

Mirosław Jan Nowakowski<sup>1</sup>

## **NIEKONWENCJONALNA METODA WYMIANY PODSYPKI W METRZE W SÃO PAULO**

### **Streszczenie**

*Nieprzestrzeżenie podziemnego zarysu skrajni budowli przy projektowaniu i budowie linii kolejowej powoduje liczne niedogodności podczas późniejszej eksploatacji linii. Poważną konsekwencją są utrudnienia przy zmechanizowanym oczyszczaniu podsypki lub jej wymianie. Problem można częściowo rozwiązać stosując niekonwencjonalne metody wymiany podsypki. W referacie przedstawiono sposób zastosowany na linii metra 3 Vermelha w São Paulo w Brazylii.*

**Słowa kluczowe:** metro w São Paulo, podsypka, wymiana podsypki

### **1. Wstęp**

Skrajnia budowli poza występującą w wielu wariantach częścią nadziemną charakteryzuje się także zarysem położonym poniżej główki szyny. Fakt ten umyka uwadze niedoświadczonych projektantów, zwłaszcza że w literaturze eksponowana jest najczęściej część nadziemna [1, 7, 11]. To przeoczenie może okazać się bardzo brzemienne w skutki podczas późniejszej eksploatacji linii. Umieszczenie w obszarze zarysu skrajni położonego poniżej główki szyny jakichkolwiek urządzeń (studzienek, okablowania, drenażu itp.) może utrudnić lub wręcz uniemożliwić mechanizację prac związanych z oczyszczaniem lub wymianą podsypki.

Czasami umieszczenie urządzeń podziemnych w obszarze dolnego zarysu skrajni budowli jest świadomym wyborem, wynikającym z braku miejsca na ich inną lokalizację, na przykład z powodu trudnej

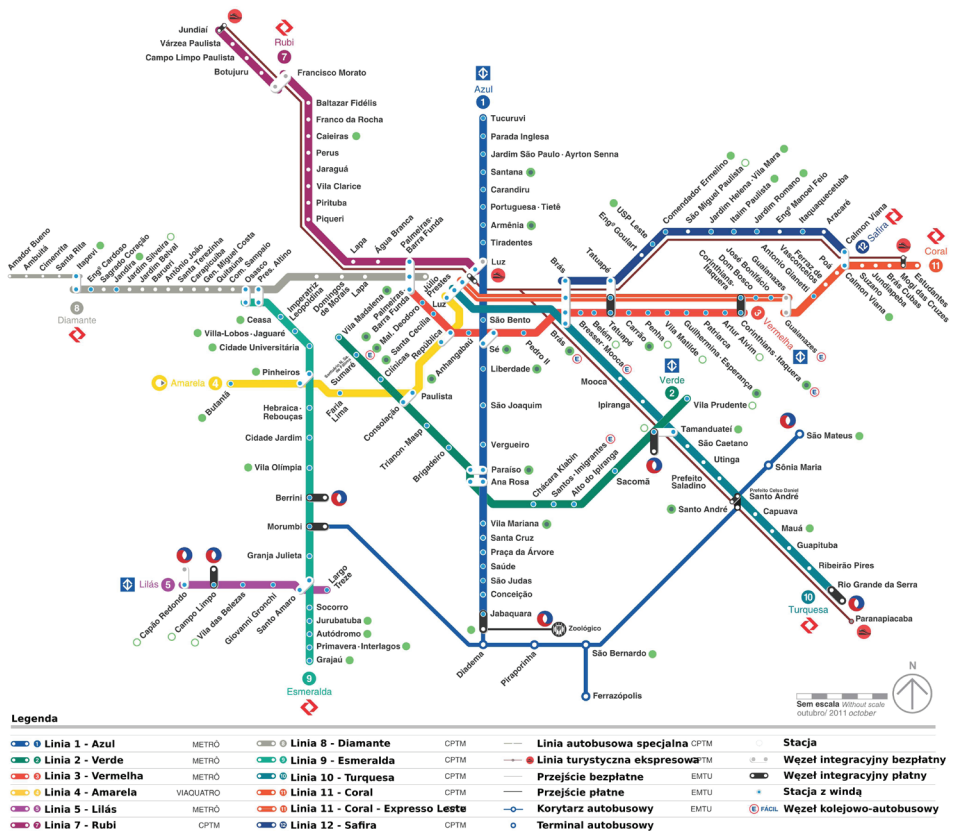
<sup>1</sup> dr inż., Politechnika Gdańska, Wydział inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego

sytuacji terenowej. Może to mieć miejsce przy budowie linii w terenie silnie zurbanizowanym.

Zdarza się także, że decyzje dotyczące szczegółów technicznych budowy linii kolejowej nie zapadają w pracowniach projektantów, lecz w gabinetach polityków. Zgodnie z prawem Murphy'ego, stopień zgodności tak podjętych decyzji ze sztuką inżynierską jest odwrotnie proporcjonalny do rangi polityka.

Równoczesne wystąpienie powyższych trzech czynników w jednym miejscu i czasie oznacza poważne kłopoty.

## 2. Charakterystyka linii metra 3 Vermelha w São Paulo



**Rys. 1. Schemat funkcjonującego transportu metropolitalnego w São Paulo [5]**

São Paulo to jedna z największych metropolii świata, licząca 22 mln mieszkańców, z czego w granicach tzw. Grande São Paulo mieszka ok. 11 mln osób [3, 4]. Niezmiernie ważną rolę w funkcjonowaniu transportu miejskiego odgrywają w niej dwa ściśle ze sobą współpracujące systemy szynowej komunikacji miejskiej: naziemnej szybkiej kolei miejskiej CPTM (port. *Companhia Paulista de Trens Metropolitanos*) oraz metra (port. *Metropolitano de São Paulo*, w skrócie *Metrô*). Ich schemat przedstawiono na rys. 1.

Spośród funkcjonujących pięciu linii metra najbardziej obciążona przewozami jest obecnie linia 3 Vermelha o długości 22 km (uwzględniając dojazd do stacji postojowej — 24,5 km). Przedstawiono to w tab. 1<sup>2</sup>. Linia łączy najważniejsze punkty w centrum miasta, przebiegając równoleżnikowo od rejonu centrum kulturalnego Memorial da América Latina na zachodzie, poprzez Praça da Republica oraz Praça da Sé w centrum, aż do Corinthians-Itaquera na wschodzie.

**Tab. 1. Obciążenie w tys. pasażerów linii metra w São Paulo w 2010 r. [9]**

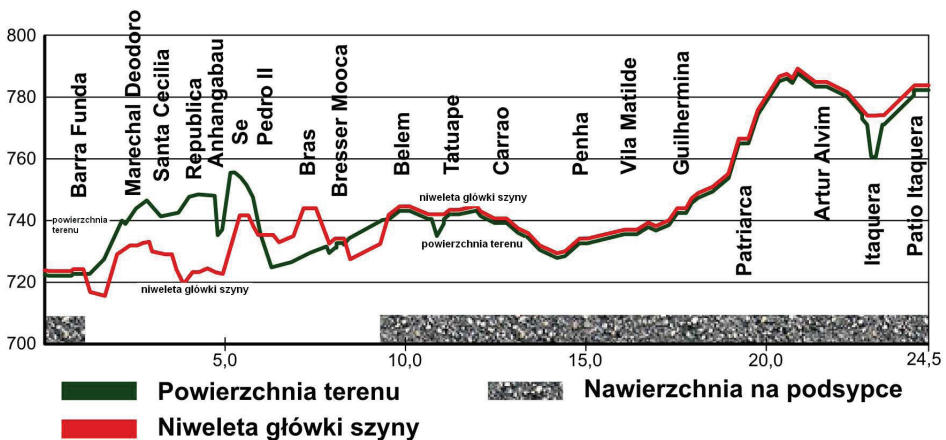
Obciążenie	Linia 1	Linia 2	Linia 3	Linia 5
Łączne w ciągu roku	285397	90140	329400	49112
Średnie w dniu roboczym	967	321	1100	166
Średnie w soboty	546	130	641	95
Średnie w niedziele	307	72	363	50
Maksymalne dzienne	1079	356	1194	202

Linia jest bardzo silnie zintegrowana z innymi trasami szynowego transportu miejskiego. Położony na zachodzie węzeł PalmeirasBarra Funda łączy linię 3 z dwoma liniami kolei CPTM oraz dworcami autobusowego transportu miejskiego i międzymiastowego. Zlokalizowany na wschodnim końcu linii węzeł CorinthiansItaquera łączy linię metra z jedną linią CPTM i miejskim dworcem autobusowym. Węzeł Brás integruje linię metra z trzema liniami CPTM. Węzeł Tatuapé stanowi połączenie omawianej linii z dwoma liniami CPTM i dworcem autobusowym. Ponadto stacja República leży na skrzyżowaniu linii 3 i 4 metra i wreszcie wspomniana już stacja Sé (najbardziej obciążona ruchem stacja na całej sieci metra obsługująca 100 tys. pasażerów na godzinę szczytu) łączy linię 3 z linią 1 [8, 9]. Funkcji integracyjnych z innymi rodzajami transportu nie pełnią jedynie trzy z osiemnastu stacji położonych na omawianej linii.

<sup>2</sup> Zestawienie nie uwzględnia ruchu na linii 4 Amarela otwartej w połowie 2010 r.

Linia została oddana do eksploatacji w roku 1979, jako druga w kolejności linii metra (numeracja linii metra w São Paulo nie odzwierciedla kolejności ich budowania). Uruchomiono wtedy komunikację na odcinku od PalmeirasBarra Funda do Vila Matilde (ok. 2/3 obecnej, całkowitej długości linii). Pozostałą część linii — od stacji Vila Matilde do terminala Itaquera — oddano do eksploatacji w 1989 r.

Przebieg linii w stosunku do powierzchni terenu przeczy potoczne-  
mu rozumieniu metra, ponieważ w wydrążonym metodami górniczy-  
mi tunelu przebiega jedynie ok. 1/3 długości linii (rys. 2). Jest to jej  
zachodni fragment położony w centrum miasta. W pozostałej części  
linię ułożono na powierzchni terenu lub na estakadach, na których  
zlokalizowano także 4 stacje. Taki przebieg linii został podyktowany  
warunkami terenowymi oraz dążeniem do jak najszybszego urucho-  
mienia przewozów.

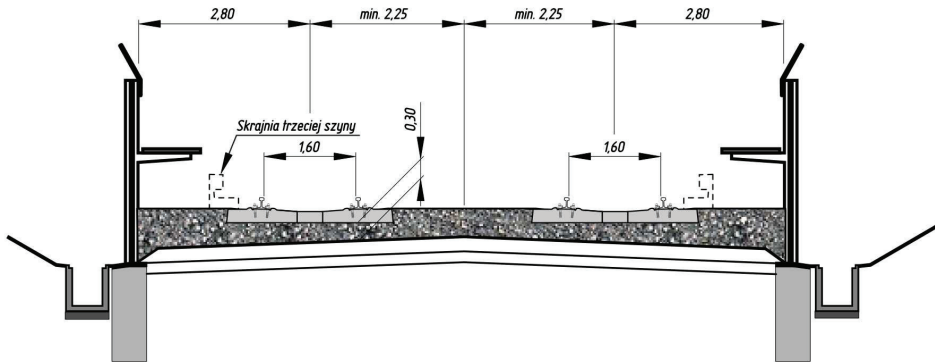


**Rys. 2. Profil podłużny linii 3 Vermelha z zaznaczonymi odcinkami na nawierzchni podsypkowej**

Nawierzchnia na praktycznie całej zlokalizowanej poza tunelem część linii jest wykonana w postaci klasycznej konstrukcji podsypkowej o następujących parametrach:

szerokość toru	1600 mm,
typ szyn	AREA 115 (56,97 kg/m),
przytwierdzenie	Vossloh W14,
typ podkładów	strunobetonowe B70,
materiał podsypki	granit/gnejs o wytrz. 100 MPa,
grubość warstwy podsypki	0,30 m.

Przekrój normalny nawierzchni i podtorza na odcinku ułożonym na podsypce przedstawiono na rys. 3.



**Rys. 3. Przekrój normalny nawierzchni na linii 3 Vermelha na odcinku z nawierzchnią na podsypce [5]**

Wymienione w tab. 1 przewozy są możliwe dzięki kursowaniu pociągów przez 20 godzin na dobę (z przerwą w ruchu w godz. 24:00–4:00) przez 365 dni w roku z interwałem 90 sekund w godzinach szczytu. Naciski osiowe taboru wynoszą 17,5 ton/oś, a prędkość operacyjna — 80 km/h.

Przy tak intensywnym wykorzystywaniu linii i braku możliwości wprowadzenia jakiegokolwiek komunikacji zastępczej wszelkie prace konserwacyjne i remonty nawierzchni mogą być wykonywane wyłącznie w ciągu 4-godzinnej nocnej przerwy w ruchu. Odejmując od tego czas niezbędny na rozwinięcie i zwinięcie frontu robót daje to ok. 3 godziny efektywnej pracy na dobę. Tym większe zaniepokojenie kierownictwa instytucji wzbudziły problemy z osiadaniem toru występujące na odcinkach z nawierzchnią podsypkową. Ujawniły się one bardzo szybko po oddaniu linii do eksploatacji. Tempo osiadania było w niektórych okresach tak duże, że dosypywanie podsypki i podbijanie toru musiało być przeprowadzane co 4–6 miesięcy bez pozytywnego wpływu na tempo degradacji geometrii toru.

Geneza tych problemów jest bardzo prozaiczna. Duża część linii ułożonej na podsypce (praktycznie większość trasy na odcinku na zachód od stacji Vila Matilde) przebiega na gruntach namułowych. Ich wymianę — z uwagi na bardzo duży zakres koniecznych prac — uznano za nieopłacalną. Zdecydowano się na wybudowanie odpowiednio wyższego nasypu, pod którego ciężarem leżący poniżej grunt miał ulec zagęszczeniu. Jest to sposób stosowany w Brazylii stosunkowo czę-

sto i przynoszący założone efekty, pod warunkiem zapewnienia odpowiedniego czasu na zagęszczenie gruntu pod osiadającym nasypem. Jednak od oddania linii do eksploatacji w określonym terminie zależał wybór na kolejną kadencję ówczesnego gubernatora São Paulo. Względy polityczne spowodowały, że ułożono nawierzchnię i oddano linię do eksploatacji zanim proces osiadania nasypu się zakończył (a właściwie zanim się na dobre rozpoczął). Jeszcze bardziej kuriozalna sytuacja miała miejsce między stacjami Vila Matilde i Patriarca. Na odcinku tym przebiegał parów, którego dnem płynął strumień Gamelinha. Ze względu na budowę linii bieg strumienia zmieniono, a parów zasypano, nie wymieniając (wybory były coraz bliżej) naniesionych latami przez wodę namulów.

### **3. Badania podsypki i zalecenia co do sposobu jej wymiany**

Z osiadaniem nasypu wraz z torem do roku 2000 radzono sobie w jeden jedyne sposób — dosypując podsypkę i podbijając tor z częstotliwością dostosowaną do postępu osiadania. Doprowadziło to do sytuacji, że na odcinkach toru, na których osiadanie nasypu było najintensywniejsze, grubość warstwy podsypki wzrosła do ok. 1,50 m.

Te problemy skłoniły wreszcie zarząd Metrô do zamówienia oceny stanu technicznego nawierzchni i podtorza oraz opracowania zaleceń co do dalszego postępowania. Zgodnie z opracowaną ekspertyzą [6] prace objęły:

- przegląd i analizę dokumentacji technicznej oraz norm obowiązujących na liniach metra w São Paulo;
- klasyfikację występujących w metrze odcinków toru na podsypce tłuczniowej według konstrukcji systemu drenarskiego, podtorza i czasu budowy oraz z uwzględnieniem typu podłoża oraz stwierdzonego temata jego osiadania;
- opracowanie metodologii oceny drenażu i długowieczności podsypki tłuczniowej z uwzględnieniem właściwości podbijania mechanicznego;
- zdefiniowanie typów, ilości i miejsc pobrania próbek podsypki tłuczniowej do badań;



- pobranie próbek do badań, ich zbadanie i ocena przepuszczalności, wytrzymałości oraz stopnia degradacji podsypki;
- analiza możliwości uzyskania i zastosowania podsypki z materiałów innych niż granit (bazalt, gnejs, diabaz);
- opracowanie sprawozdania końcowego zawierającego ocenę długowieczności podsypki wykorzystywanej w torach linii metra, zalecenia co do typu i uziarnienia tłucznia, który powinien zostać użyty do odnowy podsypki oraz zalecenia co do nowych parametrów podbijania mechanicznego (częstotliwości podbijania oraz ciśnienia w cylindrach podbijarek).

Przy pobieraniu próbek podsypki do badań zastosowano sposób opisany w [2]. Polega on na pobieraniu podsypki z wnętrza specjalnej stalowej skrzyni umieszczanej w określonym miejscu nawierzchni i stopniowo (etapami po 10–15 cm) wbijanej w warstwę podsypki (rys. 4). Dzięki temu zawartość próbki nie jest zafałszowana przez ziarna osypujące się ze ścianek do kopanego w podsypce zagłębienia.



**Rys. 4. Pobieranie próbek podsypki na linii 3 Vermelha. a) — wbijanie skrzyni w miejsce pobrania próbki; b) — pobrana próbka podsypki [5]**

Jak należało się spodziewać, wyniki badań potwierdziły konieczność przeprowadzenia wymiany podsypki na badanej linii. Dla uzyskania jak najdłuższego czasu pracy nowej podsypki przeprowadzono jej badania bezpośrednio w kilku dostępnych kamieniołomach. W ich wyniku wytypowano jeden z nich na dostawcę nowej podsypki na potrzeby zarówno linii 3, jak i wszystkich odcinków pozostałych linii metra, na których zastosowano nawierzchnię podsypkową. Przestrzegane jest przy tym zachowanie uziarnienia podsypki zgodnego z zale-

ceniami ERRI D 182. Wprowadzono zasadę sprawdzania każdej partii podsypki dostarczanej z kamieniołomów.

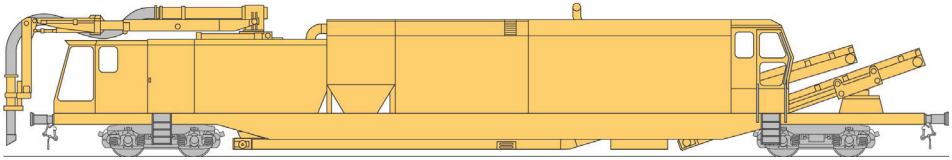
#### **4. Wymiana podsypki z wykorzystaniem maszyny VM 170 M Jumbo**

Podstawową trudnością przy wymianie podsypki na linii 3 Vermelha jest brak możliwości wykorzystania mechanicznej wymiany podsypki za pomocą oczyszczarki. Ograniczenia wynikające z nieprzestrzegania dolnego zarysu skrajni budowli najczęściej uniemożliwiają montaż belki wybierakowej oczyszczarki. Na nielicznych odcinkach, gdzie było by to możliwe, czas montażu i demontażu belki powoduje, że efektywny czas pracy oczyszczarki mógłby wynieść najwyżej 1 godzinę w ciągu doby, co czyni jej wykorzystanie nieopłacalnym. W związku z tym prace przy wymianie podsypki były początkowo prowadzone wyłącznie ręcznie przez trzy brygady pracujące niezależnie od siebie na trzech odcinkach toru. W tych warunkach wymieniano podsypkę na długości 70 m toru tygodniowo (przy 5-ciu dniach pracy w tygodniu, po 3 godziny pracy na dobę).

Sytuacja uległa poprawie po zakupieniu i wprowadzeniu do eksploatacji opracowanej przez firmę Plasser & Theurer nowej maszyny VM 170 M Jumbo, w której tradycyjny mechanizm wybierania podsypki z toru został zastąpiony pneumatyczną ssawką (rys. 5). Usuwana z toru podsypka jest jednocześnie mechanicznie zruszana za pomocą uzbrojonego w stalowe pazury specjalnego wirnika, zintegrowanego z wlotem przewodu ssącego (rys. 6) oraz zasysana strumieniem powietrza. Usunięta w ten sposób podsypka jest transportowana specjalnym elastycznym przewodem na taśmociąg, którym może być przesyłana na zestaw sit (przy oczyszczaniu podsypki) lub na towarzyszący maszynie wagon (gdy jest wykonywana jej całkowita wymiana).

Rura ssąca może usuwać podsypkę do głębokości 1,00 m poniżej podkładu. Dodatkowo można ją odchyłać o maksymalnie 15° od pionu, co pozwala na wybieranie podsypki spod podkładów oraz ze strefy podszynowej. Ramię z przewodem ssącym jest tak skonstruowane, że może usuwać podsypkę znajdującą się nie tylko przed maszyną, ale także kilka metrów obok niej.





**Rys. 5. VM 170 M Jumbo [10]**



**Rys. 6. Pazury do mechanicznego zruszania podsypki umieszczone na wlocie przewodu ssącego maszyny VM 170 M Jumbo [5]**

Podstawowe parametry techniczne maszyny VM 170 M Jumbo to:

masa całkowita	80 t;
długość całkowita	32,88 m;
zasięg boczny rury ssącej	7,00 m;
całkowity pobór mocy	567 kW;
prędkość transportowa	80 – 100 km/h.

Kolejność prac przy wymianie podsypki z wykorzystaniem maszyny VM 170 M Jumbo na linii 3 Vermelha jest następująca:

- VM VM 170 M usuwa podsypkę spod trzech kolejnych podkładów;
- w torze umieszczana partiami jest nowa podsypka, podawana z drugiego wagonu za pomocą taśmociągu i umieszczana pod podkładami niebieską rurą widoczną z lewej strony rys. 7; podsypka jest zwilżona wodą, co eliminuje jego uciążliwe pylenie.
- każda kolejna partia podsypki jest zagęszczana za pomocą ręcznych wibratorów;

- po umieszczeniu w torze i wstępnym zagęszczeniu odpowiedniej ilości podsypki podkłady są podbijane za pomocą mechanicznych podbijaków zamontowanych na wielofunkcyjnym pojeździe szynowodrogowym (rys. 8).



**Rys. 7. VM 170 M Jumbo podczas wymiany podsypki na stacji Patriarca [5]**



**Rys. 8. Wielofunkcyjna maszyna kolejowo-drogowa wyposażona w urządzenie do podbijania podkładów [5]**

Przy takim sposobie wymiany podsypki pierwotne położenie toru praktycznie nie ulega zmianie. Jeżeli jednak zachodzi potrzeba jego regulacji, to raz w tygodniu wykonywana jest dodatkowa korekta jego położenia za pomocą tradycyjnej podbijarkonasuwarki.

Po wprowadzeniu do eksploatacji maszyny VM 170 M Jumbo zmiana uległa organizacja pracy przy wymianie podsypki. Z dotychczasowo pracujących trzech brygad utworzono dwa zespoły. Jeden z nich obsługuje VM 170, a drugi nadal usuwa podsypkę ręcznie, pracując na najtrudniejszych odcinkach toru, na których wykorzystanie VM 170 jest niemożliwe. Są to najczęściej rozjazdy oraz miejsca nagromadzenia przewodów podziemnych. Osiągana przy takim podziale pracy łączna wydajność wymiany podsypki wynosi 130–160 m toru tygodniowo (przy tym samym co wcześniej czasie pracy), jest zatem dwukrotnie większa niż przy pracy całkowicie ręcznej.

## **Bibliografia**

- [1] Decyzja Komisji Europejskiej 2002/732/EC, 2002-05-30.
- [2] ERRI D 182 RP 2: Assessment of ballast condition in the track., 1991.
- [3] Instituto Brasileiro de Geografica e Estatística. Estimativas das Populações Residentes, em 10 de Julho de 2008. Strona internetowa <ftp://ftp.ibge.gov.br>, dostęp 2011-09-23.
- [4] Instituto Brasileiro de Geografica e Estatística. Resolução No. 05, de 10 de Outubro de 2002, Área Territorial: UF – São Paulo – SP – 35. Strona internetowa <ftp://geofp.ibge.gov.br>, dostęp 2011-09-23.
- [5] Materiały uzyskane bezpośrednio przez autora od inż. Jana Nowakowskiego, projektanta linii 4, 5 i 6. São Paulo, 2011.
- [6] Nowakowski J.: Ekspertyza stanu technicznego podsypki na linii metra 3 Vermelha. São Paulo, 2002.
- [7] Standardy techniczne. szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem). Tom II Skrajnia budowlana linii kolejowych. PKP PLK S.A., Warszawa, 2010.

- [8] Strona internetowa [http://en.wikipedia.org/wiki/São\\_Paulo\\_Metro](http://en.wikipedia.org/wiki/São_Paulo_Metro), dostęp 2011-09-23.
- [9] Strona internetowa <http://www.saopaulo.sp.gov.br>, dostęp 2011-09-23.
- [10] Strona internetowa <http://www.plasser.com.au>, dostęp 2011-10-24.
- [11] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1. PKP PLK S.A., Warszawa, 2005.

## **UNCONVENTIONAL BALLAST EXCHANGE METHODS AT SÃO PAULO UNDERGROUND**

### **Summary**

*Incompliance with underground structure gauge at design and construction of a railway track causes a multitude of inconveniences in the later exploitation. A major consequence is hindrance of mechanized ballast cleaning or exchange. This problem can be partially solved by using unconventional ballast exchange methods. The way of unconventional ballast exchange used at underground line 3 Vermelha in São Paulo, Brazil has been presented in the paper.*

**Key words:** *São Paulo underground, ballast, ballast exchange*