduce stress in the ballast – especially in the ballast layer directly under the sleeper. The presented values of tested bond strength of the USP were compared to the requirements used by foreign railway infrastructure managers

Keywords: Under sleeper pads (USP); Material tests; Pull-off bond strength; Resistance to severe environmental conditions

Podkładki podpodkładowe [2, 4, 5], określane dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads) są stosowane przede wszystkim w nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej w celu zmniejszenia dynamicznych oddziaływań od ruchu pociągów, przekazywanych od kół pojazdów poprzez szyny, złączki i podpory szynowe (w nawierzchni podsypkowej zwykle w postaci podkładów

betonowych, a w rozjazdach w postaci podrozdnic) na warstwę podsypki tłuczniowej. Podkładki USP mogą pokrywać w całości powierzchnię dolną podkładu/podrozdniczy (rys. 1) lub występować tylko w strefie podszyновой (rys. 2). Stosowane dalej określenie „podkład” jest rozumiane umownie jako podkład betonowy lub również jako podrozdnicza betonowa, przy czym określenie „betonowy” ma tu

upraszczające, ogólne znaczenie obejmujące wszystkie rodzaje stosowanych technologii sprężania betonu w tak rozumianych podkładach (np. strunobeton, kablobeton itp.).

W nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej podkładki USP powinny spełniać następujące funkcje:

- ograniczać niekorzystny wpływ ruchu kolejowego na środowisko poprzez zmniejszenie poziomu



1. Podkładka podpodkładowa (USP) - całkowite pokrycie powierzchni dolnej podkładu



2. Podkładka podpodkładowa (USP) - częściowe pokrycie powierzchni dolnej podkładu

oddziaływań w postaci drgań materiałowych i akustycznych (wibracji i hałasu);

- zredukować naprężenia występujące w warstwie podsypki poprzez zwiększenie powierzchni kontaktu pomiędzy spodem podkładu i podsypką, zwiększając w ten sposób trwałość eksploatacyjną konstrukcji nawierzchni.

Podkładki USP są mocowane do spodu podkładów i może to odbywać się na dwa sposoby:

- w trakcie procesu produkcji podkładów poprzez umieszczenie na dolnej ich powierzchni nie stwardniałego jeszcze betonu podkładki USP, a następnie poddaniu podkładu krótkim wibracjom, co spowoduje wniknięcie warstwy szepnej podkładki (np. geosyntezy) w plastyczny jeszcze beton;
- na gotowym podkładzie poprzez przyklejenie podkładki USP szybko twardniejącym i wiążącym klejem (np. epoksydowym). Przyklejanie podkładek USP do spodu podkładów może odbywać się w ciągu procesu produkcyjnego podkładów (w zakładzie produkcyjnym, albo u dostawcy) lub już po ich wyprodukowaniu, ale dopiero po ich przetransportowaniu na miejsce budowy, co stanowi dodatkową ochronę podkładek przed ich ewentualnymi mechanicznymi uszkodzeniami powstałymi w czasie transportu i przeładunku.

W podkładkach USP stosowanych w różnych krajach układ i rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne warstw podkładki są zróżnicowane i nie wynikają one z obligatoryjnych wymagań o charakterze norm europejskich lub innych przepisów krajowych.

Rozwiązania przeznaczone do zamocowania w trakcie procesu produkcji podkładów betonowych składają się zwykle z trzech warstw, opisanych następująco w kolejności od góry do dołu przy docelowym (eksploatacyjnym) położeniu podkładu:

1. warstwy szepnej mocowanej w betonie podkładu, stanowiącej zwykle element przestrzenny z wypustkami wnikającymi w beton spodu podkładu, wykonywaną np.

z tworzywa sztucznego lub z geosyntezy;

2. warstwy sprężystej stanowiącej, z punktu widzenia funkcji podkładki USP, jej zasadniczą warstwę wykonywaną z materiału elastomerowego nadającego podkładce odpowiedni poziom sztywności;
3. warstwy ochronnej z geosyntezy stanowiącej ochronę elastomeru przed mechanicznym uszkodzeniem ziarnami tłucznia o ostrych krawędziach.

Rozwiązania przeznaczone do zamocowania do spodu gotowego podkładu za pomocą kleju różnią się od opisanego powyżej trzywarstwowego układu tym, że nie zawierają, górnej warstwy szepnej mocowanej w betonie podkładu.

Trzecia, najniższa warstwa chroniąca podstawową warstwę sprężystą podkładki USP przed mechanicznym uszkodzeniem ziarnami tłucznia jest wykonywana zwykle z geosyntezy.

Występowanie tej warstwy w próbkach materiałowych objętych opisanymi dalej badaniami przyczepności przez odrywanie nie jest jednak konieczne, ponieważ warstwa ta nie styka się bezpośrednio z betonem podkładu i tym samym nie ma wpływu na szepność podkładki USP ze spodem podkładu. Z tego powodu w kilku badanych próbkach warstwa ochronna nie występowała.

Badania laboratoryjne przyczepności przez odrywanie

Podkładka USP jako element połączony z podkładem w sposób trwały, bez względu na technologię montażu rusztu torowego, musi mieć zapewnioną odpowiednią szepność (wytrzymałości na odrywanie), aby podkładka nie oddzieliła się od podpory szynowej w trakcie transportu na miejsce zabudowy lub w trakcie jej wieloletniej eksploatacji. W celu uwzględnienia wpływu niekorzystnych warunków atmosferycznych (woda, mróz, niskie i wysokie temperatury) na wartość przyczepności podkładki do podkładu w czasie jej eksploatacji w torze kolejowym o nawierzchni podsypkowej, próbki zosta-

ły uprzednio poddane badaniu odporności na warunki atmosferyczne.

Opisane w artykule badania przyczepności przez odrywanie (wytrzymałości na odrywanie) przeprowadzono dla pięciu wybranych materiałów prototypowych podkładek USP – trzech materiałów na bazie granulatu gumowego SBR (ang. *Styrene-Butadiene Rubber*) oraz dwóch materiałów na bazie poliuretanu PU (ang. *Polyurethane*) o następujących oznaczeniach i grubościach:

- 002 – podkładka USP na bazie granulatu gumowego SBR o gr. 12 mm;
- 003 – podkładka USP na bazie granulatu gumowego SBR o gr. 7 mm;
- 004 – podkładka USP na bazie granulatu gumowego SBR o gr. 9 mm;
- 005 – podkładka USP na bazie poliuretanu o gr. 7 mm;
- 008 – podkładka USP na bazie poliuretanu o gr. 10 mm.

Podkładki nr 002, 003 i 004 na bazie granulatu gumowego SBR różnią się technologią produkcji, grubością i gęstością. Podkładki nr 005 i 008 na bazie poliuretanu różnią się grubością i gęstością.

Przygotowanie próbek do badania

Próbki podkładek USP zostały uprzednio (przed badaniem przyczepności przez odrywanie) przygotowane do badania odporności na działanie warunków atmosferycznych w sposób określony w normie PN-EN 16730 [7] i przedstawiony poniżej:

- podkładka USP została przyklejona mechanicznie klejem do betonowej kostki (rys. **4a**);
- po związaniu kleju (3-4 dni) próbki przez 24 h były przechowywane w wodzie (rys. **3a**),
- po wyjęciu z wody próbki umieszczono w komorze klimatycznej (rys. **3b**) i poddano cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu (zamrażanie do temperatury -15°C w czasie 4 h, pozostawiona w tej temperaturze przez 8 h, po czym temperatura była zwiększana do $+40^{\circ}\text{C}$ w czasie 4 h, przy wilgotno-

ści względnej 80% i próbka pozostawała w niej przez 8 h; pełny cykl trwał 24 h, każdorazowo przeprowadzono 7 pełnych cykli), co miało symulować warunki atmosferyczne w jakich pracuje podkładka USP.

Metodyka badawcza

Badanie przyczepności przez odrywanie (na próbkach po badaniu odporności na warunki atmosferyczne) przeprowadzono według metody „pull-off” zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-EN 1542:2000 [6]. Zgodnie z tą metodą w badanej próbce materiału podkładki USP wycięto okręgi o średnicy 50 mm (rys. 4c i 4d), do których następnie przyklejono stalowe krążki o średnicy 50 mm. Dla każdej próbki podkładki USP wykonano pomiar przyczepności w czterech punktach, których położenie wyznaczono zgodnie z wytycznymi zawartymi w aneksie N normy PN-EN 16730 [7], tj. w odległości minimum 50 mm od krawędzi próbki oraz kolejnego punktu pomiarowego. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 4b.

Wynikiem badania była wartość przyczepności przez odrywanie wyrażona w N/mm². Pomiarów dokonano za pomocą aparatu Proceq dy-206 (rys. 4e). Szybkość odrywania krążka, zgodnie z aneksem E normy PN-EN 16730 była stała i wynosiła 0,01 N/mm².s. Po badaniu próbki materiału (rys. 4f) określono typ zniszczenia według następujących kryteriów:

- zniszczenie kohezyjne w warstwie kostki betonowej (podkładu betonowego) – typ A;
- zniszczenie kohezyjne w warstwie materiału (B, C, D, E, F, G, H) – typ: B, C, D, E, F, G, H;
- zniszczenie adhezyjne pomiędzy sąsiednimi warstwami – np. typ B/C.

Wyniki badań i wartości graniczne

Wyniki badań przyczepności przez odrywanie przedstawiono w tab. 1 - 5, natomiast wykresy zmian przyczepności w czasie badania na rys. 5 - 9.

Ze względu na fakt, że nie są okre-

ślone polskimi przepisami wymagania do stosowania podkładek USP na sieci PKP PLK (w tym wymagania odnośnie minimalnej wartości przyczepności przez odrywanie wyznaczanej na próbkach po badaniu odporności na

warunki atmosferyczne) postanowiono odnieść się do wartości granicznych określonych przez wymagania zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej [1, 3, 8, 9]. Wymagania te zostały przedstawione w tab. 6. Na



a)

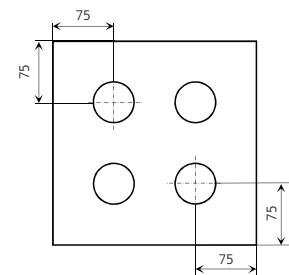


b)

3. Próbkę podkładki USP przyklejono mechanicznie do betonowych kostek w trakcie badania odporności na warunki atmosferyczne: a) próbki zanurzone w wodzie na 24 h; b) próbki w komorze klimatycznej (Feutron KPK 400)



a)



b)



c)



d)



e)



f)

4. Przygotowanie próbek podkładek USP do badania i przeprowadzenie badania przyczepności przez odrywanie przeprowadzonego według metody „pull-off”: a) podkładka USP przyklejona mechanicznie do kostki betonowej; b) schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych (zgodny z wymaganiami sformułowanymi w normie PN-EN 16730 [4]); c) wykonanie nacięć w materiale podkładki USP; d) próbka przygotowana do przyklejenia krążków stalowych „pull-off”; e) wykonanie pomiaru wytrzymałości na odrywanie za pomocą aparatu „pull-off” (Proceq dy-206); f) próbka podkładki USP po badaniu – widoczny rodzaj zniszczenia

Tab. 1. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 002 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
002	1	0,45	C/D	0 – stalowy krążek, D – klej Poxipol, C – podkładka USP, B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,55	B/A15%-C	
	3	0,46	C/D	
	4	0,48	C/D	
	wartość średnia	0,49	-	
	odchylenie standardowe	0,05	-	

Tab. 3. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 004 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
004	1	0,45	E/F	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – podkładka USP D – warstwa klejąca warstwę szepną do podkładki USP C – warstwa szepna B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,41	E/F	
	3	0,45	E/F	
	4	0,34	E/F	
	wartość średnia	0,41	-	
	odchylenie standardowe	0,05	-	

Tab. 5. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 008 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
008	1	0,40	B/C	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – warstwa ochronna (tylko w próbie 3 i 4) D – siatka klejąca warstwę ochronną do podkładki USP C – podkładka USP B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,37	B/C	
	3	0*	C/D	
	4	0*	C/D	
	wartość średnia	0,39	-	
	odchylenie standardowe	0,02	-	

*- przyczepność poniżej minimalnej wartości odczytu urządzenia „pull-off” (poniżej 0,1 N/mm²)

Tab. 2. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 003 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
003	1	0,33	C/D	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – podkładka USP D – warstwa klejąca warstwę szepną do podkładki USP C – warstwa szepna B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,24	C/D	
	3	0,32	E/F	
	4	0,25	E/F	
	wartość średnia	0,29	-	
	odchylenie standardowe	0,05	-	

Tab. 4. Wartości przyczepności przez odrywanie dla próbki materiału nr 005 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Oznaczenie próbki	Oznaczenie krążka	Przyczepność, N/mm ²	Typ zniszczenia	Warstwy
005	1	0,14	C/B	0 – stalowy krążek F – klej Poxipol E – warstwa ochronna (tylko w próbie 3 i 4) D – siatka klejąca warstwę ochronną do podkładki USP C – podkładka USP B – klej StoPox SK100 A – kostka betonowa
	2	0,24	D/C	
	3	0*	E/D	
	4	0*	E/D	
	wartość średnia	0,19	-	
	odchylenie standardowe	0,07	-	

*- przyczepność poniżej minimalnej wartości odczytu urządzenia „pull-off” (poniżej 0,1 N/mm²)

Tab. 6. Wymagane wartości przyczepności przez odrywanie dla podkładek USP wyznaczone na próbkach po badaniu odporności na warunki atmosferyczne (dla pojedynczego badania) – na podstawie wymagań zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej

Kraj/Organizacja	Dokument odniesienia	Wymagana wartość przyczepności przez odrywanie wyznaczona na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne (dla pojedynczego badania), [N/mm ²]
Niemcy	DBS 918 145-01 [1]	≥ 0,3
Włochy	RFI TCAR SF AR 03 007 C [8]	≥ 0,4*
Francja	SNCF IG04013 [9]	≥ 0,6*
Związek UIC	IRS 70713-1 [3]	≥ 0,4*

*Procedura badawcza zgodnie z normą PN-EN 16730 [7]

ich podstawie autorzy zaproponowali wartość graniczną przyczepności przez odrywanie wyznaczonej na próbkach po badaniu odporności na warunki atmosferyczne wynoszącą min. 0,4 N/mm².

Odnosząc wyniki badań laboratoryjnych do zaproponowanej wartości granicznej można stwierdzić, że tylko jeden spośród pięciu materiałów charakteryzował się spełnieniem wymagań - tzn. próbka materiału nr 002. W przypadku pozostałych czterech materiałów wskazane są dalsze prace nad poprawą wartości przyczepności przez odrywanie, aby osiągnąć wartość dla każdej pojedynczej próby wynoszącą co najmniej 0,4 N/mm².

Wnioski

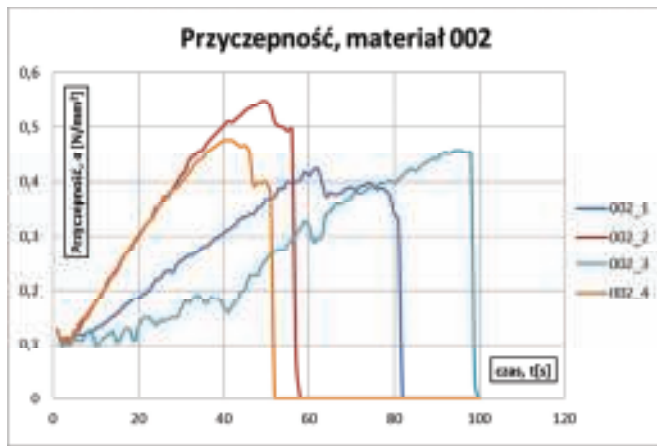
W pracy przedstawiono badania przyczepności przez odrywanie wykonane na próbkach po badaniach ich odporności na warunki atmosferyczne dla pięciu prototypowych materiałów podkładek USP.

Spośród pięciu przebadanych materiałów podkładek USP tylko jeden wykazał przyczepność powyżej zaproponowanej przez autorów wartości granicznej przyjętej na podstawie wymagań innych europejskich zarządców infrastruktury kolejowej. Pozostałe cztery materiały wykazały niezadowolające wyniki i wymagają dalszych prac nad spoiwem i materia-

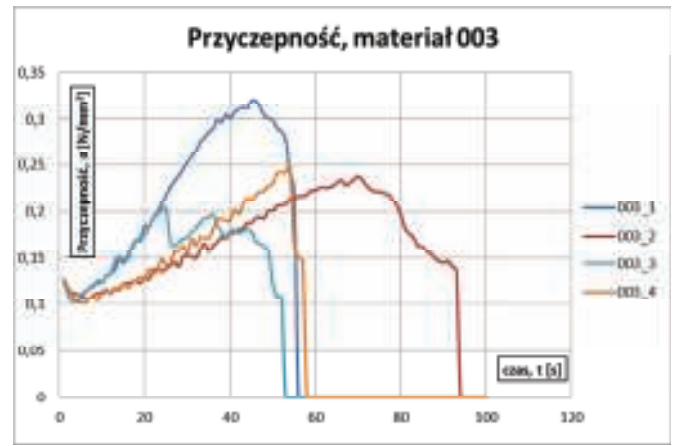
łem warstwy przylegającej do spodu podkładu. ◀

Publikacja powstała w ramach projektu „Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiem od ruchu kolejowego”. Projekt jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój oraz przez PKP PLK S.A. w ramach wspólnego przedsięwzięcia BRIK.

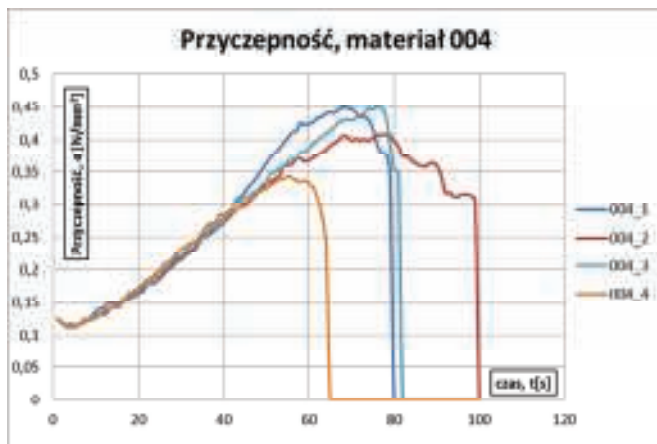




5. Przyczepność przez odrywanie dla próbki materiału nr 002 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



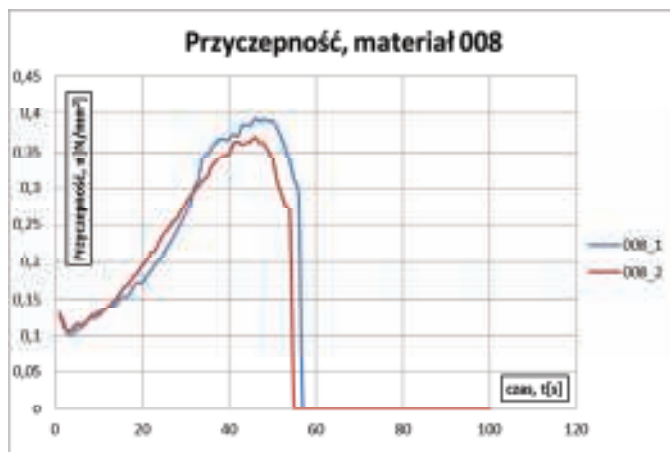
6. Przyczepność przez odrywanie dla próbki materiału nr 003 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



7. Przyczepność przez odrywanie dla próbki materiału nr 004 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



8. Przyczepność przez odrywanie dla próbki materiału nr 005 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne



9. Przyczepność przez odrywanie dla próbki materiału nr 008 – wyznaczone na próbce po badaniu odporności na warunki atmosferyczne

Materiały źródłowe

- [1] DB Netz AG, DBS 918 145-01, Technische Lieferbedingungen, Spannbetonschwellen mit elastischer Sohle - Elastische Schwellensolehlen, 2016.
- [2] Iliev D. L.: Die horizontale Gleislagestabilität des Schotteroberbaus mit konventionellen und elastisch

- besohlenen Schwellen. Technische Universität München, 2012.
- [3] IRS 70713-1: Railway Application – Track & Structure “Under Sleeper Pads (USP) - Recommendations for Use”, 1st edition 01.04.2018.
- [4] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Płudowska-Zagrajek M., Piotrowski A. Testing procedures of the Under Sleeper Pads applied in the balla-

sted rail track systems. MATEC Web of Conferences, 2018, 196, 02046.

- [5] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Zbiaciak A.: Podkładki podpodkładowe w podsypkowej konstrukcji nawierzchni dróg szynowych – techniczne i formalne aspekty stosowania. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, 2017, 25, 221-243.
- [6] PN-EN 1542:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych - Metody badań - Pomiar przyczepności przez odrywanie. PKN, Warszawa 2000.
- [7] PN-EN 16730:2016-08 Kolejnictwo - Tor - Podkłady i podrozjazdnice betonowe z podkładkami podpodkładowymi, Polski Komitet Normalizacyjny, 2016.
- [8] RFI TCAR SF AR 03 007 C, Specifica tecnica di fornitura: Tappetini sotto traversa (USP), 2017.
- [9] SNCF IG04013 Traverses et supports béton pour pose ballastée équipées de semelles résilientes en sous faces (ex CT IGEV 016) 14.08.2018.