

# OCENA NARASTANIA NIERÓWNOŚCI TORU NA EKSPERYMENTALNYM ODCINKU NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ Z KOMPOZYTEM TŁUCZNIOWYM<sup>1</sup>

---

**Tadeusz Basiewicz**

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

**Andrzej Gołaszewski**

Dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

---

**Jacek Kukulski**

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

**Kazimierz Towpik**

Prof. dr hab. inż., Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, e-mail: kto@wt.pw.edu.pl

---

*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 w Polsce zakłada podwyższenie prędkości pociągów do 160 ÷ 200 km/h. W zamierzeniach rozwojowych przewiduje się również budowę nowej linii dla prędkości  $V = 250 \div 300$  km/h. Powstaje pytanie, czy stosowanie przy dużych prędkościach klasycznej nawierzchni kolejowej z podsypką tłuczniową jest rozwiązaniem racjonalnym. Również aspekty ekonomiczne 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. Najśłabszym elementem klasycznej nawierzchni kolejowej jest mechanicznie zagęszczana warstwa podsypki, będąca głównym źródłem powstawania odkształceń trwałych.

---

<sup>1</sup> Wkład procentowy poszczególnych autorów: Basiewicz T. 25%, Gołaszewski A. 25%, Kukulski J. 25%, Towpik K. 25%

W okresie ostatnich kilkudziesięciu lat wykonanych zostało dziesiątki prac badawczych dotyczących jakości i rodzaju oraz składu ziarnowego tłucznia [6, 8], jak również sposobów mechanicznego zagęszczania podsypki [2, 3, 4]. Pomimo tych badań nie udało się zmniejszyć w eksploatacji intensywności narastania trwałych i nierównomiernych odkształceń podsypki, a w konsekwencji uniknąć częstych napraw usuwających niedopuszczalne odkształcenia geometryczne toru.

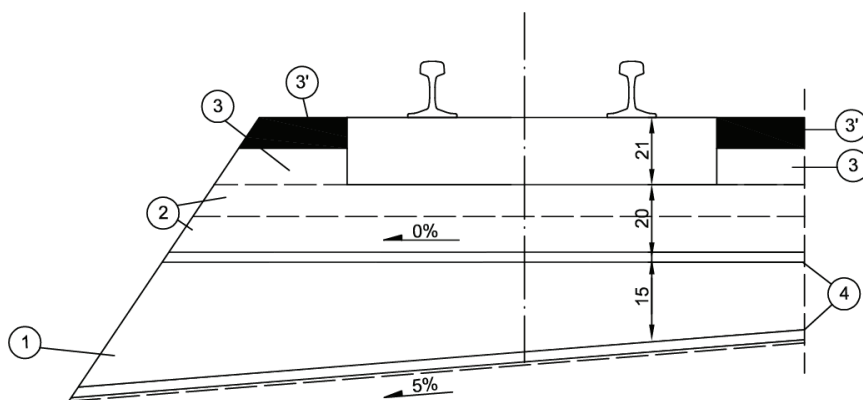
Współczesna nawierzchnia kolejowa, zwłaszcza układana na liniach dużych prędkości, powinna pracować pod obciążeniem eksploatacyjnym w zakresie odkształceń sprężystych. Można to częściowo uzyskać poprzez eliminację warstwy podsypki z konstrukcji nawierzchni kolejowej, wprowadzając w to miejsce płytę z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

## 2. Kompozyt tłuczniowy

Rozwiązaniem zwiększającym odporność na dekonsolidację warstwy podsypki jest kompozyt tłuczniowy w postaci warstwy tłucznia uzbrojonej geosiatkami i miejscowo stabilizowanej chemicznie.

Nawierzchnia kolejowa z kompozytem tłuczniowym charakteryzuje się tym, że zapewnia jednocześnie mechaniczne i chemiczne uodpornienie warstwy podsypki na zjawisko dekonsolidacji. Mechaniczne uodpornienie polega na uzbrojeniu podsypki dwoma geosiatkami (rys. 1). Pierwsze dolne zbrojenie stanowi geosiatka lub geowłóknina (4) ułożona na styku podsypki z górną warstwą podtorza.

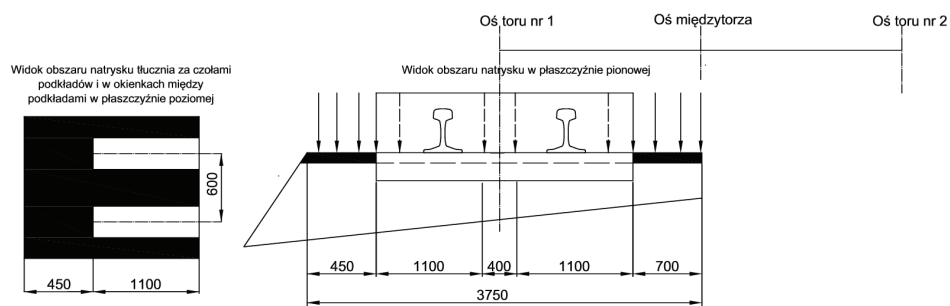
Po ułożeniu i zagęszczeniu pierwszej warstwy tłucznia (1) układane jest na niej druga geosiatka (4).



(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)- geosiatka (geowłóknina)

Rys. 1. Kompozyt tłuczniowy

Po uzupełnieniu warstwy tłucznia do standardowego kształtu pryzmy (3) wykonuje się stabilizację toru stabilizatorem dynamicznym DGS. W końcowej fazie wykonuje się w obszarach narażonych na intensywne drgania stabilizację chemiczną tłucznia poprzez 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 jej rozkruszenia łopami 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 dekonsolidację. Ziarna tłucznia, po jego zagęszczeniu, wnikają w oczka geosiatki zapewniając mechaniczne zakotwienie kruszywa. Siatki czynią strukturę pryzmy tłucznia bardziej jednorodną i zwiększają kąt tarcia wewnętrznego podsypki.

### 3. Odcinek doświadczalny z kompozytem tłuczniowym

Odcinek doświadczalny nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym typu BGT zlokalizowano na Centralnej Magistrali Kolejowej. Ze względu na miejscowe uwarunkowania, na odcinku doświadczalnym zastosowano technologię zabudowy z wykorzystaniem maszyny AHM. Maszyna ta umożliwiła 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 na rys. 3.

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 tłucznia oraz grubości warstw kompozytu. Szczególną uwagę w procesie zabudowy kompozytu tłuczniowego zwrócono na uzyskanie pożądanego statycznego modułu odkształcenia podłoża. Pomiary modułu zgodnie z normą

[7, 9] wykonywano w 6 punktach każdego z przekrojów nawierzchni kompozyto-  
wej, położonych w odstępach co 50 m. Stabilizacja chemiczna wierzchniej warstwy  
wykonanej z tuczniwa płukanego (bez zapylenia) stanowiła ostatnią czynność pro-  
cesu technologicznego budowy nawierzchni z kompozytem tuczniowym. Stabili-  
zację chemiczną dokonano poprzez natrysk żywicy przez dysze za pomocą aparatu  
ciśnieniowego [5].

Nawierzchnia	Sznycia UIC 60 (60E1) Podkład PS 94 przytwierdzenie SB											
Kilometry	170,875	171,275	171,675	172,100	172,175	172,575	172,975	173,325	173,325	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)   2 geowł. Comtrac i Fortrac   2 siatki Tensar (TX160, SSLA30)			2 siatki Fornit (40x40)   2 geowł. Comtrac i Fortrac   2 siatki Tensar (TX160, SSLA30)			BEZ SIATEK BEZ INIEKCJI ODCINEK PORÓWNAWCZY		ODCINEK PORÓWNAWCZY			
	Z ŻYWICĄ MC - Ballastbond			BEZ ŻYWICY 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. Odcinek doświadczalny nawierzchni z kompozytem tuczniowym zbudowany na CMK w 2008 roku

#### 4. Badania parametrów kompozytu tuczniowego 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 pracy [1].

Zasadniczym celem pomiarów geometrycznego położenia toru na odcinkach z nawierzchnią z kompozytem tuczniowym 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 nawierzchni wykorzystano wyniki pomiarów drezyną EM-120 z 16 objazdów wykonanych w okresie od 2008 do 2013 roku. W tym okresie przeniesione obciążenie eksploatacyjne wyniosło ok. 18 Tg.

Zmiany wskaźnika syntetycznej oceny stanu toru oraz wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych i poziomych pośrednio charakteryzują odkształcenia warstwy podsyпки. 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:

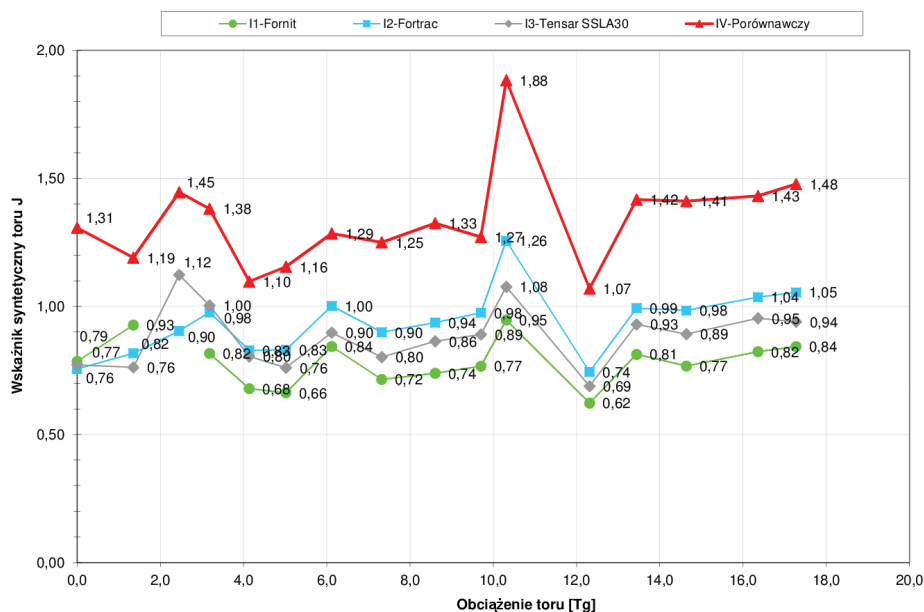
$S_z$  – odchylenie standardowe nierówności pionowych,

$S_y$  – odchylenie standardowe nierówności poziomych,

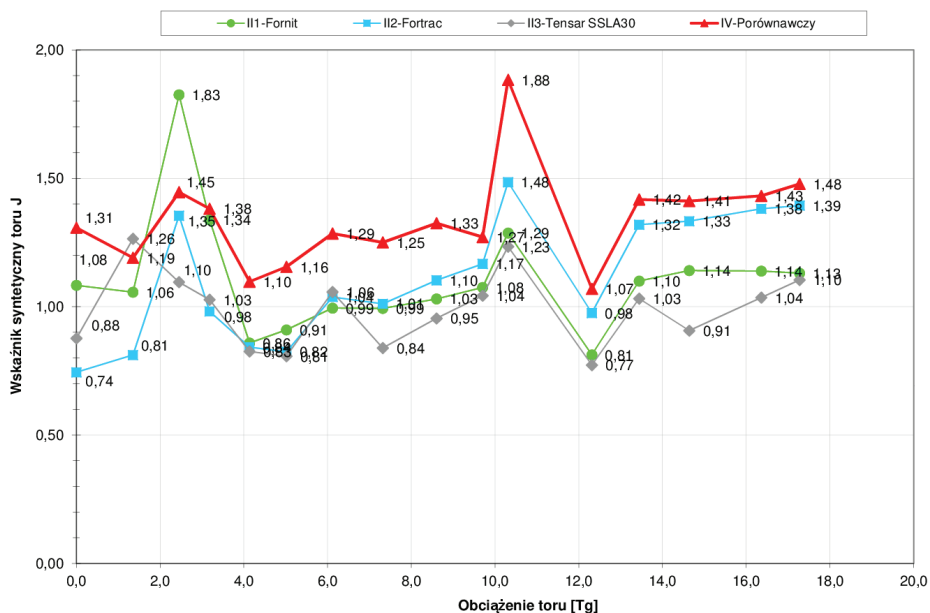
$S_w$  – odchylenie standardowe wichrowatości toru,

$S_e$  – odchylenie standardowe szerokości toru.

Na rys. 4 i 5 przedstawiono wartości wskaźników syntetycznych J.

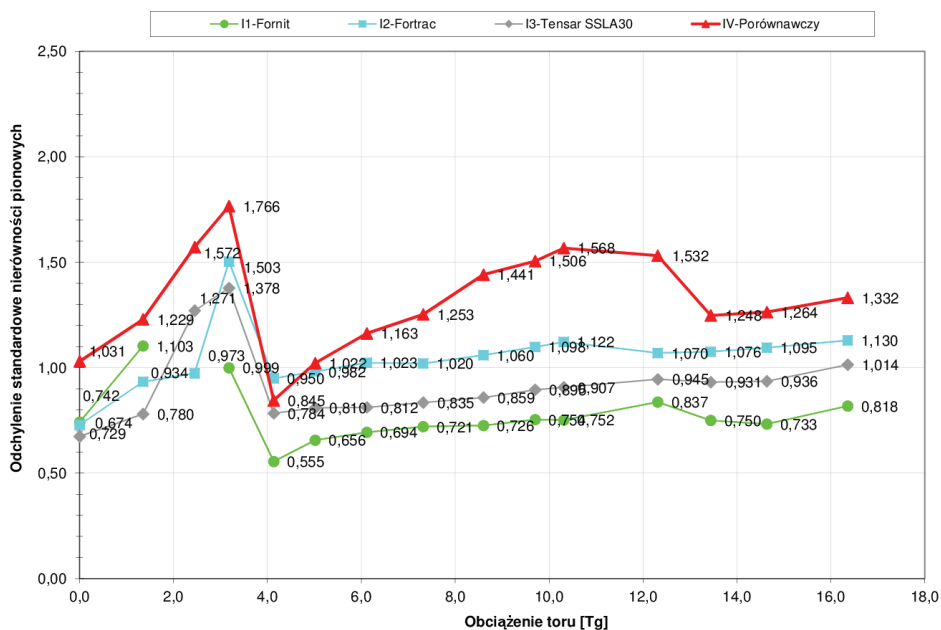


Rys. 4. Wartości wskaźników syntetycznych J dla działek z podtorzem istniejącym: I1, I2 i I3 oraz sektora porównawczego IV

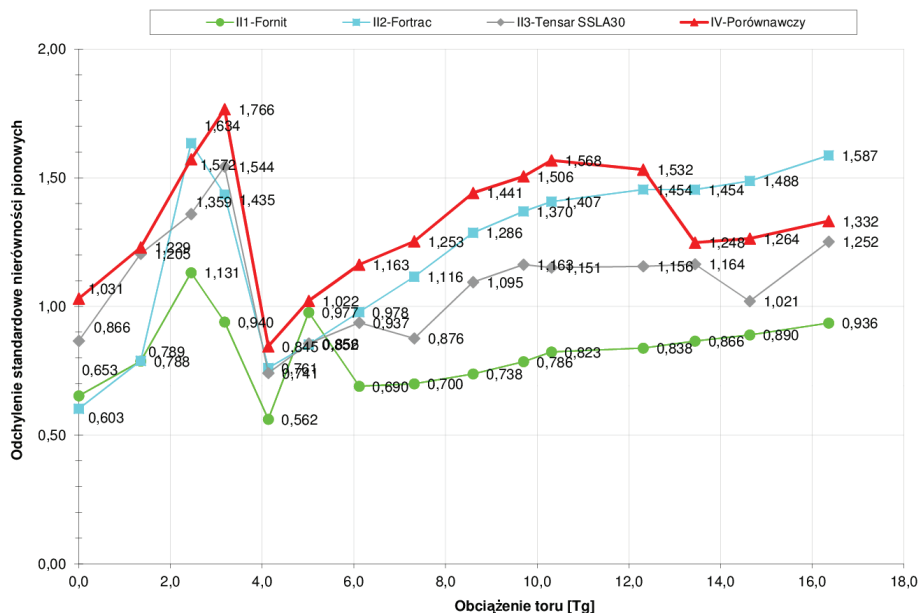


Rys. 5. Wartości wskaźników syntetycznych J dla działek I1, I2 i I3 z podtorzem wzmocnionym oraz sektora porównawczego IV

Na rys. 6 pokazano wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych dla działek I1, I2 i I3, a na rys. 7 dla działek I11, I12 i I13 w zestawieniu z wartościami obliczonymi dla sektora porównawczego IV.

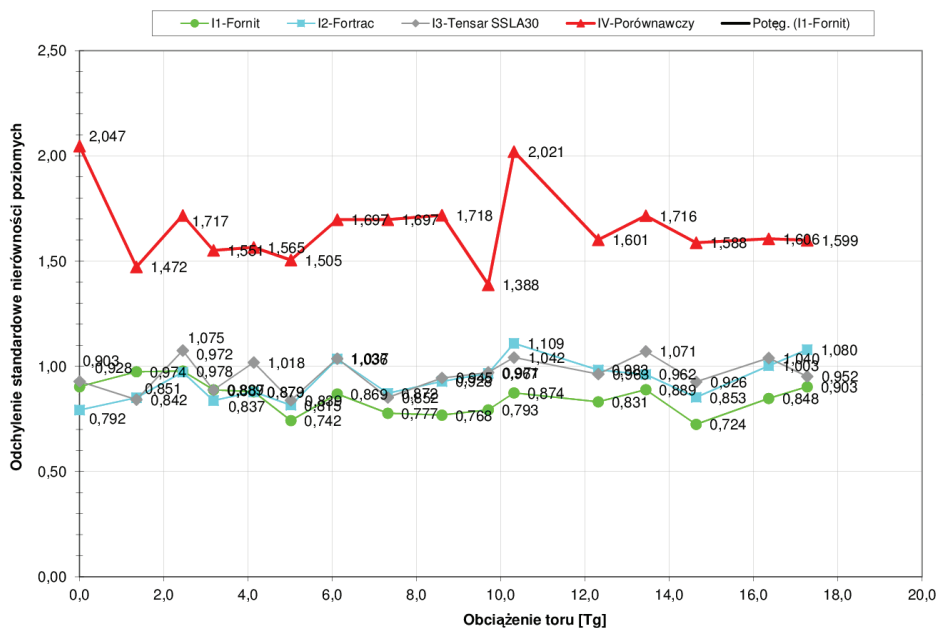


Rys. 6. Wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych dla działek I1, I2 i I3 w zestawieniu z sektorem porównawczym IV

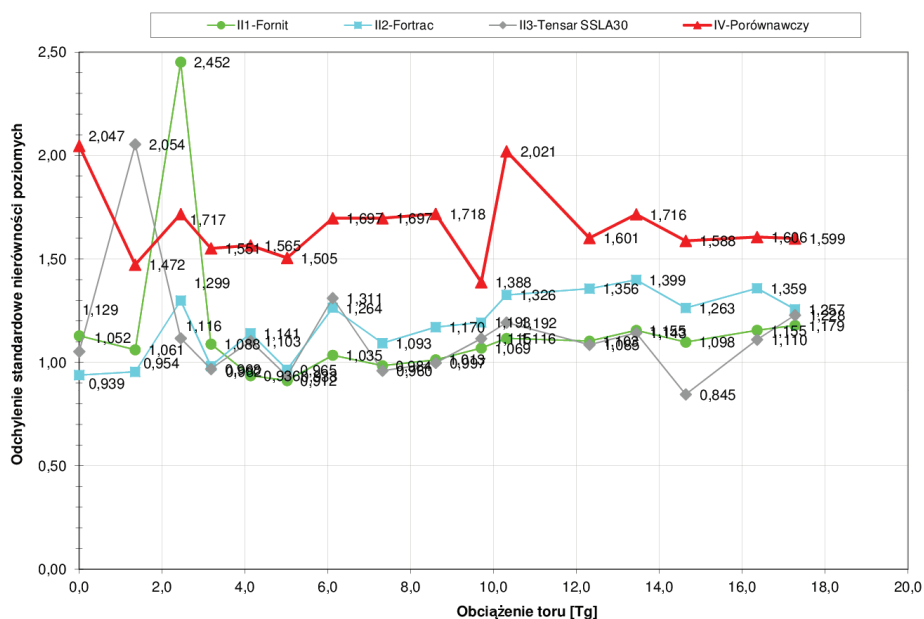


Rys. 7. Wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych dla działek II1, II2 i II3 w zestawieniu z sektorem porównawczym I

Rys. 8 i 9 przedstawiają wartości odchyłeń standardowych nierówności poziomych toru odpowiednio dla działek II1, II2, II3 oraz II 3 w zestawieniu z sektorem porównawczym IV.



Rys. 8. Wartości odchyłeń standardowych poziomych nierówności toru dla działek II1, II2 i II3 oraz sektora porównawczego IV



Rys. 9. Wartości odchylen standardowych nierówności poziomych toru dla dzialek III1, III2 i III3 oraz sektora porównawczego IV

Podkreślenia wymaga fakt, iż odporność toru z podsypką stabilizowaną na odkształcenia poziome jest zauważalnie większa, aniżeli toru z podsypką niestabilizowaną.

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

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań obejmujących okres, w którym tor przeniósł obciążenie 18 Tg, można uznać, że odporności nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym zwiększa się ok. 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 odkształceń pionowych i poziomych.

Narastanie nierówności w funkcji obciążeń pokazuje, że stabilizacja chemiczna wierzchniej warstwy tłucznia zwiększa odporność nawierzchni na odkształcenia poziome toru. Stwarza to, wymagającą potwierdzenia w dalszych badaniach – na-



dzieję na wydłużenie cyklu poprawy położenia toru w planie i profilu, w zależności od obciążenia toru z 3 do 4 lat.

Wskazaniem jest kontynuowanie badań stanu toru na istniejącym odcinku w miarę narastania obciążenia toru ruchem, aż do momentu, kiedy zaistnieje konieczność poprawienia na poszczególnych działkach położenia toru w celu utrzymania dotychczasowej prędkości stosowanej na CMK.

W przyszłości celowe byłoby 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.

### Bibliografia

- [1] Basiewicz T., Gołaszewski A., Towpik K., Kukulski J., Nawierzchnia kolejowa dla linii dużych prędkości w warunkach polskich. Zadanie badawcze 2.7 Opracowanie technologii nawierzchni PW-BGT. Politechnika Krakowska 2008 r.
- [2] Esveld C., Law 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] Leykauf G., Lechner B., Stahl W., Improved ballasted track for high - speed lines. Materiały Konferencji „Rail Engineering”, London 2004.
- [5] Gisterek I., Krużyński M., Nawierzchnia kolejowa ze wzmocnioną podsypką. Materiały Konferencji „Nowoczesne metody stabilizacji podłoża pod nawierzchnie drogowe i kolejowe”, Żmigród 2009.
- [6] Prace Komitetu D 182 ERRI: Ujednolicone kryteria jakości podsypki oraz metody oceny jej stanu w torze. Utrecht 1989-1994 r.
- [7] 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.
- [8] Id – 1 (D1) Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2005 r.
- [9] Norma PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe – Roboty ziemne – Wymagania i badania nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.