

Odształcenia nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym

Tadeusz BASIEWICZ¹, Andrzej GOŁASZEWSKI², Jacek KUKULSKI³,
Kazimierz TOWPIK⁴

Streszczenie

Potrzeba ograniczenia kosztów utrzymania nawierzchni kolejowej skłania do poszukiwania rozwiązań umożliwiających wydłużenie okresów między naprawami. W artykule podano wyniki badań nawierzchni z warstwą podsypki zbrojonej geosiatkami oraz stabilizowanej żywicą. Przedstawiono technologię układania nowej nawierzchni na odcinku CMK oraz wyniki oceny stanu toru na odcinkach doświadczalnych.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia kolejowa, kompozyt tłuczniowy, geosiatka, stabilizacja chemiczna

1. Wprowadzenie

Program modernizacji linii kolejowych realizowany w Polsce od kilkunastu lat, zakłada podwyższenie prędkości pociągów do 160÷200 km/h. W zamierzeniach rozwojowych przewiduje się również budowę nowej linii do prędkości $V = 250\div 300$ km/h. Również zakup nowych pociągów przeznaczonych na linie dużych prędkości jest impulsem do doskonalenia konstrukcji nawierzchni i podnoszenia jej parametrów technicznych.

Powstaje pytanie, czy stosowanie przy dużych prędkościach klasycznej nawierzchni kolejowej z podsypką tłuczniową jest rozwiązaniem racjonalnym. Również ekonomiczne aspekty budowy i utrzymania nawierzchni kolejowej mogą mieć istotne znaczenie dla wyboru konstrukcji nawierzchni kolejowej. Klasyczne nawierzchnie kolejowe mające ruszt torowy składający się z szyn i podkładów zanurzonych w warstwie podsypki leżącej na podtorzu, pracują pod obciążeniem eksploatacyjnym w stadium sprężysto-plastycznym. Najślabszym elementem tego rozwiązania jest mechanicznie zagęszczana warstwa podsypki, będąca głównym źródłem powstawania odształceń trwałych.

¹ Prof. dr. hab. inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

² Dr inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

³ Dr. inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; e-mail: jkukul@wt.pw.edu.pl.

⁴ Prof. dr. hab. inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

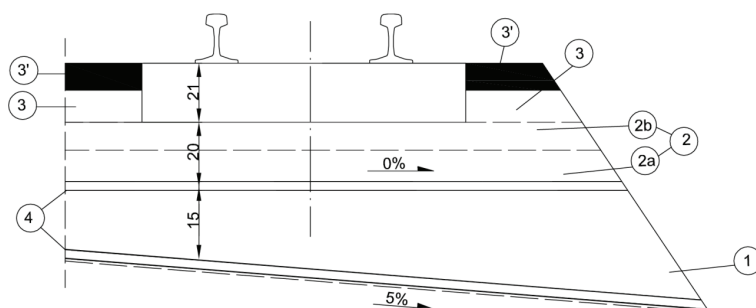
Liczne prace badawcze realizowane w okresie kilkudziesięciu lat, dotyczące jakości i rodzaju oraz składu ziarnowego tłucznia [5, 10], jak również sposobów mechanicznego zagęszczania podsypki [2, 3, 7] nie umożliwiły zmniejszenia intensywności narastania w eksploatacji trwałych i nierównomiernych odkształceń podsypki.

Współczesna nawierzchnia kolejowa, zwłaszcza układana na liniach dużych prędkości, powinna pracować pod obciążeniem eksploatacyjnym w zakresie odkształceń sprężysto-plastycznych. Można to częściowo uzyskać przez eliminację warstwy podsypki z konstrukcji nawierzchni kolejowej, wprowadzając w to miejsce płytę z betonu zbrojonego lub wielowarstwowy ustrój z materiałów stabilizowanych. Innym rozwiązaniem może być zastosowanie komponentów zwiększających odporność warstwy podsypki na rozdrobnienie (dekonsolidację).

2. Nawierzchnia kolejowa z kompozytem tłuczniovym

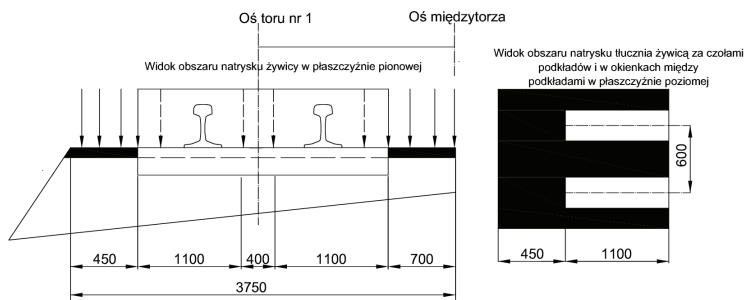
Jednym z rozwiązań zwiększającym odporność na dekonsolidację warstwy podsypki jest kompozyt tłuczniovym w postaci warstwy tłucznia uzbrojonej geosiatkami i miejscowo stabilizowanej chemicznie. Jest to rozwiązanie opracowane w Zakładzie Infrastruktury Transportu Wydziału Transportu PW.

Nawierzchnia kolejowa z kompozytem tłuczniovym charakteryzuje się tym, że zapewnia jednocześnie mechaniczne i chemiczne uodpornienie warstwy podsypki na zjawisko dekonsolidacji. Mechaniczne uodpornienie polega na uzbrojeniu podsypki dwiema geosiatkami (rys. 1). Pierwsze dolne zbrojenie stanowi geosiatka lub geowłóknina (4) ułożona na styku podsypki z górną warstwą podtorza. Po ułożeniu i zagęszczeniu pierwszej warstwy tłucznia (1) układana jest na niej druga geosiatka (4).



Rys. 1. Nawierzchnia z kompozytem tłuczniovym: 1) warstwa dolna zagęszczonego tłucznia, 2) warstwa górna zagęszczonego tłucznia, 3) zagęszczona warstwa tłucznia, w której zatopiona jest rama toru, 3') warstwa tłucznia stabilizowanego chemicznie, 4) geosiatki (geowłókniny)

Po uzupełnieniu warstwy tłucznia do standardowego kształtu (3) przeprowadza się stabilizację toru stabilizatorem dynamicznym DGS. W końcowej fazie, w obszarach narażonych na intensywne drgania wykonuje się stabilizację chemiczną tłucznia przez natrysk specjalnym spoiwem wykonanym na bazie żywic poliuretanowych (rys. 2).



Rys. 2. Obszar natrysku tłucznia żywicą

Penetracja spoiwa powinna sięgać do głębokości nie przekraczającej połowy wysokości podkładu (80 mm), aby umożliwić rozkruszenie tłucznia łapami wibracyjnymi podbijarki, w przypadku konieczności wykonania regulacji położenia toru. W ten sposób powstaje porowata powłoka ograniczająca możliwość powiększania się objętości tłucznia w strefach narażonych na rozdrobnienie. Ziarna tłucznia po jego zagęszczeniu, wnikają w oczka geosiatki, zapewniając mechaniczne zakotwienie kruszywa. Siatki czynią strukturę przyzmy tłucznia bardziej jednorodną i zwiększają kąt tarcia wewnętrznej podsyпки.

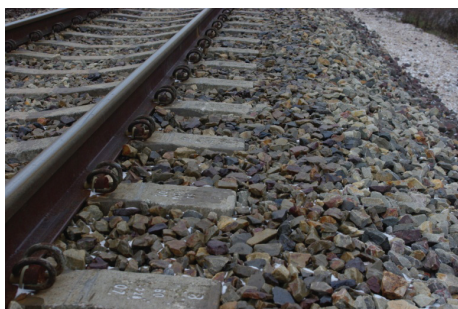
3. Odcinek doświadczalny z kompozytem tłuczniovym

Odcinek doświadczalny nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniovym typu BGT zlokalizowano na Centralnej Magistrali Kolejowej. Został wybudowany w 2008 roku pomiędzy 170,875–175,050 km toru nr 1. Ze względu na miejscowe uwarunkowania, na odcinku doświadczalnym zastosowano technologię zabudowy z wykorzystaniem maszyny AHM. Maszyna ta umożliwia w jednym przejściu ułożenie i zagęszczenie warstwy istniejącego podtorza, a w drugim przejściu zabudowę warstwy nowego tłucznia z jego zagęszczeniem oraz ułożenie geosiatek stanowiących zbrojenie kompozytu. Odcinek doświadczalny podzielono na cztery sektory oraz działki oznaczone przedstawione na rysunku 3.

Nawierzchnia		Szyna UIC 60 (60E 1) Podkład P5 94 przytwierdzenie SB													
Kilometr		170,875	171,275	171,675	172,150	172,175	172,575	172,975	173,375	173,775	174,025	174,050	175,050		
		1275 m			1150 m			700 m			1000 m				
		400 m	400 m	475 m	400 m	400 m	350 m								
Podsyпка		2 siatki Fornit (40x40) i Fortrac		2 geow. Tennar (TX160, SSLA30)	2 siatki Fornit (40x40)		2 geow. Comtrac i Fortrac	2 siatki Tennar (TX160, SSLA30)		BEZ SIATEK BEZ INIEKCJI ODCINEK PORÓWNAWCZY			ODCINEK PORÓWNAWCZY		
		Z ŻYWICĄ MC - Ballastbond			BEZ ŻYWICĄ MC - Ballastbond										
Podtorze		Podtorze istniejące bez wzmocnienia			Wzmocnienie górnej warstwy podtorza warstwą gr. 30 cm niesort fr 0-31.5			Podtorze istniejące z warstwą niesortu			Podtorze istniejące				
Działki		I 1	I 2	I 3	II 1	II 2	II 3	III			IV				
		SEKTOR I			SEKTOR II			SEKTOR III			SEKTOR IV				

Rys. 3. Schemat poglądowy odcinka doświadczalnego nawierzchni z kompozytem tłuczniowym zbudowany na CMK

Na rysunku 4 przedstawiono zdjęcia odcinka doświadczalnego, na którym zabudowano nawierzchnię z kompozytem tłuczniowym.



Rys. 4. Odcinek doświadczalny nawierzchni z kompozytem tłuczniowym (widok geosiatek i tłuczeń sklejoną żywicą)

Bardzo dobrą jakość robót ułożenia nawierzchni kompozytowej na odcinkach doświadczalnych potwierdzono staranną i udokumentowaną kontrolą: pochylenia poprzecznego, równości podłużnej i poprzecznej powierzchni torowiska i poszczególnych warstw tłuczni oraz grubości warstw kompozytu. Szczególną

uwagę w procesie zabudowy kompozytu tłuczniowego zwrócono na uzyskanie pożądanego statycznego modułu odkształcenia podłoża. Pomiary modułu zgodnie z normą [6, 9] wykonywano w 6 punktach każdego z przekrojów nawierzchni kompozytowej, położonych w odstępach co 50 m. Stabilizacja chemiczna wierzchniej warstwy wykonanej z tłucznia płukanego (bez zapylenia) stanowiła ostatnią czynność procesu technologicznego budowy nawierzchni z kompozytem tłuczniowym. Stabilizację chemiczną dokonano przez natrysk żywicy przez dysze za pomocą aparatu ciśnieniowego [4].

4. Badania parametrów kompozytu tłuczniowego w procesie eksploatacji

Badania położenia geometrycznego toru podczas eksploatacji poprzedzono analizą wyników pomiarów uzyskanych podczas kontroli jakości wykonywania poszczególnych czynności budowy toru na odcinku doświadczalnym, opisanych w [1].

Zasadniczym celem pomiarów geometrycznego położenia toru na odcinkach z nawierzchnią z kompozytem tłuczniowym była ocena jej odkształcalności w czasie eksploatacji w porównaniu z nawierzchnią klasyczną ułożoną na sąsiednim odcinku toru. Ogólna ocena położenia geometrycznego toru na odcinkach doświadczalnych dokonana na podstawie pomiarów bezpośrednich toromierzem samorejestrującym, pomiarów geodezyjnych oraz pomiarów drezyną EM 120 wykazała, że tor po zakończeniu robót odpowiadał warunkom określonym dla prędkości jazdy 200 km/h. Do oceny odkształcalności tego typu nawierzchni wykorzystano uproszczoną metodę analizy wyników pomiarów drezyną EM-120 z 17 objazdów wykonanych w okresie od 2008 do 2013 roku. W tym okresie, przeniesione obciążenie eksploatacyjne wyniosło około 18,6 Tg.

Zmiany wskaźnika syntetycznej oceny stanu toru oraz wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych i poziomych pośrednio charakteryzują odkształcenia warstwy podsypki. Zwiększenie wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych wskazuje na wzrost nadwyżek dynamicznych oddziaływań pojazdów, a zmiany odkształceń poziomych toru świadczą o zmianach położenia toru w płaszczyźnie poziomej i pośrednio o jego odporności na przemieszczenia poprzeczne. Wartości syntetycznych wskaźników stanu toru J obliczono ze wzoru:

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5S_e}{3,5} \quad (1)$$

gdzie:

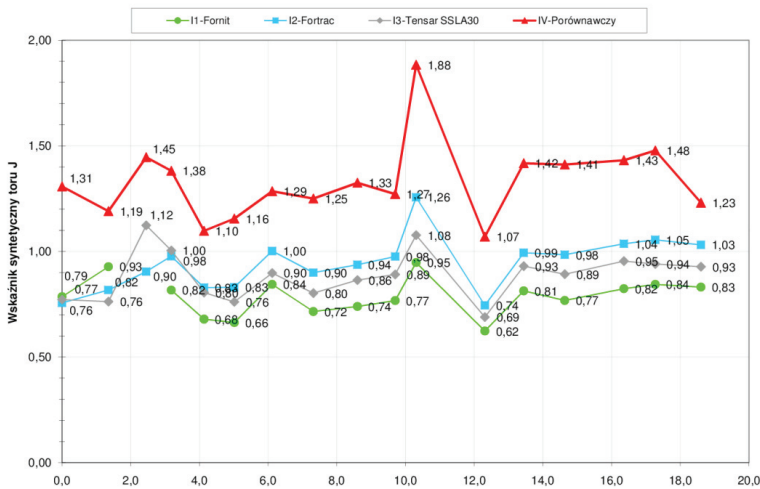
S_z – odchylenie standardowe nierówności pionowych,

S_y – odchylenie standardowe nierówności poziomych,

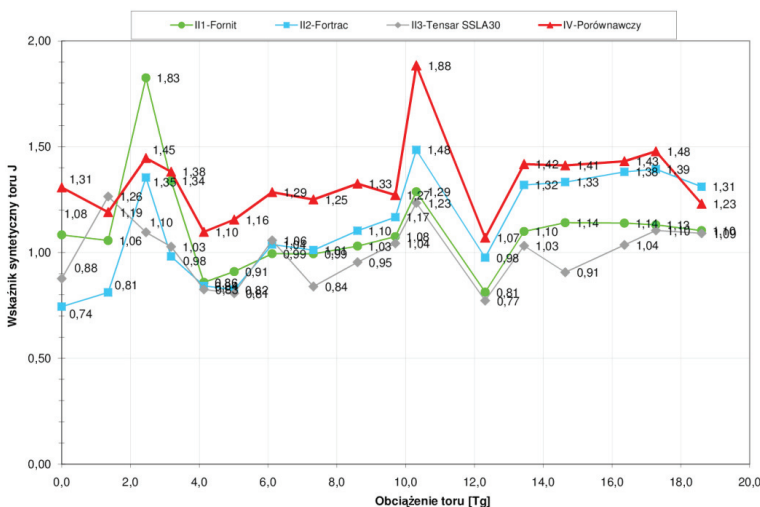
S_w – odchylenie standardowe wchrowatości toru,

S_e – odchylenie standardowe szerokości toru.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono wartości wskaźników syntetycznych J .

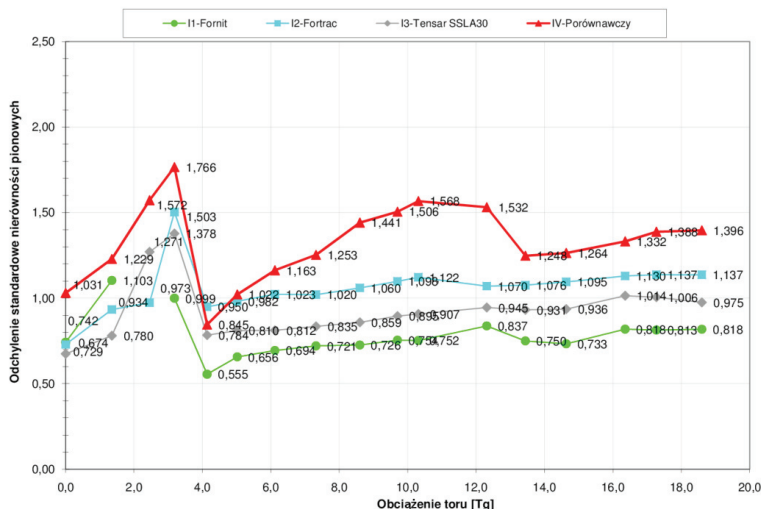


Rys. 5. Wartości wskaźników syntetycznych J dla działek z podtorzem istniejącym: I1, I2 i I3 oraz sektora porównawczego IV

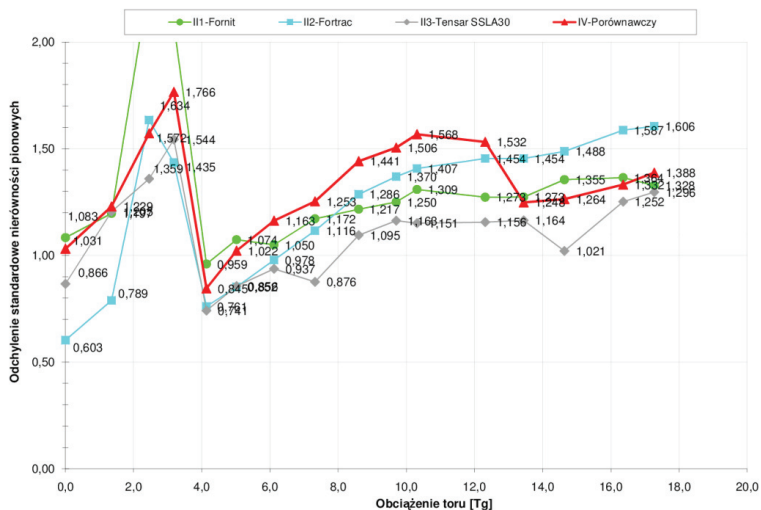


Rys. 6. Wartości wskaźników syntetycznych J dla działek z podtorzem wzmocnionym oraz sektora porównawczego IV

Na rysunku 7 pokazano wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych dla działek I1, I2 i I3, a na rysunku 8 dla działek III1, II2 i II3 w zestawieniu z wartościami obliczonymi dla sektora porównawczego IV.

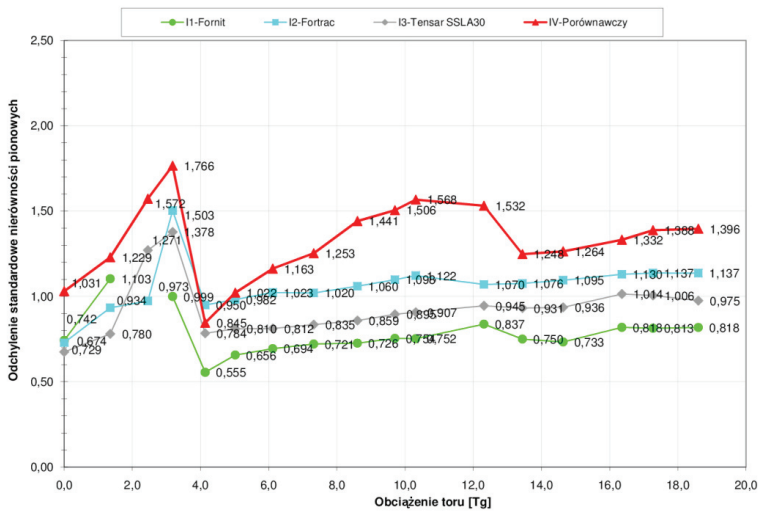


Rys. 7. Wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych dla działek I1, I2 i I3 w zestawieniu z sektorem porównawczym IV

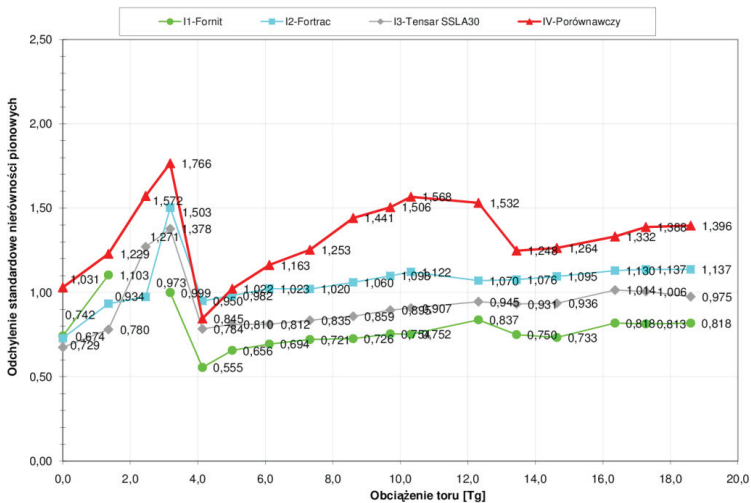


Rys. 8. Wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych dla działek III1, II2 i II3 w zestawieniu z sektorem porównawczym I

Rysunki 9 i 10 przedstawiają wartości odchyłeń standardowych nierówności poziomych toru odpowiednio dla działek I1, I2, I3 oraz III1, II2 i II 3 w zestawieniu z sektorem porównawczym IV.



Rys. 9. Wartości odchylen standardowych poziomych nierówności toru dla działek I1, I2 i I3 oraz sektora porównawczego IV



Rys. 10. Wartości odchylen standardowych nierówności poziomych toru dla działek II1, II2 i II3 oraz sektora porównawczego IV

Podkreślenia wymaga fakt, iż odporność toru z podsypką stabilizowaną na odkształcenia poziome jest zauważalnie większa aniżeli toru z podsypką niestabilizowaną. Dające się zauważyć większe zróżnicowanie odkształceń w funkcji obciążenia w przedziałach 2–3 i 10–11 Tg wystąpiło najprawdopodobniej wskutek niepotwierdzonej, a dokonanej przez personel liniiowej korekty położenia toru

na obserwowanych odcinkach, wobec zaniepokojenia wzrostem wartości wskaźników jakości toru.

Omówione badania winny być kontynuowane w miarę narastania obciążenia aż do momentu, kiedy na odcinku badawczym zaistnieje konieczność poprawy położenia toru, zapewniającego utrzymanie obowiązującej prędkości najszybszych pociągów kursujących na tym odcinku.

7. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań obejmujących okres, w którym tor przeniósł obciążenie 18,6 Tg, tzn. nieznaczne w stosunku do obciążenia jakie może przenieść ta nawierzchnia w całym okresie eksploatacji, można uznać że odporność nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym jest większa o około 30 % w stosunku do stosowanej nawierzchni bez kompozytu.

Badania wykazały, że nawierzchnię z kompozytem tłuczniowym charakteryzują mniejsze syntetyczne wskaźniki stanu toru w porównaniu z torem konwencjonalnym. Wniosek ten potwierdzają również wyniki oceny odształceń pionowych i poziomych.

Narastanie nierówności w funkcji obciążeń pokazuje, że stabilizacja chemiczna wierzchniej warstwy tłucznia zwiększa odporność nawierzchni na odształcenia poziome toru. Stwarza to, wymagającą potwierdzenia w dalszych badaniach, nadzieję na wydłużenie cyklu poprawy położenia toru w płaszczyźnie pionowej i poziomej, w zależności od obciążenia toru z 3 do 4 lat.

W przyszłości byłoby celowe zabudowanie na kolejnych odcinkach doświadczalnych nawierzchni z kompozytem tłuczniowym z zastosowaniem innych technologii zagęszczania warstw tłucznia, np. za pomocą walców samobieżnych, stwarzających warunki lepszego zagęszczenia podsypki w procesie zabudowy nawierzchni i potwierdzenia możliwości dalszego wydłużania cyklu poprawy położenia toru w planie i profilu. Wówczas należałoby uwzględnić przeprowadzenie analizy rozrzutu uzyskiwanych wartości na osi drogi [8].

Literatura

1. Basiewicz T. et al.: *Nawierzchnia kolejowa z kompozytem tuczniowym – ocena narastania nierówności odkształcenia w eksploatacji*, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB. Infraszyn 25-27.04.2012. Zakopane 2012.
2. Esveld C.: *Low maintenance ballastless track structures*, Rail Engineering International Edition, nr 3, 1997.
3. Fendrich L.: *Feste Fahrbahn – Stadtbahn Berlin*. Feste Fahrbahn. Edition ETR, Hestra Verlag, 1997.
4. Gisterek I., Krużyński M.: *Stabilizacja chemiczna podsypki na liniach kolejowych*. Przegląd Komunikacyjny 2009, z. 9–10.
5. Id-1 (D1) *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych*, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005 r.
6. Id-3 (D4) *Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego*, Załącznik do Zarządzenia nr 9 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 4 maja 2009 r.
7. Leykauf G., Lechner B., Stahl W.: *Improved ballasted track for high-speed lines*. Materiały Konferencji „Rail Engineering”, London 2004.
8. Meissonier F.: Eurobalt II Final Technical Report – 75/001026/E1/DA, Paris 2000.
9. PN-S-02205:1998: *Drogi samochodowe – Roboty ziemne – Wymagania i badania nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą*.
10. Prace Komitetu D 182 ERRI: *Ujednolicone kryteria jakości podsypki oraz metody oceny jej stanu w torze*, Utrecht 1989–1994 r.

Strain of Railway Permanent Way With Composite Ballast

Summary

The need for cutting down maintenance costs of permanent ways includes searching solutions allowing extending the periods between repairs. The paper presents the results of tests of permanent way with ballast reinforced with geogrid and stabilized with resin. It also presents a technology of laying different types of new track on sub-section of the CMK together with the results of the evaluation of track condition on test section.

Keywords: railway track, crushed stone composite, geogrid, chemical stabilized

Исследования верхнего строения пути на экспериментальном участке Центральной Железнодорожной Магистральной (СМК)

Резюме

Необходимость сокращения затрат на содержание верхнего строения пути требует поисков решений дающих возможность увеличения отрезков времени между ремонтами. В статье указаны результаты исследований верхнего строения пути со щебеночным балластным слоем усиленном геосеткой и стабилизированным смолой. Представлена технология укладки нового верхнего строения пути на участке Центральной железной дорожной магистрали (СМК) какми результаты оценки состояния пути на экспериментальных участках.

Ключевые слова: верхнее строение пути, щебень, геосетка, химическая стабилизация