

MOŻLIWOŚCI WZMACNIANIA PODTORZA W WARUNKACH INTEROPERACYJNOŚCI KOLEI

Krzysztof Gradkowski

Dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów, Al. Armii Ludowej 16,
00-637 Warszawa, e-mail: k.gradkowski@il.pw.edu.pl, tel. 601 306 899

Streszczenie. *Unifikacja techniczna interoperacyjności dróg szynowych oraz przystosowania podstawowych linii kolejowych do standardowo większych prędkości pociągów zawarte w aktualnie obowiązujących przepisach wymaga analiz możliwych rozwiązań technicznych w zakresie konstrukcji podtorza. Szczegółowe ustalenia zawarte w aktualnie obowiązujących warunkach technicznych budowy podtorza, w tym górnych warstw podtorza dla przedziałów prędkości pociągów $80 < v_{\max} \leq 250$ odpowiadającym poszczególnym typom linii i natężenia przewozów mogą być uzupełnione w celu uzyskania odpowiednich zastosowań praktycznych. Możliwości zastosowania różnych rodzajów materiałów geosyntetycznych kreują warianty układów wielowarstwowych w podłożach rusztu torowego i re-profilowanych budowlach ziemnych. W artykule zawarte są wyniki dotychczasowych analiz odnośnie rodzajów materiałów geosyntetycznych, ilości oraz ich sposobów lokowania w przekrojach gruntowych warstw nośnych. Wnioski artykułu obejmują wskazania budowy struktur wielowarstwowych układów górnych warstw podtorza, które mogą być przydatne projektantom budowy oraz modernizacji poszczególnych linii kolejowych.*

Słowa kluczowe: *grunt zbrojony, geosyntetyki, podtorze*

1. Wprowadzenie

Przygotowanie do międzynarodowej operacyjności kolei krajowych wymaga unifikacji technicznej kilku elementów systemu z pozostałymi sieciami europejskiego transportu kolejowego. Sprostanie wymaganiom przystosowania podstawowych linii kolejowych do większych prędkości pociągów jest jednym z elementów ujętych w standardach interoperacyjności tak pojętej unifikacji. W pewnej części odnosi się to także do podstawowych wymagań wytrzymałości i trwałości podtorza rozumianego jako budowla ziemna. Aktualnie obowiązujące zasady konstrukcji i budowy podtorza dróg szynowych w kraju zawarte są w instrukcji PKP PLK SA jako warunki techniczne utrzymania Id-3 [6]. Ze względu na zakres obowiązywania jest to akt normy powszechnej, którą należy stosować przy projektowaniu budowy nowych i modernizacji istniejących linii kolejowych.

Instrukcja [6] obejmuje szczegółowe ustalenia odnośnie warunków technicznych budowy podtorza, w tym górnych warstw podtorza dla przedziałów prędkości pociągów $80 < v_{\max} \leq 250$ km/godz. odpowiadającym poszczególnym typom linii i natężenia przewozów. Opracowano również w Instytucie Kolejnictwa aktu-

alne wymagania dla podtorza zawarte w standardach technicznych interoperacyjności [5]. W niniejszym opracowaniu przyjęto pierwszą ich wersję jako podstawę do dalszej analizy.

Opracowane standardy interoperacyjności jako szczegółowe warunki techniczne modernizacji lub budowy nowych linii kolejowych, odpowiadające TSI wskazanym przez dyrektywę Unii Europejskiej [5], uwzględniają również wymagania co do konstrukcji podtorza. W krajowej sieci linii kolejowych, aktualnie istnieje zaledwie kilka odcinków linii dróg szynowych spełniających wszystkie warunki techniczne technicznych standardów interoperacyjności.

W ogólnych zasadach budowy i konstrukcji linii kolejowej należy zwrócić uwagę na pewne znane już od wielu lat różnice w terminologii i określeniach poszczególnych części przekroju drogi szynowej stosowane na kolejach Unii Europejskiej. Najbardziej zbliżoną do krajowej terminologię w ostatnim czasie stosują koleje austriackie [2]. Fakt ten, powoduje również określone podejście w formułowaniu wymagań konstrukcyjnych poszczególnych części drogi szynowej ujętych w opracowanych standardach [5] i w relacji obowiązujących przepisów Id-3 [6], gdzie zagadnienia gruntowe podtorza są całkowicie oddzielone od zagadnień nawierzchni i innych elementów infrastrukturalnych dróg szynowych. Dla pełniejszego określenia możliwości wypełnienia wymagań opracowanych standardów w zakresie interoperacyjności podtorza można przytoczyć ich podstawowe punkty jako cytaty:

10.4. Wytrzymałość, trwałość i jednorodność podłoża

1. *Podtorze należy projektować przy założeniu trwałości równej 100 lat, przy czym jeśli podtorze ma spełniać funkcje wymagające trwałości większej, np. funkcje hydrotechniczne, to należy to uwzględnić.*
2. *Współczynniki pewności F dotyczący stateczności podtorza i jego elementów określone na podstawie właściwości gruntów powinny wynosić co najmniej:*
 - a) 2,0 - dla podtorza nowobudowanego i dobudowywanego,
 - b) 1,5 - w eksploatacji.
3. *Prognoza osiadań budowanego lub dobudowywanego podtorza powinna obejmować wartości osiadań w eksploatacji oraz ocenę możliwości usuwania skutków tych osiadań poprzez regulację położenia toru (ocena wg PN-03020:1981 {x}).
Jeśli nie określono innych wymagań, dopuszczalne różnice osiadań torowiska należy przyjmować równe 4 mm/rok na długości 30 m lub 10 mm/rok na długości 200 m. Jeśli przyjęte wymagania nie mogą być spełnione, należy zastosować odpowiednie wzmocnienie podtorza lub podłoża.*
4. *Moduły odeształceń podtorza nie powinny być mniejsze niż:*
 - a) 45 MPa - w przypadku gruntów spoistych,
 - b) 60 MPa - w przypadku gruntów piaszczystych i żwirowych.
5. *Zagęszczenie gruntów podtorza powinno spełniać wymagania podane w warunkach technicznych {x}.*
6. *W celu zmniejszenia różnic osiadań torowiska i zapewnienia stopniowej zmiany sztywności podtorza, przy obiektach inżynierskich należy stosować odcinki przejściowe; wymaganie to dotyczy:*
 - a) podtorza nowobudowanego dla prędkości większych od 120 km/h,

- b) podtorza modernizowanego, dostosowywanego do prędkości większych od 160 km/h.

10.5. Górna część podtorza

1. Górna część podtorza, na której jest ułożona nawierzchnia, należy projektować przy założeniu jej trwałości równej 20 - 50 lat, zależnie od parametrów eksploatacyjnych linii.
2. Górna część podtorza powinna spełniać następujące wymagania:
 - a) minimalne moduły odkształceń podtorza E_0 mierzone na torowisku nie powinny być mniejsze od podanych (przypis wł.) od 80(40) do 120 (80) MPa w zależności od typu linii P250, P200, M200, P160, M160, P120, M120, T120, P80, M80, T80, T40, prędkości i natężenia przewozów {Tg/rok}. Dostosowując podtorza do prędkości nie przekraczających 160 km/h przyjmuje się wartości modułów jak dla podtorza nowo budowanego i traktuje się je jako projektowe (obliczeniowe). Wartości modułów w nawiasach są wartościami wymaganymi dla podtorza linii eksploatowanych; wartości te należy stosować przy ocenie potrzeby wzmacniania torowisk oraz projektowaniu ich napraw.
 - b) w górnych warstwach podtorza nie mogą wystąpić naprężenia większe od dopuszczalnych dla znajdujących się tam gruntów i innych materiałów - wymaganie to należy sprawdzać, gdy:
 - 1) występują złe lub skomplikowane warunki wodno-gruntowe,
 - 2) ponad 5% przewozów dokonywanych jest z naciskami osi taboru większymi od 221 kN (22,5 t).
 Jeśli dopuszczalne naprężenia dla gruntów są przekroczone, to przyjmuje się pośrednie grubości pokryć ochronnych torowisk; nie większe od określonych na podstawie naprężeń i nie mniejsze od wynikających z modułów odkształceń.
 - c) grunty górnych warstw podtorza powinny być:
 - 1) łatwo zagęszczalne i odporne na rozgęszczanie w eksploatacji ... (przypis wł.) wskaźnik różnoziarnistości U od 1 do 5, a wskaźnik wygięcia krzywej uziarnienia gruntu C powinien zawierać się od 1 do ≥ 7 .

Zatem w pewnym ogólnym przybliżeniu można przyjąć, że podstawowym wymaganiem jakości podtorza jest stan jego górnych warstw, a podstawowym kryterium jakości jest odpowiednia wartość modułu odkształcenia mierzonego na powierzchni tej warstwy. Występuje niemal całkowita zbieżność z ustaleniami zawartymi zarówno w standardach [5] jak i w instrukcji [6] w obu normatywach z niewielkimi różnicami dotyczącymi stopnia szczegółowości regulacji technicznych i np. zakładanej trwałości podtorza 50 lat i 100 lat oraz trwałości górnych części podłoża.

Warunki techniczne wymienione w omówionych standardach warunków technicznych interoperacyjności dla podtorza nie mogą być wykonane bez pełnego uwzględnienia postanowień Id-3. Szybka weryfikacja praktyczna ustaleń zawartych w instrukcji jak i w standardach jest bardzo trudna lub wręcz nieosiągalna, zwłaszcza dla parametrów zmiennych i rozłożonych w czasie, np. żywotność. Nie

istnieją też sposoby analitycznego określania tych parametrów. Dlatego też, dla zapewnienia stabilizacji w czasie ustanowionych współczynników pewności i trwałości konstrukcji podtorza należy stosować i wykorzystywać możliwości współczesnych wyników badań i doświadczeń w zakresie mechaniki gruntów i pokrewnych dziedzinach techniki.

3. Wzmocnienia podtorza geosyntetykami

Ważne sposoby zastosowania geosyntetyków w znaczeniu geotekstylii i geosiatek były wielokrotnie referowane w wielu opracowaniach. Geotekstylia są rekomendowane między innymi w pracach [1, 3, 4], a ich pełne zastosowanie techniczne w różnych konstrukcjach budowli gruntowych jest praktykowane od kilkudziesięciu lat. Specyfikacje opracowanych przykładów w [4] umożliwiają projektowanie bardzo wielu budowli z zastosowaniem geosyntetyków za wyjątkiem podłoży dróg lądowych. Separacyjne i filtracyjne właściwości materiałów geosyntetycznych o dobieranych parametrach jakości, zastosowanych w budowlach ziemnych nie ulegają wątpliwości. Ogólny stan wiedzy w zakresie aplikacji materiałów geosyntetycznych pozwala zwrócić uwagę na niezwykle istotną funkcję geosyntetyków w strukturze ośrodka gruntowego jako zbrojenia i wzmacniania gruntów w poziomych płaszczyznach (planarnych) układów warstwowych. Mniejsze osiadania uwarstwionej geosyntetykiem warstwy gruntu i mniejsza podatność przy tym samym nacisku jest podstawowym argumentem stosowania geotekstylii jako warstwy zbrojącej.

Podstawowymi uwagami odnoszącymi się do zasad wzmacniania i zbrojenia warstw gruntowych są następujące zasady;

1. Wzmocnienie i zbrojenie warstwą geotekstylii obejmuje warstwę gruntów tylko o pewnej grubości, której wymiar wynosi nie więcej niż 15 cm i zależy od gramatury [masa jednostkowa w g/m²].
2. Efekt zbrojenia i wzmocnienia warstwy gruntowej jest bardziej znaczący przy zbrojeniu płaskim (planarnym) oraz przy dwóch lub trzech warstwach geotekstylii.
3. Istotnym czynnikiem wpływającym na wzmocnienie zbrojonej warstwy gruntu mają siły „szczepności” w warstwie gruntu, na które składają się między innymi kontaktowe siły tarcia. Podwyższona nośność warstw gruntowych wyposażonych we wkładki geosyntetyków jest wynikiem oporu tarcia gruntu i geotekstyliów według zależności:

$$T_h = 2 f \sigma_v l = 2 \operatorname{tg} \mu \cdot \sigma_v \cdot l \quad (1)$$

gdzie:

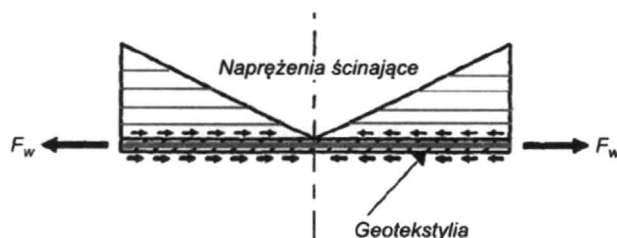
T_h – pozioma siła oporu tarcia geotekstyliów [kN/m],

$f = \operatorname{tg} \mu$ – współczynnik tarcia,

μ – kąt tarcia pomiędzy gruntem a geotekstyliami,

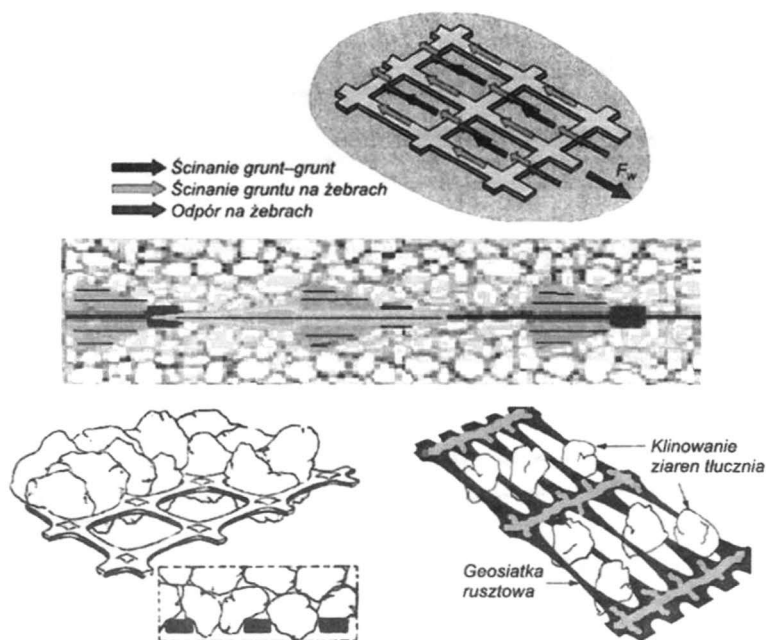
σ_v – naprężenie pionowe na poziomie wkładki geotekstylnej [kN/m^2],
 l – długość obciążenia wkładki geotekstyliów [m].

4. Kontaktowe siły tarcia geotekstyliów i ośrodka gruntowego, w miejscach zwiększonych nacisków pionowych mogą stanowić również strefę zakotwienia warstwy geotekstylnej w gruncie. W pewnym granicznym przypadku nacisku siłą skupioną lub przybliżoną do skupionej uzyskujemy dwustronną mobilizację sił tarcia przy czynnych siłach F_w , (rys. 1).



Rys. 1. Zarys zmobilizowanych sił tarcia przy „wyciąganiu” warstwy geotekstylnej

5. W przypadku geotekstylii stanowiących siatki, siły tarcia powiększone są o opór ścinania gruntu oraz międzyoczkowego „klinowania się” ziaren gruntu (rys. 1). Opór ścinania jest tym większy, im różnoziarnistość gruntu U jest wyższa. Największe siły oporu na przemieszczenie występują w tłuczniu podsypkowym przy odpowiednio dobranych geosiatkach.

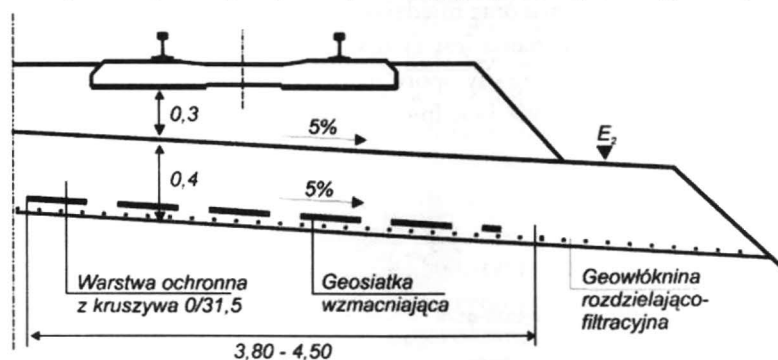


Rys. 2. Opór zakotwienia geosiatek w gruncie i mechanizm klinowania się ziaren tłucznia

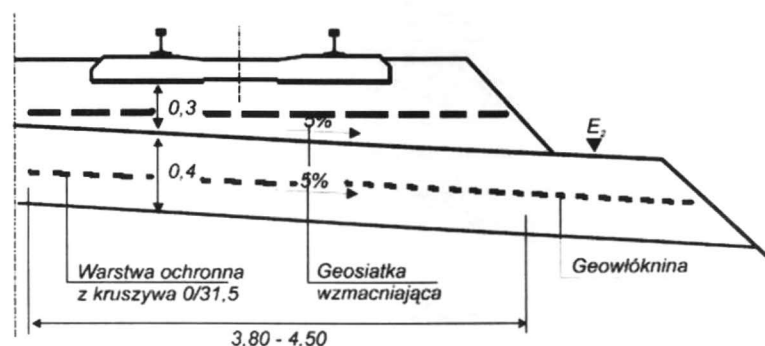
Należy oczekiwać, że przy zastosowaniu geosyntetyków do wzmocnienia i zbrojenia gruntów uzyskać można jednocześnie wypełnienia wszystkich wymagań standardów jakości i trwałości nie tylko górnych warstw podtorza, ale również całego systemu budowy, szerzej rozumianego podłoża podkładów. Miarodajne sprawdzenie tej tezy można określić głównie doświadczalnie w skali technicznej.

Postulat modyfikacji ułożenia geotekstylii wewnątrz warstwy ochronnej można uzupełnić o propozycję zastosowania recyklingowych geofibrów. Zakres stosowania i określenie właściwości fibrogruntów tego rodzaju geofibrów jako formy „doziarnienia” gruntu zawarte są w pracy [3]. Zastosowanie geofibrów do ulepszenia gruntów warstwy ochronnej może w zdecydowany sposób wpłynąć na uzyskanie wymaganych standardami interoperacyjności poziomów uziarnienia U i C oraz pewnej redukcji kosztu budowy warstwy ochronnej.

Podany w instrukcji Id-3 przykład wzmocnienia torowiska, cytowany na rysunku 3 prezentuje nieco ograniczony sposób wzmocnienia warstwy gruntów torowiska. Układanie geosyntetyków na „granicy” warstw stwarza jedynie warunki oddzielenia materiału gruntowego o różnych własnościach i odpowiedniego przepływu infiltrującej wody. Pełne wykorzystanie właściwości materiałów geosyntetycznych uzyskamy poprzez zmiany lokalizacji ułożenia tych samych warstw geotekstylii w przekroju drogi szynowej według przykładu podanego na rysunku 4.

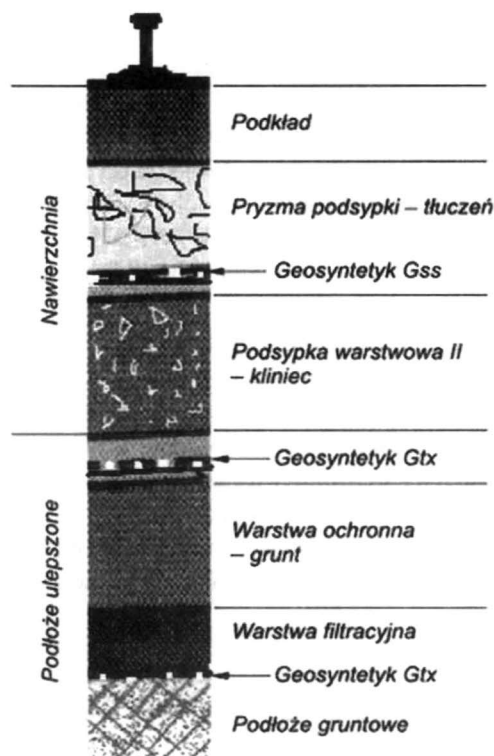


Rys. 3. Wzmocnienie torowiska z użyciem materiałów geotekstylnych – przykład według [6]



Rys. 4. Propozycja przykładowa wzmocnienia układu podłoża podkładów z użyciem materiałów geotekstylnych

Proponowany układ lokalizacji poszczególnych warstw geotekstylnych według rysunku 4 w znacznym stopniu przybliża do sprawdzonych i eksploatowanych systemów konstrukcji podłoża podkładów stosowanych na kolejach szwajcarskich i niemieckich (rys. 5), które podawane są także w pracy [1]. Wielowarstwowy układ podłoża podkładów jest sprawdzonym systemem konstrukcyjnym dla typów linii kolejowych wyższych prędkości i może korespondować z wymaganiami zawartymi w technicznych standardach interoperacyjności [5].



Rys. 5. Układ podłoża podkładów dróg szynowych kolei europejskich dużych prędkości

Opracowane standardy interoperacyjności technicznej [5] w dziale dotyczącym pryzmy podsypki, nie przewidują warstwy geosiatki ani nie przewidują podsypki wielowarstwowej tak, jak to ma miejsce na rysunku 5 i określają jedynie stałą grubość warstw podsypki od 25 do 35 cm. Nie ulega wątpliwości, że sposób uwarstwienia podsypki w istotny sposób zawiera korzystniejszą redystrybucję sił wewnętrznych w podłożu podkładów, a co za tym idzie także w gruntowej warstwie ochronnej podtorza. Zastosowanie warstwy geosiatki w pryzmie podsypki w pewnym stopniu „odciąża” gruntową warstwę ochronną podtorza. Korzystniej mogą też wyglądać zakresy osiadań toru i równomierności (różnice) tych osiadań. Ponadto takie przewarstwienie tłucznia wpływa na znacznie lepszą wibroizolacyjność pryzmy podsypki.

4. Wnioski

Ustalenie kompatybilnych warunków technicznych budowy podtorza kolejowego dla wyższych prędkości pociągów wymaga także wskazania możliwości uzyskania odpowiedniej wytrzymałości i trwałości, również w odniesieniu górnych warstw podtorza. Przedłożone propozycje ułożenia warstw geotekstylnych nie zmieniają literalnie wymagań zawartych w instrukcji Id-3 i sprowadzają się do ogólnych zaleceń, które mogą i powinny być stosowane przez projektantów budowy lub modernizacji poszczególnych odcinków linii kolejowych. Ogólnie zalecenia te sprowadzają się do następujących stwierdzeń;

- Przewidywane obecnie przepisami Id-3 systemy konstrukcji warstwy ochronnej powinny być wzbogacone o wskazania możliwości zastosowania geosyntetyków do wzmacniania i zbrojenia tej warstwy gruntów.
- Dopuszczane i zalecane aktualnie sposoby zastosowania geosyntetyków różnych rodzajów nie stanowią sposobów wzmacniania warstw gruntów podtorza, a w znacznej mierze sprawują jedynie funkcje separacyjne (ochronne) i filtracyjne powierzchni torowiska.
- Należy rozważyć, w jaki sposób projektować i budować nowe podtorza, których odkształcalność mierzona odpowiednim modulem E_0 nie jest znana przed realizacją i może być jedynie zakładana (projektowana).

Obecnie stosowna instrukcja Id-3 przewiduje skuteczne projektowanie odpowiedniej grubości warstwy ochronnej na podstawie pomierzonych modułów odkształceń dla torowisk istniejących i jest szczególnie przydatna w warunkach tzw. re-profilacji budowli ziemnej stanowiącej podtorze. Powyższe wskazania stosowalności materiałów geosyntetycznych nie zmieniają obowiązujących przepisów Id-3.

Bibliografia

- [1] Ajdukiewicz J., Kłosek K., Kryteria doboru oraz weryfikacja skuteczności stosowania geosyntetyków w podtorzu. Materiały konferencji Drogi Kolejowe 2001, Wrocław, listopad 2001, www.fibetex.pl/Pub/0031.pdf.
- [2] Begriffsbestimmungen. Dinstbehelf. DB 740 Teil 0. ÖBB Infrastruktur, Ausgabe 2011.
- [3] Gradkowski K., Badania gruntowych podłoży nawierzchni zbrojonych geosyntetykami. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, z. 156, Warszawa 2013.
- [4] Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements - EBGeo. Wydawnictwo Ernst & Sohn, 2011.
- [5] Standardy Techniczne. Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego)/ 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem). Tom I. Droga szynowa. Wersja 1.1. PKP PLK SA. W-wa 2010.
- [6] Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3, PKP PLK SA, 2009.