

Michał DEJA, Dominik MATUSEK
Koło Naukowe Logistyki LogPoint

SYSTEMY PRT JAKO SZANSA NA RADYKALNĄ POPRAWĘ TRANSPORTU W MIEŚCIE

PRT SYSTEMS AS A CHANCE FOR RADICAL IMPROVEMENT TRANSPORTATION IN THE CITY

ABSTRACT: Analyzing the efficiency of contemporary public transport, one can determine major or minor problems in almost every city. Cars are used only for a dozen or so minutes every day, and usually by no more than one person. The rest of the time, they require parking spaces, which occupy the difficult to save up city space. An alternative for them is group transport. But contemporary types of public transport, such as buses, streetcars, and the subway do not quite fulfill their functions. These difficulties force engineers to search for newer and more effective solutions, based on individual infrastructure. One of those solutions are the PRT systems.

The aim of this paper is to present new types of public transport, such as PRT systems, and comparing their capabilities with other types of public transportation. The first chapters of this paper are dedicated to generally characterize the PRT systems, their features and history. The further part introduces the polish outlook on this specific type of transportation MISTER. The paper ends with an efficiency simulation of MISTER in Opole.

KEY WORDS: PRT, urban transport, energy efficient transport, traffic reduction, elevated guideways, computer controlled vehicles, MISTER, throughput analysis

Wprowadzenie

Współcześnie każde miasto, bez względu na wielkość, ma problemy związane z transportem miejskim. Wzrost liczby pojazdów wymaga ciągłej rozbudowy infrastruktury drogowej, a samo podróżowanie samochodem, mimo dużego komfortu, jest nieefektywne i rodzi wiele trudności. Pojemność pojazdów transportu indywidualnego jest wykorzystywana tylko w niewielkim stopniu. Bardzo często można spotkać się z sytuacją, gdy w pięcioosobowym samochodzie podróżuje tylko kierowca. Pojazdy samochodowe

wykorzystywane są jedynie przez kilkanaście minut na dobę. Przez pozostałą część dnia wymagają miejsc parkingowych, które zajmują trudny do wygospodarowania teren miasta (*Podróżowanie w stronę...* 2009). Alternatywą jest transport grupowy. Jednak współczesne rodzaje komunikacji miejskiej, jakimi są tramwaje, metro i autobusy, nie do końca spełniają swoje funkcje. Duża liczba samochodów równoznaczna jest z powstawaniem korków, co negatywnie wpływa także na czas podróżowania środkami transportu miejskiego. W większości miast komunikacja publiczna jest niewygodna dla użytkownika, kosztowna w budowie oraz deficytowa w eksploatacji. Narzuca się pytanie, czy ludzkość skazana jest na dotychczasowy stan rzeczy, czy może istnieje szansa na szybkie, wygodne i przede wszystkim bezpieczne podróżowanie? Tą drugą opcją mogą być systemy PRT.

Poniżej przedstawiono historię rozwoju koncepcji PRT, jej główne założenia oraz przesłanki i bariery wdrożenia. Zaprezentowano też polski wkład w rozwój systemów PRT – projekt MISTER. Uzupełnieniem tego wątku są cząstkowe wyniki badań obciążenia zaprojektowanej sieci MISTER i jej oddziaływania na czas podróży pasażerskich w mieście Opolu.

Istota i właściwości systemów PRT

PRT (z ang. personalrapid transit – indywidualny transport miejski), zaliczany jest do środków komunikacji miejskiej. Stanowi on alternatywę dla autobusów, tramwajów czy metra, stąd też często bywa z nimi porównywany. Koncepcja PRT oparta jest na trzech głównych założeniach, zaproponowanych przez J. Huttmana (1980). Pierwsze z nich dotyczy aspektu techniczno-konstrukcyjnego. System działa na całkowicie odrębnej i specjalnie dostosowanej infrastrukturze, zazwyczaj szynowej bądź drogowej. Oznacza to, że nie ma możliwości poruszania się pojazdów poza utworzoną siecią. Drugie założenie dotyczy poziomu automatyzacji pojazdów oraz całej infrastruktury. W przypadku PRT występuje całkowite zmechanizowanie i zautomatyzowanie procesu transportu. Pasażer nie ingeruje w poruszanie się pojazdów, a jego udział w przemieszczaniu ogranicza się do wyboru celu. Ostatnie założenie odwołuje się do właściwości przemieszczeń. PRT to system transportu masowego, lecz pasażerowie transportowani są pojedynczo, lub też w małych grupkach składających się zazwyczaj z maksymalnie czterech osób (Huttman 1980). PRT różni się od GRT (z ang. grouprapid transit – grupowy transport miejski) jedynie w kwestii ostatniego z przytoczonych założeń.

Korzystanie z PRT można najprościej porównać do przejazdu taksówką. Wsiadając, podróżny określa cel. Jednak zamiast kierowcy, wytyczne odbiera interfejs komputerowy. Również system komputerowy obejmuje sterowanie nad pojazdem. Podróż odbywa się ze stałą, maksymalną prędkością, z omijaniem wszystkich zakorkowanych miejsc. Podczas gdy prawdziwy taksówkarz zażądałby wysokiej kwoty za przejazd, w systemach PRT bilet byłby nie droższy niż ten za przejazd autobusem czy tramwajem.

Geneza i rozwój koncepcji PRT

Koncepcja systemu PRT znana jest od wielu lat. Jej prekursorem jest Donn Fichter, amerykański planista komunikacji miejskiej, który już w 1953 r. rozpoczął badania nad automatycznymi pojazdami komunikacji miejskiej. Ich uwieńczeniem stała się publikacja pt. *Individualized automatic transit and the city* wydana w 1964 r. Wydarzenie to zapoczątkowało erę badań nad technologią PRT (Fichter 1991). Niestety, pierwsze inwestycje nie realizowały przyjętych założeń. Przykładem nieudanej próby wdrożenia systemu PRT jest paryski Aramis project. Pionierskie badania zapoczątkowane przez firmę Matra Transport w 1969 r., przerwano po niespełna dwudziestu latach, w trakcie trwania trzeciej fazy testów. Powodem rezygnacji był brak funduszy, niezbędnych technologii i porozumienia między konstruktorami (Anderson 1996). W tym samym czasie, począwszy od 1970 r., prowadzone były także badania przez japońskie konsorcjum na przedmieściach Tokio. Computer-controlled vehical system doczekał się swojej jednostki badawczej z 84 pojazdami poruszającymi się po pięciokilometrowej trasie z minimalną separacją na poziomie jednej sekundy. Projekt został anulowany w następstwie decyzji japońskiego ministra infrastruktury i transportu, który określił system PRT jako niebezpieczny w świetle istniejących przepisów bezpieczeństwa (Ishii, Iguchi, Koshi 1977). W 1975 r. w Morgantown, przy współpracy Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych i jednostki badawczej należącej do West Virginia University, powstał pierwszy system PRT (Raney, Young 2004). Należy zaznaczyć, że zaliczanie systemu w Morgantown do rozwiązań typu PRT jest umowne. Pomimo że pasażer ma możliwość definiowania celu, to jednak sama podróż niekoniecznie przebiega indywidualnie. Wynika to z budowy pojazdów, które zaprojektowano tak, aby mogły pomieścić 12 osób. Cała, czternastokilometrowa trasa Morgantown PRT funkcjonuje w pełni do dnia dzisiejszego. Duża popularność systemu wśród mieszkańców, w tym głównie wśród studentów – 16 tysięcy pasażerów na dobę w trzydziestotysięcznej miejscowości, w której uczy się drugie tyle studentów dziennych (Booth 2007) – sprawia, że planowana jest jego rozbudowa (Booth 2007). Nie brakuje również negatywnych opinii. Budowa systemu pochłonęła 130 mln dolarów, choć wstępne szacunki planowały jedynie 20 mln dolarów (Raney, Young 2004). Ponadto koszty eksploatacji również przewyższają wartości planowane. Obecnie, dochód z jednego biletu wystarcza na pokrycie 60% kosztów przejazdu, na który został wykupiony (Schneider). Niejednoznaczny sukces w Morgantown sprawił, że kolejne 25 lat upłynęło bez szczególnie znaczących wydarzeń w tym segmencie transportu. Atrakcyjnymi projektami, a zarazem najbliższymi w realizacji były: niemiecki Cabintaxi, który miał powstać w Hamburgu oraz amerykański Taxi2000, proponowany w miejscowości Rosemont w okolicach Chicago. Oba projekty przeszły fazę testów, lecz żadne z miast nie zgodziło się na kosztowną i ryzykowną wówczas budowę (Burger).

Początek XXI w. to start kolejnej fazy wyścigu. Nowoczesne systemy lokalizacyjne, specjalistyczne czujniki, nowe rodzaje lekkich i tanich materiałów oraz inne nowinki techniczne, a także wzrastające zatłoczenie miast stają się głównym motorem napę-

dzającym rozwój PRT. Nie sposób tu wymienić wszystkich prowadzonych wdrożeń i badań.

Warty uwagi jest projekt ULTra, którego jednostka badawcza znajduje się nieopodal stolicy Walii w Cardiff od 2001 r. (*Vehicle development history...*). Pierwszy pasażerski odcinek tego systemu został udostępniony pasażerom w marcu 2011 r. na piątym terminalu londyńskiego lotniska Heathrow, a na 2014 r. planowane jest otwarcie sieci obsługującej 100 tysięcy pasażerów dziennie w indyjskim mieście Amritsar (*World's first...*). Projektanci ULTra w swoich ofertach informują o możliwości personalizacji pojazdów względem potrzeb zgłaszanych przez użytkowników. Jednym z przykładów jest dostosowanie tzw. podcars (pojazdów) do obsługi transportu towarowego (*Vehicle features...*).

W listopadzie 2010 r. została ukończona budowa pierwszego segmentu 2getthere w Masdar City – pierwszym na świecie całkowicie ekologicznym mieście położonym na pustyni w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Oficjalny portal projektu 2getthere podaje informację, że w pierwszym roku funkcjonowania, na 1,2-kilometrowej trasie przewieziono 230 tysięcy pasażerów. Całkowita załoga zarządzająca systemem liczyła w tym okresie 8 osób (*Masdar year...*).

Wymienione systemy PRT to tylko najbardziej zaawansowane wdrożenia, lecz nie są to jedyne pomysły rozwiązań technologicznych. Projektów powstaje na tyle dużo, że można je klasyfikować według szeregu kryteriów. Stosując wyznacznik zastosowanej infrastruktury wyróżnia się pojazdy drogowe oraz szynowe. Wśród szynowych dodatkowo spotkać można się z pojazdami opartymi na szynach lub podwieszanymi, umocowanymi do dwóch szyn lub jednej, czy też wykorzystującymi szyny zwyczajne bądź z poduszką magnetyczną. W zależności od rodzaju zastosowanego napędu różni się pojazdy posiadające silniki elektryczne obrotowe oraz elektryczne liniowe (stosowane głównie w typach monorail lub maglev). Kolejne, najbardziej zauważalne rozróżnienie dotyczy sposobu dostarczania energii elektrycznej. Występują dwie grupy pojazdów: zasilane z sieci oraz posiadające wbudowane akumulatory.

Od 2000 r. obserwowane jest coraz większe zainteresowanie koncepcją PRT. Objawia się ono przede wszystkim w postaci coraz to nowszych propozycji projektów, które różnią się zazwyczaj pod względem zastosowanych rozwiązań technologicznych. Od 2011 r. projekty zaczęły stawać się rzeczywistością, na co dowody można znaleźć pod Londynem i w Masdar City. Być może teraz już tylko chwile dzieli systemy PRT od momentu, kiedy staną się one nieodłącznym elementem funkcjonowania całych miast.

Korzyści ekonomiczne, ekologiczne i społeczne PRT

Chociaż systemy PRT zalicza się do jednego z rodzajów transportu publicznego (*Public transport...*), nie spełniają one wszystkich warunków charakterystycznych dla tej grupy. Owszem, są dostępne dla ogółu społeczeństwa, ale nie poruszają się według określonego harmonogramu i stałej trasy, a podróżowanie nimi nie wymaga współdzielenia pojazdu z osobami nieznanymi. Tak więc systemy PRT posiadają cechy trans-

portu prywatnego (indywidualnego). Mimo że pasażer nie jest właścicielem pojazdu, to podróżuje bez obecności nieznanymi, wygenerowaną specjalnie dla niego trasą i o dogodnej dla niego porze. Można więc powiedzieć, że systemy PRT są połączeniem zalet zarówno transportu publicznego, jak i indywidualnego.

Rozwiązania techniczne oraz organizacyjne (logistyczne) zastosowane w PRT składają się na zalety, które można rozpatrywać w ujęciu ekonomicznym, ekologicznym i społecznym (*PRT benefits...*). Korzyści ekonomiczne związane są przede wszystkim z obniżeniem kosztów przemieszczeń wynikającym ze skrócenia czasu podróży w systemach PRT. Zastosowanie specjalistycznej infrastruktury, projektowanej i konstruowanej dla konkretnego systemu, umożliwi elastyczne tworzenie pewnych udogodnień. Takim udogodnieniem są bocznice przystanki (jak w komunikacji autobusowej)¹. Są to przystanki szeregowe bądź równoległe, które nie znajdują się na głównej linii sieci. Tym samym pojazd zatrzymujący się do przeładunku nie blokuje przejazdu innym użytkownikom infrastruktury, skracając łączny czas przemieszczeń w systemie.

W przypadku PRT przewóz osób odbywa się w małych grupach. Każdy pasażer może wsiąść do zamówionego pojazdu, wybrać cel podróży i – w zależności od złożoności systemu – także trasę podróży. W połączeniu z występowaniem przystanków bocznicy cecha ta pozwala na przemieszczenie się z punktu A do punktu B bez pośrednich zatrzymań. Po rozpędzeniu się, pojazd dojeżdża do celu ze stałą i maksymalną prędkością (*PRT benefits...*). Opisany proces nosi nazwę: *end2end journey*, lub: *nonstopjourney*. Można zauważyć, że z zasadą *end2endjourney* ma się do czynienia także w przypadku podróży samochodem. Jednakże wówczas pasażer narażony jest na szereg niedogodności (np. korki, zatrzymania na skrzyżowaniach, na światłach) oraz niebezpieczeństw (np. ryzyko kolizji).

Pojazdy samochodowe wymagają miejsca do parkowania. Liczba takich miejsc w przestrzeni miejskiej jest ograniczona, co sprawia, że znalezienie wolnego pochłania ogromne ilości czasu. Samo parkowanie zaczyna mieć zbyt duży udział w całkowitym czasie podróży. W systemie PRT nie są potrzebne parkingi, ponieważ zwolniony przez pasażera pojazd przejmuje inna osoba lub też zostaje on odesłany przez system sterujący do innej, deficytowej stacji bądź do zajezdni.

Inną niedogodnością podczas podróży samochodem jest brak możliwości utrzymania maksymalnej prędkości na całej długości trasy. W dużych miastach wynika to przede wszystkim z przerostu liczby samochodów w odniesieniu do poziomu rozbudowy infrastruktury drogowej, a także z występowania kolizyjnych skrzyżowań. Większość miejskich skrzyżowań zbudowana jest w jednej płaszczyźnie. Istnieje zatem duże prawdopodobieństwo, że aby jeden pojazd mógł przejechać przez skrzyżowanie, kilka innych musi się zatrzymać. Utrata prędkości powoduje wydłużanie się czasu podróży. Również tutaj system PRT okazuje się lepszy. Niskie koszty budowy sprawiają,

¹ Nie jest to nowe rozwiązanie, gdyż stosowane jest już w komunikacji autobusowej. Autobus, aby nie blokować ruchu drogowego, zjeżdża na zbudowaną specjalnie dla niego zatoczkę, a powraca na drogę dopiero po zakończeniu procesu przeładunku.

że każde skrzyżowanie może być budowane w wielu płaszczyznach. Mogą powstawać miniaturowe ronda lub tzw. koniczynki, czyli skrzyżowania, jakie występują np. na przecinających się autostradach czy drogach ekspresowych.

W świetle danych Najwyższej Izby Kontroli z lat 2009 i 2010, najczęstszą przyczyną wypadków był zły stan techniczny infrastruktury drogowej oraz brawura bądź nieumiejętne zachowania kierowców samochodów. Z kolei zły stan techniczny pojazdów bądź ich awarie mają najmniejszy wpływ na liczbę wypadków (*Przyczyny wypadków...*). W przypadku PRT zanika funkcja kierowcy. Całym ciężarem sterowania obciążony jest system komputerowy, a ingerencja pasażerów jest wyeliminowana. Należy więc przypuszczać, iż przy PRT znacząco zredukowane zostanie ryzyko wystąpienia jakiegokolwiek niepożądanego zdarzenia. Możliwość wypadku wyklucza także fakt, iż nie ma miejsc, w których mogłoby dojść do czołowego zderzenia. Jedyny kontakt pojazdów możliwy jest w przypadku najechania jednego na drugi. Przeciwdziałaniem dla takich sytuacji jest utrzymywanie odpowiedniego odstępu. System sterujący, za pomocą szeregu czujników umieszczonych w pojazdach oraz w samej infrastrukturze, w razie nieoczekiwanych okoliczności ma czas na odpowiednią reakcję i zatrzymanie właściwego pojazdu. Separacja pojazdów dla większości współczesnych projektów PRT utrzymuje się na poziomie około 0,7 sekundy, co daje w przybliżeniu 10 metrów przy prędkości 50 kilometrów na godzinę. Trudno takie parametry porównywać z metrem, nawet tak rozbudowanym, jak kijowskie, gdzie separacja pociągów w godzinach szczytu wynosi około dwóch minut (*Kijowskie metro...*). Wszystkie wymienione do tej pory czynniki wpływają na główne kryterium, jakim jest oszczędność czasu. Czas oszczędzany jest, kiedy pasażer: nie czeka aż nadjedzie pociąg czy autobus, nie szuka miejsca parkingowego, nie stoi na światłach czy w korku, nie zatrzymuje się na kilkunastu stacjach pośrednich przed osiągnięciem celu.

O ekologiczności rozwiązań PRT świadczy fakt, że oddziaływanie urządzeń wchodzących w skład tych systemów na środowisko jest marginalne lub małe w porównaniu z innymi popularnymi środkami transportu miejskiego (*Personal rapid...*). W pojazdach stosowane są elektryczne silniki obrotowe lub liniowe, pobierające energię z sieci albo z baterii, co sprawia, że nie emitują one bezpośrednio gazów cieplarnianych. Pośrednia emisja spalin jest nieunikniona, choć coraz częściej mówi się o zastosowaniu ogniw słonecznych lub wodoru do generowania energii (*Solar PRT...*). Większy problem stanowią akumulatory, a dokładniej idzie o zagrożenie dla środowiska, jakie stanowi ich utylizacja. Silniki elektryczne nie generują także wysokiego poziomu hałasu, charakterystycznego dla silników spalinowych. W sytuacji systemów PRT wykorzystujących infrastrukturę szynową, powstający hałas jest nieznaczny. Pojazdy są na tyle lekkie, iż możliwe jest zastosowanie niemetalowych rolek nośnych, co redukuje drgania, a przez to i emitowane dźwięki.

Istotnym problemem w miastach jest niedostosowanie infrastruktury transportowej do potrzeb osób niepełnosprawnych, w tym szczególnie osób poruszających się na wózkach. Owszem, pojawiają się pewne przedsięwzięcia, które mają na celu ułatwianie podróży tym osobom. Przykładem takim są autobusy niskopodłogowe. Lecz nawet

w nich po zastosowaniu przykłąku wysokość podłogi to około 24 centymetrów względem powierzchni przystanku (*Autobus niskopodłogowy...*), które dla niepełnosprawnego poruszającego się bez opiekuna są barierą nie do pokonania. Jeszcze trudniejsza jest sytuacja w transporcie kolejowym: w 2009 r. niespełna 11% elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz 1,5% wagonów pasażerskich było dostosowanych do przewozu osób z ograniczoną możliwością poruszania się. Szacuje się, że proces dostosowawczy będzie trwał minimum 30–40 lat (Jarmuziewicz 2009). W konsekwencji, zarówno osoby niepełnosprawne, jak i osoby starsze o ograniczonej sprawności ruchowej, mogą odnieść wrażenie marginalizacji, spowodowane odizolowaniem od społeczeństwa. Tymczasem wszystkie systemy PRT uwzględniają wspomniane grupy społeczne. Projekty pojazdów zakładają powierzchnię podłogi pojazdu na tej samej wysokości, co peron. Przestrzeń wewnątrz pojazdu musi być na tyle duża, aby zmieścić niepełnosprawnego na wózku wraz z opiekunem albo wózek dziecięcy z rodzicami, bądź rowerzystę z rowerem. Wszystkie powyższe wymagania muszą również spełniać przystanki.

Problemem w miastach jest określenie, na ile wprowadzanie stref płatnego parkowania jest korzystne, a na ile szkodliwe dla społeczeństwa. Oprócz zysków finansowych, czyli wpływów do budżetu miasta oraz mniejszej liczby samochodów w strefie, pojawiają się pewne negatywne aspekty. Płatne parkowanie, podnosząc koszty zakupów, wpływa na spadek dochodów firm usługowych na terenie strefy, a ponadto może ograniczyć interakcje pomiędzy mieszkańcami strefy a ludźmi spoza niej. Odpowiednia polityka w zakresie przepływów miejskich – składająca się z wprowadzania strefy płatnego parkowania albo nawet tworzenia stref wolnych od ruchu samochodowego oraz jednoczesnego uruchamiania alternatywnego systemu transportu – mogłaby sprawić, że w społeczeństwie i gospodarce obszaru nie doszłoby do żadnych negatywnych zmian. Zastosowanie PRT jako tej alternatywy dawałoby dużą szansę na odblokowanie centrum i usunięcie pojazdów na skrajne strefy miasta.

Polski wkład w rozwój systemów PRT – zalety koncepcji MISTER na tle innych systemów

Tak jak na całym świecie powstawały różne rodzaje systemów PRT, tak również w Polsce możemy się pochwalić powstaniem koncepcji systemu pod nazwą MISTER. MISTER jest to miejski indywidualny system transportu elektryczno-rolkowego, który opracował inż. Olgierd Mikosza. Na tle innych koncepcji PRT wyróżnia się on wieloma korzystnymi cechami (zob. tabela 1).

Przede wszystkim odmienna jest koncepcja ruchu pojazdów, które zawieszono na szynach nośnych o dwustronnej i asymetrycznej konstrukcji. MISTER jest systemem bezzwrotnicowym, co oznacza, że elementy zwrotnicy są rozłączne. Fakt, że w obszarze zwrotnicy szyny jezdne ułożone są równolegle na odcinku kilkunastu metrów, pozwala mechanizmowi pojazdu przepiąć się w czasie jazdy z jednej szyny na drugą. Unikatowość tego rozwiązania pozwala na dostosowanie rozmieszczenia kolejnych

Tabela 1

Zalety systemu MISTER na tle innych systemów PRT

Sfera	Zalety systemu na tle innych systemów PRT
Ekonomiczna	<ul style="list-style-type: none"> – niskie koszty budowy pojedynczego pojazdu i infrastruktury szynowej; – niskie zapotrzebowanie na energię, wynikające z lekkiej konstrukcji pojazdów i zasilania z sieci; – brak kosztów związanych z przechowywaniem, ładowaniem i recyklingiem akumulatorów; – brak potrzeby zatrzymywania ruchu pojazdów na głównej trasie przelotu w sytuacji dobudowywania nowych przystanków
Ekologiczna	<ul style="list-style-type: none"> – małe zapotrzebowanie przestrzeni (na poziomie ziemi znajdują się jedynie słupy i małe przystanki); – brak akumulatorów, a co za tym idzie problemów związanych z recyklingiem szkodliwych substancji; – brak produktów ubocznych ruchu i obsługi pojazdów, tj. brak spalin, płynów, smarów czy opon; – niski poziom wibracji i hałasu, wynikający z zastosowania rolek z tworzywa sztucznego
Społeczna	brak możliwości kontaktu z pieszym czy innymi użytkownikami dróg

Źródło: Opracowanie na podstawie <http://www.mister.eu/opis-mistera.html> (15 stycznia 2012).

przystanków i skrzyżowań bez ingerencji w istniejącą infrastrukturę systemu (*Opis działania...*). MISTER jako podwieszany system jest zasilany z szyny, a nie z akumulatorów, jak w przypadku wielu innych rozwiązań.

Porównując polski system MISTER do np. brytyjskiej koncepcji ULTra można zauważyć, że mimo iż oba pomysły uznawane są za systemy PRT, to z technicznego punktu widzenia różnią się całkowicie. Pojazdy w koncepcji ULTra poruszają się po naziemnej infrastrukturze i zasilane są za pomocą akumulatorów (*An effective solution...*). Są one łatwiejsze w budowie oraz bardziej akceptowalne społecznie, jednak implementacja systemu ULTra w komunikacji miejskiej byłaby niezwykle skomplikowana. Główny problem stanowiłoby zapotrzebowanie na teren, który w centrach dużych miast jest niezwykle istotnym czynnikiem hamującym rozwój infrastruktury. Kolejnym problemem byłyby akumulatory, które trzeba ładować i poddawać recyklingowi. Ponadto czas użytkowania i zasięg takich pojazdów jest znacznie ograniczony.

System MISTER nie generuje kolejnej infrastruktury transportowej w tej samej płaszczyźnie. Szyny można budować nad drogą, przenosząc w ten sposób ruch na wyższy poziom. Istotną zaletą stosowania nadziemnej infrastruktury jest wzrost bezpieczeństwa. Przede wszystkim eliminuje to miejsca potencjalnej kolizji pojazdów. Zasilanie pojazdów z sieci (brak akumulatorów) znacząco wpływa na obniżenie wagi pojazdu, a to z kolei pozwala stosować tańsze i lżejsze materiały do konstrukcji torowiska. Wydaje się, że w świetle przedstawionych cech system MISTER stanowi najbardziej dopracowaną koncepcję PRT zarówno z ekonomicznego i ekologicznego, jak też z społecznego punktu widzenia.

MISTER w Opolu

Miasto Opole było pierwszym miejscem w Polsce, które zainteresowało się projektem MISTER. Wraz ze wsparciem miasta ruszyły pierwsze inwestycje dla projektu. W 2007 r. rozpoczęto prace nad budową prototypu pojazdu. Budowa trwała trzy miesiące i realizowana była przez garstkę entuzjastów z O. Mikoszą na czele. Prace uwieńczone zostały w pełni działającym modelem w skali 1:1. Pojazd z wózkiem napędowo-nośnym, zabezpieczeniami i sterowaniem zawieszony został na dwudziestometrowej szynie jezdnej na rynku w Opolu. Prototyp poruszał się po prowadnicy, demonstrując prostotę i korzyści nowatorskiego systemu zwrotnic. Pokaz został bardzo pozytywnie odebrany przez władze miasta, jak również przez wielu opolan. Znalazły się także słowa krytyki, które teoretycznie nie miały wpływu na zadeklarowaną chęć współpracy ze strony prezydenta miasta. Wielu mieszkańcom miasta nie przypadł do gustu projekt kolejki z racji estetycznych (kolejka nie pasuje do wiekowych kamienic w śródmieściu) oraz bezpieczeństwa (wielu ludzi ma lęk wysokości) (*Opole i Warka...*).

Kolejnym etapem współpracy miała być budowa dwukierunkowej linii próbnej kolejki na czterokilometrowym odcinku. Odcinek próbny miał łączyć centrum miasta z centrum handlowym Karolinka. Po trasie kursować miało w obu kierunkach 200 pojazdów, które zatrzymywałyby się na 24 przystankach (*Opole i Warka...*).

W październiku 2009 r. MISTER Sp. z o.o. otrzymała dotację Ministerstwa Gospodarki w wysokości prawie 23 mln zł na budowę Centrum Badawczo Rozwojowego MISTER-a w Opolu. W styczniu 2010 r. Rada Miasta Opola wydzierżawiła spółce grunt pod budowę odcinka testowego. Problem pojawił się przed rozpoczęciem budowy, gdy okazało się, że aby odcinek mógł powstać, niezbędne są jeszcze dodatkowe zezwolenia środowiskowe. Problem odroczył możliwość realizacji projektu o kilka miesięcy, na co nie przystał główny inwestor i wycofał się z inwestycji².

Obecnie sytuacja kolejki podwieszanej wygląda tak, że O. Mikosza ma wydzierżawioną działkę o powierzchni 2,5 hektara i przyobiecana dotację, jednak aby ruszyć z inwestycją wymagany jest wkład własny. Dopóki nie znajdzie się inwestor, który włoży brakujący wkład, dopóty projekt placówki badawczej nie zacznie być realizowany (Janowski 2011).

Analiza przepustowości systemu MISTER

Jedną z kluczowych cech każdego systemu transportu jest jego przepustowość, czyli wyrażona liczbowo maksymalna zdolność transportowania. Na przepustowość całkowitą systemu składają się skonsolidowane wartości przepustowości linii oraz przepustowości przystanków.

² Informacja uzyskana na konferencji: Smart logistics w mieście, organizowanej przez Koło Naukowe Logistyki LogPoint 25 listopada 2011.

Uzyskanie odpowiedzi, jaka jest przepustowość linii systemu MISTER, wiąże się z określeniem pewnych założeń (tabela 2). Dla celów obliczeniowych przyjmuje się, że sieć szyn kolejki (w dwóch kierunkach) ma 60 km długości (czyli łącznie 120 km). Analiza wykonywana jest w warunkach maksymalnego obciążenia systemu, w którym separacja pomiędzy pojazdami jest minimalna i wynosi 10 m (co przy prędkości 50 km/h stanowi 0,72 s). Tak więc na każdy kilometr trasy przypada maksymalnie 200 pojazdów. Przyjmuje się, że pojazdy obsługiwane są przez 5 przystanków (w obu kierunkach). Dla celów badania przyjęto również, że 80% pojazdów wykonuje transport pasażerów, podczas gdy pozostałe 20% to tzw. puste przebiegi. Dotychczasowe dane pozwalają określić chwilową pojemność sieci, która wynosi 9600 pojazdów. W zależności od średniej liczby pasażerów przypadających na pojazd daje to wielkość od 9600 do 38 400 osób przebywających w danej chwili w granicach całej infrastruktury.

Tabela 2

Uproszczona analiza przepustowości sieci systemu MISTER

Nazwa parametru	Założenia	Pochodne obliczenia	Liczba pasażerów			
			minimalna	oczekiwana	szczytowa	maksymalna
Całkowita długość dwukierunkowych tras	60 km	×	×	×	×	×
Prędkość pojazdów	50 km/h	×	×	×	×	×
Odległość pomiędzy pojazdami	10 m	0,72 s	×	×	×	×
Maksymalna liczba pojazdów (pojazd – p)	×	200 p/km	×	×	×	×
Maksymalne wykorzystanie infrastruktury	80%	160 p/km	×	×	×	×
Maksimum pustych pojazdów	20%	40 p/km	×	×	×	×
Średnia liczba osób w pojeździe	×	×	1	2	3	4
Pojemność chwilowa systemu	×	9600 p	9600	19200	28800	38400
Średnia długość przejazdu	5 km	×	×	×	×	×
Średni czas przejazdu z 2-minutowym postojem	×	8 min	×	×	×	×
Średnia liczba kursów jednego pojazdu w czasie (kurs – k)	×	7,5 k/h	×	×	×	×
Przepustowość systemu	×	72000 k/h	72000/h	144000/h	216000/h	288000/h

Przyjmując założenie, że średnia długość przejazdu wynosi 5 km oraz że średnia długość postoju na stacji wynosi 2 minuty (obejmuje nie tylko przesiadkę, ale także różnicę czasu wynikającą ze zwalniania przed zatrzymaniem i przyspieszania po starcie), możliwe staje się określenie średniej liczby kursów każdego pojazdu w ciągu godziny. W następstwie wyliczona zostaje przepustowość tras systemu kształtująca się na poziomie 72 000 wykonanych przewozów w ciągu godziny. Łącznie system może obsłużyć maksymalnie od 72 000 do 288 000 pasażerów na godzinę (w zależności od przyjętej średniej liczby pasażerów przypadającej na jeden pojazd) (Mikosza).

Kolejnym etapem badania jest określenie wydajności przystanków. W założeniach podano, że na każdy kilometr trasy przypadać będzie 5 przystanków (tabela 3.). Według danych O. Mikoszy, proces przesiadki będzie możliwy na 5 stanowiskach jednocześnie i będzie trwał średnio 30 sekund (obejmuje również wybór celu). W efekcie 600 pojazdów na godzinę może przyjeżdżać na stację i rozpoczynać kolejną podróż. W zależności od przyjętej średniej liczby pasażerów, każdy przystanek może zarówno przyjmować, jak i wysyłać maksymalnie od 600 do 2400 pasażerów na godzinę.

W odniesieniu do przyjętych założeń wąskim gardłem pozostaje sieć szyn, która charakteryzuje się w tym wypadku ponad dwukrotnie niższą przepustowością. Należy jednak zaznaczyć, że przyjęte założenia są jedynie szacunkowe (Mikosza).

Tabela 3

Uproszczona analiza przepustowości przystanków systemu MISTER

Nazwa parametru	Założenia	Pochodne obliczenia	Liczba pasażerów			
			minimalna	oczekiwana	szczytowa	maksymalna
Maksymalna pojemność stacji (liczba pojazdów na stacji)	5	x	x	x	x	x
Czas zatrzymania na stacji (w sekundach)	30	x	x	x	x	x
Przepustowość przystanku (pojazd – p)	x	600 p/h	600/h	1200/h	1800/h	2400/h
Przepustowość wszystkich (300) przystanków sieci	x	180 000 p/h	180 000/h	360 000/h	540 000/h	720 000/h

Źródło: Opracowanie na podstawie: <http://www.mist-er.com/images/MISTER-Capacity-Thruput-analysis-PL-6.pdf> (15 stycznia 2012).

Na każdym przystanku w ciągu godziny może dojść do 600 przesiadek, a przez jeden punkt pomiarowy umieszczony w dowolnym miejscu systemu może w ciągu godziny przejechać maksymalnie 5000 pojazdów. Otrzymane wyniki przepustowości linii oraz przystanków wskazują na ogromne możliwości systemów PRT. Należy przypuszczać, że MISTER byłby w stanie zaspokoić popyt na usługi transportowe nawet w średniej wielkości mieście.

Projektowanie przykładowej sieci szyn oraz symulacja obciążenia

Realna szansa wdrożenia systemu MISTER na terenie Opola skłania do głębszych przemyśleń dotyczących struktury sieci oraz jej możliwości przesyłowych w odniesieniu do ukształtowania istniejących traktów komunikacyjnych. Celem badania jest utworzenie sieci systemu MISTER dla miasta Opola, a następnie przeprowadzenie symulacji obciążenia, przy założonym stałym popycie na usługę transportu.

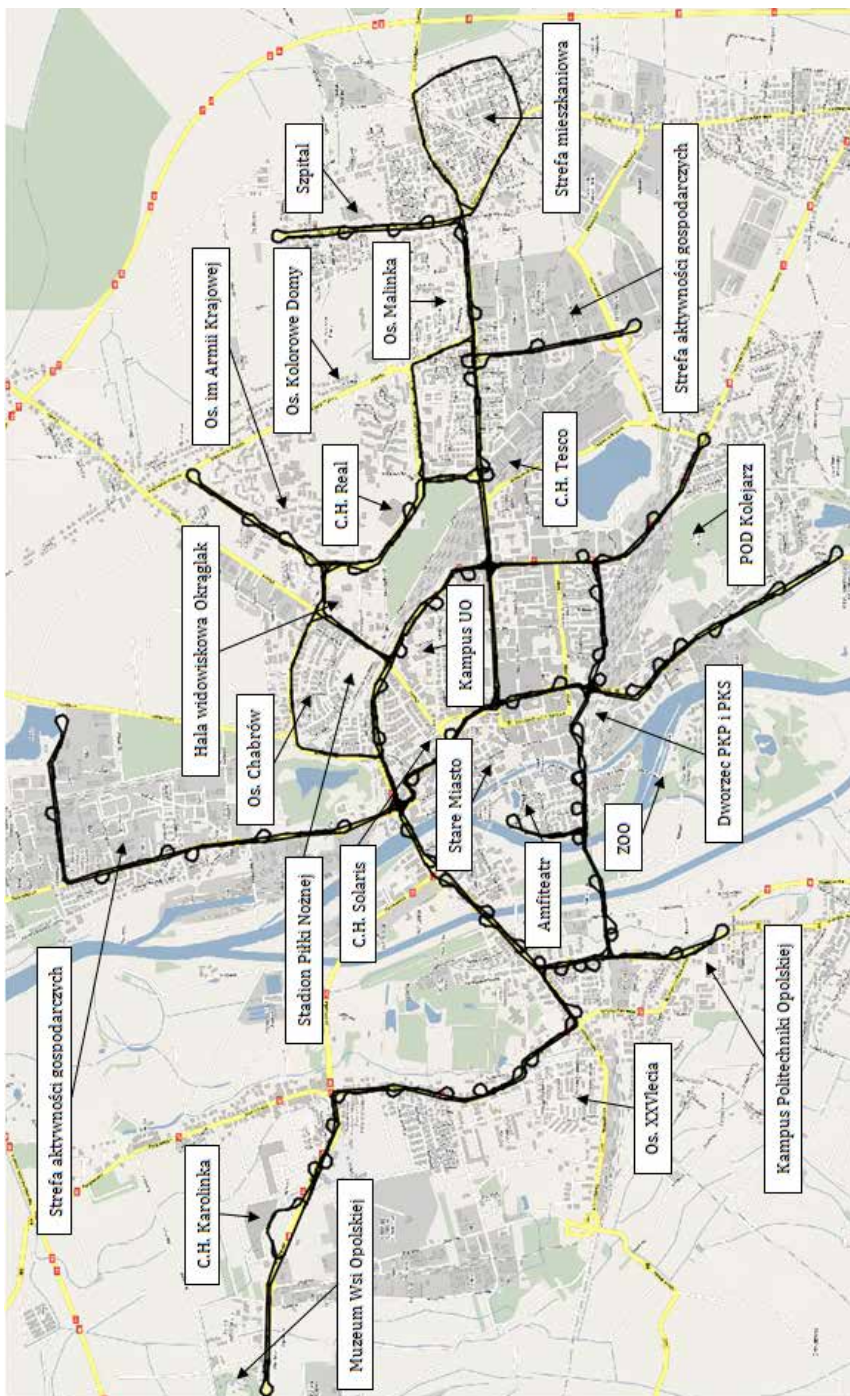
W pierwszym etapie badania opracowano projekt rozmieszczenia infrastruktury systemu PRT, zaczynając od usytuowania przystanków. Przystanki umieszczano tak, aby znajdowały się jak najbliżej strategicznych punktów (np. amfiteatr, Stare Miasto, centra handlowe), obiektów użyteczności publicznej (np. kampus uniwersytecki, stadion piłkarski, szpital) oraz dużych skupisk mieszkań (osiedla). Powstało 78 stacji przesiadkowych. W kolejnym etapie utworzono trakty komunikacyjne, łączące poszczególne stacje. Ich usytuowanie zależy od ilości dostępnej przestrzeni nad drogami w poszczególnych miejscach miasta. Unikano również umieszczania linii w pobliżu budynków o szczególnej wartości architektonicznej. Łącznie powstały 53 kilometry dwukierunkowego szlaku komunikacyjnego (czyli 106 km szyn). Ostatnim elementem projektowania było umieszczenie na mapie zajezdni, które w razie potrzeby uzupełniałyby deficyt pojazdów, bądź przechowywały ich nadmiar. Plan rozmieszczenia infrastruktury przedstawiony został na rysunku 1.

W celu przeprowadzenia symulacji obciążenia wykorzystano program Hermes network simulator, stworzony przez Christosa Xithalisa³. Elastyczność programu pozwala dostosować go do parametrów MISTER-a.

Hermes network simulator dzieli wprowadzoną mapę na kwadraty o powierzchni odpowiadającej 0,01 kilometra kwadratowego w rzeczywistości. Przyjęto założenie, że każdy taki kwadrat generuje stały popyt na usługi transportu, który wynosi 10 grup osób na godzinę, przy czym liczebność grupy nie jest brana pod uwagę. Drugie założenie określa, że klient jest w stanie przejść maksymalnie 400 metrów, aby dojść do najbliższej stacji MISTER-a. W skali całej stworzonej mapy przystanki obejmowały łącznie powierzchnię około 21 kilometrów kwadratowych, czyli nieco ponad 20% całkowitej powierzchni miasta. Przy przyjętym jednolitym popycie i równej „atrakcyjności” miejsc docelowych, w ciągu jednej godziny generowano 20 600 grup pasażerów. Prędkość maksymalna pojazdów wynosi 14 metrów na sekundę (około 50 kilometrów na godzinę), a przyspieszenie 0,172 m/s².

Czas trwania symulacji odpowiadał 10 godzinom czasu rzeczywistego. W momencie rozpoczęcia symulacji, na każdej stacji znajdowało się 5 pojazdów. Wyniki symulacji przedstawiono w tabeli 4.

³ Hermes network simulator to program do symulacji obciążenia sieci Hermes. Twórca: Christos Xithalis. Autor programu wyraził zgodę na skonwertowanie do parametrów MISTER-a. Program można pobrać pod adresem: http://students.ceid.upatras.gr/~xithalis/index_en.html.



Rys. 1. Plan zaprojektowanej sieci szyn i przystanków systemu MISTER w Opolu
Źródło: Opracowano przy użyciu Hermes network simulator.

Wyniki symulacji w programie Hermes network simulator

Parametr	Wartość
Średni całkowity dystans (km/h) pokonywany przez wszystkie pojazdy	67 301
Średni dystans (km/h) pokonany przez załadowany pojazd	59 564 (87%)
Średni dystans (km/h) pokonany przez puste pojazdy (puste przebiegi)	7 737 (13%)
Całkowita liczba wygenerowanych pojazdów	3 527
Średni czas (s) oczekiwania na pojazd	14
Maksymalny czas (s) oczekiwania na pojazd	278

Źródło: Opracowano przy użyciu Hermes network simulator.

W przypadku tego rodzaju systemów nieuniknione jest istnienie tzw. pustych przejazdów, czyli takich, w których pojazd musi przejechać w inne miejsce bez pasażerów. Według symulatora, puste przejazdy dla przygotowanej sieci wynoszą około 13%, jednak wartość ta jest znacznie zaniżona ze względu na to, że w przeprowadzonej symulacji popyt rozłożony był równomiernie w całej przestrzeni, podczas gdy w rzeczywistości mogą występować nasilenia popytu w jednym miejscu (np. przyjazd pociągu dalekobieżnego, koncert, mecz piłkarski, koniec godzin pracy w przedsiębiorstwie).

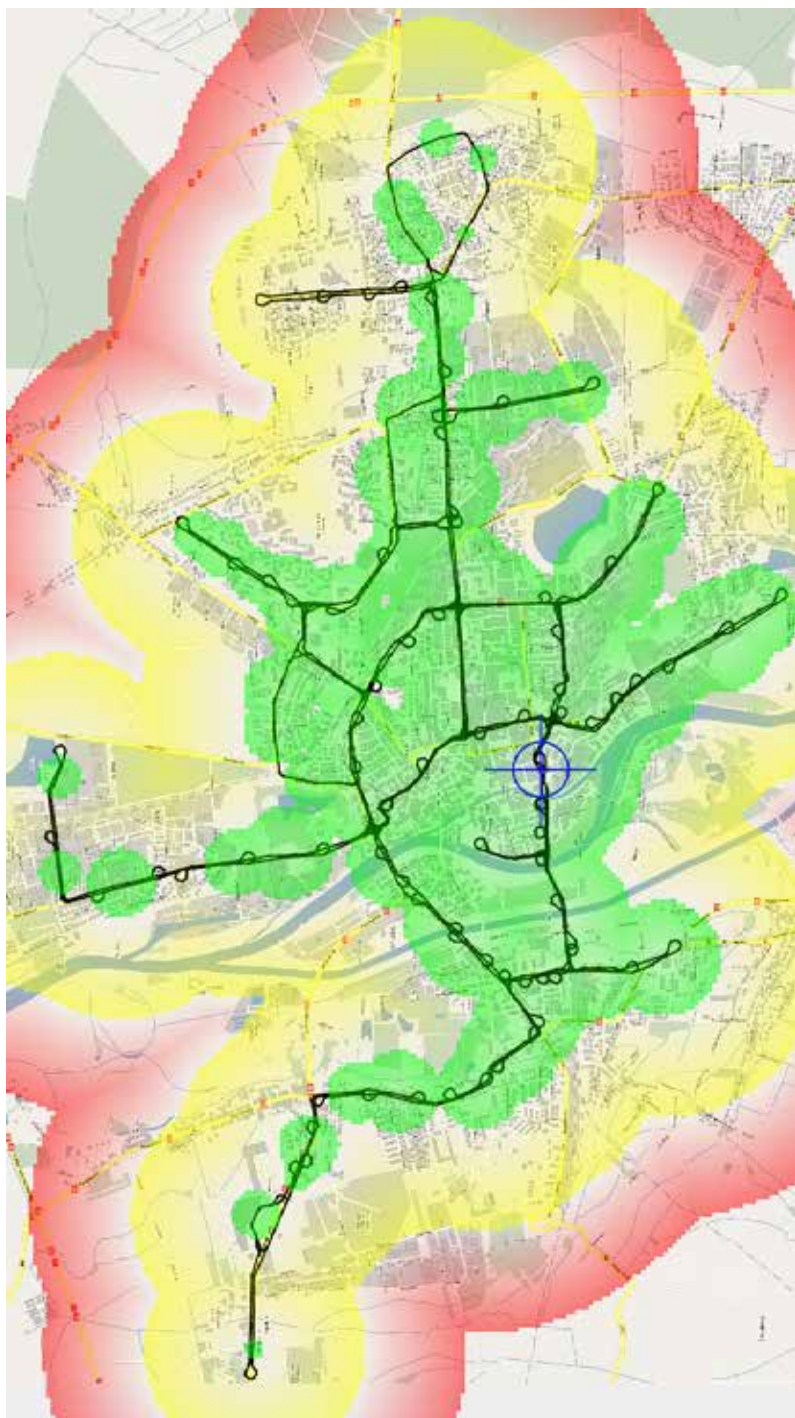
Średnia długość oczekiwania na pojazd była większa na przystankach znajdujących się najdalej od centralnej części sieci. Średnia prędkość oczekiwania na przystankach w ścisłym centrum miasta (dworzec kolejowy, Stare Miasto) nie przekraczała 5 sekund. Na rysunku 2 przedstawiono relatywne obciążenie sieci. Kolorem czerwonym zaznaczone są trasy o największym obciążeniu, natomiast zielonym o najmniejszym. Należy zaznaczyć, że najbardziej obciążone zawsze będą trasy, dla których nie można znaleźć alternatywnej ścieżki, jednak w przypadku tego uproszczonego modelu, system zawsze generuje najkrótszą drogę z punktu początkowego do docelowego. Największe natężenie ruchu występuje na głównej trasie horyzontalnej – zaprojektowanej nad ulicą Ozimską. W ciągu godziny w jednym kierunku przejeżdża 3600 pojazdów. Mimo że relatywnie jest to najbardziej obciążona linia (dla zadanego popytu), to rzeczywiste obciążenie wynosi 72%.

Wykonana symulacja pozwoliła także przedstawić w graficzny sposób czas trwania podróży, przy założeniu, że jej początek następuje w okolicy dworca kolejowego (niebieski znacznik na rysunku 3). Zakłada się, że w celu przemieszczenia się, wykorzystany jest wyłącznie system MISTER, a po opuszczeniu pojazdu możliwa jest jedynie piesza wędrowka (z prędkością 5 kilometrów na godzinę). Kolorem zielonym oznaczony jest obszar, do którego można dotrzeć nie później niż w 10 minut od rozpoczęcia podróży. Żółty kolor określa strefę dostępną w czasie do 20 minut, a czerwonym – do 30 minut.

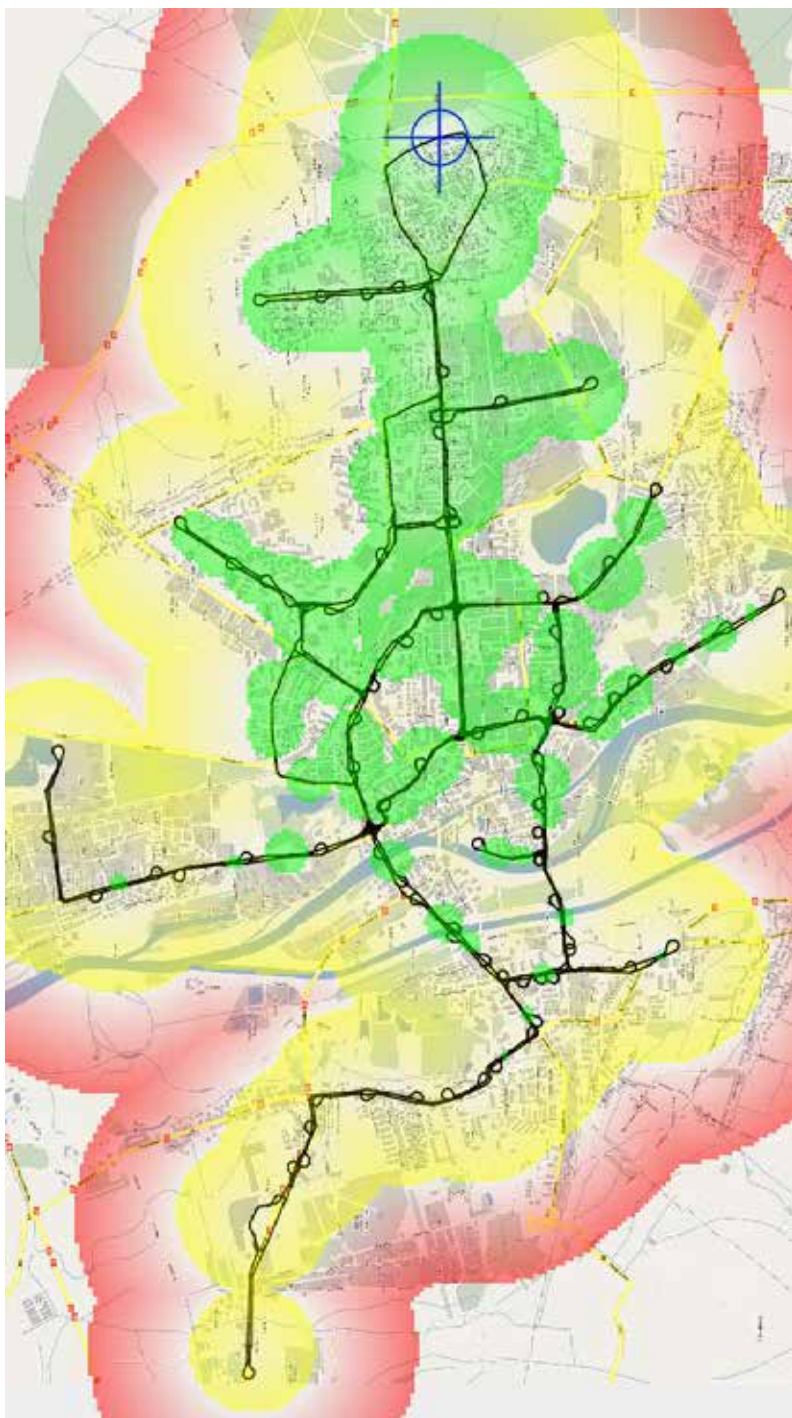
Rysunek 4 przedstawia tę samą symulację, przy czym podróż rozpoczyna się ze skrajnego punktu sieci – z przedmieścia.



Rys. 2. Relatywne obciążenie systemu MISTER, przy zadanym natężeniu pojazdów w Opolu
Źródło: Jak w rys. 1.



Rys. 3. Czas trwania przejazdu systemem MISTER w Opolu, przy zadanym natężeniu pojazdów i początku podróży w punkcie centralnym miasta
Źródło: jak w rys. 1.



Rys. 4. Czas trwania przejazdu systemem MISTER w Opolu, przy zadanym natężeniu pojazdów i początku podróży w punkcie skrajnym sieci szyn
Źródło: Jak w rys. 1.

Przeprowadzone badania, pomimo bardzo dużych ograniczeń od strony technicznej, pozwoliły wskazać, jakie szanse dla transportu w mieście niesie wdrożenie technologii PRT. Wśród podstawowych konkluzji wynikających z przeprowadzenia symulacji wymienić należy:

- obciążenie sieci 20 000 grup na godzinę (od 20 000 do 80 000 pasażerów) nie zablokowało sieci w żadnym punkcie,
- rzeczywiste obciążenie w najbardziej newralgicznym miejscu wyniosło 72%, co oznacza, że nawet gwałtowny wzrost popytu nie wymuszałby inwestycji w infrastrukturę (zapas przepustowości),
- przy zadeklarowanym popycie, na każdy kilometr trasy powinno przypadać 70 pojazdów,
- w ponad 62% przypadków pasażer nie musi czekać na przyjazd pojazdu transportowego, gdyż ten znajduje się na przystanku,
- największe zagrożenie zablokowaniem sieci stanowią takie połączenia dwóch przystanków, dla których nie można znaleźć całkowicie alternatywnej ścieżki (muszą występować przynajmniej dwie całkowicie odrębne trasy),
- z centralnego przystanku sieci w ciągu niespełna 10 minut można dotrzeć do wszystkich kluczowych obiektów w mieście,
- z przystanku położonego na obrzeżach miasta można w ciągu 10 minut dotrzeć do każdego miejsca w ścisłym centrum, podczas gdy w godzinach szczytu dojazd samochodem od ulicy Ozimskiej (od wschodu) trwa 30 minut, a od ulicy Wrocławskiej (od zachodu) 50 minut.

W obliczu obecnego stanu oraz poziomu zatłoczenia istniejących na terenie miasta szlaków komunikacyjnych, powyższe wyniki napawają optymizmem. Utworzenie 60-kilometrowej trasy systemu MISTER dawałoby możliwość zapewnienia mieszkańcom ultraszybkiego transportu, obejmującego zasięgiem teren niemal całego miasta.

Podsumowanie

Systemy PRT, w tym również MISTER, mają dużą szansę odniesienia sukcesu w przyszłości. Coraz większe obciążenia transportu miejskiego, pogarszające się warunki podróżowania, wzrastający stres i wypadki, przy niewydajności tradycyjnych systemów komunikacji miejskiej powodują, że niezbędne jest powstanie w najbliższym czasie alternatywy.

To, kiedy PRT pojawi się w życiu codziennym małych i dużych miast zależy od wielu czynników. Nawet rewolucyjne technologie muszą przejść przez poszczególne etapy wprowadzania nowego produktu, tj. budowę prototypu, obiektów testowych, uzyskiwania certyfikatów bezpieczeństwa, ekocertyfikatów, zezwoleń itp. Drugim czynnikiem działającym na opóźnienie kolejnych debiutów nowoczesnych systemów transportu jest niepewność władz miast i inwestorów. Brak jest jednoznacznego sukcesu takiego wdrożenia, co w efekcie sprawia, że każda pierwsza inwestycja obciążona jest dużym

ryzykiem (stopa zwrotu, reakcja społeczeństwa). Dodatkowo można przypuszczać, że istnieje silne lobby, któremu nie na rękę jest powstanie tak silnej alternatywy mogącej przynajmniej częściowo pogrążyć przemysł samochodowy.

Niemniej jednak, przynajmniej w sferze projektów, systemy PRT posiadają wszystkie niezbędne cechy wymagane w dzisiejszych czasach od idealnego środka transportu miejskiego. Istotnym elementem jest więc propagowanie tych nowoczesnych rozwiązań technologicznych wśród władz i mieszkańców miast. Pośród mieszkańców – aby to oni nie stali się barierą wprowadzenia do życia miasta nowego i początkowo abstrakcyjnego elementu. Natomiast wśród władz – by nabrały więcej odwagi niezbędnej do podjęcia tak innowacyjnej inwestycji. Być może za kilka lat to właśnie w Opolu każdy sam przekona się, na ile samochody są przeszłością, a pojazdy np. MISTER-a przyszłością transportu miejskiego.

Bibliografia

- An effective solution for localised areas with high-frequency transport needs*, <http://www.ultraglobalprt.com/how-it-works/> (15 stycznia 2012).
- Anderson J., 1996, *Some lessons from the history of personal rapid transit (PRT)*, <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/history.htm> (15 stycznia 2012).
- Autobus niskopodłogowy*, http://pl.wikipedia.org/wiki/Autobus_niskopodłogowy (15 stycznia 2012).
- Booth C., 2007, *The rails of Morgantown; PRT beginnings*, http://www.da.wvu.edu/show_article.php?&story_id=31053 (15 stycznia 2012).
- Burger M., *Cabintaxi PRT system*, <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/cabin.htm> (10 stycznia 2012).
- Fichter D., 1991, *Personal rapid transit. Whats in a name?*, „The Futurist” nr 3.
- Huttman J., 1980, *Fundamentals of personal rapid transit (book review)*, „Annals of Regional Science” nr 14.
- Ishii T., Iguchi M., Koshi M., 1977, *CVS: Computer-controlled vehicle system*, http://www.advancedtransit.net/system/files/PRT_III CVS_ISHII_p77_compressed.pdf (14 grudnia 2011).
- Janowski A., 2011, *Kto wierzy jeszcze w gondole?*, <http://www.strefabiznesu.nton.pl/arttykul/opole-kto-wierzy-jeszcze-w-gondole-75781.html> (15 stycznia 2012).
- Jarmuziewicz T., 2009, *Odpowiedź sekretarza stanu w Ministerstwie Infrastruktury – z upoważnienia ministra – na interpelację nr 11224*, <http://orka2.sejm.gov.pl/IZ6.nsf/main/3C2C83FD> (15 stycznia 2012).
- Kijowskie metro*, <http://ua2012.blox.ua/2011/11/Kijowskie-metro.html> (15 stycznia 2012).
- Masdar year 1 review*, <http://www.2getthere.eu/?p=990> (15 stycznia 2012).
- Mikosza O., *Uproszczona analiza zdolności przewozowej indywidualnego systemu transportu miejskiego MISTER („netro“)*, <http://mister.com/images/MISTER-Capacity-Thruput-analysis-PL-6.pdf> (15 stycznia 2012).
- Opis działania MISTER-a*, <http://www.mister.eu/opis-mistera.html> (15 stycznia 2012).
- Opole i Warka*, <http://www.mist-er.eu/opole.html> (15 stycznia 2012).
- Personal rapid transit is an economical solution*, <http://www.prtconsulting.com/benefitsb.html> (15 stycznia 2012).
- Podróżowanie w stronę nowej mobilności. Doświadczenie Caravel. Raport końcowy projektu*, 2009, red. R. Urbanczyk, Civitas Initiative, Kraków, <http://www.civitas-initiative.org/docs/CIVITAS%20CARAVEL%20Final%20Proje%20Report%20PL.pdf> (15 stycznia 2012).
- PRT benefits*, PRT Consulting, <http://www.prtconsulting.com/docs/Benefits.pdf> (15 stycznia 2012).
- Przyczyny wypadków drogowych według NIK-u*, <http://e-makler.com.pl/przyczyny-wypadkow-drogowych-wedlug-nik-u/> (15 stycznia 2012).
- Public transport*, http://en.wikipedia.org/wiki/Public_transport (15 stycznia 2012).

- Raney S., Young S., 2004, *Morgantown people mover*, http://www.cities21.org/morgantown_TRB_111504.pdf (15 stycznia 2012).
- Schneider J., *Morgantown GRT infopage*, <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/morg.htm> (15 stycznia 2012).
- Solar PRT*, <http://www.solarevolution.com/solutions/presentations/ATRA20061118.xls> (15 stycznia 2012).
- Vehicle development history (ULTra)*, <http://www.ultraprt.com/prt/vehicle/detailed-information/> (15 stycznia 2012).
- Vehicle features & customisation*, <http://www.ultraglobalprt.com/how-it-works/vehicle-features-customisation/> (15 stycznia 2012).
- World's first and largest urban PRT system is announced; Amritsar North India breaks ground on 12 December 2011*, <http://www.ultraglobalprt.com/wheres-it-used/amritsar-india/> (15 stycznia 2012).

SYSTEMY PRT JAKO SZANSA NA RADYKALNĄ POPRAWĘ TRANSPORTU W MIEŚCIE

ABSTRAKT: Poddając analizie efektywność współczesnej komunikacji miejskiej, można określić w prawie każdym mieście większe lub mniejsze problemy. Pojazdy samochodowe użytkowane są tylko przez kilkanaście minut na dobę i zazwyczaj przez nie więcej niż jedną osobę. Przez resztę czasu wymagają miejsc parkingowych, które zajmują tak trudny do wygospodarowania teren w mieście. Alternatywą jest transport grupowy. Jednak współczesne rodzaje komunikacji miejskiej, jakimi są głównie autobusy, tramwaje i metro, nie do końca spełniają swoje funkcje. Trudności te wymuszają na inżynierach szukanie coraz nowszych i bardziej efektywnych rozwiązań, bazujących na indywidualnej infrastrukturze. Takim rozwiązaniem są systemy PRT.

Niniejsza praca ma na celu zaprezentowanie nowego rodzaju komunikacji miejskiej, jakim są systemy PRT oraz porównanie ich możliwości z innymi rodzajami miejskiego transportu. Najpierw przedstawiono w niej ogólną charakterystykę systemów PRT, ich cechy i rozwój. W dalszej części omówiono polskie spojrzenie na ten specyficzny typ transportu, czyli projekt MISTER. Pracę kończy symulacja efektywnościowa systemu MISTER dla miasta Opola.

SŁOWA KLUCZOWE: PRT, transport miejski, ekologiczny transport, redukcja ruchu ulicznego, pojazdy sterowane komputerowo, MISTER, analiza przepustowości