

NUMERYCZNE MODELOWANIE STANU ODKSZTAŁCENIA PODKŁADU KOLEJOWEGO W ZMIENNYCH WARUNKACH PODPARCIA NA PODSYPCE¹

Andrzej Surowiecki

dr hab. inż., Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
im. Gen. T. Kościuszki, Wydział Nauk o Bezpieczeń-
stwie, Ul. Czajkowskiego 109, 51-500 Wrocław, andrzej-
surowiecki3@wp.pl

Michał Zieliński

mgr inż., Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, In-
stytut Budownictwa, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wro-
cław, michal.zielinski@up.wroc.pl

Streszczenie. *Tematem artykułu jest jakość współdziałania podstawowych elementów nawierzchni kolejowej. Opracowano zestaw teoretycznych modeli podkładu jako belki prostopadłościowej, podpartej na długości w ośrodku gruntowym. Przedstawiono wyniki oceny stanu pionowych przemieszczeń podkładu, na podstawie numerycznej symulacji eksploatacyjnego obciążenia. Analizę prowadzono z zastosowaniem parametrów zmiennych dotyczących podkładu i podsypki będącej podłożem. Wyprowadzono wnioski odnośnie jakości posadowienia podkładów i ich funkcjonowania w rzeczywistym torze kolejowym w zmiennych warunkach podparcia na podsypce tłuczniowej, stanowiącej ośrodek gruboziarnisty.*

Słowa kluczowe: *nawierzchnia kolejowa, pionowe przemieszczenia, modelowanie numeryczne*

1. Wprowadzenie

Przedstawiono analizę jakości współpracy podkładu kolejowego i podsypki, stanowiącej bezpośrednie posadowienie rusztu torowego. Efektem prawidłowego funkcjonowania elementów konstrukcji drogi szynowej i ich współdziałania jest przekazywanie obciążenia eksploatacyjnego na podłoże w zakresie sprężystym naprężeń. Problem ten jest szczególnie eksponowany wobec aktualnie prowadzonych w Polsce modernizacji sieci kolejowej, w celu dostosowania infrastruktury PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. do standardów europejskich [1, 2, 3, 4, 6, 7]. Główną uwagę skupiono na opracowaniu tzw. mapy pionowych przemieszczeń numerycznych modeli podkładu, w funkcji zmian wskaźnika zagęszczenia i zmian lokalizacji stref zagęszczenia podłoża podkładu.

Modele teoretyczne podkładu stanowią prostopadłościenną belkę zamodelowaną elementem tarczowym, podpartą w sposób ciągły (na długości) w ośrodku ziarnistym typu podsypka tłuczniowa. Rozpatrywane są dwa rodzaje podkładów,

1 Wkład autorów w publikację: Surowiecki A. 50%, Zieliński M. 50%

skrajnie różniące się cechami mechanicznymi i charakterem reakcji wobec zmian strukturalnych w podłożu.

Ocena funkcjonowania modeli podkładów w zmiennych warunkach podparcia została wykonana w oparciu o sporządzone wykresy rozkładu wartości przemieszczeń w profilu podłużnym podkładu. Obciążenie modeli zrealizowano poprzez symulację nacisków eksploatacyjnych, przyłożonych jako siły statyczne pionowe w strefach przytwierdzenia szyn. Narzędziem symulacji oraz analizy rezultatów był program numeryczny Autodesk Robot Structural Analysis 2010 [4, 5, 6, 8], którego aplikacja umożliwiła wygenerowanie modelu obliczeniowego konstrukcji o parametrach znacznie zbliżonych do rzeczywistych. Treść artykułu zawiera prezentację modeli i syntezę wyników badań.

2. Modele numeryczne i metoda badawcza

Realizując badania posłużono się uproszczeniem zakładając, że oś pojazdu jest nieruchoma i nacisk przejmowany jest przez pojedynczy podkład. Kolejne założenie dotyczy prostego odcinka toru, w celu wyeliminowania problemu tzw. przechyłki, która występuje w łuku poziomym.

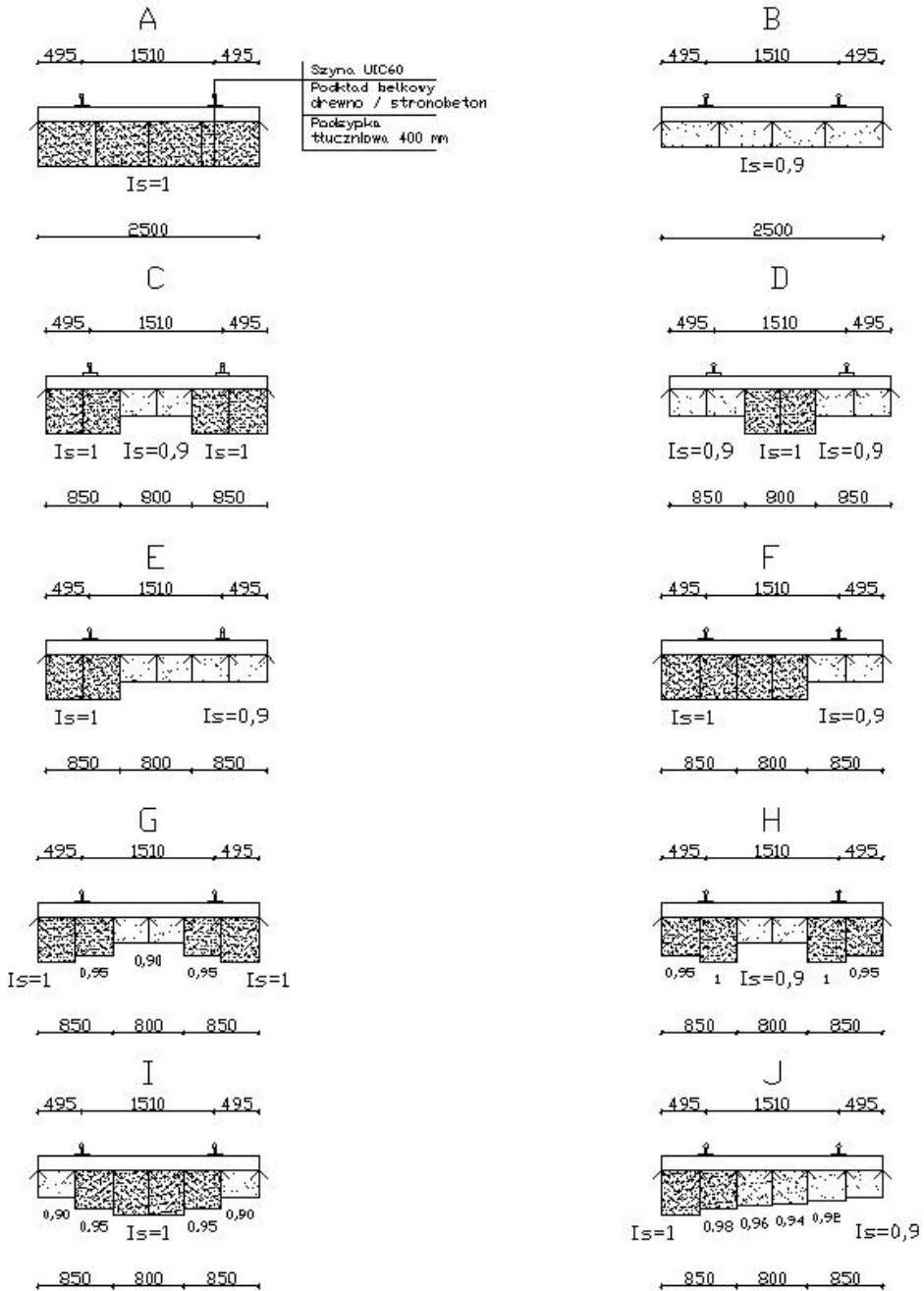
Kształt podkładów strunobetonowych uproszczono, traktując je jak belki o niezmiennym na długości przekroju poprzecznym. Analizie poddano podkłady: strunobetonowe typu PS-94 i PS-83, drewniane typu C40 (z drewna sosnowego) i typu D70 (dębowe).

Modele badawcze, złożone z dwóch elementów: podkładu i podłoża (ośrodek ziarnisty) przedstawiono na rys. 1 [5, 6, 8].

Podłożem podkładu jest warstwa ośrodka ziarnistego (podsypka z tłuczni granitowego frakcji 31,5/63 mm) o grubości warstwy 0,4 m. Lokalizacja stref zagęszczenia wynika z rys. 1. Natomiast wartości wskaźnika zagęszczenia przyjęto w zakresie 0,9-1,0. Zaprojektowanym wskaźnikiem zagęszczenia I_s odpowiadają następujące wartości sztywności podłoża K (tab. 1).

Tabela 1. Wskaźniki zagęszczenia dla wartości sztywności podłoża

Wskaźnik zagęszczenia I_s	Wartości sztywności podłoża K [MPa]
0,90	134,47
0,92	135,76
0,94	137,05
0,95	137,68
0,96	138,31
0,98	139,56
1,00	140,79



Rys. 1. Modele badawcze, złożone z dwóch elementów: podkład i podłoże (modelowany przekrój poprzeczny toru kolejowego) {5, 6, 8}

Problem modelowania obciążenia eksploatacyjnego (nacisk osi pojazdu $Q = 221$ kN) rozwiązano po przetransformowaniu wartości $0,5 Q$ na dwa równomiernie rozłożone pasma obciążenia o intensywności $q = 750$ kN/m. Pasma te przyłożono w górnej płaszczyźnie podkładu w miejscach lokalizacji szyn, na długości równej wymiarowi szerokości podkładki podszynowej.

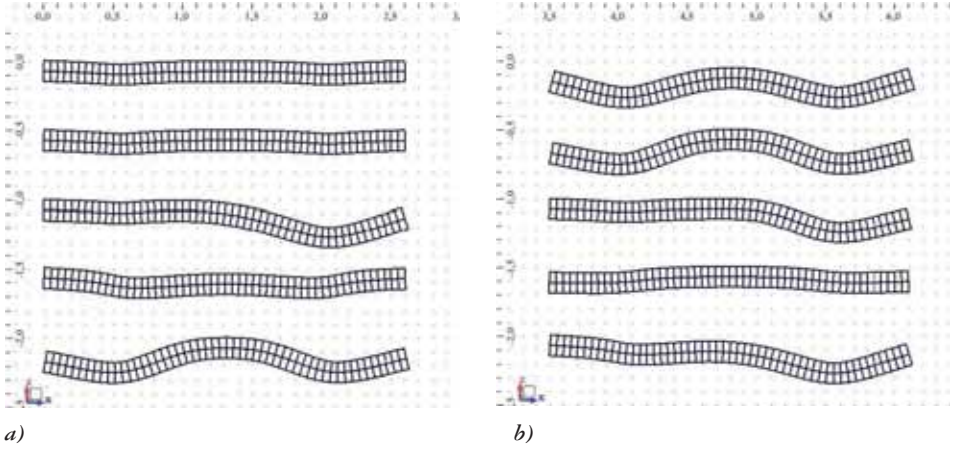
Oszacowanie wartości przemieszczeń podkładów wykonano w charakterystycznych punktach przekroju podłużnego, założonych: w osi poziomej, na krawędzi górnej i dolnej podkładu, w pionowej osi symetrii podkładu, w pionowych przekrojach podkładu pod osiami symetrii szyn oraz na skrajnych krawędziach podkładu. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w przekroju podłużnym podkładu podano w opracowaniach [5, 6, 8].

W przypadku podkładów strunobetonowych istotne jest wstępne sprężenie. Efekt sprężenia zamodelowano wprowadzając wirtualne siły ściskające w strefę osi podłużnej podkładu [5, 6, 8]. Z informacji otrzymanych od producenta wynika, że siła sprężająca podkład typu PS-83 i PS-94 wynosi kolejno (po uwzględnieniu strat): 300 kN i 310 kN. Sprężenie w podkładzie typu PS-83 zamodelowano więc w osi podłużnej podkładu przy zastosowaniu 13 elementarnych sił ściskających o wartości $Q_i = 24$ kN, zlokalizowanych w jednej linii poziomej, obustronnie względem poprzecznej osi symetrii podkładu. Natomiast model sprężenia podkładu PS-94 zawiera 13 sił elementarnych o wartości $Q_i = 12$ kN, zlokalizowanych w dwóch trajektoriach poziomych, tworzonych przez osie środków ciężkości zbrojenia górnego i dolnego.

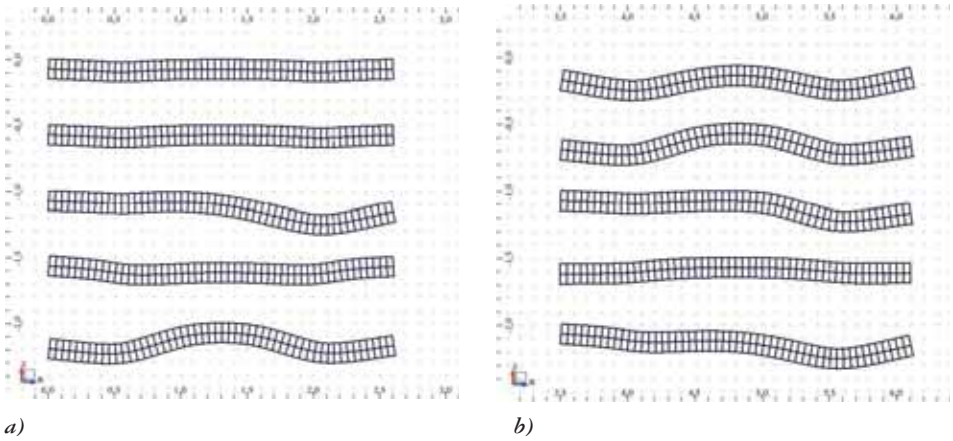
3. Rezultaty analizy numerycznej wartości pionowych przemieszczeń modeli podkładu

Wyniki badań przedstawiono na rysunkach, jako stan odkształcenia numerycznych modeli podkładu (prezentacja pionowego przekroju podłużnego):

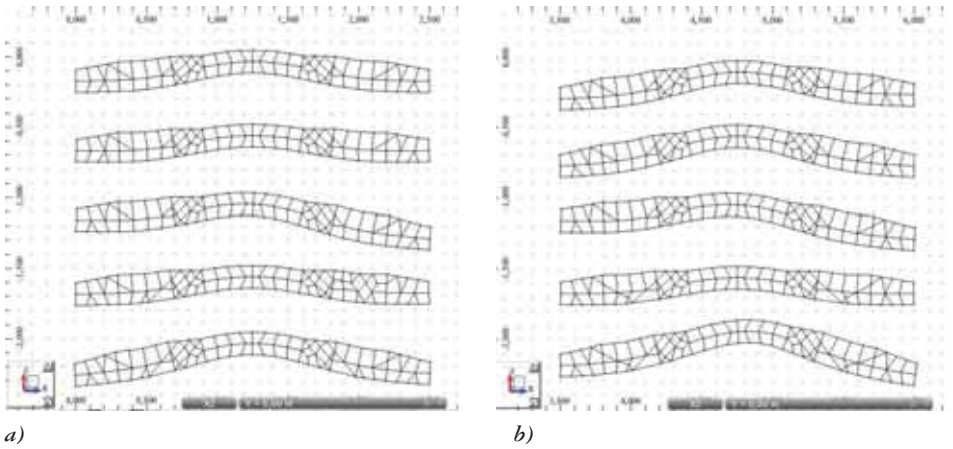
- Rys. 2 *a, b*: stan odkształcenia modeli podkładu drewnianego C40
 - *a* – modele *A, C, E, G, I*;
 - *b* – modele *B, D, F, H, J*.
- Rys. 3 *a, b*: stan odkształcenia modeli podkładu drewnianego D70
 - *a* – modele *A, C, E, G, I*;
 - *b* – modele *B, D, F, H, J*.
- Rys. 4 *a, b*: stan odkształcenia modeli podkładu strunobetonowego PS-83
 - *a* – modele *A, C, E, G, I*;
 - *b* – modele *B, D, F, H, J*.
- Rys. 5 *a, b*: stan odkształcenia modeli podkładu strunobetonowego PS-94
 - *a* – modele *A, C, E, G, I*;
 - *b* – modele *B, D, F, H, J*.
- Rys. 6: zmienność maksymalnych przemieszczeń z_{\max} [10^{-2} m] punktów pomiarowych w modelach podkładów, zależnie od struktury zagęszczenia podłoża, charakteryzowanej schematami *A, B, C, D, E, F, G, H, I, J*.



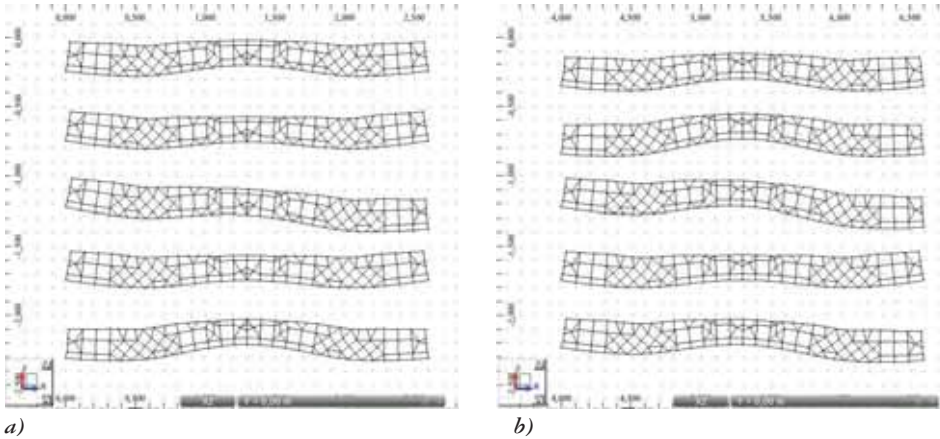
Rys. 2. Stan odkształcenia modeli podkładu drewnianego C40 {5, 6, 8}



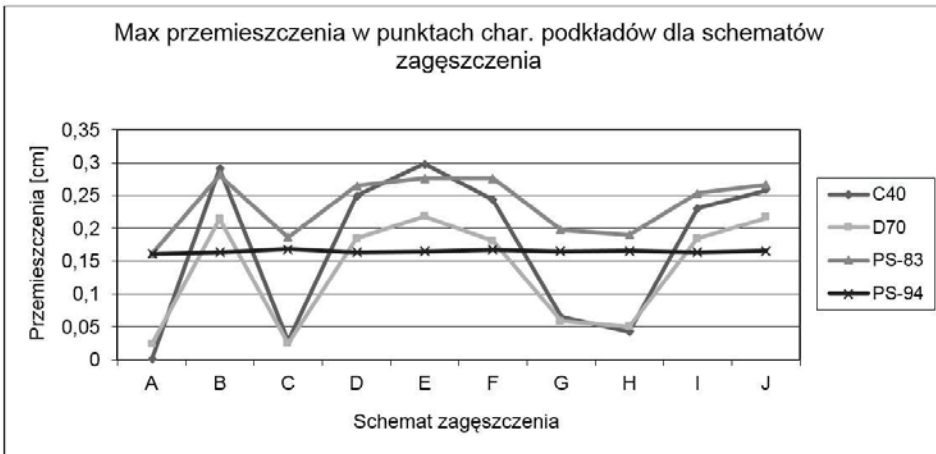
Rys. 3. Stan odkształcenia modeli podkładu drewnianego D70 {5, 6, 8}



Rys. 4. Stan odkształcenia modeli podkładu strunobetonowego PS-83 {5, 6, 8}



Rys. 5. Stan odkształcenia modeli podkładu strunobetonowego PS-94 {5, 6, 8}



Rys. 6. Maksymalne przemieszczenia z_{max} (10^{-2} m) punktów pomiarowych w modelach podkładów {5, 6, 8}

4. Podsumowanie i wnioski

Modele A, C, H oceniono jako najbardziej korzystne, z uwagi na wartości przemieszczeń podkładu. W tych modelach maksymalne zagęszczenie podłoża występuje w strefie pod przyłożonym obciążeniem.

Najbardziej niekorzystnymi schematami zagęszczenia podsypki pod podkładami są modele:

- B, D, I, w których wskaźnik zagęszczenia podsypki w strefach pod szynami kształtuje się poniżej 1,0;
- E, F, J, charakteryzujące się asymetrią stref zagęszczenia podsypki, względem pionowej osi symetrii podkładu.

Najmniejsze wartości pionowych przemieszczeń odnotowano w podkładach C40 (z miękkiego drewna), w przypadku zagęszczenia jednorodnego, o maksymalnej wartości $I_f = 1,0$ na długości podkładu (schemat *A*). Jednak w tym typie podkładu stwierdzono największe wartości przemieszczeń dla schematu *E*, charakteryzowanego niesymetrycznym rozkładem stref zagęszczenia podsypki. Wartości przemieszczeń podkładu C40 wskazują na wygenerowanie największej ich rozpiętości. Podkład ten nie zachowuje się w pełni stabilnie w zmiennych warunkach zagęszczenia podłoża, które mogą wystąpić w procesie eksploatacji.

Bardziej stabilnym funkcjonowaniem w zmiennych warunkach podparcia względem podkładu C40 (z drewna sosnowego) charakteryzuje się podkład D70 (znacznie zredukowane wartości przemieszczeń łącznie z ich zakresem), wykonany z drewna lepszej jakości (dębowe).

Podkłady strunobetonowe typu PS-83 (produkowane w latach 80. XX w.) wykazują znacznie niższy zakres zmian wartości przemieszczeń w odniesieniu do podkładów drewnianych, co świadczy o dobrej jakości funkcjonowania w procesie eksploatacji. Jednak wartości tych przemieszczeń są dość wysokie i kształtują się na poziomie wartości przemieszczeń oszacowanych w modelach najbardziej niekorzystnie zachowującego się podkładu drewnianego C40.

Najmniejszą wartość zmienności pionowych przemieszczeń w funkcji zmian parametrów podłoża uzyskano w modelach podkładu strunobetonowego typu PS-94. Podkład ten zachowuje się w pełni stabilnie (rys. 6) we wszystkich badanych schematach zagęszczenia podłoża: symetrycznych, czyli pożądaných; asymetrycznych albo wykazujących niską wartość wskaźnika zagęszczenia w strefie pod przyłożonym obciążeniem. Podkład PS-94 będący wyrobem nowej generacji, dzięki korzystnej charakterystyce eksploatacyjnej stanowi stateczny element drogi kolejowej i jest zalecany do wbudowywania w nawierzchniach magistral, na których wprowadza się pojazdy o naciskach osiowych na poziomie 221 kN i prędkości jazdy ponad 160 km/h.

Wyniki badań wartości pionowych przemieszczeń i ich zakresu zmian w funkcji założonych parametrów podłoża, dotyczące podkładu strunobetonowego PS-83 i podkładu nowej generacji PS-94 (wyższa klasa betonu i inny system sprężania względem podkładu poprzedniego) pozwalają na stwierdzenie, że ewolucja strunobetonowych elementów nawierzchni kolejowej jest prowadzona we właściwym kierunku.

Literatura

- [1] Id-3; Warunki Techniczne Utrzymania Podtorza Kolejowego. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2009.
- [2] Sancewicz S., Nawierzchnia kolejowa., Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2012.
- [3] ST Standardy Techniczne - Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $v \leq 200$ km/h dla taboru

- konwencjonalnego i $v \leq 250$ km/h dla taboru z wychylnym nadwoziem, Centrum Naukowo Techniczne Kolejnictwa, Warszawa, 2010.
- [4] Surowiecki A., Podstawy teorii nawierzchni dróg szynowych. Wykłady dla studiów doktoranckich, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Budownictwa, Wrocław, 2012.
- [5] Surowiecki A., Zagadnienia techniki transportu szynowego (prędkość ruchu). Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław, 2012.
- [6] Surowiecki A., Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne. Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław, 2013.
- [7] Towpik K., Infrastruktura transportu kolejowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2011.
- [8] Wasiaś M., Analiza współpracy podkładu kolejowego z podłożem. Praca magisterska. Promotor: Surowiecki A., Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Budownictwa, Wrocław, 2011.