

Tadeusz Basiewicz
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Andrzej Gołaszewski
Politechnika Warszawska, Wydział transportu

Kazimierz Towpik
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

NAWIERZCHNIA KOLEJOWA Z KOMPOZYTEM TŁUCZNIOWYM

Streszczenie: Potrzeba ograniczenia kosztów utrzymania nawierzchni kolejowej skłania do poszukiwania rozwiązań umożliwiających wydłużenie okresów między naprawami. Przedstawiono wyniki badań nawierzchni z warstwą podsypki zbrojonej geosiatkami oraz stabilizowanej żywicą. Omówiono technologię układania kilku wariantów nowej nawierzchni na odcinku Centralnej Magistrali Kolejowej oraz przedstawiono wyniki oceny stanu toru na odcinkach doświadczalnych po początkowym okresie eksploatacji.

Słowa kluczowe: nawierzchnia kolejowa, technologia budowy, ocena stanu toru

1. ANALIZA MOŻLIWOŚCI PODWYŻSZENIA WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ NA ODKSZTAŁCENIA TRWAŁE

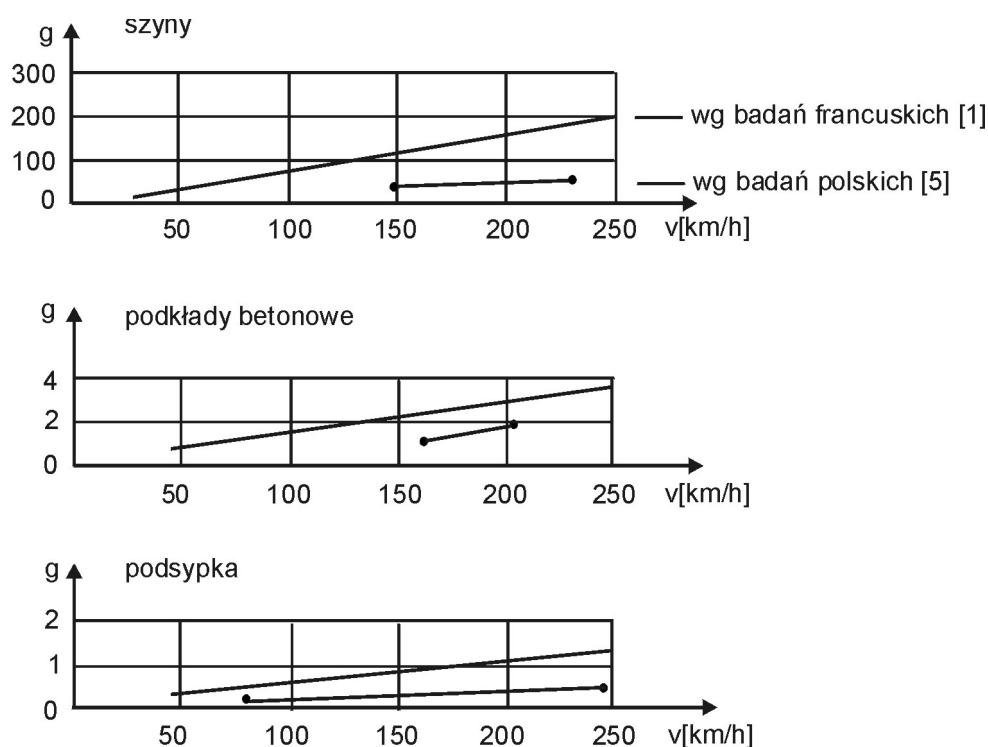
W zamierzeniach rozwojowych przewiduje się budowę w Polsce nowych linii dla dużych prędkości. Powstaje pytanie, czy stosowanie przy dużych prędkościach klasycznej nawierzchni kolejowej z podsypką tłuczniową jest rozwiązaniem racjonalnym.

Koleje francuskie kontynuują budowę linii dużych prędkości z klasyczną nawierzchnią tłuczniową. Doświadczenia niemieckie wskazują na znaczny wzrost kosztów utrzymania linii z dużymi prędkościami i rozpoczynają stosowanie rozwiązań niekonwencjonalnych na skalę eksploatacyjną [1], [2], [6],[20].

Klasyczne nawierzchnie kolejowe stanowią ruszt torowy składający się z szyn i podkładów zanurzonych w warstwie podsypki leżącej na podtorzu i pracują pod obciążeniem eksploatacyjnym w stadium sprężysto–plastycznym. Współczesne osiągnięcia

technologiczno-materiałowe zapewniają pod obciążeniem eksploatacyjnym pracę podtorza w stadium sprężystym [2], [12], [18]. Szyny i podkłady pracują pod obciążeniem eksploatacyjnym w stadium sprężystym. Najsłabszym elementem klasycznej konstrukcji drogi kolejowej jest więc mechanicznie zagęszczona warstwa tłucznia. Wykonanych zostało dziesiątki prac badawczych dotyczących jakości i rodzaju oraz składu ziarnowego tłucznia [8], [14]. Również wykonano dziesiątki prac dotyczących sposobu mechanicznego zagęszczania [2], [14]. W konsekwencji zachodzi potrzeba systematycznych i częstych napraw usuwających powstałe niedopuszczalne nierówności geometryczne toru, ponieważ w podsypce wystąpią stany naprężeń rozciągających, które naruszają istniejącą równowagę opartą na zasadach sił tarcia wewnętrznego, dekonsolidując podsypkę. Nieuniknione jest więc osiadanie podsypki (odkształcenie plastyczne).

Przeprowadzone badania [5] pokazały, że wraz ze wzrostem prędkości pociągów rosną przyspieszenia w szynach, podkładach i podsypce (Rys. 1.1). Przyspieszenia występujące w podsypce przy dużych prędkościach mogą przekroczyć przyspieszenie ziemski g , a tym samym dodatkowo osłabić spójność mechaniczną zagęszczonego tłucznia.



Rys. 1. Pomierzony wzrost przyspieszeń występujących w elementach nawierzchni

Współczesna nawierzchnia kolejowa powinna pracować pod obciążeniem eksploatacyjnym w stadium sprężystym, Można to uzyskać poprzez eliminację warstwy podsypki z konstrukcji nawierzchni kolejowej, wprowadzając w to miejsce płytę z betonu zbrojonego posadowioną na specjalnym podłożu albo drogą zabiegów technologiczno-konstrukcyjnych podwyższających odporność na dekonsolidację warstwy tłuczniowej i zachowując tłuczeń jako osnowę dla kompozytu o podwyższonej odporności na powstawanie nierównomiernych trwałych odkształceń toru.

2. KOMPOZYT TŁUCZNIOWY TYPU BGT

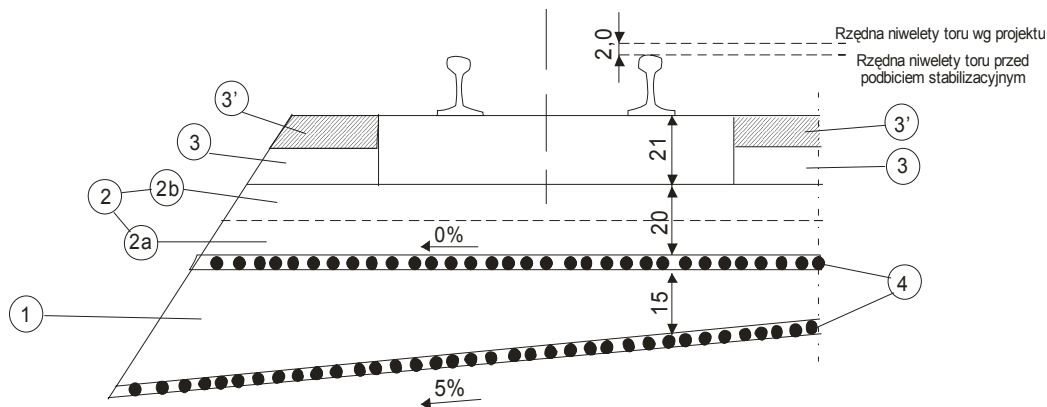
Warstwa tłucznia na poziomie kontaktu podkładu z podsypką pod obciążeniem użytkowym znajduje się w przestrzennym stanie naprężeń ściskających. Tensor naprężeń głównych stanowi zależność: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$. Oznacza to, że tłuczeń znajduje się w trójosiowym stanie ściskania, a zatem są tu najlepsze warunki dla pracy podsypki. Najniekorzystniejsze warunki występują tam, gdzie podsypka narażona jest na powstawanie pulsujących naprężeń rozciągających. Bliższa analiza pokazuje, że naprężenia rozciągające w podsypce powstają w obszarach zbliżonych do miejsca przytwierdzenia szyny do podkładu - miejsca przekazywania obciążeń koło-podkład-podsypka oraz w obszarach za czołem podkładów. Górna warstwa podsypki w tych obszarach wymaga uodpornienia na zagrożenia dekonsolidacyjne.

Proponowany kompozyt tłuczniowy stanowią warstwy tłucznia uzbrojone geosiatkami i dodatkowo stabilizowane chemicznie zgodnie z poniżej opisanymi zasadami.

Dekonsolidacja oznacza rozgęszczenie tłucznia, powodujące zwiększenie jego objętości. Wprowadzenie ograniczeń w powiększaniu objętości przyzmy tłuczniowej jest warunkiem koniecznym do ograniczenia zjawiska dekonsolidacji. Nawierzchnia kolejowa z kompozytem tłuczniowym typu BGT charakteryzuje się tym, że zapewnia jednocześnie mechaniczne i chemiczne uodpornienie warstwy podsypki na zjawisko dekonsolidacji. Mechaniczne uodpornienie polega na uzbrojeniu podsypki, dwoma geosiatkami.

Pierwsze dolne zbrojenie stanowi geosiatka lub geowłóknina ułożona na styku podsypki z górną warstwą podtorza (Rys.2.1)

Po ułożeniu i zagęszczeniu pierwszej warstwy tłucznia (1) układane jest drugie górne zbrojenie geosiatką.



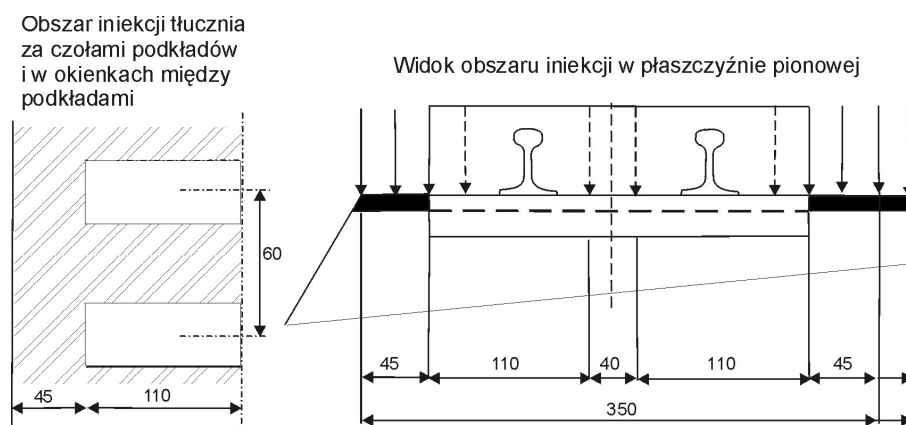
Rys.2.1. Kompozyt tłuczniowy typu BGT

- warstwa dolna tłucznia o objętości w stanie zagęszczonym ok. $0,95 \text{ m}^3/\text{mb}$ toru
- 1- warstwa górną tłucznia o objętości w stanie zagęszczonym ok. $0,95 \text{ m}^3/\text{mb}$ toru
- 2- warstwa tłucznia, w której zatopiona jest rama toru o objętości w stanie zagęszczonym ok. $0,40 \text{ m}^3/\text{mb}$ (3' pokrycie warstwą tłucznia stabilizowanego chemicznie)
- 3- geosiatki

Po utworzeniu podwarstwy tłucznia (2a) następuje jej zagęszczenie odpowiednio dobranym sprzętem. Na tej warstwie układana jest rama toru i zasypywana tłuczniem w

ilości odpowiadającej objętości drugiej półwarstwy (2b). Podniesienie ramy toru i podbicie podbijarką automatyczną zapewnia zabudowę i zagęszczenie półwarstwy (2b).

Po uzupełnieniu warstwy tłucznia do standardowego kształtu pryzmy (3) wykonuje się powierzchniową stabilizację dynamiczną podsypki wagonem stabilizacyjnym. W końcowej fazie dokonuje się drogą iniekcji stabilizacji chemicznej tłucznia specjalnym spoiwem wykonanym na bazie żywic duromerowych [7]. Iniekcję wykonuje się w obszarach narażonych na intensywne drgania (Rys.2.2).



Rys.2.2. Obszar iniekcji tłucznia żywicą

Penetracja spoiwa powinna sięgać do głębokości nie przekraczającej połowy wysokości podkładu (80 mm), ażeby umożliwić jej rozkruszenie łapami podbijarki podkładów, w przypadku konieczności regulacji położenia toru w okresie eksploatacji.

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 rozkładu naprężeń w podsypce.

Materiały stanowiące kompozyt tłuczniowy powinny odpowiadać następującym warunkom:

Ograniczeniu deformacji pryzmy tłuczniowej sprzyja zapewnienie dobrego klinowania się ziaren tłucznia. Uzyskuje się to poprzez dobór wymiarów i układu ziaren w strukturze tłucznia. Warunki te spełnia tłuczeń określony w normie PN-EN13450 jako klasa 1 gatunek 1 (masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek: 63mm – 100%; 31,5mm \leq 20%; 22,4mm \leq 3%; mniejszych od 0,5 \leq 1%; zawartość pyłów – cząstek mniejszych od 0,063mm \leq 0,5%; nasiąkliwość \leq 0,5; mrozoodporność \leq 1,0%; rozkruszalność badana metodą Los Angeles \leq 12%; odporność na zgorzel słoneczny \leq 5%).

Badania skuteczności scalenia warstwy tłucznia żywicami [8] wykazały, iż wytrzymałość tej warstwy na zginanie zależy od zapylenia ziaren tłucznia. Wynika z tego iż tłuczeń przed aplikacją żywicy musi być wypłukany i wysuszony (pozbawiony zawartości pyłów). Zawartość pyłów w tłuczniu tzn. cząstek mniejszych od 0,063 mm powinna być ograniczona do $\leq 0,07 \div 0,18\%$.

Z szerokiej gamy proponowanych przez producentów materiałów wzmacniających

wybrano do przeprowadzenia badań porównawczych na odcinkach doświadczalnych:

- geosiatki:
- FORNIT 40×40 i FORTRAK 80×80, firmy Huesker,
- SSLA 30 i Tx 160 firmy TENSAR o wytrzymałości na rozerwanie 20÷30 kN/m, i odkształceniu 2% pod wpływem siły 7÷11 kN/m, oraz
- geowłókninę – COMTRAC 50×50 firmy Huesker o wytrzymałości na rozciąganie 1,9÷4,9 kN/m² i wydłużeniu, przy max. obciążeniu pasma 30%.

Szerokość zastosowanych materiałów wynosi 3,80 m. Materiały posiadają atest CNTK.

Wybór żywicy stabilizującej górną warstwę przypowierzchniową tłucznia poprzedzono badaniami laboratoryjnymi [8] i spośród dostępnych preparatów wybrano żywicę MC-Ballastbond 60, przenoszącą naprężenia rozciągające przy zginaniu od 0,015 do 0,6 MPa.

Żywica ta skleja ziarna tłucznia punktowo (pozostawiając pory dla przepływu wody opadowej), jest niepalna, osiąga stan stały w ciągu doby, zapewnia mimo zespolenia ziaren tłucznia możliwość mechanicznego podbijania toru oraz użyteczność odzyskanego z warstwy zespolonego tłucznia w procesie dalszej eksploatacji.

3. RODZAJE BADANYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI Z KOMPOZYTEM TŁUCZNIOWYM

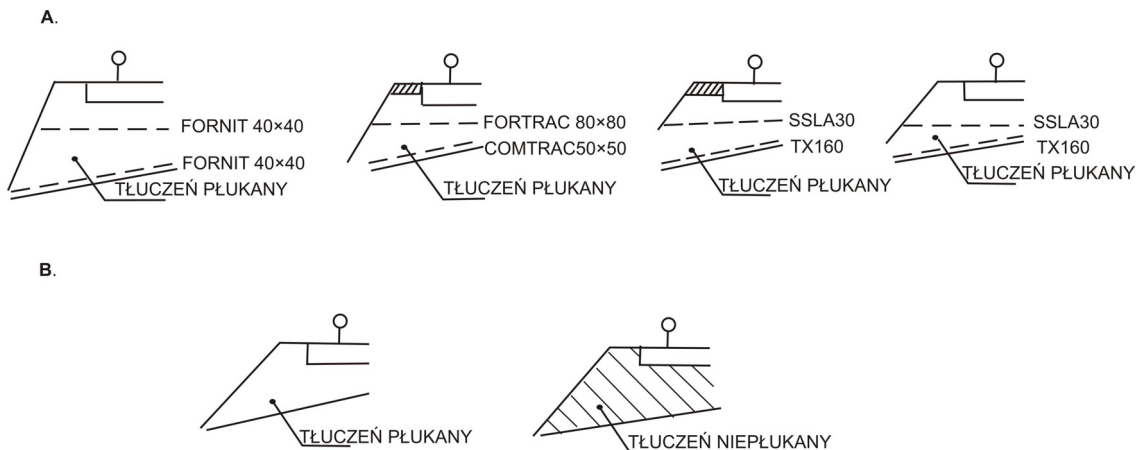
Uwzględniając przesłanki przedstawione w rozdz. 1 przyjęto do przeprowadzenia badań konstrukcję nawierzchni wg standardu jak dla torów klasy „0” z kompozytem tłuczniowym (Rys. 2.1).

Możliwość pozyskania do badań różnych rodzajów materiałów, z których może zostać zbudowany kompozyt tłuczniowy skłoniła do zastosowania w badaniach kilku odmian konstrukcji kompozytu tłuczniowego, w celu wyboru rozwiązania, który możnaby zalecić do stosowania.

Zbrojenie przyzmy tłucznia wykonano trzema zestawami geosiatek spośród dobranych do zastosowania (2xFORNIT 40×40; FORTRAC 80×80/COMTRAC 50×50; SSLA 30/TX 160).

W celu zespolenia wierzchniej warstwy tłucznia użyto żywicy poliuretanowej MC-Ballastbond.

Wykorzystując przedstawione powyżej komponenty badaniom poddano 4 rodzaje konstrukcji nawierzchni z kompozytem tłuczniowym. W celach porównawczych na tym samym torze w ciągu odcinków badanych zabudowano 2 rodzaje nawierzchni konwencjonalnej (Rys.3.1)



Rys. 3.1. Konstrukcje badanych nawierzchni
 A - konstrukcje nawierzchni z kompozytem tłuczniowym
 B - porównawcze konstrukcje klasycznej nawierzchni tłuczniowej

Konstrukcje te zabudowano na istniejącym podtorzu lub na podtorzu wzmocnionym trzydziestocentymetrową warstwą niesortu.

Odcinki badawcze zlokalizowano i wykonano na Centralnej Magistrali Kolejowej – szlak Psary – Góra Włodowska w torze nr 1. W torze tym wydzielono 4 sektory:

I o długości 1275 m,

II o długości 1150 m i III o długości 700 m,

IV (porównawczy) o długości 1000 m.

Sektory I i II podzielono każdy na 3 odcinki badawcze po około 400 m długości, a sektory III i IV w całości stanowią kolejne odcinki doświadczalne. Na tak wyznaczonych odcinkach badawczych zabudowano poszczególne rodzaje nawierzchni (Rys.3.2)

poziom istniejącego podłoża			poziom istniejącego podłoża			poziom istniejącego podłoża		
25.00	LI=1275.00	25.00	LI=1150.00	LI=700.00	25.00	LI=1000.00		
SEKTOR I			SEKTOR II			SEKTOR III	SEKTOR IV PORÓWNAWCZY	
ODCINEK I1	ODCINEK I2	ODCINEK I3	ODCINEK II1	ODCINEK II2	ODCINEK II3	L=700 m		L=1000 m
L=400 m	L=400 m	L=475 m	L=400 m	L=400 m	L=350 m			
RODZAJ PODTORZA								
ISTNIEJĄCE			WZMOCNIONE			WZMOCNIONE		ISTNIEJĄCE
RODZAJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI								
FORNIT 40x40	COMTRAC 50x50	TX 160	FORNIT 40x40	COMTRAC 50x50	TX 160	---		---
FORNIT 40x40	FORTRAC 80x80	SSLA 30	FORNIT 40x40	FORTRAC 80x80	SSLA 30	---		---
	ZESPOLONA W. WARSTWA TŁUCZNI MC-Ballasbond 60	ZESPOLONA W. WARSTWA TŁUCZNI MC-Ballasbond 60		ZESPOLONA W. WARSTWA TŁUCZNI		---		---
TŁUCZEŃ PRZESIANY			TŁUCZEŃ PRZESIANY					TŁUCZEŃ NIEPRZESIANY

Rys. 3.2. Lokalizacja odcinków badawczych z różnymi rodzajami konstrukcji

4. SPOSOBY ZABUDOWY NAWIERZCHNI Z KOMPOZYTEM TŁUCZNIOWYM

Zabudowa wariantów nawierzchni z kompozytem tłuczniowym poddawanych badaniom wymagała: usunięcia starej nawierzchni (szyn, podkładów i tłucznia), zabudowy dolnego i górnego zbrojenia kompozytu tłuczniowego, zabudowy i zagęszczenia warstw tłucznia, ułożenia ramy nowego toru (szyny i podkłady), oprofilowania, stabilizacyjnego podbicia i zagęszczenia przyzmy tłucznia oraz zespolenia wierzchniej warstwy tłucznia żywicą.

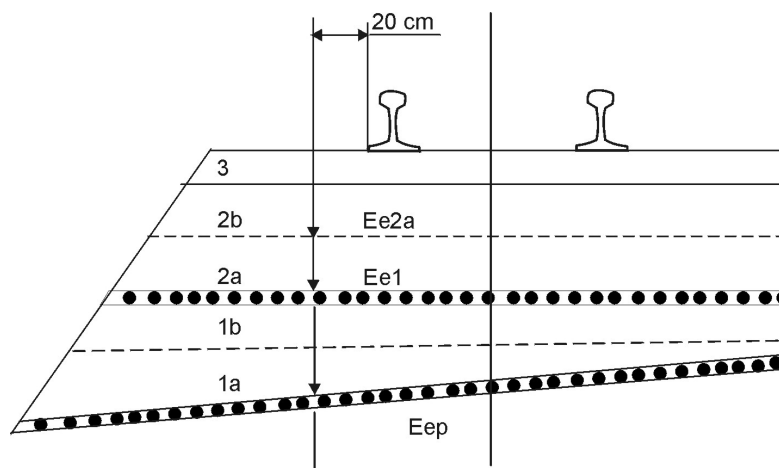
Wymienione powyżej prace można wykonać dwoma sposobami:

- z wykorzystaniem sprzętu budowlanego (spychacze, samobieżne walce gładkie, samochody-wywrotki) - po zdjęciu starego toru [10];
- z wykorzystaniem maszyny wieloczynnościowej AHM i pociągu wyposażonego w transporterzy – pod ramą nowego toru.

Dla budowy odcinków doświadczalnych na CMK, ze względu na miejscowe uwarunkowania zastosowano technologię z wykorzystaniem oczyszczarki AHM. Maszyna ta daje możliwość wybudowania w jednym przejściu gruntu z warstwy istniejącego podtorza i zagęszczenia podtorza, a w drugim przejściu zabudowy warstwy nowego tłucznia i jej zagęszczenia oraz mechanicznej zabudowy geosiatek stanowiących zbrojenie kompozytu.

Wysoką jakość robót zabudowy nawierzchni na odcinkach doświadczalnych potwierdzono staranną i udokumentowaną kontrolą: pochylenia poprzecznego, równości podłużnej i poprzecznej powierzchni torowiska i poszczególnych warstw tłucznia oraz grubości warstw kompozytu.

Szczególne uwagę w procesie zabudowy kompozytu tłuczniowego zwrócono na uzyskanie pożądanego statycznego modułu odkształcenia podłoża. Pomiary modułu zgodnie z normą BN-64/8931-02 [16] wykonywano w 6 punktach przekrojów kompozytu położonych w odstępach co 50 m (Rys.4.1).

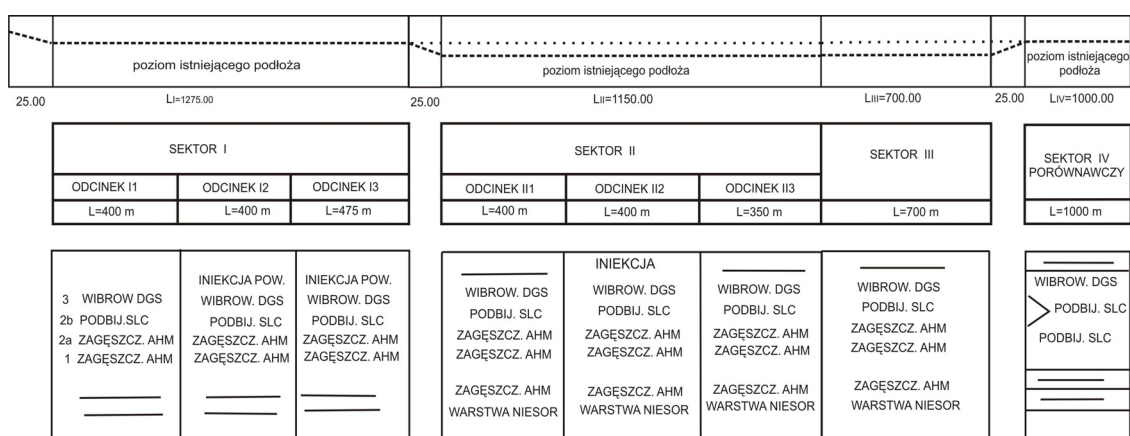


Rys. 4.1. Miejsca pomiaru modułów odkształcenia podłoża

Iniekcja wierzchniej warstwy tłucznia (Rys.2.2) wykonywana jest jako ostatnia czynność procesu technologicznego budowy nawierzchni z kompozytem tłuczniowym z warstwy tłucznia płukanego (bez zapylenia). Iniekcji dokonuje się poprzez natrysk żywicy przez dysze z pomocą aparatu ciśnieniowego. Skuteczność scalenia tłucznia żywicami w dużej mierze zależy od jego wilgotności, wilgotności otaczającego powietrza oraz temperatury tłucznia i powietrza. Za optymalne warunki uznano temperaturę w granicach $15\div 25^{\circ}\text{C}$ [8].

Przeprowadzone badania [8] wykazały, iż dla uzyskania warstwy grubości 8 cm przy użyciu żywicy MC Ballastbond 60 w optymalnych warunkach wykonawstwa, należy użyć około $0,8\text{ kg/m}^2$, a dla warstwy o grubości 11 cm około $1,3\text{ kg/m}^2$.

Zastosowane technologie zabudowy nawierzchni na poszczególnych odcinkach badawczych przedstawiono na rys. 4.2.



Rys. 4.2 Technologie zabudowy nawierzchni na poszczególnych odcinkach badawczych

Wskutek zastosowanej technologii uzyskano wartości modułu statycznego odkształcenia podłoża ($110\div 120\text{Mpa}$) zbliżone do wartości pożądaných (120 Mpa) na odcinkach z podtorzem wzmocnionym warstwą niesortu o grubości 30 cm, natomiast na odcinkach podtorza niewzmocnionego, pomimo jego zagęszczenia pożądanę wartość nie uzyskano (85 MPa).

Zastosowana technologia zabudowy warstw kompozytu tłuczniowego nie zapewniła pożądaných, określonych metodą DORNI [10] wartości statycznych modułów odkształcenia poszczególnych warstw tłucznia. Zaobserwowano istotnie mniejsze (na poziomie istotności 0,1) wartości statycznych modułów odkształcenia warstw tłucznia zbrojonych geosiatkami ($97\div 99\text{ MPa}$) w stosunku do tłucznia niezbrojonego ($118\div 120\text{ MPa}$).

Mniejsze wartości modułu odkształcenia na tłuczniu zbrojonym, nie dyskwalifikują rozwiązania. Zbrojenie geosiatkami przeciwdziała przemieszczaniu ziaren tłucznia i w procesie eksploatacji może okazać się, iż nawierzchnia z kompozytem tłuczniowym ulegać będzie mniejszym i jednorodnym deformacjom. Niezależnie od tego, bliższego zbadania wymaga wpływ zbrojenia tłucznia geosiatkami na zagęszczenie kompozytu tłuczniowego (dobór grubości warstw i sprzętu do zagęszczania).

W przyszłości wskazana byłaby zabudowa nawierzchni z kompozytem tłuczniowym w technologii polegającej na zagęszczaniu warstw tłucznia zbrojonego geosiatkami

samobieżnymi walcami gładkimi.

Syntetyczne wskaźniki oceny toru uzyskane na podstawie pomiaru toru drezyną pomiarową EM-120 po wykonaniu robót przedstawiono w tablicy 4.1.

Tablica 4.1.

Wskaźniki syntetyczne stanu toru I							
I1	I2	I3		II1	II2	II3	IV
0,79	0,76	0,77		1,08	0,74	0,88	1,31

5. DOTYCHCZAS WYKONANE BADANIA PORÓWNAWCZE NAWIERZCHNI Z KOMPOZYTEM TŁUCZNIOWYM W EKSPLOATACJI

Zasadniczym celem pomiarów geometrycznego położenia toru na odcinkach z nawierzchnią z kompozytem tłuczniowym była ocena jej odkształcalności w czasie eksploatacji w porównaniu z klasyczną nawierzchnią tłuczniową.

Ogólna ocena położenia geometrycznego toru na odcinkach doświadczalnych dokonana na podstawie zarówno 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.

Ze względu na krótki okres obserwacji, w którym tor odcinków doświadczalnych przeniósł obciążenie ok. 3,2 Tg wnioski dotyczą tylko oceny trwałości położenia nawierzchni na obserwowanych odcinkach CMK, w pierwszym okresie jego stabilizacji po wykonaniu robót.

Do oceny odkształcalności nawierzchni wykorzystano wyniki pomiarów z czterech objazdów drezyną EM-120 wykonanych w okresie obserwacji. Pomiarów geometrycznego położenia toru na odcinkach doświadczalnych oraz na odcinkach porównawczych posłużyły do oceny charakteru i wielkości zmian położenia toru z wykazaniem różnic między odcinkami doświadczalnymi i porównawczymi.

W ocenie uwzględniono zmiany wskaźnika syntetycznej oceny stanu toru, oraz odchyłeń standardowych nierówności pionowych i poziomych pośrednio charakteryzujących destrukcję 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 poprzecznej odporności.

Wartości syntetycznych wskaźników stanu toru „J” obliczono na podstawie znajomości odchyłeń standardowych poszczególnych parametrów toru zgodnie ze wzorem:

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

gdzie:

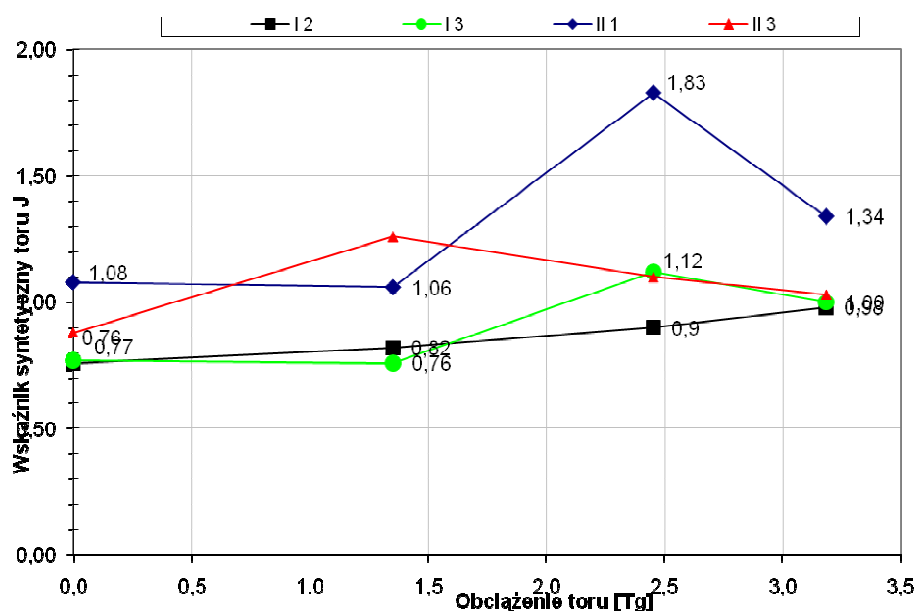
S_z - odchylenie standardowe nierówności pionowych,

S_y - odchylenie standardowe nierówności poziomych,

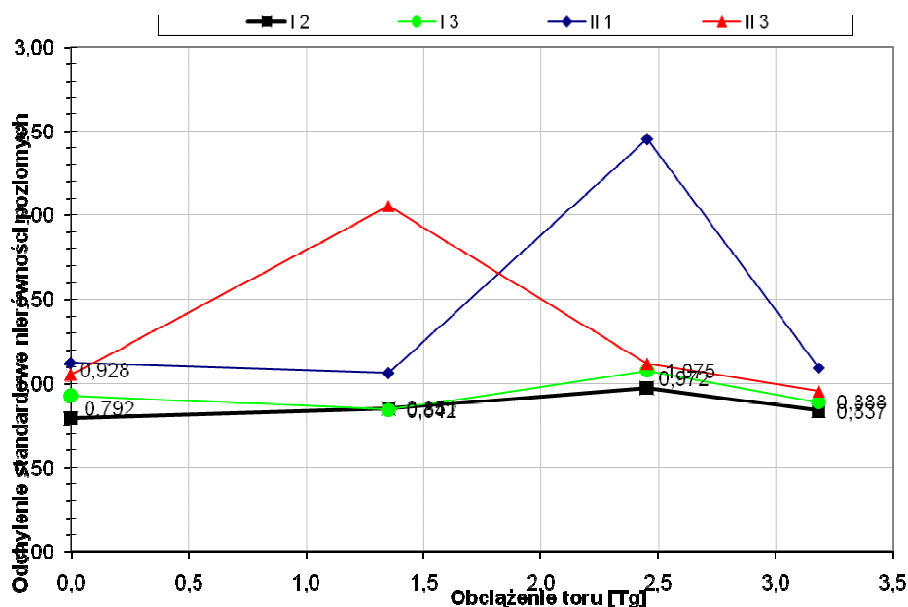
S_w - odchylenie standardowe wichrowatości toru,

S_e - odchylenie standardowe szerokości toru.

Na rys.5.1 zestawiono wartości wskaźników, a na rys. 5.2 wartości odchyłeń standardowych nierówności poziomych obliczone dla odcinków I2, I3 (ze stabilizacją chemiczną), II1 i II3 (bez stabilizacji).



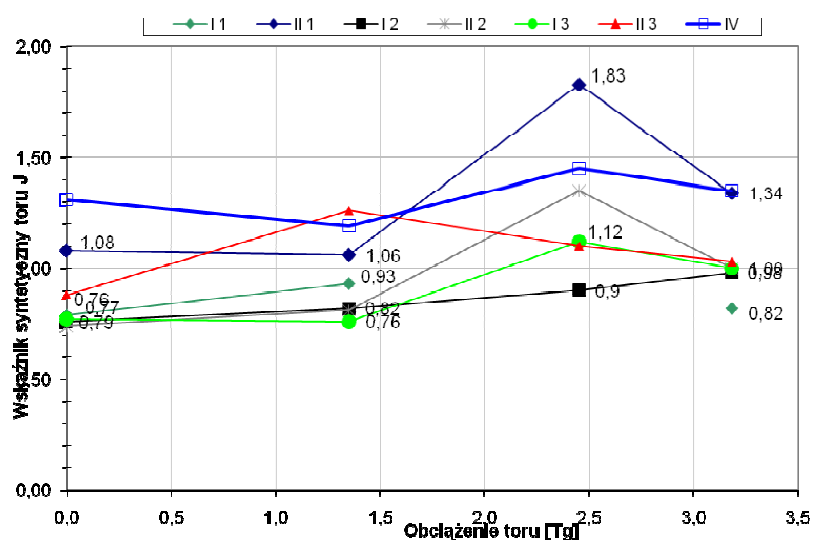
Rys. 5.1. Wartości wskaźników syntetycznych dla odcinków I2 i I3 (podsypka stabilizowana) oraz dla odcinków II1 i II3 (bez stabilizacji)



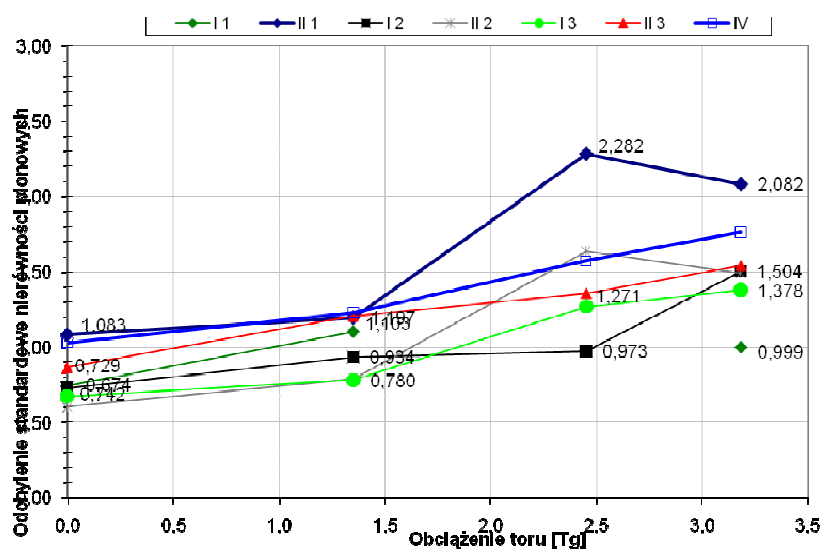
Rys. 5.2. Wartości odchyłeń standardowych nierówności poziomych dla odcinków ze stabilizacją oraz bez stabilizacji

Stabilizacja chemiczna wierzchniej warstwy tłucznia zmniejsza wartość wskaźnika syntetycznej oceny stanu toru w stosunku do odcinków bez stabilizacji o 13%, odchylenia standardowe odkształceń pionowych toru o 39% i poziomych o 46%. Podkreślenia wymaga fakt, iż odporność toru z podsypką stabilizowaną na odkształcenia poziome jest znacznie większa aniżeli toru z podsypką niestabilizowaną.

Na rys. 5.3 pokazano wskaźniki syntetyczne stanu toru dla wszystkich odcinków z nawierzchnią kompozytową (I1,I2,I3,II1,II2,II3} w zestawieniu z odcinkiem porównawczym (IV) z nawierzchnią konwencjonalną, a na rys. 5.4 odchylenia standardowe nierówności pionowych.



Rys. 5.3. Wskaźniki syntetyczne stanu toru na odcinkach z nawierzchnią kompozytową w zestawieniu z odcinkiem porównawczym (IV)



Rys. 5.4. Odchylenia standardowe nierówności pionowych dla odcinków z nawierzchnią kompozytową w zestawieniu z odcinkiem porównawczym (IV)

Zastosowanie nawierzchni z kompozytem tłuczniowym typu BGT zmniejsza wartość wskaźnika syntetycznego stanu toru w stosunku do nawierzchni konwencjonalnej o 30%, a odchyłeń standardowych nierówności pionowych o 10%.

Wartości wskaźników syntetycznych stanu toru oraz odchyłeń standardowych nierówności pionowych i poziomych obliczonych dla odcinków z różnym rodzajem zbrojenia tłucznia nie upoważniają na obecnym etapie badań do ostatecznego wyboru rodzaju zbrojenia. Badane wskaźniki są lepsze dla zbrojenia geosiatkami Fornit 40×40/Fornit 40/40 i Tx160/SSLA30 od podsypki niezbrojonej o 15-17%, a dla geowłókniny Comtrac 50×50 z geosiatką Fortrac 80×80 o 30%

6. PODSUMOWANIE

Istnieje możliwość zwiększenia odporności klasycznej nawierzchni kolejowej tłuczniowej na powstawanie nierównomiernych, trwałych odkształceń toru poprzez zastosowanie zaproponowanego kompozytu tłuczniowego typu BGT. Zastosowanie nawierzchni z kompozytem tłuczniowym powoduje zmniejszenie syntetycznego wskaźnika stanu toru w stosunku do toru konwencjonalnego.

Wniosek ten również potwierdzają wyniki oceny odkształceń pionowych i poziomych. Stabilizacja chemiczna wierzchniej warstwy tłucznia zwiększa odporność nawierzchni na odkształcenia poziome i pionowe toru.

W toku badań stwierdzono niewielkie różnice w ocenie odcinków z podsypką zbrojoną różnymi rodzajami geosiatek. Na obecnym etapie badań wybór rodzaju zbrojenia (rodzaju geosiatek) nie jest możliwy.

Wskazaniem jest kontynuowanie badań stanu toru na istniejących zbudowanych odcinkach w miarę narastania obciążenia toru ruchem, aż do momentu kiedy zaistnieje konieczność poprawienia położenia toru w celu utrzymania prędkości stosowanej na CMK. W przyszłości należałoby nawierzchnię z kompozytem tłuczniowym zabudować na kolejnym odcinku doświadczalnym w technologii polegającej na zagęszczaniu warstw tłucznia zbrojonego geosiatkami samobieźnymi walcami gładkimi.

Bibliografia

1. Basiewicz T.: - Nawierzchnia kolejowa na podłożu betonowym CBP-74. Konferencja Naukowa Instytutu Budownictwa Lądowego. Politechnika Gdańska - maj 1975..
2. Basiewicz T., Gołaszewski A., Towpik K.: Ocena celowości zastosowania nawierzchni niekonwencjonalnej na liniach dużych prędkości w warunkach polskich kolei. Politechnika Warszawska. Zakład Infrastruktury Transportu. Praca Statutowa - Warszawa 2006r.
3. Bałuch H. - Diagnostyka nawierzchni kolejowej. WKiŁ, Warszawa 1978.
4. Bałuch M. - Interpretacja pomiarów i obserwacji nawierzchni kolejowej. Monografia. Wydawnictwa. Politechniki Radomskiej, Radom 2006.
5. Czyżuła W., Stawowiak J., Szczepaniak-Krupowski : Badania porównawcze nawierzchni kolejowej na odcinkach testowych linii CMK. Technika Transportu Szynowego 7÷8, 2009 r.
6. Esveld C.: Law maintenance ballastless track structures. Rail Engineering International Edition, nr 3, 1997.
7. Geosiatka Tensar – Aprobata Techniczna CNTK AT/09-2006-0024-02. Warszawa 2006 r.

8. Gisterek I., Krużyński M.: Nawierzchnia kolejowa ze wzmocnioną podsypką. Materiały Konferencji „Nowoczesne metody stabilizacji podłoża pod nawierzchnie drogowe i kolejowe”. Żmigród 2009.
9. Id-3 (D4) Instrukcja o utrzymaniu podtorza kolejowego. Warszawa 1996 r.
10. Matylla St. : Technologia zmechanizowanych robót kolejowych. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, 1981 r.
11. Norma BN-64/8931-02 Drogi samochodowe, oznaczenie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.
12. Prace Komitetu D 71 ORE: Beanspruchung des Gleises, der Bettung und des Unterbaus durch Verkehrslasten. Beanspruchung der Bettung und des Unterbaus, Utrecht 1969-72.
13. Prace Komitetu ORE D 117 Optimum adaptation of the conventional track to the future traffic. Synthesis report. Utrecht 1983.
14. Prace Komitetu D 182 ERRI : Ujednolicone kryteria jakości podsypki oraz metody oceny jej stanu w torze. Utrecht 1989-1994 r.
15. Skrzyński E.: Nowe wymagania dla podsypki kolejowej. Problemy Kolejnictwa z. 145. Warszawa 2007 r.
16. Skrzyński E., Sikora R.: Kolejowe budowle ziemne. WKK Warszawa 1990 r.
17. Skrzyński E.: Diagnostyka podtorza. Problemy Kolejnictwa, zeszyt Nr 115. Warszawa 1987 r.
18. Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji linii CMK do prędkości 200/250 km/h (część drogowa). Temat nr 6911/23, CNTK. Warszawa 1997.
20. Towpik K.: Infrastruktura drogi kolejowej. Obciążenie i trwałość nawierzchni. Monografia. Biblioteka Problemów Eksploatacji. Warszawa-Radom 2006r.
21. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3, PKP-PLK. Warszawa 2004.
22. Warunki techniczne dla podsypki w aspekcie wdrożenia normy europejskiej PN-EN13450:2004. Kruszywa na podsypkę kolejową. Praca CNTK nr 4204/11. Warszawa 2006 r.
23. Właściwości materiałowe i eksploatacyjne dwukierunkowych geosiatek Tensar. Poradnik dotyczący najistotniejszych właściwości materiałowych i eksploatacyjnych dwukierunkowych geosiatek Tensar znajdujących zastosowanie w budowie nawierzchni drogowych. Tensar International, 2003 wyd. I.
24. MC - Ballastbond 70. Żywica poliuretanowa do wiązania kruszywa oraz podsypki kolejowej.

RAILWAY SUPERSTRUCTURE WITH REINFORCED BALLAST

Abstract: The need of reducing superstructure maintenance costs stimulates seeking solutions which extend the time period between subsequent track repairs. The new superstructure with ballast layer reinforced by the geo-grid and stabilized by the resin have been observed and the results of this investigation are presented in the paper. The new superstructure laying technology applied on the Central Main Line in Poland is discussed. The results of the track geometry assessment within the first period of track operation are presented.

Keywords: railway superstructure, laying technology, track assessment