

Badania doświadczalne i symulacyjne rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni kolejowej do dużych prędkości

Jacek Kukulski, Kazimierz Towpik



dr inż. Jacek Kukulski

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

jkukul@wt.pw.edu.pl



prof. dr hab. inż. Kazimierz Towpik

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

kto@wt.pw.edu.pl

Rozwój infrastruktury kolejowej w Europie i na świecie obserwowany na przełomie XX i XXI wieku, a także zwiększenie prędkości pociągów w ruchu pasażerskim do 300-320 km/h, a w ruchu towarowym do 140-160 km/h związany jest z ciągłym rozwojem konstrukcji pojazdów kolejowych, a także doskonaleniem infrastruktury drogi kolejowej.

Konstrukcja nawierzchni kolejowej, która obecnie umożliwia prowadzenie ruchu z dużymi prędkościami, a także przenoszenie coraz większych obciążeń przy naciskach osi dochodzących do 250 - 400 kN musi spełniać bardzo rygorystyczne wymagania dotyczące wytrzymałości jej elementów i trwałości całej konstrukcji.

Nawierzchnia kolejowa poddawana jest w eksploatacji złożonym oddziaływaniom dynamicznym, których charakter zmienia się wraz ze wzrostem natężenie ruchu i prędkości jazdy.

Klasyczna konstrukcja nawierzchni kolejowej z warstwą podsypki nie uległa zasadniczym zmianom w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat, jakkolwiek jest ona przedmiotem ciągłych badań mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa pracy konstrukcji oraz ograniczenia kosztów jej utrzymania.

Przegląd literatury

Prace studialne i eksperymentalne dotyczące nawierzchni kolejowej oraz podtorza prowadzone są od kilkudziesięciu lat przez różne ośrodki naukowo-badawcze w Polsce i na świecie. W ich wyniku pojawiła się znaczna liczba opracowań i pozycji książkowych, zarówno krajowych i zagranicznych, dotyczących diagnostyki (oceny zużycia i uszkodzeń części składowych nawierzchni oraz odkształceń geometrycznych toru) oraz metod utrzymania [6], [7], [8], [10], [11].

Opracowano również liczne modele mate-

matyczne toru kolejowego lub jego elementów umożliwiające badania symulacyjne oddziaływań w układzie pojazd/tor [12], [13], [14]. Badania symulacyjne wykonuje się najczęściej przed podjęciem badań doświadczalnych z uwagi na znacznie większe koszty tych ostatnich.

W badaniach symulacyjnych korzysta się ze specjalistycznego oprogramowania komputerowego. Jedną najszerzej stosowanych metod rozwiązywania różnych problemów inżynierskich jest metoda elementów skończonych (FEM – Fine Element Method). Jej uniwersalność polega na łatwości tworzenia różnych obszarów o skomplikowanej geometrii. Metody numeryczne wykorzystywane były w badaniach elementach nawierzchni kolejowej już od kilkudziesięciu lat. W Polsce prace takie prowadzono były m.in.: w Politechnice Warszawskiej, Krakowskiej, Wrocławskiej i Gdańskiej, jak również w innych ośrodkach naukowo-badawczych. Między innymi badania tego rodzaju dotyczyły analizy naprężeń własnych w elementach stalowych rozjazdów, tj. szynach i kształtownikach iglicowych. Głównym celem obliczeń numerycznych było tu wyznaczenie naprężeń własnych pozostających w szynie po odciążeniu oraz określenie wpływu różnych parametrów na wielkość tych naprężeń i ich rozkładu w materiale. Otrzymane wyniki obliczeń numerycznych porównywano z wynikami pomiarów naprężeń wykonanych techniką ultradźwiękową [18], [19]. Metoda elementów skończonych, jako podstawowe narzędzie obliczeniowe we współczesnej mechanice, znalazła również zastosowanie w rozwiązywaniu zagadnień dotyczących toru oraz podtorza kolejowego. W licznych opracowaniach naukowych, autorzy prac zaprezentowali wyniki obliczeń numerycznych dla określonych modeli, porównując je z wynikami pomiarów wykonanych na odcinkach doświadczalnych, lub w warunkach laboratoryjnych stanowiskach badawczych [15], [16], [17].

Inną metodą oprócz MES stosowaną w obliczeniach symulacyjnych jest DEM (Discrete Element Method). Jest to zbiór metod numerycznych i algorytmów mających na celu obliczenie właściwości fizycznych dużej liczby obiektów w ruchu swobodnym. Przykładem obiektów, dla których wykonywane są obliczenia wspomnianą metodą mogą być materiały sypkie (np.: piasek, tłuczeń itp.). Przykłady takich obliczeń symulacyjnych dla obciążeń podsypki kolejowej zamodelowanej w sposób dyskretny można znaleźć w artykułach [2], [3], [4], [5].

Nawierzchnia kolejowa do dużych prędkości

Nawierzchnia kolejowa z warstwą podsypki układana również na liniach dużych prędkości,

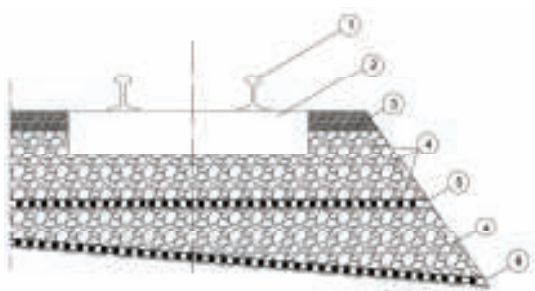
pracuje pod obciążeniem eksploatacyjnym w zakresie odkształceń sprężysto-plastycznych. Styk koła z szyną stanowi generator energii, która transmitowana jest przez szynę i przytwierdzenie szyny do podkładu i dalej poprzez warstwę podsypki do podtorza. Powstaje pole intensywnej wibracji, a energia kinetyczna wzrasta wraz ze wzrostem prędkości pociągów. W konsekwencji wzrastają również przyspieszenia drgań szyn, podkładów, podsypki i podtorza. W podsypce pojawiają się znaczne naprężenia rozciągające, które mogą naruszać równowagę sił tarcia wewnętrznego w ośrodku podsypkowym powodując jego rozluźnienie. Nieuniknione jest również osiadanie podsypki (odkształcenie plastyczne); przy tym rośnie ono wraz ze wzrostem naprężeń pod podkładem oraz wzrostem przyspieszeń drgań. Prowadzi to w czasie eksploatacji do odkształceń trwałych i zróżnicowania charakterystyk sprężystości i tłumienia na długości toru, powodując konieczność regulacji położenia toru i wykonywania niezbędnych napraw nawierzchni.

W warunkach eksploatacji linii dużych prędkości już przy prędkościach jazdy 250 km/h rejestrowano drgania o prędkościach 20-100 mm/s, co oznacza, że na warstwę podsypki działają przyspieszenia kilkakrotnie przewyższające przyspieszenie ziemskie. Za ich sprawą w pewnych obszarach podsypka podlega naprężeniom rozciągającym, które zanikają dopiero na głębokości 600-800 mm.

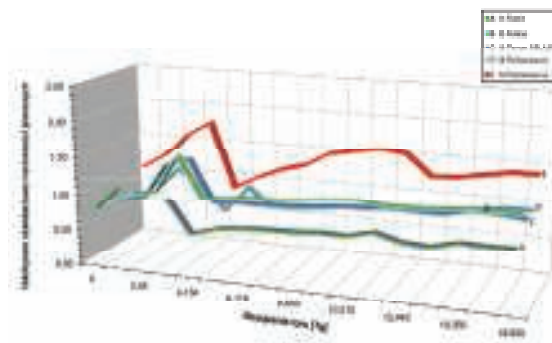
Konstrukcja nawierzchni musi zapewniać określoną sztywność pionową, co uzyskuje się przez odpowiedni dobór elementów nawierzchni. Obecnie na liniach KDP są powszechnie stosowane podkłady betonowe z przytwierdzeniami sprężystymi.

W celu zwiększenia sprężystości nawierzchni i uzyskania korzystniejszego rozkładu nacisków, a tym samym spowolnienia procesu zużycia podsypki oraz zużycia falistego szyn, układa się również podkłady betonowe z przyklejonymi do dolnej powierzchni podkładkami z polimerów (USP – Under Sleeper Pads) o grubości 15-30 mm i sztywności ok. 35 kN/mm. Stosowanie podatnych USP nie wpływa na wielkość oddziaływań między kołem i szyną, ale zmniejsza naprężenia w podsypce. Zastosowanie tego rodzaju podatnych podkładek zmniejsza naprężenia w podsypce [9]. Zmniejszenie sztywności na liniach dużych prędkości można osiągnąć, układając dodatkowo pod warstwą podsypki maty SBM (Sub Ballast Mats).

Innym rozwiązaniem może być zastosowanie komponentów zwiększających odporność warstwy podsypki na dekonsolidację. Można to częściowo uzyskać poprzez eliminację warstwy podsypki z konstrukcji nawierzchni kolejowej, wprowadzając w to miejsce płytę z betonu zbrojonego lub wielowarstwowy ustrój z materiałów stabilizowanych.



1. Nawierzchnia z kompozytem tłuczniovym, (1)- szyna UIC 60 (60E1), (2)-podkład strunobetonowy, (3)-warstwa tłucznia stabilizowanego chemicznie, (4) - warstwa dolna zagęszczonego tłucznia, (5)-warstwa górna zagęszczonego tłucznia, (6)- geosiatka (geowłóknina)



2. Wartości odchyłań standardowych nierówności pionowych dla działek I1, I2 i I3 w zestawieniu z sektorem porównawczym III i IV [20]

Obecnie, zwłaszcza na nowobudowanych liniach dużych prędkości, układa się nawierzchnie niekonwencjonalne, pozbawione warstwy podsypki. W nawierzchni niekonwencjonalnej podłoże toru powinno być wykonane z materiałów o wytrzymałości umożliwiającej pracę konstrukcji w zakresie odkształceń sprężystych. Projektuje się ją w ten sposób, że każdy kolejny, niżej położony element ma mniejszą sztywność od poprzedniego. Konstrukcja niekonwencjonalna składa się najczęściej z nawierzchni właściwej (szyny, przytwierdzenia, podkładu stanowiącego punktowe podparcie szyny lub szyny na płycie betonowej, betonowej warstwy nośnej lub warstwy stabilizowanej hydraulicznie) oraz z podłoża obejmującego warstwę ochronną, w tym górną warstwę mrozochronną oraz niezwiązaną warstwę gruntu zagęszczonego lub niesortu spoczywającą na gruncie rodzimym.

Ich zaletą jest korzystniejszy z uwagi na skrajnie budowli przekrój poprzeczny, co ma znaczenie zwłaszcza w przypadku tuneli i obiektów mostowych. Łatwiej również uzyskać wymaganą dokładność położenia toru, a nakłady na utrzymanie są znacznie mniejsze.

Z drugiej strony możliwości regulacji położenia toru są ograniczone, a usunięcie skutków ewentualnej awarii lub wykolejenia wymaga znacznie dłuższego czasu niż w przypadku nawierzchni klasycznej. Trzeba też podkreślić, że budowa nawierzchni bezpodsypkowych na podtorzu ziemnym wymaga dobrego odwodnienia i uzyskania odpowiedniej sztywności podtorza.

Badania doświadczalne

Jednym z rozwiązań zwiększającym odporność na dekonsolidację warstwy podsypki jest kompozyt tłuczniovym w postaci warstwy tłucznia uzbrojonej geosiatkami i miejscowo stabilizowanej chemicznie. Rozwiązanie to zostało opracowane w Zakładzie Infrastruktury Transportu Wydziału Transportu PW (Basiewicz T., Gołaszewski A., Towpiak K.) w latach 2007-2008. Celem tego rozwiązania było uodpornienie warstwy podsypki na rozgęszczenie w trakcie obciążeń eksploatacyjnych.

Proponowane rozwiązanie, szeroko opisane w licznych pracach prezentowane na konferencjach przewiduje jednocześnie mechaniczne i chemiczne uodpornienie warstwy podsypki na zjawisko dekonsolidacji. Mechaniczne

uodpornienie polega na uzbrojeniu podsypki dwoma geosiatkami (rys. 1). Pierwsze, dolne uzbrojenie stanowi geosiatka lub geowłóknina (4) ułożona na styku podsypki z górną warstwą podtorza.

Po ułożeniu i zagęszczeniu pierwszej warstwy tłucznia (4) układane jest na niej druga geosiatka (5).

Odcinki doświadczalne, na których w 2008 roku zastosowano opisane rozwiązanie, zlokalizowano na Centralnej Magistrali Kolejowej. W okresie 2008-2013 prowadzono obserwacje i wykonywano pomiary w celu oceny zmian położenia geometrycznego toru w czasie eksploatacji. Szczegółowy opis badań podano w publikacji [20] [21].

Na rys. 2 przedstawiono wartości odchyłań standardowych nierówności pionowych obliczone dla różnych sektorów odcinka doświadczalnego, na których zastosowano różne warianty wzmocnienia warstwy podsypki.

Badania symulacyjne metodą MES

Badania doświadczalne umożliwiają identyfikację modeli przyjętych do obliczeń symulacyjnych wykonywanych dla różnych przypadków obciążeń i warunków brzegowych, a tym samym na dalszą analizę i sprawdzenie zamodelowanych rozwiązań konstrukcyjnych

Modelownie bryłowe obiektów i obliczenia numeryczne przedstawione w referacie wykonane zostały w programie ABAQUS 6.11 licencja PW [1]. Program ten posiada szerokie możliwości nieliniowej analizy zagadnień fizycznych, obejmujących m.in. mechanikę odkształcalnych ciał stałych. Budowa modelu bryłowego wykorzystywanego w dalszych symulacjach obejmuje zdefiniowanie modelu (modeli) w postaci siatki węzłów, a następnie wybór rodzaju i typu elementów. Istotnym elementem jest tu wybór modelu materiałowego i definicja warunków brzegowych oraz obciążeń, mający istotny wpływ na wyniki obliczeń.

Geometria modelu – siatka elementów skończonych

Geometria modelu numerycznego zdefiniowana została w postaci siatki węzłów określających położenie i wielkość elementów skończonych. Wybierane są elementy trójwymiarowe, bryłowe. Elementy kwadratowe uważane są za bardziej odpowiednie do opisu zagadnień,

w których dominuje zginanie. Lepiej opisują koncentracje naprężeń, umożliwiają lepszą aproksymację zakrzywionych kształtów, przy mniejszej liczbie elementów.

Na rysunku 2 przedstawiony zostały modele MES nawierzchni kolejowej.

Zbudowanie siatki całego modelu o tym samym stopniu szczegółowości jest bardzo trudne, dlatego też siatka poszczególnych elementów nawierzchni ma różną wielkość.

W celu właściwego przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych określono miejsca kontaktu pomiędzy poszczególnymi elementami nawierzchni kolejowej. Stosując takie rozwiązanie należało zastosować geometryczne interfejsy pomiędzy sąsiednimi elementami (rys. 4). Umożliwia to właściwie rozłożenie nacisków na obie siatki, umożliwiające utrzymanie homogeniczności modelu 3D.

Przyjęty model materiału

Dla potrzeb obliczeń numerycznych określone zostały przybliżone krzywe zależności naprężenia σ od odkształcenia ε dla szyny. Na podstawie badań doświadczalnych w tab. 1 podano charakterystykę plastyczności materiału (zależności $\sigma - \varepsilon$ dla osiowego rozciągania stali). Wartości przedstawione w tabeli definiowane są w programie.

W badaniach symulacyjnych zbudowanych modeli wzięto pod uwagę również parametry sztywności i tłumienia elementów wchodzących w skład konstrukcji toru (tab. 2). Obciążenie i warunki podparcia modelu

Sposób podparcia występujący w trakcie eksperymentu, został w modelu numerycznym zastąpiony przez wyidealizowane warunki brzegowe. Zadana jest siła nacisku statycznego lub dynamicznego walca na szynę jak i prędkość obrotowa walca symulująca prędkość pojazdu. Obciążenie przykładane jest stopniowo (przyrostowo) i na każdym kroku następuje rozwiązanie układu równań w celu wyznaczenia przyrostu naprężeń, odkształceń i przemieszczeń. Warunki podparcia są w modelu określone przez odebranie odpowiednich stopni swobody, uniemożliwiających modelowi przemieszczanie w określonych kierunkach. W każdym cyklu obciążeniowym przykładano siłę $F1=112,5$ kN, a w przypadku obciążeń dynamicznych dodatkowo siłę styczną $F2=43$ kN (rys. 5).

Wyniki obliczeń symulacyjnych

Wybrane wyniki obliczeń numerycznych, otrzymane przy wykorzystaniu modeli 3D nawierzchni kolejowej w różnej konfiguracji, przedstawione są na wykresach obrazujących kontury naprężenia zastępczego Hubera – Missessa, jak również odkształcenia. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych przedstawiono na rys. 6 i rys. 7.

Najbardziej reprezentatywne wyniki wykorzystano do prezentacji graficznej stanowiącej wsad do opracowania resursu eksploatacyjnego. Najbardziej właściwym elementem umożliwiającym rozwiązanie zadania jest podsypka tłuczniowa, będąca najsłabszym ogniwem nawierzchni kolejowej. Na rys. 8 przedstawiono wyniki doświadczeń oraz wyniki symulacji zależności odkształceń trwałych (przyrostu nierówności) od obciążenia eksploatacyjnego.

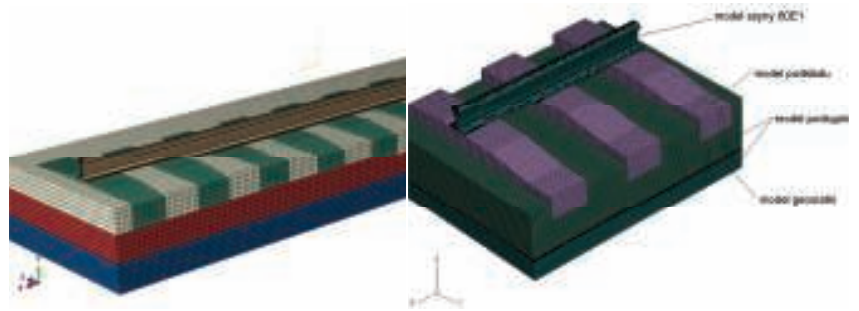
Do porównań przyjęto dwa odcinki porównawcze i odcinek wzmocnionej nawierzchni geosiatką i skleionej żywicą poliuretanową. Obliczenia wykonano obecnie dla obciążenia do 18 Tg ze względu na posiadane wyniki badań doświadczalnych. Obliczenia symulacyjne zostaną wykonane dla większych obciążeń. Ich wyników nie będzie można porównać z oceną odcinków doświadczalnych, które zostały zmodyfikowane przez Zarządcę Infrastruktury i ze względu na zmianę parametrów konstrukcyjnych nie mogą być wykorzystywane do dalszych badań.

Tab. 1. Charakterystyka plastyczności materiału

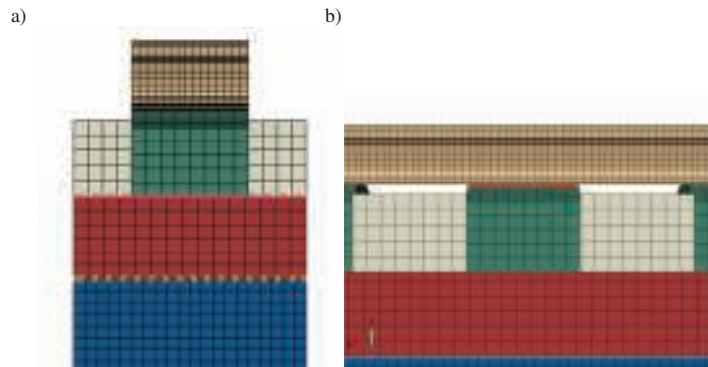
Naprężenia σ [MPa]	Odształcenie plastyczne ε [%]
0.0	0.0
629.7	0.4
900.0	2.6
1066.0	6.0
1069.0	16.0

Tab. 2. Parametry materiałowe

Oznaczenie	Parameter	Wartość	Jednostka
E_r	Moduł sprężystości szyny 60E1	210 000	MPa
k_{ps}	Sztywność przekładki podszykowej	239	MN/m
c_{ps}	Tłumienie podkładki podszykowej	30	kNs/m
ρ_b	Gęstość podsypki	54	kg/m ³
ρ_r	Gęstość szyny 60E1	7 850	kg/m ³
E_b	Moduł sprężystości podsypki	150	MPa
ν_r	Wsp. Poissona szyny 60E1	0,30	-
ν_b	Wsp. Poissona podsypki	0,35	-
ν_s	Wsp. Poissona podkładu	0,30	-
c_p	Tłumienie podkładu	250	kNs/m
k_p	Tłumienie podsypki	110	MN/m
ρ_s	Gęstość podkładu	2 400	kg/m ³
E_s	Moduł sprężystości podkładu	70 000	MPa
E_g	Moduł sprężystości geosiatki	2 200	MPa
ν_g	Wsp. Poissona geosiatki	0,5	-
ν_g	Gęstość geosiatki	0,00132	kg/m ³



3. Model MES połowy nawierzchni wzmocnionej geosiatkami.



4. Interfejsy pomiędzy podkładem i podsypką (a) oraz stopką szyny i podkładem (b) (więzy jednostronne)

Wnioski

Wykorzystywanie narzędzi symulacyjnych w badaniach naukowych jest coraz bardziej powszechne m.in. ze względu na dostępność specjalistycznych aplikacji komputerowych i znacznie mniejsze koszty w porównaniu z badaniami doświadczalnymi. Narzędzia te umożliwiają budowę modeli trójwymiarowych i wykonywanie na nich skomplikowanych symulacji, które w praktyce mogą być trudne do zrealizowania.

Metoda elementów skończonych wykorzystana w tej pracy posiada duży potencjał badawczy wiele możliwości technicznych, jednakże opiera się głównie na modelowaniu

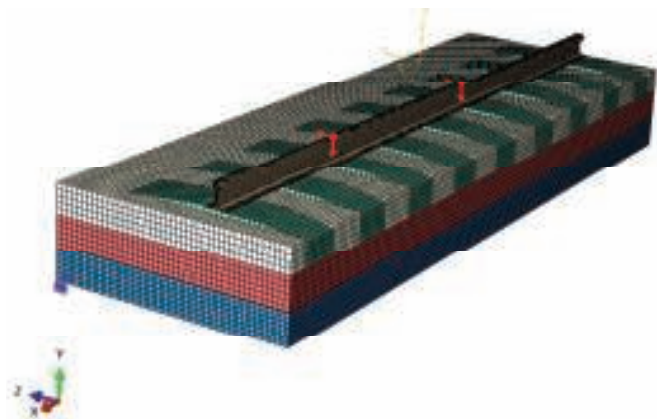
brylowym. Prezentowane w artykule metody mogą być wykorzystywane w pracach studialnych związanych z oceną nowych rozwiązań zastosowanych w konstrukcji nawierzchni kolejowej, zwłaszcza w aspekcie zwiększenia jej trwałości.

Coraz częściej można spotkać obliczenia numeryczne, w których wykorzystuje się modelowanie dyskretne. Dotyczy to głównie obiektów sypkich, takich jak podsypka kolejowa, która jest przedmiotem badań. Zastosowanie takiej metody może pozwolić na budowę modeli mniej wyidealizowanych, a jednocześnie umożliwiać uwzględnienie tarcia występującego pomiędzy ziarnami podsypki.

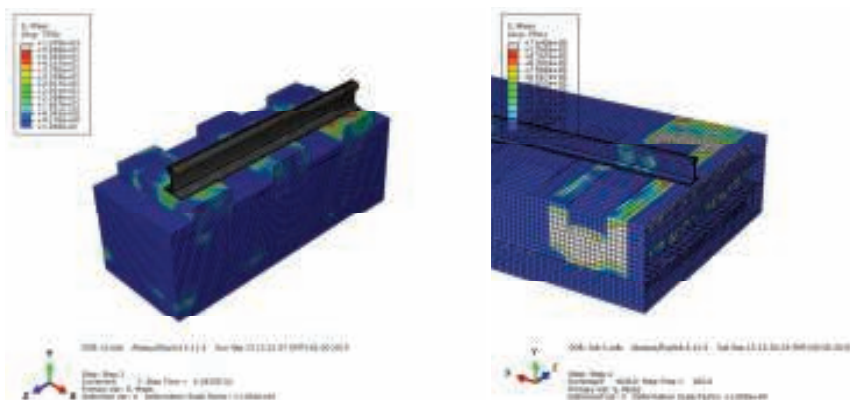
Możliwości wykorzystania obliczeń numerycznych w analizach uzasadniających wybór typu nawierzchni spełniającej wymogi RAMS (niezawodności, dyspozycyjności, naprawialności i bezpieczeństwa) i przeznaczonej dla nowej linii dużych prędkości w Polsce, powinny być brane pod uwagę. ◀

Materiały źródłowe

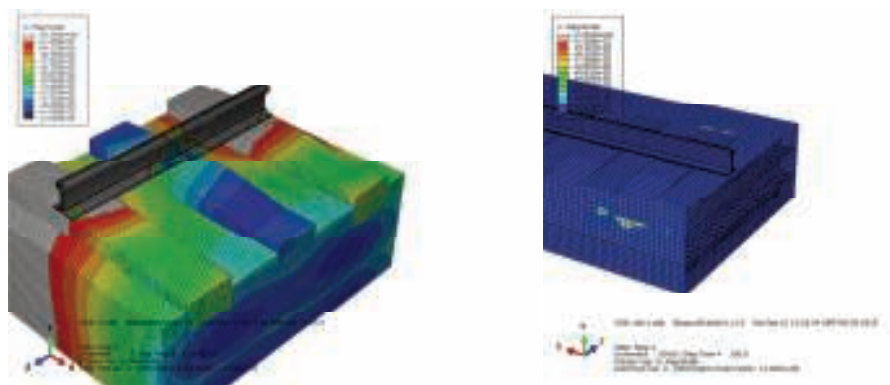
- [1] ABAQUS – Standard User's Manual, Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc., Version 6.6
- [2] Ergenzinger Ch., Seifried R., Eberhard P. A Discrete Element Approach to Model Breakable Railway Ballast. J. Comput. Nonlinear Dynam 7(4), 041010 (Jun 22, 2012) (8 pages) doi:10.1115/1.4006731.
- [3] Lobo-Guerrero S., Vallejo L. Discrete element method analysis of railtrack ballast degradation during cyclic loading. Granular Matter (2006) 8: 195–204. DOI 10.1007/s10035-006-0006-2
- [4] Huang H., Tutumluer E. Discrete Element Modeling for fouled railroad ballast. Construction and Building Materials 25 (2011) 3306–3312



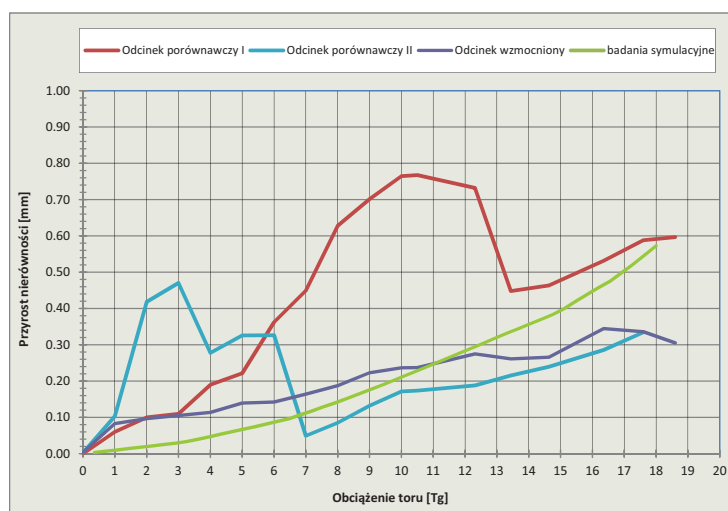
5. Warunki brzegowe i obciążenie dla modelu nawierzchni



6. Kontury naprężenia zastępczego σ^{HM} na końcu procesu obciążenia



7. Kontury odkształceń na końcu procesu obciążenia modelu nawierzchni



8. Przyrost nierówności trwałych w funkcji obciążenia

- [5] Lim W. L., · McDowell G. R. Discrete element modelling of railway ballast. Granular Matter (2005) 7: 19–29 DOI 10.1007/s10035-004-0189-3
- [6] Bałuch H.: Diagnostyka nawierzchni kolejowej. WKŁ, Warszawa 1978r.
- [7] Bałuch H.: Systemy eksperckie w diagnostyce nawierzchni kolejowej. Problemy Kolejnictwa 1993r., z. 114.
- [8] Bałuch H.: Koncepcja systemów doradczych w diagnostyce nawierzchni kolejowej i podtorza. Problemy Kolejnictwa 1996, Zeszyt 121
- [9] Design of new lines for speeds of 300–350 km/h. State of the art, Report UIC, Paris 2009.
- [10] Bałuch M. Durability of the track ballast - Archives of Civil Engineering -2008, Vol. 54, nr 3, s. 459-475, Bibliogr. 22 poz., il
- [11] Bogdaniuk B.: System diagnostyczny w utrzymaniu nawierzchni. Problemy Kolejnictwa 1998, Zeszyt 128.
- [12] Dynamika układu mechanicznego pojazd szynowy – tor. Praca zbiorowa pod redakcją Prof. J. Kisilowskiego. PWN, Warszawa 1991.
- [13] Sołkowski, J., Wpływ parametrów mechanicznych nawierzchni kolejowej na ugięcia szyny w strefach przejściowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne rok: 2009, Nr 91, z. 149, s. 388–415.
- [14] Szczeciński W. Wybrane zagadnienia kolejowe – Wzajemne oddziaływania w układzie pojazd – tor kolejowy – podtorze – podłoże gruntowe. Prace naukowe Budownictwo z. 129. Warszawa 1995r.
- [15] Sakdirat Kaewunruen, Alex M. Remennikov Field trials for dynamic characteristics of railway track and its components using impact excitation technique. NDT&E International 40 (2007) 510–519.
- [16] Plasek, O. ; Hruzikova, M. Design of under sleeper pads for Turnhout. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej / Politechnika Poznańska rok: 2007, Nr 3, s. 241–249, Bibliogr. 6 poz.
- [17] Yan-Li Dong, Jie Han, Xiao-Hong Bai Numerical analysis of tensile behavior of geogrids with rectangular and triangular apertures. Geotextiles and Geomembranes, Volume 29, Issue 2, April 2011, Pages 83–91.
- [18] Kwaśniewski L., Towpiak K., Kowaczyk P. Experimental and numerical analysis of residual stresses in switch blades. Archives of Civil Engineering, L.2, 2004.
- [19] Kukulski J.: Rozkład naprężeń własnych w kształtownikach szynowych i iglicowych po procesie prostowania. Przegląd Komunikacyjny 2011, z. 9-10.
- [20] Basiewicz T., Towpiak K., Gołaszewski A., Kukulski J. przesłanki wyboru nawierzchni dla linii dużych prędkości w Polsce. Logistyka 4/2015, strony. ISSN- 1231-5478
- [21] Basiewicz T., Towpiak K., Gołaszewski A., Kukulski J Tests on a track structure with crashed stone composite on an experimental section of the CMK (Central Trunk Line). Journal of Civil Engineering and Architecture Research. ISSN: 2333-911X (Print); ISSN: 2333-9128 (Online) w druku.