

Włodzimierz Czyczyła, Maciej Jamka, Sergiusz Lisowski

Badania parametrów stanu nawierzchni kolejowej z podkładami stalowymi typu Y na odcinku testowym w Krakowie Swoszowicach

W artykule przedstawiano wszechstronne badania parametrów nawierzchni kolejowej z podkładami stalowymi typu Y na odcinku testowym w warunkach eksploatacyjnych PKP. Omówiono poszczególne badania oraz dokonano analizy otrzymanych wyników. W podsumowaniu całości pracy dokonano oceny stanu nawierzchni po rocznej eksploatacji oraz przedstawiono cechy tego typu nawierzchni wraz z oceną możliwości szerszego zastosowania na sieci PKP.

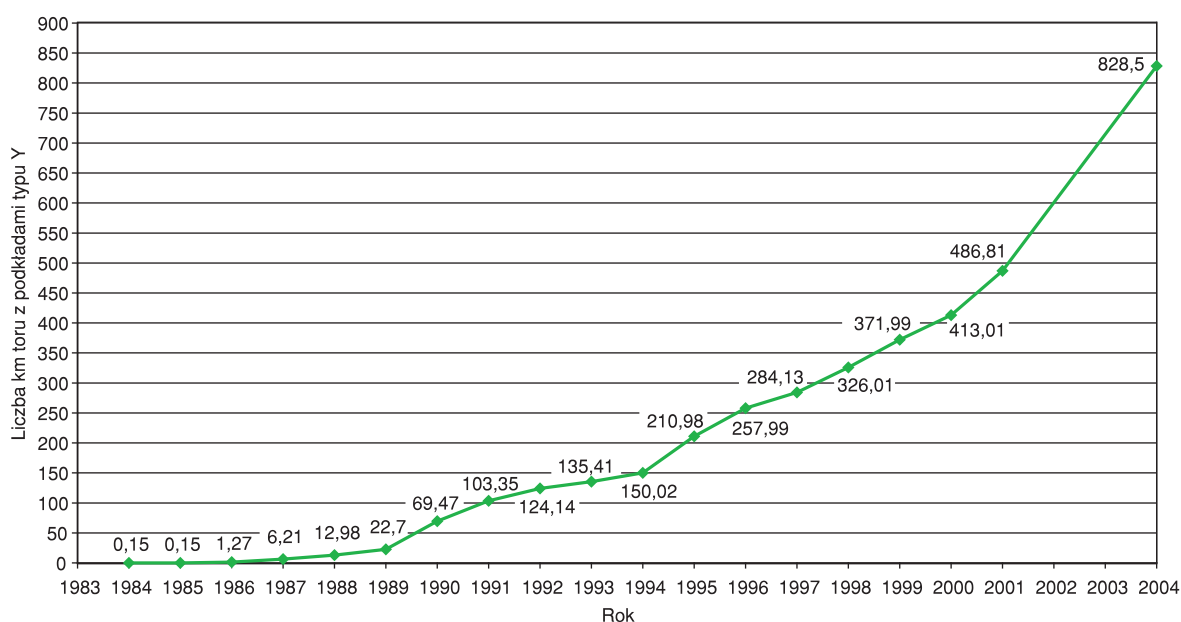
Podkłady stalowe traktowane są w Polsce jako przestarzałe. Rozporządzenie [5], w odniesieniu do nawierzchni kolejowej, pozwała na stosowanie jedynie podkładów drewnianych i betonowych. Z danych PKP wynika, że w 1999 r. na ogólną liczbę 70 982 podkładów leżących w torach było 34 436 podkładów drewnianych, 34 639 strunobetonowych, a 1907 – pozostałych typów, w tym stalowych [6]. Należy zatem stwierdzić, że obecnie na sieci kolejowej w Polsce podkłady stalowe stanowią co najwyżej 2,5% ogólnej liczby podkładów. Podkłady stalowe klinowe (znane również łupinowymi, niem. *Trogschwelle*) eksploatowano na obu kolejach linowo-terenowych, tzn. na Gubałówkę w Zakopanem i na Górę Parkową w Krynicy od 1938 r. (w 2001 r. wykonano naprawę

główną drogi szynowej na Gubałówkę i wprowadzono podkłady typu Y).

Podkłady stalowe były stosowane powszechnie w innych krajach europejskich. W 1958 r. ten typ podkładów był dominujący na sieci kolei szwajcarskiej (68,9%) i miał znaczący udział na sieci kolei niemieckiej (40,2%) [7]. Jeszcze w 1989 r. na sieci kolei DB-AG podkłady stalowe stanowiły 18,1%.

Powszechne stosowanie podkładów strunobetonowych na podstawowych europejskich ciągach kolejowych, w tym liniach dużych prędkości, znacznie zmniejszyło zainteresowanie podkładami stalowymi, które postanowiono stopniowo eliminować. Tę tendencję powstrzymała firma Stahlwerke Peine-Salzgitter AG. W 1983 r. opracowano konstrukcję podkładu stalowego typu Y, a w 1984 r. ułożono pierwszy, 150-metrowy odcinek toru z tymi podkładami. Od tego okresu liczba kilometrów toru z podkładami stalowymi typu Y ciągle się zwiększa (rys. 1).

- Liczba ta rozkłada się na następujące sieci dróg szynowych:
- kolej DB AG – 452 km,
 - inne koleje niemieckie, w tym koleje wąskotorowe w górach Hartz – 285 km,
 - pozostałe kraje – 89,5 km, w Polsce – 2,93 km (kolej linowo-terenowa na Gubałówkę oraz odcinek w Krakowie-Swoszowicach).



Rys.1. Zwiększenie liczby kilometrów toru z podkładami typu Y (dotyczy następujących krajów: Niemcy, Szwajcaria, Hiszpania, Rosja, Gruzja, Czechy, Węgry i Polska – na podstawie [4])

Podstawową charakterystykę podkładów stalowych typu Y przedstawiono w pracach [3, 4]. W pracy [2] pokazano, że konstrukcja nawierzchni z podkładami stalowymi typu Y pozwala na zastosowanie toru bezстыkowego w łukach o małych promieniach (poniżej 300 m), a także na dużych pochyleniach niwelety (rzędu kilkudziesięciu, a – w specyficznych warunkach – nawet kilkuset promil). Możliwe jest to dzięki dużym oporom ruchu podkładów w podsypce oraz bardzo dużej sztywności ramowej przy zginaniu toru w płaszczyźnie poziomej.

Charakterystyka eksploatacyjna odcinka testowego

Charakterystykę eksploatacyjną odcinka testowego w Krakowie Swoszowicach można opisać następująco (rys. 2):

- linia Kraków Płaszów – Oświęcim, szlak Swoszowice – Skawiana, tor nr 2, km 7.900 – 8.500;
- geometria – pochylenie niwelety 7,7–9,0‰, w płaszczyźnie poziomej: odcinki proste, łuki kołowe o promieniach 304 i 498 m wraz z krzywymi przejściowymi długości 30, 50 i 60 m;
- parametry eksploatacyjne – ruch mieszany (w tym pociągi ekspresowe do Zakopanego), obciążenie brutto 11,5 Tg/rok, maksymalna prędkość na szlaku – 80 km/h;
- podkłady stalowe typu Y z przytwierdzeniami typu S15 na podsypce tłuczniowej, szyny S49.

Zakres prowadzonych badań i oględzin

Na odcinku testowym przeprowadzono następujące badania:

- 1) geotechniczne podtorza, obejmujące podstawowe parametry, takie jak: stopień plastyczności, wilgotność, krzywe uziarnienia i parametry wytrzymałościowe, w tym moduł odkształcenia wtórnego; badania te przeprowadzono przed wymianą nawierzchni;
- 2) hałasu, emitowanego w otoczeniu drogi szynowej; badania te przeprowadzono dwukrotnie: przed i po wymianie nawierzchni podczas przejazdu pociągu testowego, a także innych pociągów;

3) parametrów geometrycznych toru, tzn. położenia w płaszczyźnie poziomej i pionowej, szerokości toru, zużycia szyn i przemieszczeń wzdłużnych; podstawowe badania przeprowadzono w cyklu miesięcznym, przy współpracy z IR Kraków; wykonano także pełniejsze badania, obejmujące między innymi pomiary bezwzględnego położenia toru z wykorzystaniem techniki GPS (*Global Positioning System*);

4) oporności elektrycznej nawierzchni z punktu widzenia prawidłowości pracy urządzeń srk oraz wpływu prądów błądzących na otoczenie drogi kolejowej; badania te przeprowadzono dwukrotnie, podczas eksploatacji odcinka testowego.

Oprócz wymienionych badań, dokonywano okresowych oględzin stanu szyn, przytwierdzeń oraz podkładów, a także przeprowadzono ocenę stanu złączy izolowanych.

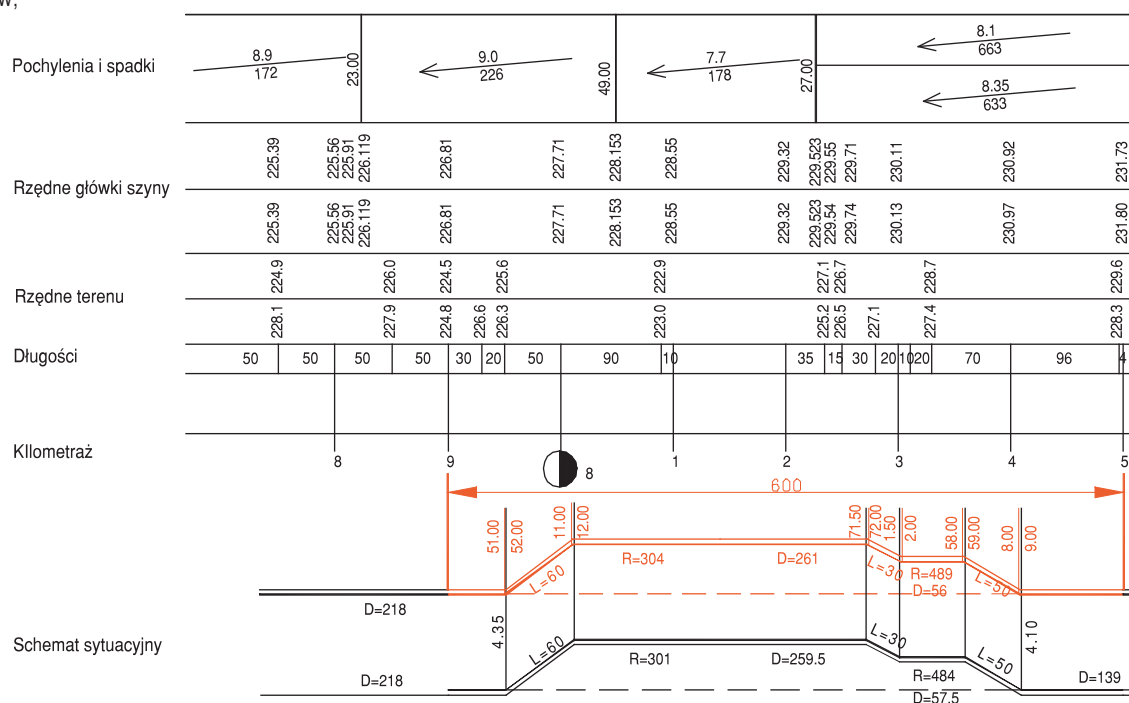
Analiza wyników badań

Badania geotechniczne podtorza

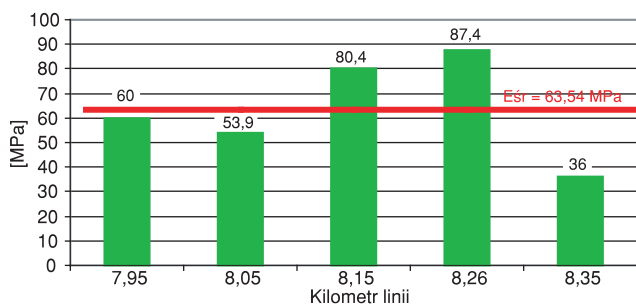
Na odcinku testowym nawierzchnia ułożona jest na nasypie o zmiennej wysokości, nie przekraczającej 3 m. Nasyp zbudowany jest zarówno z gruntów spoistych, jak i niespoistych. Są to gliny piaszczyste, piaski gliniaste i piaski średnie, z przewarstwieniami i domieszkami piasków drobnych i pylastych. Grunty spoiste są w stanie od plastycznego do twaroplastycznego, grunty niespoiste w stanie średnio zagęszczonym.

Wybrane krzywe uziarnienia oraz pomierzone moduły odkształcenia wtórnego przedstawiono na rysunku 3.

Z przeprowadzonych badań wynika, że średni moduł odkształcenia wtórnego podtorza wynosi 63,5 MPa, co – w powiązaniu z pozostałymi parametrami podtorza – wskazuje, że stan podtorza można określić jako dobry. Należy zauważyć, że o ile wartość średnia modułu odkształcenia podtorza odpowiada przy zadanym obciążeniu linii polskim wymaganiom normatywnym, o tyle wartość minimalna (36 MPa) jest za niska. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że – zgodnie z wytycznymi niemieckimi – podkłady stalowe typu Y można układać na podtorzu o minimalnym mo-



Rys. 2. Schemat odcinka testowego



Rys. 3. Moduły odkształcenia wtórnego podtorza oraz wybrane krzywe uziarnienia

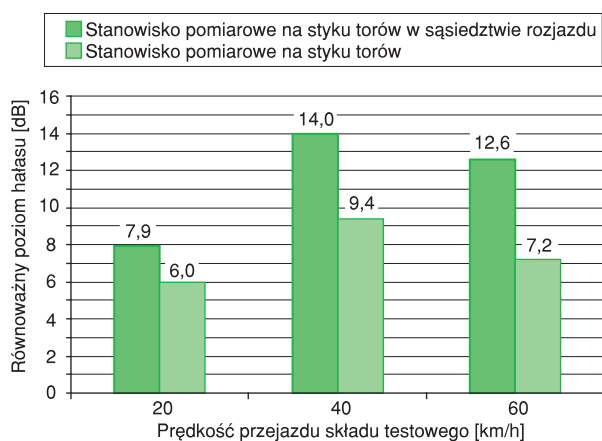
dule 30 MPa. Dlatego też zdecydowano o ułożeniu nawierzchni na istniejącym podtorzu, tym bardziej, że pomiary modułu odkształcenia przeprowadzono na głębokości 0,7–1 m od spodu podkładu, a w trakcie wierceń nie stwierdzono występowania wody gruntowej aż do głębokości 1,5 m (licząc od spodu podkładu).

Badania hałasu

Pomiary hałasu przeprowadzono dwukrotnie: przed i bezpośrednio po wymianie nawierzchni na odcinku testowym z podkładami stalowymi typu Y. Badania przeprowadzono na dwóch stanowiskach, w rejonie styku szynowego:

- 1) przed rozjazdem przy końcu odcinka;
- 2) na odcinku prostym o przeciętnym stanie utrzymania (przed wymianą nawierzchni).

Mierniki hałasu usytuowano w odległości 7,5 m od osi toru, na wysokości 1 m ponad główką szyny. Pomiary wykonano przy przejeździe pociągu testowego, składającego się z lokomotywy SM-42 i trzech wagonów. Łączna masa brutto pociągu wynosiła 170 t. Pociąg testowy przejeżdżał z prędkościami 20, 40 i 60 km/h. Pomiary hałasu wykonano także podczas przejazdu innych pociągów (towarowych i osobowych), z prędkościami do 68 km/h. Charakterystyczne wyniki pomiarów pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Poziomu hałasu po zbudowaniu nawierzchni z podkładami stalowymi typu Y

Z przeprowadzonych badań wynika, że wprowadzenie toru bezстыkowego i podkładów stalowych typu Y, w stosunku do toru klasycznego na podkładach drewnianych, znajdującego się w złym stanie technicznym, w bardzo istotny sposób obniża poziom hałasu generowanego w otoczeniu drogi szynowej. Zmniejszenie

hałasu aż o 6–14 dB pozwala przypuszczać, że to nie tylko efekt naprawy toru i wymiany szyn na bezстыkowe, tym bardziej, że w pobliżu znajduje się styk izolowany. Intuicyjnie wyrażana obawa, że sztywne podkłady stalowe będą powodować wzmożony hałas w stosunku do podkładów drewnianych, nie znalazła potwierdzenia w przeprowadzonych badaniach. Bezspornym natomiast jest fakt, że wszędzie tam, gdzie małe promienie łuków kołowych nie pozwalają na zastosowanie toru bezстыkowego, wprowadzenie tego typu konstrukcji w istotnym stopniu ogranicza negatywne skutki ruchu pociągów w zakresie klimatu akustycznego.

Badania parametrów geometrycznych toru

Badania parametrów geometrycznych toru przeprowadzono przy użyciu toromierzy elektronicznych (jeden z nich został wyposażony w system pomiaru bezwzględnego położenia toru w układzie globalnym, tzn. systemu GPS), niwelacji precyzyjnej oraz przyrządu do pomiaru zużycia bocznego szyn. Toromierz elektroniczny pozwolił na wyznaczenie podstawowych parametrów położenia toru w płaszczyźnie pionowej i poziomej. W ten sposób wyznaczono wskaźnik jakości J oraz estymatory odchyłek geometrycznych toru. Przeprowadzona niwelacja obu toków szynowych (co 5 i 10 m) pozwoliła na uzyskanie dodatkowych informacji, w tym potrzebnych do weryfikacji badań, przeprowadzonych toromierzem. Ponadto przeprowadzono pomiary przemieszczeń wzdłużnych szyn względem punktów stałych, rozmieszczonych co około 180 m.

Wybrane wyniki pomiarów geometrycznych toru przedstawiono na rysunkach 5–7 oraz zestawiono w tablicach 1, 2, 3.

Tablica 1

Zestawienie parametrów toru z 24.01.2003 r. (na podstawie pomiarów geodezyjnych) – pomiary wykonano z krokiem co 10 m

Paramter	Wartość projektowana	Wartość maksymalna	Średnia	Odchylenie standardowe
Wichrowatość	0,0	0,8‰	-	±0,3
Strzałki pionowe	0,0	10,5 mm	-	±3,6
Przechyłki na odcinkach prostych	0,0	10 mm	3,0 mm	±3,6
Przechyłki na krzywych przejściowych	Zmiana liniowa	—	7,3 mm	±2,8
Przechyłki na łuku I	110 mm	119 mm	113,5 mm	±3,4
Przechyłki na łuku II	80 mm	89 mm	87,3 mm	±1,0

Tablica 2

Zestawienie parametrów toru z 05.09.2003 r. (na podstawie pomiarów geodezyjnych) – pomiary wykonano z krokiem co 5 m

Paramter	Wartość projektowana	Wartość maksymalna	Średnia	Odchylenie standardowe
Wichrowatość	0,0	1,7‰	-	±0,9
Strzałki pionowe	0,0	6 mm	-	±2,1
Przechyłki na odcinkach prostych	0,0	14 mm	4,0 mm	±5,5
Przechyłki na krzywych przejściowych	Zmiana liniowa	-	8,0 mm	±3,8
Przechyłki na łuku I	110 mm	118 mm	112,7 mm	±3,7
Przechyłki na łuku II	80 mm	93 mm	91,4 mm	±1,2

Tablica 3

Zużycie boczne szyny lewej, pomiar z 5.09.2003 r. na łukach i krzywych przejściowych, co 20 m

Kilometraż	Zużycie [mm]	Kilometraż	Zużycie [mm]
7.952 PKP	0,0	8.220	3,0
7.960	0,0	8.240	2,0
7.980	0,0	8.260	2,0
8.000	1,5	8.275 KKP	
8.012 KKP		8.280	1,0
8.020	3,0	8.300	0,0
8.040	3,0	8.305 PKP	
8.060	2,0	8.320	1,0
8.080	2,0	8.340	0,0
8.100	3,0	8.360	0,0
8.120	3,0	8.367 KKP	
8.140	2,0	8.380	1,0
8.160	2,0	8.400	0,0
8.180	2,0	8.417 PKP	0,0
8.200	2,0		

Średnie zużycie na łukach i krzywych przejściowych: 2,4 mm.
Odchylenie standardowe: ±0,5.

Warto zwrócić uwagę na stosunkowo duże (bo średnio około 2,4-milimetrowe) zużycie boczne szyny w łuku o promieniu 304 m. Ta wartość zużycia wynika z dwóch faktów: szyny są „surowe” (nie utwardzone), a ponadto na tym odcinku kursuje wiele

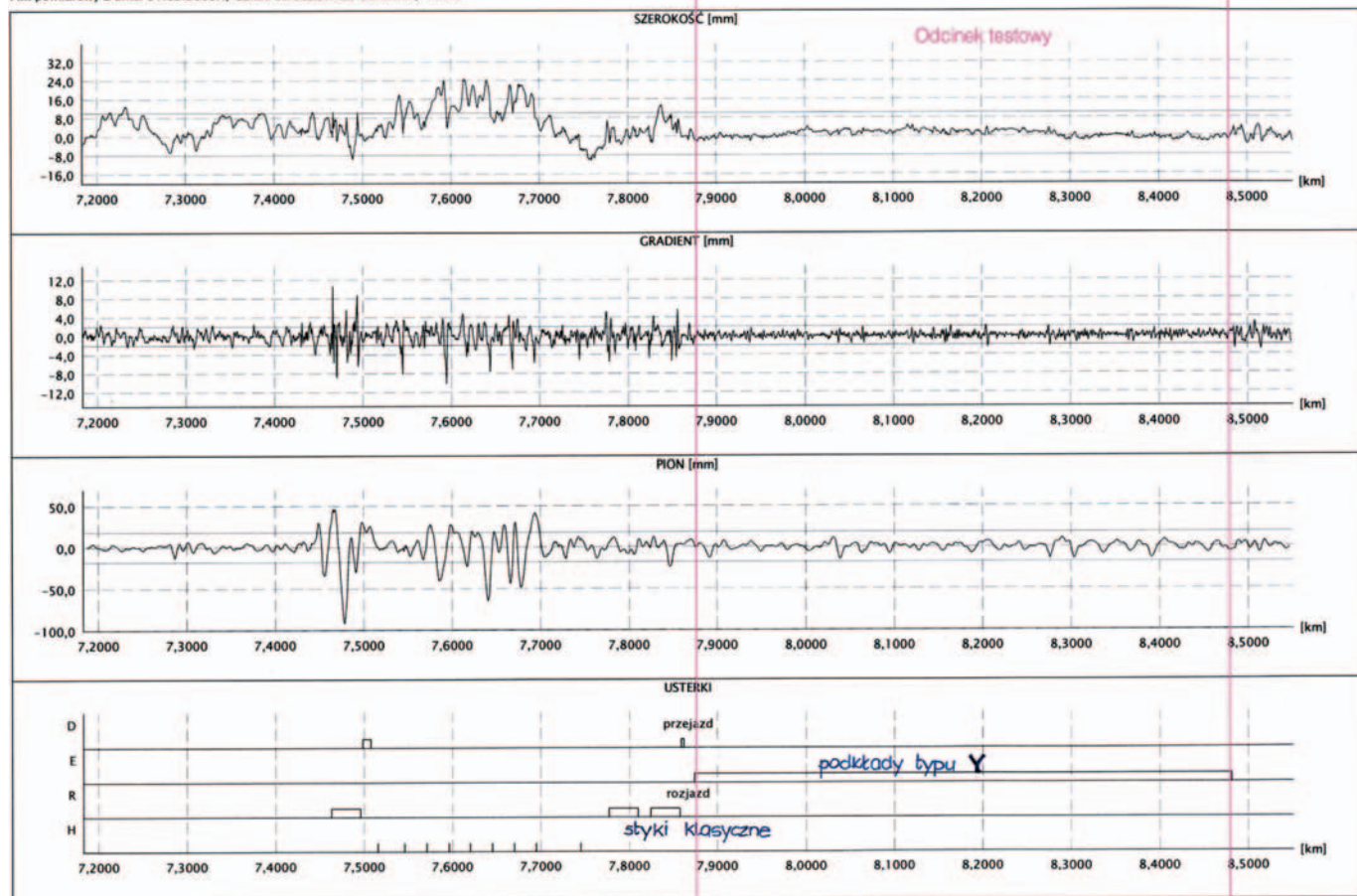
zespołów trakcyjnych serii EN57, które bardzo szybko „ścinają” szyny. Istotny natomiast jest fakt, że zużycie jest równomierne (odchylenie standardowe około 0,5 mm), co świadczy o stabilności położenia toru w płaszczyźnie poziomej. To właśnie zużycie boczne szyny zewnętrznej łuku o promieniu 304 m wpłynęło na odczytywaną za pomocą toromierza zmianę szerokości toru, obniżając wskaźnik jakości J (rys.7). Na pozostałych odcinkach zmiana szerokości praktycznie nie występuje lub mieści się w granicach błędu pomiaru.

Maksymalne wartości odchyłek w trakcie eksploatacji nie przekroczyły wartości dopuszczalnych. Zaznacza się wyraźna różnica stanu toru na odcinku testowym w stosunku do stref przyległych (por. rys. 5–6, gdzie pokazano wyniki pomiarów z marca i września 2003 r.)

Przeprowadzone badania przemieszczeń wzdłużnych wykazały, że zmieniały się one w granicach ±3 mm. Wynika stąd, że towarzyszące temu naprężenia w szynach nie przekraczały poziomu 4 MPa (termiczny ekwiwalent około 1,5°C).

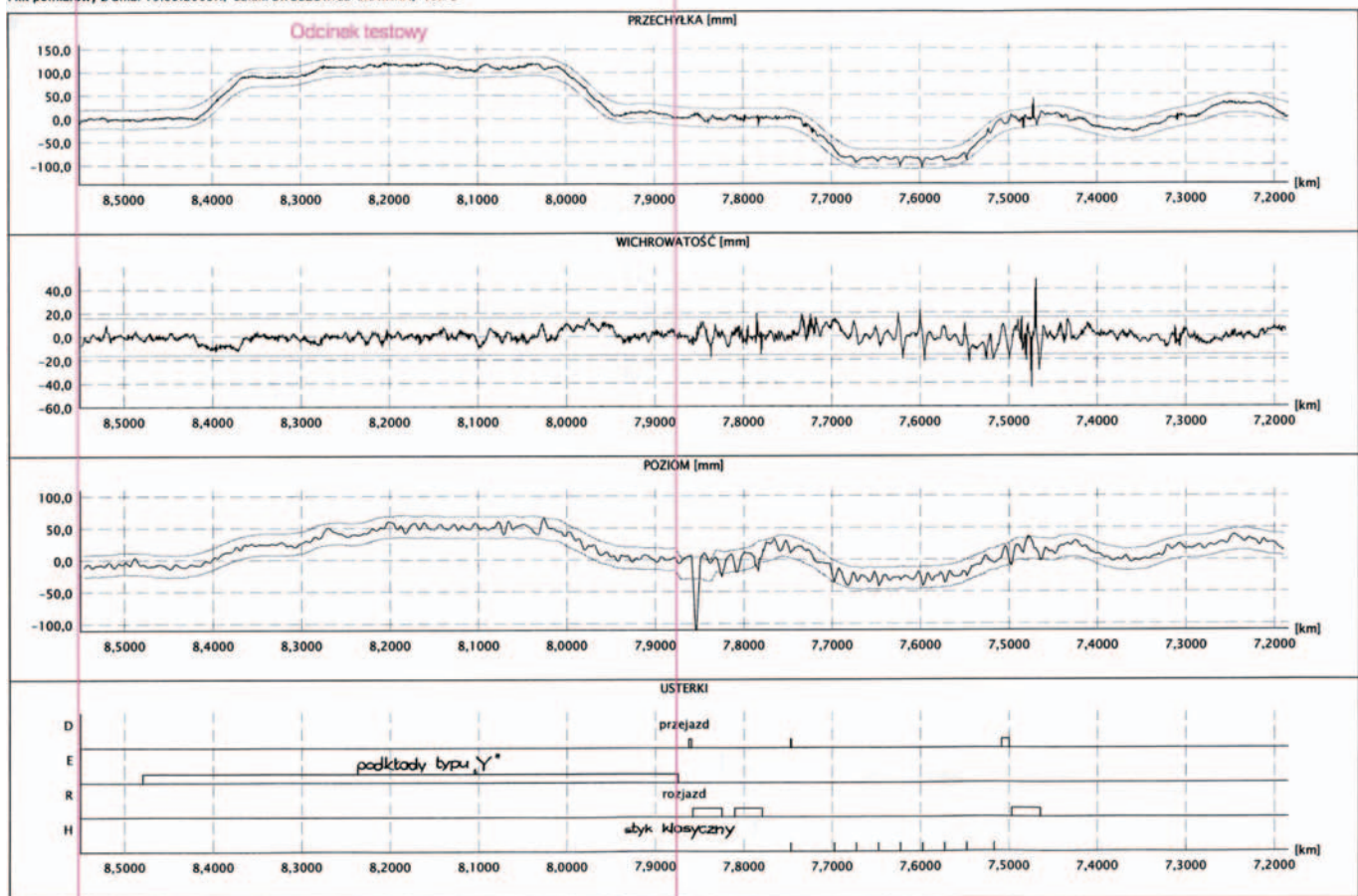
Najbardziej charakterystyczne dane zawierają tablice 1 i 2 oraz rysunek 7. Te dane wskazują, że – niezależnie od chwilowych zaburzeń w jakości położenia toru (rys. 5 i 6) – w okresie od stycznia do grudnia 2003 r., a więc po przeniesieniu ponad 13 Tg, położenie toru nie uległo istotnej zmianie. O ile wystąpiły błędy podczas układania toru, to – statystycznie rzecz biorąc – błędy te pozostały na tym samym poziomie. Zmiana syntetycznego wskaźnika jakości następuje bardzo powoli i jeśli to tempo zostanie zachowane, to wartość graniczna parametru $J = 7$ zostanie osiągnięta po 28 latach dalszej eksploatacji

Plik pomiarowy z dnia: 31.03.2003r., Szlak: SWOSZOWICE-SKAWINA, Tor: 2



Rys. 5. Wykres pomiarowy z toromierza – marzec 2003 r.

Plik pomiarowy z dnia: 15.09.2003r., Szlak: SWOSZOWICE-SKAWINA, Tor: 2



Rys. 6. Wykres pomiarowy z toromierza – wrzesień 2003 r.

Podsumowując wyniki badań położenia geometrycznego odcinka testowego z podkładami typu Y należy stwierdzić, że badania potwierdziły doświadczenia niemieckie, wskazując na wysoką stabilność położenia toru w trakcie eksploatacji.

Oględziny stanu powierzchni szyn, złączy i podkładów

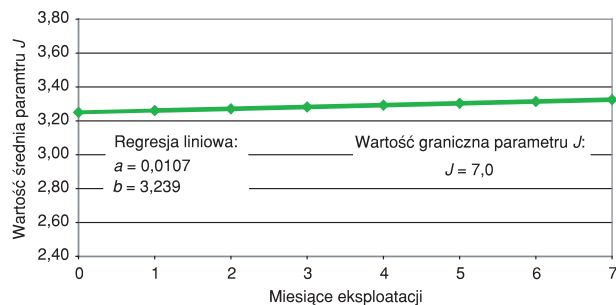
Widok wybranych elementów nawierzchni testowej pokazano na fotografiach 1–3, które wykonano w grudniu 2003 r. Fotografia 1 przedstawia szynę zewnętrzną w łuku o promieniu 304 m z widocznym śladem zużycia bocznego, a fotografie 2 i 3 przedstawiają widok wybranego przytwierdzenia podkładu.

Dokonane oględziny stanu szyn, podkładów i przytwierdzeń pozwoliły stwierdzić, że po 12 miesiącach eksploatacji nie wystąpiły żadne nieprawidłowości w pracy nawierzchni. Dotyczy to w szczególności przytwierdzeń. Badania przemieszczeń względem punktów stałych potwierdzają prawidłowość pracy konstrukcji i wskazują na bardzo wysoką stabilność położenia toru w kierunku wzdłużnym.

Ocena wpływu podkładów stalowych na pracę urządzeń srk

I powstawanie tzw. prądów błędzących

Przeprowadzając wiele rozmów z pracownikami PKP PLK S.A. Oddziału Regionalnego i Zakładu Infrastruktury w Krakowie stwierdzono, że eksploatacja odcinka testowego z podkładami stalowymi typu Y nie powoduje żadnych nieprawidłowości w pracy urządzeń srk. W celu potwierdzenia tej tezy, a także oceny szkodliwości tzw. prądów błędzących, przeprowadzono pomiary opor-



Rys. 7. Rozkład średnich wartości parametru J z toromierza elektronicznego w okresie 31.03 – 15.12. 2003 r.



Fot. 1. Widok szyny zewnętrznej na łuku o promieniu 304 m po 12-miesięcznej eksploatacji



Fot. 2. Widok wybranego przytwierdzenia typu S15



Fot. 3. Widok wybranego podkładu stalowego typu Y po 12 miesiącach eksploatacji

ności elektrycznej podłoża szynowego. Na podstawie badań wykonanych w Niemczech stwierdzono, że zastosowanie nawierzchni na podkładach stalowych, z przytwierdzeniami typu S15 i S14 oporność wynosi minimum $23,4 \Omega\text{km}$, przy dopuszczalnej wartości $2,5 \Omega\text{km}$. Wnioski te jakościowo i ilościowo potwierdzają badania przeprowadzone dwukrotnie na odcinku testowym (uzyskano średnią wartość $6,577 \Omega\text{km}$, wobec dopuszczalnej wartości $2,0 \Omega\text{km}$).

Podsumowanie

Wszeczhronne badania przeprowadzone na odcinku testowym z podkładami typu Y w Krakowie Swoszowicach pokazały, że zastosowanie tego typu podkładów w warunkach eksploatacyjnych PKP spełnia wszelkie wymagania stawiane nowoczesnej nawierzchni kolejowej. Podkłady te, ułożone na łukach o promieniach rzędu 300 m, umożliwiają ułożenie toru bezстыkowego,

wykazując bardzo wysoką stabilność położenia geometrycznego w płaszczyźnie pionowej, poziomej oraz w kierunku wzdłużnym. Zastosowanie tych podkładów nie powoduje żadnych zakłóceń w pracy urządzeń srk – nie ma też obawy o szkodliwe działanie tzw. prądów błędzących, gdyż oporność elektryczna podłoża szynowego jest wystarczająca. Nie potwierdziła się intuicyjnie wyrażana obawa, że sztywne podkłady stalowe będą powodować powstawanie wzmożonego hałasu podczas przejazdu pociągu, przeciwnie – zastosowanie toru bezстыkowego na podkładach stalowych typu Y powoduje istotne obniżenie poziomu hałasu w stosunku do toru klasycznego na podkładach drewnianych (obniżenie poziomu hałasu o 6-14 dB).

Reasumując należy stwierdzić, że podkłady stalowe typu Y mogą być z powodzeniem stosowane na sieci PKP, dając trwałą, stabilną i niezawodną pracę konstrukcji nawierzchni kolejowej. □

Literatura

- [1] Czyczula W. i wsp.: *Badania eksploatacyjne testowej nawierzchni z podkładami stalowymi typu „Y” na linii Kraków Płaszów – Oświęcim*. Raport nr.2 projektu POLYS. Wydawnictwo Instytutu Inżynierii Drogowej i Kolejowej Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
- [2] Czyczula W.: *Tor bezстыkowy*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2002.
- [3] Führer G, et al.: *Y – Stahlschwellenoberbau*. Hestra Verlag, Darmstadt 1994.
- [4] Materiały firmy Thyssen Krupp.
- [5] Rozporządzenie MTiGM z 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe oraz ich usytuowanie. Dz.U. nr 151, poz. 987 z 1998 r.
- [6] Rocznik statystyczny PKP za 1999 r.
- [7] Führer G., Endmann K., Berg G.: *Y-Stahlschwellenoberbau*. Hestra-Verlag, Darmstadt 1994.

Artykuł w zmodyfikowanej wersji ukazał się w materiałach konferencji *Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie*, Krynica 2004 r.

Autorzy

prof. dr hab. inż. Włodzimierz Czyczula

mgr inż. Maciej Jamka

mgr inż. Sergiusz Lisowski

Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej
Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego

email: czyczula@pk.edu.pl