



Ryc. 1. Artystyczna wizja przejścia Monotrilho linii 15 Prata nad rzeką Pinheiros [3]

# Rozwój transportu szynowego w São Paulo

## – prowadzone realizacje i zamierzenia

tekst: dr inż. **MIROSŁAW JAN NOWAKOWSKI**, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego

São Paulo w Brazylii to największa aglomeracja Ameryki Południowej i jedna z największych metropolii świata. Jej rozległy obszar oraz przeszło 20-milionowa ludność są źródłem ogromnych potrzeb transportowych. W komunikacji zbiorowej bardzo dużą rolę odgrywa transport szynowy, zarówno naziemny, jak podziemny. Na szczególną uwagę zasługuje sieć linii metra, która obecnie jest intensywnie rozbudowywana.

### Wstęp

Skalę zadań stawianych systemowi komunikacyjnemu São Paulo można sobie uzmysłwić, analizując dane przedstawione w tabeli 1. Do ich realizacji niezbędny jest efektywny system transportu zbiorowego. W warunkach gęstej zabudowy i rosnącej liczby samochodów prywatnych zbiorowy transport samochodowy staje się niewydolny i wymaga

uzupełnienia przez transport szynowy. W granicach miasta São Paulo funkcjonują i wzajemnie się uzupełniają dwa jego systemy (ryc. 2 i tab. 2):

- naziemna szybka kolej miejska CPTM (port. *Companhia Paulista de Trens Metropolitanos*), w skład której wchodzi sześć linii o łącznej długości 261 km, przewożących dziennie ok. 2,5 mln pasażerów;

- metro (port. *Companhia do Metropolitano de São Paulo*, w skrócie Metrô), którego sieć składa się z pięciu linii o łącznej długości 78 km, przewożących dziennie ok. 4,2 mln pasażerów, co stanowi 18% przewozów wszystkimi środkami komunikacji zbiorowej. Zwiększające się potrzeby przewozowe powodują, że prowadzone są prace mające na celu rozbudowę istniejącej sieci.



Ryc. 2. Schemat istniejących linii CPTM i Metrô [7]



Ryc. 3. Rozbudowa transportu szynowego São Paulo planowana do końca 2014 r. [6]

Dodatkowym impulsem stymulującym ten rozwój stało się powierzenie Brazylii organizacji Mistrzostw Świata w piłce nożnej w 2014 r. W związku z tym na początku 2009 r. kierujący wówczas państwem prezydent Luiz Ignacio Lula da Silva zdecydował, że budżet centralny nie będzie finansował budowy nowych i modernizacji istniejących stadionów, natomiast przeznaczy znaczne środki na

rozbudowę infrastruktury transportowej miast, w których mają być rozgrywane mecze mistrzostw [4]. Jednym z beneficjentów tej polityki stało się São Paulo.

Planowanie rozbudowy transportu szynowego São Paulo nie ogranicza się czasowo do bardzo już bliskiego 2014 r., choć jest oczywiste, że na tym koncentrują się obecne wysiłki projektantów i budowniczych. Dlatego w najbliższej perspek-

Tab. 1. São Paulo – podstawowe dane statystyczne [1, 2]

Jednostka administracyjna	Powierzchnia [km <sup>2</sup> ]	Populacja [mln]
Stan São Paulo	248209	42
Metropolia São Paulo	7944	22
Miasto São Paulo	1523	11

tywie realizowane mają być inwestycje związane z dojazdami do zlokalizowanych w metropolii lotnisk. Dalsze plany rozwoju sięgają perspektywicznie 2020 r., a prace studialne obejmują horyzont czasowy do 2025–2030 r. [6].

Przed przystąpieniem do omawiania zamierzeń związanych z rozwojem transportu szynowego w São Paulo należy wyjaśnić powstałe zamieszanie terminologiczne [8]. W związku z zaistniałymi w ostatnim czasie dwuznacznymi w nazewnictwie linii, prezydent Metrô Peter Walker 10 września 2012 r. zdecydował, że:

- budowana kolej jednoszynowa (port. *monotrilho*) łącząca stacje Ipiranga, Vila Prudente i Cidade Tiradentes, określana dotąd jako przedłużenie linii 2 Verde (albo linia 2-A), będzie traktowana jako nowa linia 15 Prata,
- linia metra łącząca stacje Vila Prudente oraz Dutra, nazywana dotąd linią 15 Branca, a będąca w istocie przedłużeniem linii 2 Verde, sięgającej obecnie od stacji Vila Madalena do stacji Vila Prudente, będzie miała nazwę linia 2 Verde o zasięgu Vila Madalena – Dutra,
- przy nazywaniu linii będzie zachowywana zasada, że linie Metrô będą określane kolorami, linie kolei jednoszynowych – nazwami metali, a linie CPTM – nazwami kamieni szlachetnych.

W niniejszym artykule zastosowano nowo obowiązujące oznaczenia.

### Inwestycje prowadzone i planowane do 2014 r.

Zamierzenia związane z Mistrzostwami Świata w piłce nożnej w 2014 r. przedstawiono na rycinie 3. Jej uważne przestudiowanie pozwala stwierdzić, że prace modernizacyjne ominą jedynie kilka z istniejących obecnie linii. Brak rozbudowy układu geometrycznego nie oznacza jednak rezygnacji z innych przedsięwzięć mogących zwiększyć zdolności przewozowe tych linii. Przykładowo, na

Tab. 2. Transport szynowy w São Paulo w 2012 r. [5, 7]

Linia	Długość [km]	Liczba stacji	Zarządca
Linia 1 Azul	20,2	23	Metrô
Linia 2 Verde	14,7	13	Metrô
Linia 3 Vermelha	22,0	18	Metrô
Linia 4 Amarela	12,8	9	Metrô
Linia 5 Lilás	8,4	6	Metrô
Linia 7 Rubi	60,5	17	CPTM
Linia 8 Diamante	41,7	24	CPTM
Linia 9 Esmeralda	32,8	18	CPTM
Linia 10 Turquês	34,9	13	CPTM
Linia 11 Coral	50,8	16	CPTM
Linia 12 Safira	38,8	13	CPTM

linii 3 Vermelha zostanie zmodernizowany tabor oraz nastąpią zmiany w organizacji ruchu, zmniejszające interwał kursowania pociągów ze 120 na 90 sekund [3].

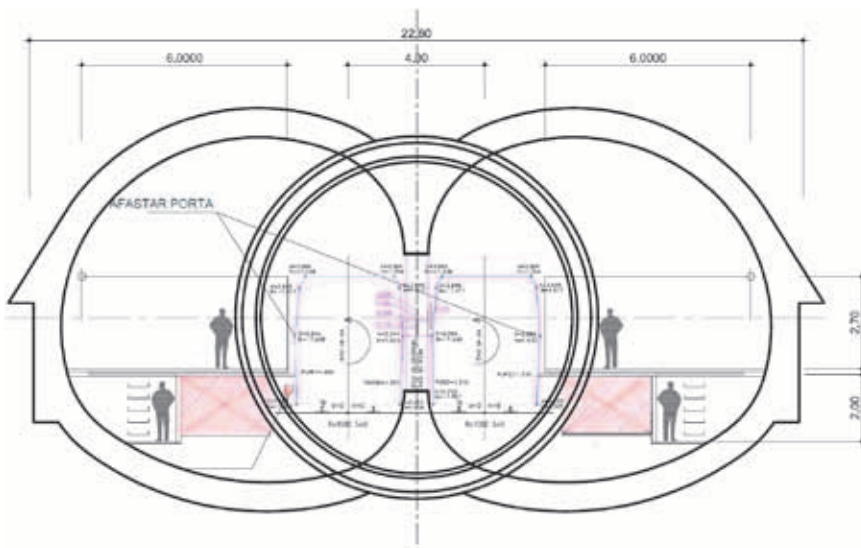
Rozbudowa istniejących linii metra obejmie niżej wymienione inwestycje.

Od wschodniego końca linii 2 Verde, od stacji Vila Prudente w kierunku wschodnim

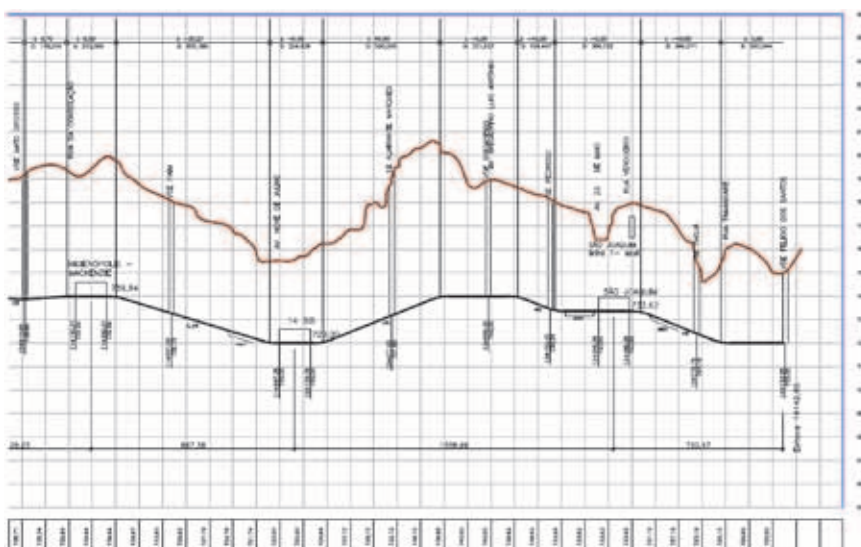
jest budowany pierwszy odcinek linii kolei jednoszynowej 15 Prata o długości 13,1 km (ryc. 1). Połączy on obecną stację końcową linii 2 z węzłem przesiadkowym São Mateus, stanowiącym zakończenie korytarza szybkiego ruchu trolejbusowego EMTU (port. *Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos*). Połączenie tych dwóch środków transportu, wsparte równoczesnym doprowadzeniem korytarza EMTU w pobliże międzynarodowego portu lotniczego Guarulhos, ułatwi komunikację w relacji centrum – lotnisko. Przewidywane obciążenie nowego odcinka wyniesie 425 tys. pasażerów dziennie. W dalszej perspektywie czasowej (2020) linia ma być wydłużona do 23,8 km, sięgając regionu Hospital Cidade Tiradentes. Dzięki temu czas podróży między dzielnicami położonymi w pobliżu stacji końcowych zmniejszy się z obecnych 2 godzin do 30 minut.

Na najnowszej linii metra 4 Amarela finalizowane są prace związane z jej przedłużeniem do stacji postojowej Vila Sônia. Realizacja tego zamierzenia zakończy budowę wspomnianej linii, nadając jej docelową długość 14,3 km, usprawniając ruch z i do stacji postojowej oraz zapewniając docelową sprawność operacyjną.

Fragmentem większego zamierzenia jest prowadzona rozbudowa linii 5 Lilás. Ruch na pierwszym jej odcinku zainaugurowano 20 października 2002 r. i od tego czasu do chwili obecnej linia ta jako jedyna nie ma żadnego punktu styku z innymi liniami metra, zapewniając jedynie komunikację – przez stację przesiadkową – z jedną linią CPTM. Ponieważ w zamierzeniu linia ta miała ożywić najbardziej zacofane regiony metropolii São Paulo (dzielnice Capão Redondo, Capela do Socorro, Campo Limpo, Rio Pequeno, Grajaú, Piraporinha, okolic Santo Amaro oraz sąsiadujących z nimi miast Embú, Taboão i Itapeperica da Serra), bardzo istotne jest ukończenie drugiego etapu jej budowy: wejścia do centrum i skomunikowania z liniami 1 Azul i 2 Verde w okolicach stacji Vila Madalena [3, 9]. Przy okazji realizowanego etapami doprowadzenia tej linii do centrum miasta zostanie ona sprowadzona do najczęściej utożsamianego z pojęciem metra położenia względem powierzchni terenu, tzn. do tunelu. Istniejący obecnie fragment linii przebiega niemal w całości na estakadach, a wizytówką linii jest najbardziej obciążona na niej ruchem stacja Santo Amaro, położona na długim na 220 m



Ryc. 4. Typowy przekrój dwutorowego tunelu głównego oraz stacji na linii 6 Laranja [3]



Ryc. 5. Przebieg niwelety linii 6 Laranja w pobliżu stacji São Joaquim [3]

moście wadowym przez rzekę Pinheiros [3]. Obecnie drążony jest tunel, który do 2014 r. ma sięgnąć stacji Adolfo Pinheiro, wydłużając linię o 800 m. Równocześnie z drążeniem tunelu na linii realizowane są prace przygotowawcze przy budowie kolejnych położonych na niej stacji. Można jedynie żałować, że budowa ta nie zostanie ukończona przed Mundialem 2014. Opóźnienia wynikające z przyczyn formalnych przesuną jej uruchomienie w całości co najmniej o rok.

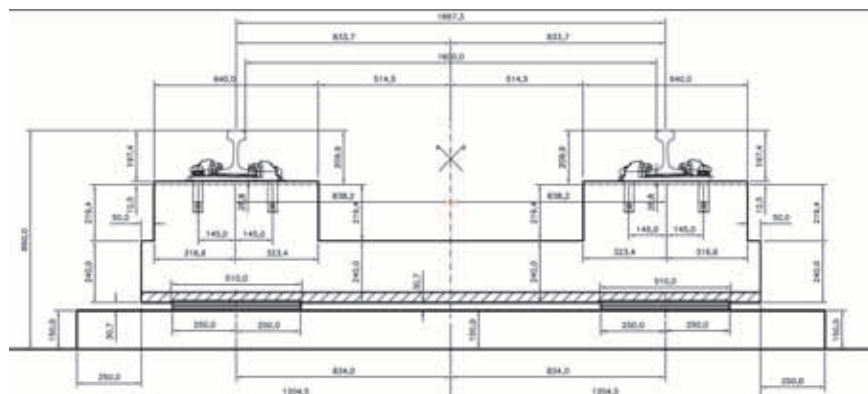
Wraz z pracami na sieci Metrô prowadzona jest rozbudowa sieci kolei CPTM. Obejmuje ona niżej przedstawione prace.

Linia 8 Diamante zostanie minimalnie wydłużona w kierunku równoleżnikowym, uzyskując bezpośrednie połączenie ze stacją Luz na wschodzie (stanowiącą jeden z najważniejszych w aglomeracji węzłów przesiadkowych) oraz terminalem Amador Bueno na zachodzie.

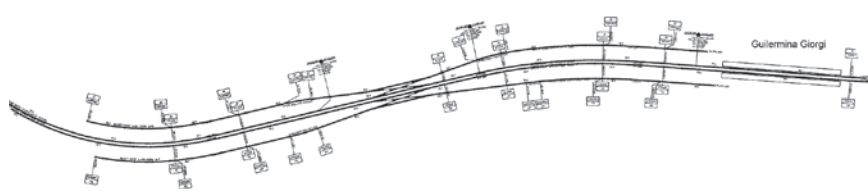
Linia 9 Esmeralda zostanie wydłużona w kierunku południowym o 4,5 km. Powstaną na niej dwie nowe stacje.

Linia 12 Safira zostanie wydłużona o jedną stację w kierunku wschodnim. Zwiększy to jej długość o 2,7 km i umożliwi podróżnym przesiadanie się na linię 11 w dwóch miejscach: na stacjach Calmon Viana oraz Suzano (na tym odcinku linie będą przebiegać równolegle do siebie).

Największe nadzieje władze stanowe i miejskie São Paulo wiążą z budową nowych linii umożliwiających bezpośredni dojazd do lotnisk. Pierwsza z nich, zarządzana przez Metrô linia 17 Ouro, ma początkowo połączyć dystrykt Morumbi z lotniskiem krajowym Congonhas i przy długości 7,7 km zapewnić przejazd między stacjami końcowymi w 12 minut. Jest ona budowana z przeznaczeniem dla pociągów jednoszynowych. Docelowo do 2016 r. ma zostać przedłużona w obie strony: na wschód do terminala Jabaquara, zapewniając połączenie z linią 1 Azul, oraz na północny zachód, docierając do stacji São Paulo Morumbi na linii 4 Amarela. Druga z budowanych linii to zarządzana przez CPTM linia 13 Jade, łącząca wstępnie linię 12 Safira z międzynarodowym portem lotniczym Guarulhos. Będzie miała wtedy długość 11,5 km. Finalnie, w dalszej perspektywie czasowej linia, ma uzyskać połączenie bezpośrednio z położoną w centrum metropolii stacją Luz, zachowując przy tym charakter dedykowanej kolei dojazdowej z centrum miasta do lotniska, ze zredukowaną do



Ryc. 6. Typowy przekrój nawierzchni zaprojektowanej dla linii 6 Laranja [3]



Ryc. 7. Tory postojowe między stacjami Guilermina Giorgi i Vila Formosa w ciągu projektowanego przedłużenia linii 2 Verde [3]

minimum liczbą przystanków. Linia ta jest bardzo wyczekiwana, gdyż obecnie dojazd do Guarulhos często stanowi loterię. Przykładowo, dojazd prywatnym samochodem z okolic terminala Jabaquara do tego lotniska zajmuje, w zależności od pory dnia i natężenia ruchu drogowego, od 1,5 do 4 godzin.

### Projekty wstępne zatwierdzone w latach 2011–2012

W ciągu dwóch ostatnich lat zostały ukończone i zatwierdzone projekty wstępne dwóch kolejnych linii metra, których realizacja jest obecnie przewidywana do 2025 r.

Pierwszy projekt dotyczy linii 6 Laranja. Docelowo ma ona mieć długość 14,3 km i przebiegać od położonej w południowej części linii 1 Azul stacji São Joaquim do zlokalizowanego w północno-zachodniej części aglomeracji dystryktu Brasilândia. Zapewni to połączenie linii CPTM 7 Rubi

i 8 Diamante z liniami Metrô 1 Azul, 2 Verde oraz 4 Amarela. Powinno to umożliwić sprawny transport między północno-zachodnimi, zachodnimi, centralnymi oraz południowo-wschodnimi rejonami metropolii. Przewiduje się, że obciążenie linii wyniesie 650 tys. pasażerów na dobę.

Linia w całości będzie przebiegać w klasyczny dla metra sposób, tzn. w tunelu. Początkowy fragment, od stacji postojowej Morro Grande do stacji Brasilândia, ze względu na warunki geologiczne zostanie wykonany w technologii NATM. Na pozostałej części linii tunel główny będzie budowany w technologii TBM, natomiast tunele stacyjne metodą NATM. Od stacji Brasilândia do przejścia pod rzeką Tieté poszczególne tory będą przebiegać w dwóch równoległych do siebie, niezależnie drążonych tunelach. Na pozostałym odcinku tunel główny będzie wspólny dla obu torów. Typowy przekrój

Tab. 3. Planowany rozwój sieci Metrô do 2020 r. [3]

Parametr	2010 r.	2015 r.	2020 r.
Długość sieci [km]	70,6	134,7	184,2
Liczba stacji	62	111	161
Przepustowość [mln pas./dobę]	3,9	6,9	9,5
Udział w transporcie zbiorowym [%]	18	23	30

tunelu wspólnego dla obu torów oraz na stacji pokazano na rycinie 4.

Tunel będzie drążony na znacznych głębokościach. Zaprojektowana niweleta główki szyny nie przebiega w żadnym jego miejscu płycej niż 20 m p.p.t. Maksymalne zagłębienia notowane są na obu końcach linii i wynoszą ok. 70 m (ryc. 5). Wynika to z warunków geologicznych oraz z prowadzenia budowy w terenie gęsto zabudowanym. Dzięki takiej technologii można będzie uniknąć zakłóceń w normalnym ruchu ulicznym oraz groźby naruszenia stabilności istniejących na powierzchni budynków.

Na linii przewiduje się ułożenie toru o szerokości 1600 mm (jak na większości linii Metrô) z szyn 60E1. Węzły przytwierdzeń (wariant Pandrol Vipa) zostaną osadzone w blokach betonowych, ułożonych na płycie żelbetowej, opartej na podkładkach z maty wibroizolacyjnej (ryc. 6). Jest to rozwiązanie sprawdzone wcześniej w eksploatacji na liniach 4 i 5. W przejściach trapezowych zaprojektowano rozjazdy UIC 60E1-500-1:14 oraz UIC 60E1-190-1:9 z krzyżownicami z ruchomymi dziobami, natomiast na stacji postojowej rozjazdy UIC 60E1-190-1:9 z tradycyjnymi krzyżownicami prostymi. Jest to zatem kolejna linia, na której nie przewiduje się wykorzystania stosowanych wcześniej w Metrô rozjazdów AREMA.

Drugi ze zrealizowanych projektów dotyczy przedłużenia linii 2 Verde, począwszy od stacji Vila Prudente we wschodniej części São Paulo, a skończywszy na stacji Dutra na mającej powstać linii CPTM 19 Celeste na północy (przed zmianą terminologii odcinek ten był nazywany linią 15 Branca). Uwzględniając zarówno linie istniejące, jak i budowane oraz projektowane, dzięki takiemu przedłużeniu 2 Verde zostanie uzyskana integracja trzech linii Metrô (2 Verde, 3 Vermelha i 6 Laranja) oraz pięciu linii CPTM (11 Coral, 12 Safira, 13 Jade, 19 Celeste i 23 Grafite). Planowana obecnie docelowa długość nowego odcinka linii wyniesie 13,5 km. Znajdzie się na niej 12 stacji (Orfanato, Água Rasa, Anália Franco, Vila Formosa, Guilherme Giorgi, Nova Manchester, Aricanduva, Penha, Penha de França, Tiquatira, Paulo de França oraz Dutra).

Zakres oddanego w tym roku projektu obejmuje pierwszą część inwestycji o długości 7,4 km. Do 2017 r. ma zostać oddany do eksploatacji fragment do stacji Vila Formosa (ok. 4,6 km).

Zaprojektowany odcinek linii przebiega w całości w tunelu, którego głębokość jest nieco mniejsza niż w przypadku linii 6 Laranja (niweleta główki szyny jest położona na głębokości od 15 do 45 m).

Na budowie linii planuje się zastosować rozwiązania konstrukcyjne analogiczne do przedstawionych przy omawianiu linii 6 Laranja: szerokość toru 1600 mm, nawierzchnia z szyn 60E1, przytwierdzenie Pandrol Vipa z węzłami osadzonymi w płycie żelbetowej ułożonej na macie wibroizolacyjnej. Rozważane jest także wykorzystanie zamiast maty amortyzatorów sprężynowych (takie rozwiązanie funkcjonuje na fragmentach linii 4 Amarela).

Na przykładzie tej linii warto zwrócić uwagę na sposób rozwiązania problemu szybkiego uzyskania maksymalnej częstotliwości kursowania składów po zakończeniu nocnej przerwy w ruchu (rozwiązanie to stosowane jest także na innych liniach w São Paulo). W połowie docelowej długości projektowanego odcinka, między stacjami Vila Formosa i Guilherme Giorgi, w tunelu zlokalizowano dwie pary torów postojowych, które mogą pomieścić osiem składów, po cztery dla każdego kierunku ruchu (ryc. 7). Po zakończeniu nocnej przerwy w ruchu pociągi wyruszą na linię równocześnie ze stacji krańcowych oraz wspomnianych torów postojowych. Dzięki temu uniknie się długiego oczekiwania na pierwszy pociąg na stacjach położonych daleko od stacji krańcowych.

### Plany rozbudowy i modernizacji Metrô do 2020 r.

Plany rozbudowy transportu szynowego w São Paulo sięgają obecnie 2030 r. Szczegółowe studia dotyczące sieci Metrô obejmują w tej chwili okres do 2020 r. Jak wynika z tabeli 3, zamierzenia są bardzo ambitne.

Inwestycje w Metrô to nie tylko nowe linie czy przedłużanie istniejących, to także modernizacja przestarzałych połączeń. Także w tej dziedzinie zamierzenia do 2020 r. są imponujące. I tak:

- na linii 1 Azul ma zostać zmodernizowanych 51 pociągów, pojawi się siedem nowych składów, a zautomatyzowany i bezobsługowy system sterowania ruchem pociągów Trainguard MT CBTC umożliwi skrócenie odstępu między pociągami ze 109 do 98 sekund;
- na istniejącym fragmencie linii 2 Verde ma pojawić się 16 nowych składów,

a zainstalowanie systemu MT CBTC pozwoli zmniejszyć odstęp między pociągami ze 147 na 126 sekund;

- na linii 3 Vermelha zostanie zmodernizowanych 47 składów, pojawi się 10 nowych, a system MT CBTC umożliwi kursowanie pociągów co 85 sekund (zamiast 101 sekund obecnie).

Docelowo system MT CBTC, zastosowany po raz pierwszy w São Paulo na linii 4 Amarela, ma zostać wprowadzony na wszystkich liniach Metrô.

Realizacja wyżej wspomnianych planów zależy w dużej mierze od utrzymania władzy stanowej i municypalnej w rękach tej samej opcji politycznej, zainteresowania władz państwowych sprawami infrastruktury po zakończeniu Mistrzostw Świata w piłce nożnej 2014 oraz od ogólnej koniunktury w gospodarce światowej.

### Literatura

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas das Populações Residentes, em 10 de Julho de 2008. Strona internetowa <ftp://ftp.ibge.gov.br> (dostęp: 23 września 2012 r.).
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução No. 05, de 10 de Outubro de 2002, Área Territorial: UF – São Paulo – SP – 35. Strona internetowa <ftp://geoftp.ibge.gov.br> (dostęp: 23 września 2012 r.).
- [3] Materiały uzyskane bezpośrednio przez autora od inż. Jana Nowakowskiego, projektanta linii 2, 4, 5, 6. São Paulo, Gdańsk, 2012.
- [4] Strona internetowa <http://www.biblioteca.presidencia.gov.br/expresidentes/luiz-inacio-lula-da-silva> (dostęp: 15 września 2012 r.).
- [5] Strona internetowa <http://www.cptm.sp.gov.br> (dostęp: 15 września 2012 r.).
- [6] Strona internetowa <http://www.expansao.sp.gov.br> (dostęp: 15 września 2012 r.).
- [7] Strona internetowa <http://www.metro.sp.gov.br> (dostęp: 15 września 2012 r.).
- [8] Strona internetowa <http://viatrolebus.com.br/2012/09/metro-alteranomeclaturada-linha-15-branca-e-do-monotrilho-da-linha-2-verde/> (dostęp: 18 września 2012 r.).
- [9] Strona internetowa [http://en.wikipedia.org/wiki/São\\_Paulo\\_Metro](http://en.wikipedia.org/wiki/São_Paulo_Metro) (dostęp: 15 września 2012 r.).