

Iwona Grabarek  
Politechnika Warszawska Wydział Transportu

## **ZNACZENIE CZYNNIKÓW ERGONOMICZNYCH W PROJEKTOWANIU KABIN POJAZDU PRT**

**Streszczenie:** Wzrost zanieczyszczenia środowiska spalinami, coraz dłuższy czas poświęcany na dojazd i powrót z pracy, trudności w przemieszczaniu się w obrębie miast, zwiększająca się wypadkowość w transporcie – to tylko kilka cech charakteryzujących współczesne życie w aglomeracjach miejskich. Poszukiwania nowych, innowacyjnych rozwiązań w transporcie, rozpoczęto już na początku lat 60-tych ubiegłego wieku. Personal Rapid Transit (PRT) to inteligentny system transportowy, łączący cechy indywidualnego i masowego transportu miejskiego, na który składają się małe pojazdy (czterooosobowe) poruszające się zdalnie po lekkiej infrastrukturze – najczęściej szynie napowietrznej. W artykule przedstawiono znaczenie zagadnień z zakresu ergonomii i bezpieczeństwa w projektowaniu konstrukcji polskiego pojazdu PRT i ich wpływ na jakość techniczną i ergonomiczną kabiny. Badania prowadzone są w ramach projektu ECO-Mobilność współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.  
**Słowa kluczowe:** pojazd PRT, proces projektowania, czynniki ergonomiczne

### **1. WSTĘP**

Jedną z cech naszej cywilizacji jest skupianie się ludzi w miastach, które są identyfikowane z nowoczesnością i postępem technicznym, czyli z łatwiejszym życiem. Niestety w praktyce okazuje się, że życie w mieście niesie ze sobą wiele codziennych uciążliwości. Można do nich zaliczyć pośpiech, brak czasu, stres. Cechy te w dużej mierze mają związek z ograniczoną możliwością sprawnego przemieszczania się po mieście. Wynika ona z dużej liczby użytkowników ulic – od transportu publicznego (tramwaje, autobusy) po transport prywatny (samochody). Gigantyczne poranne i popołudniowe „korki”, kolizje, strata czasu spowodowały intensyfikację działań w zakresie poszukiwania nowych rozwiązań środków transportu, których charakter i sposób eksploatacji odciążyłyby istniejące „zaęszczenie” na ulicach. Pomysłem na rozwiązanie powyższych kłopotów jest idea środka transportu, która powstała w latach 60-tych w Stanach Zjednoczonych. Nazwa PRT (Personal Rapid Transit) jak dotychczas nie znalazła swojego odpowiednika w

języku polskim. Jest to indywidualny, bezkolizyjny, zdalnie sterowany transport, przeznaczony dla 4-6 osób, realizujący funkcję „door to door”, polegającą na podróżowaniu od stacji początkowej do końcowej, bez zatrzymywania się na stacjach pośrednich. Cechą tego rozwiązania jest również to, że przemieszczanie może odbywać się po specjalnej konstrukcji torów (drogi), usytuowanej kilka metrów nad ziemią. Tak więc pojazd PRT nie jest uzależniony od innych użytkowników dróg.

## 2. WSTĘPNE ZAŁOŻENIA SYSTEMU I POJAZDU PRT

Podstawą procesu projektowania obiektów technicznych jest sformułowanie wstępnych założeń, które narzucają konstruktorowi określone ograniczenia. Polski pojazd PRT przeznaczony jest do przewozu jednorazowo 4 osób [4]. Jego konstrukcja umożliwia również transport osób niesprawnych, poruszających się na wózkach inwalidzkich. Kabina wyposażona jest w cztery siedzenia, opcjonalnie składane. Nie przewiduje się podróżowania w pozycji stojącej. Sterowanie odbywa się automatycznie, bez udziału operatora. Wymaga to od pasażerów wykonania podstawowych czynności dotyczących wyboru przystanku docelowego.

Założono dwuwarstwową sieć „dróg” dla pojazdów PRT, charakteryzujących się inną prędkością eksploatacyjną. Zjazd z warstwy I do warstwy II nie powinien powodować efektów niedopuszczalnych z punktu widzenia oddziaływania na pasażera niezrównoważonego przyspieszenia oraz szybkości jego zmian, tzw. „jerk”.

Poruszanie się pojazdu po lekkiej, napowietrznej infrastrukturze narzuca ograniczenia z punktu widzenia ciężaru pojazdu. Analizując wybrane konstrukcje pojazdów PRT przeznaczone do przewozu 4 osób (zazwyczaj jeszcze w fazie badań prototypowych lub symulacyjnych), można zaobserwować wspólne tendencje w ich projektowaniu – zbliżone wymiary, możliwość przewozu osób na wózkach inwalidzkich, stopień przeszklenia kabiny, wyposażenie wnętrza [1]. W tabl.1 przedstawiono zestawienie ich głównych parametrów.

Tablica 1.

Zestawienie głównych parametrów kabin pojazdów PRT

Pojazd	Liczba pasażerów	Wysokość /cm/	Szerokość /cm/	Długość /cm/	Ciężar /kg/	Przystosowanie do tr. wózków inwalidzkich	Stopień przeszklenia kabiny
ULTRA	4	180	147	370	850	tak	~ 60%
Vectus PRT	4	220	190	350		tak	~ 60%
PRT2000	4	165	183	396	-	tak	~40%
ARC PRT	4	-	157,5	360,5	-	tak	~ 70%

Ponadto, założono tylko jeden kierunek jazdy, co ogranicza liczbę drzwi do jednej pary, umożliwiając bardziej efektywne wykorzystanie wnętrza kabiny. Na poziomie warstwy II sieci rozmieszczone zostaną przystanki. Należy zapewnić korelację między poziomem

podłogi kabiny a peronem, w celu łatwego wchodzenia /wjeżdżania / i wychodzenia z pojazdu. Kolejność opuszczania przystanku przez pojazd odbywa się będzie niezależnie od kolejności przybycia.

### 3. PROJEKTOWANIE ERGONOMICZNE POJAZDU PRT

Projektowanie nowych środków transportu umożliwia, już na wstępnym etapie realizacji prac, uwzględnienie wymagań, oczekiwań i potrzeb potencjalnych użytkowników. Istotną rolę w tym procesie tworzenia odgrywa ergonomia. Ergonomicznie zaprojektowany system człowiek-maszyna uwzględnia różnorodność charakterystyk ludzkich. Projektując należy wziąć pod uwagę aspekty [5]:

1. bezpieczeństwa
2. łatwości użycia
3. zmienności użytkowników.

Ad.1. Bezpieczne użytkowanie obiektu technicznego wymaga spełnienia pięciu zasad:

- zapewnienie dostępu – oznacza możliwość sięgania, a także efektywnej i prawidłowej obsługi urządzeń przez człowieka. W tym przypadku kryterium decydującym o projektowaniu zasięgów są osoby najmniejsze i najsłabsze.
- zapewnienie przestrzeni bezpieczeństwa – zapobiega uszkodzeniu ciała użytkownika i stwarza odpowiednią przestrzeń wokół niego. Wymiary osób największych wymiarowo stanowią kryterium projektowe.
- uniknięcie „pułapek” dla ciała, czyli zablokowania lub wypadnięcia, itp. wymaga uwzględnienia w projektowaniu, w zależności od rodzaju „pułapki”, wymiarów osób najmniejszych lub największych.
- zabezpieczenie przed nieprawidłowym użyciem urządzeń wymaga uwzględnienia w projektowaniu wszystkich grup użytkowników.

Ad.2. Najlepszą strategią projektowania ergonomicznego jest uwzględnienie od samego początku, czyli od fazy koncepcyjnej możliwości i ograniczeń człowieka. Podejście humanocentryczne w projektowaniu generuje następujące pytania:

- Cel - do czego służy urządzenie?
- Urządzenie - jakie?
- Proces - w jaki sposób?
- Użytkownik - kto ?

Takie podejście umożliwia zaprojektowanie obiektu spełniającego wymagania ergonomiczne. Wszelkie korekty w już istniejących konstrukcjach są kosztowne i nie zawsze efektywne.

Ad.3. Istotną cechą projektowania ergonomicznego jest uwzględnianie zmienności cech ludzkich. Każdy człowiek jest unikalny z punktu widzenia wymiarów, konstytucji, biomechaniki, możliwości psychofizycznych. Ponadto, cechy te ulegają zmianie wraz z upływem lat.

Przystępując do projektowania kabiny pojazdu PRT, sformułowano poniższy zakres zadań do realizacji, uwzględniający podstawowe postulaty ergonomii:

- dostosowanie antropometryczne środków transportu do użytkowników (pojęcie użytkownicy - oznacza osoby sprawne, starsze oraz niepełnosprawne),
- zapewnienie funkcjonalności pojazdu (sprawność, niezawodność, łatwość użytkowania),
- zapewnienie komfortu i bezpieczeństwa podróżowania,
- uzyskanie akceptacji i zadowolenia użytkowników.

Nieodłącznym elementem jakości ergonomicznej takiego pojazdu jest prawidłowe, z punktu widzenia norm higienicznych, ukształtowanie środowiska materialnego w kabinie pojazdu, zwracając szczególną uwagę na : drgania, hałas, oświetlenie, mikroklimat.

### **3.1. Dostosowanie antropometryczne środków transportu do użytkowników**

Projektując obiekty techniczne, należy na początku zdefiniować grupę potencjalnych użytkowników. W przypadku stanowisk pracy w zasadzie można jednoznacznie określić grupę osób, które są przewidziane do ich obsługi. Jednak użytkownicy transportu publicznego stanowią grupę dużo bardziej zróżnicowaną. Należy w niej uwzględnić obecność osób dorosłych jak i dzieci, osób sprawnych, z ograniczoną sprawnością, jak również niesprawnych, kobiety w ciąży i osoby starsze. Trudności w określeniu wartości wymiarów dla tej szerokiej grupy użytkowników, odpowiadające odpowiednim centylom, wynikają często z braku odpowiednich baz danych. Nie znaczy to jednak, że osoby te należy wykluczyć z możliwości korzystania z systemów transportowych. Jedynym wyjściem jest realizacja „projektowania bez barier”, uwzględniająca wszelkie dostępne dane oraz bazująca na opiniach użytkowników [6]. O popularności i użyteczności pojazdu niewątpliwie decydują gabaryty zewnętrzne oraz wymiary wewnętrzne kabiny. Wymiary zewnętrzne kabiny uwarunkowane są z jednej strony pojemnością pojazdu (tzn. liczbą przewożonych jednorazowo osób), a z drugiej konstrukcją systemu napędowego oraz toru prowadzącego. Założono /pkt.2/, że pojazd PRT przeznaczony jest do przewozu maksymalnie 4 osób. Przewiduje się również możliwość przewożenia dodatkowego bagażu, np. rowery. Szeroki zakres użytkowników powoduje, że wymiary określa się według różnych kryteriów. Tak na przykład szerokość otworu drzwi zdeterminowana jest szerokością wózka inwalidzkiego, szerokość i długość przestrzeni pasażerskiej wynika z wymiarów pola manewru wózka (obrotu) oraz wymiarów siedzisk (kryterium największych użytkowników). Analiza wymiarów kabiny zostanie przeprowadzona w oparciu o procedurę weryfikacji antropometrycznej, przy czym wykorzystany zostanie m.in. Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. – autor Gedliczka A [3]. Biorąc pod uwagę indywidualny charakter transportu PRT i poruszanie się pojazdów po napowietrznej infrastrukturze, w fazie projektowania kształtu założono, że pojazd powinien być lekki i małych rozmiarów. Ponadto, powinien odejść formą od kształtu typowego dla już użytkowanych środków transportu. Zaprojektowana forma powinna być na tyle charakterystyczna, aby w przyszłości mogła stać się rozpoznawalna i identyfikowana z tym właśnie środkiem transportu miejskiego. Ważne jest znalezienie kształtu, który jednocześnie podkreślałby nowoczesność i odmienność tego rodzaju transportu, ale także wpisywał się w krajobraz miejski i dodatkowo nie był odbierany jako „intruz”.

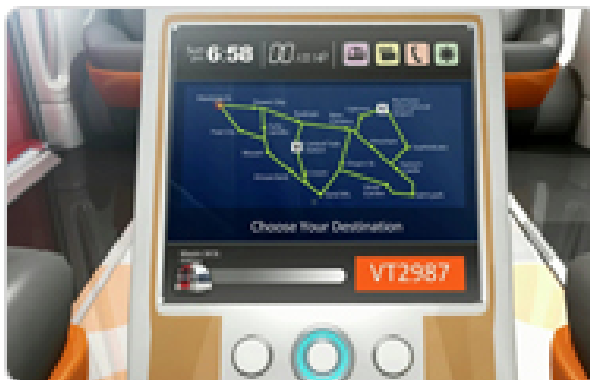
### 3.2. Zapewnienie funkcjonalności pojazdu

Zdalne sterowanie pojazdem wymaga zaangażowania się pasażerów w realizację pewnych czynności manualnych w pojeździe. System sterowania w kabinie powinien być tak zaprojektowany, aby jego obsługa była intuicyjna dla wszystkich (młodych, starszych i niepełnosprawnych) pasażerów. Łatwość obsługi jest uzależniona od interfejsu, który może być zainstalowany zarówno na przystanku jak i w kabinie. Stopień złożoności interfejsu zależy od wielkości systemu. Bardziej zaawansowany interfejs może być zastosowany przy dużej sieci i dużej liczbie stacji. Punkt docelowy podróży wybierany jest na konsoli w kabinie. Opcjonalnie można również tę czynność wykonywać na przystanku, ale takie rozwiązanie nie jest preferowane ze względu na ewentualne „fałszywe zamówienie”, wandalizm i bardziej złożoną procedurę.

Na ekranie dotykowym pojawi się prośba o określenie celu podróży. Wybór ten może być dokonany na różne sposoby:

- wybór poprzez dotknięcie na wyświetlanej na ekranie mapie odpowiedniej stacji,
- wybór poprzez napisanie typowych liter/numerów, a inteligentne oprogramowanie rozpozna odpowiednią stację,
- wybór poprzez posiadanie odpowiedniego biletu.

Jeśli pasażer nie wprowadzi celu podróży, pojazd pozostaje na stacji. Po określonym okresie czasu zostanie aktywowany moduł głosowy – mówiąc: „Żaden kierunek nie został wybrany. Proszę wybrać swój kierunek na monitorze”. Na ekranie monitora wyświetlane są informacje dodatkowe, oraz ostrzeżenia. Ponadto, zainstalowany jest przycisk awaryjny.



Rys.1. Przykładowy ekran dotykowy, umożliwiający zdefiniowanie przez pasażera punktu docelowego podróży

Wewnętrzny ekran LSD oraz system audio dostarczają pasażerowi dodatkowych istotnych informacji związanych z podróżą, jak również mogą być wykorzystane do przekazywania reklam, informacji o lokalnych atrakcjach. System audiowizualny może również służyć do odtwarzania muzyki.

### 3.3. Zapewnienie komfortu i bezpieczeństwa podróżowania

Zakładane bezpieczeństwo PRT wynika przede wszystkim z faktu, że inteligentny pojazd nie wymaga obecności w nim operatora i tym samym liczba ewentualnych

pomyłek popełnionych przez czynnik ludzki sprowadza się do minimum. Natomiast fakt odbywania podróży w małej grupie osób (max. 4 osoby), zazwyczaj znających się osobiście, zwiększa bezpieczeństwo osobiste pasażera. Konstrukcja pojazdu wyklucza możliwość jazdy z otwartymi drzwiami w warunkach normalnej eksploatacji. Komfort podróżowania wynika między innymi z:

- łatwości obsługi pojazdu ( dla każdego),
- krótkiej, czasowo przewidywalnej podróży, bez przystanków pośrednich,
- minimalnego czasu oczekiwania na pojazd na przystankach początkowych,
- pozycji siedzącej w trakcie jazdy,
- systemu dostępnego dla pasażera przez całą dobę,
- wyposażenia pojazdów w klimatyzację, system grzewczy, oświetlenie wystarczające do czytania w trakcie podróży,
- odpowiednich warunków akustycznych /wyciszenia kabiny/,
- wystarczającej przestrzeni w pojeździe na bagaż, wózek osoby niepełnosprawnej, rower, czy wózek dziecięcy.

Wyposażenie kabiny w mikrofon umożliwi kontakt z centrum sterowania. Kamery zainstalowane w kabinie monitorują wnętrze przez 24 godziny, w celu zapewnienia osobistego bezpieczeństwa pasażerów.

Wysokość peronów skorelowana z wymiarami pojazdu, eliminująca różnicę poziomów między podłogą pojazdu i peronem, pozwala na wchodzenie i opuszczanie kabiny w łatwy i bezpieczny sposób, jak również wjeżdżanie i wyjeżdżanie osoby niepełnosprawnej na wózek. Pojazd dodatkowo wyposażony jest w ruchomą platformę ułatwiającą wjazd do kabiny. Wszystkie przyciski funkcjonalne umieszczone są w kabinie na wysokości, umożliwiającej korzystanie z nich przez osoby niepełnosprawne – bez pomocy osób trzecich. Ponadto, przewiduje się wyposażenie każdego pojazdu w zaawansowane systemy bezpieczeństwa, obejmujące: światła ostrzegawcze, sygnały dźwiękowe, (wewnętrzne i zewnętrzne) przyciski awaryjne stopu oraz kontaktowe i bezkontaktowe czujniki detekcji przeszkód, zapewniające tym samym bezpieczną jazdę.

Standardy bezpieczeństwa stosowane w projektowaniu, budowie i eksploatacji systemów PRT są podobne do tych, które mają zastosowanie w przypadku nowoczesnych i inteligentnych pojazdów, a także lotnictwa cywilnego.

### **3.4. Uzyskanie akceptacji użytkowników**

Wyprodukowany obiekt techniczny powinien posiadać wysoką jakość ergonomiczną i użytkową. Pierwsza z nich rozumiana jest jako wygoda obsługi, a druga - jako użyteczność produktu. Wykonany prototyp pojazdu PRT będzie poddany opinii przyszłych użytkowników. W tym zakresie wykorzystane zostaną doświadczenia brytyjskie, uzyskane podczas badania systemu ULTra [2]. Stopień zaawansowania procesu wdrażania systemu ULTra pozwolił na przeprowadzenie badań ankietowych wśród pasażerów. Jedna ankieta dotyczyła nieruchomego prototypu (232 odpowiedzi), a drugą przeprowadzono wśród osób, które odbyły podróż na torze testowym (53 odpowiedzi). Zastosowano 5-stopniową ocenę: wspaniała, dobra, średnia, zła, bardzo zła. Główne wnioski, jakie sformułowano po przeprowadzeniu ankiety, były następujące:

- wszystkie odpowiedzi były przychylnie dla idei takiego systemu,

- pojawiły się niewielkie różnice w opiniach osób, które oceniały statyczny prototyp i tych którzy odbyli podróż po torze testowym,
- nikt nie odniósł się negatywnie do nadziemnego sposobu przemieszczania się pojazdu, uważając go za niebezpieczny,
- 90% pasażerów oceniło stylizację wnętrza jako „wspaniałą” i „dobrą”,
- 82% pasażerów uznało podróż za „wspaniałą lub dobrą”,
- ponad 90% uznało zewnętrzny kolor pojazdu i styl za „wspaniały lub dobry”,
- pasażerowie niepełnosprawni odnieśli się pozytywnie do nowej formy transportu, z której mogą korzystać bez kłopotów,
- pasażerowie, którzy odbyli podróż, skłonni byli zaakceptować większą opłatę za testowany transport, w stosunku do transportu tradycyjnego,
- żadna odpowiedź nie dotyczyła braku bezpieczeństwa w pojeździe oraz zbyt małych rozmiarów pojazdów,
- wszyscy pasażerowie uznali doświadczenie związane z poznaniem systemu ULTra za „przyjemne lub bardzo przyjemne”.

Opinie potencjalnych użytkowników, reprezentujących różne grupy wiekowe i wymiarowe, mają istotne znaczenie, ponieważ mogą być wykorzystane przez projektantów na etapie kolejnych poprawek i usprawnień. Dzięki temu można w większym stopniu uniknąć błędów, wynikających w wielu przypadkach z braku dostatecznych danych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Projektowanie nowych, niekonwencjonalnych środków transportu jest zagadnieniem interdyscyplinarnym. Wymaga rozwiązania wielu problemów i skorelowania ich ze sobą. Sformułowanie wymagań z zakresu ergonomii i bezpieczeństwa oraz zastosowanie ich w fazie koncepcyjnej jest niezwykle istotne dla zapewnienia niezawodnego, bezpiecznego i komfortowego transportu pasażerów. Duża różnorodność wymiarowa potencjalnych użytkowników i brak odpowiednich danych, niewątpliwie nie ułatwia projektowania zapewniającego wysoką jakość ergonomiczną i użytkową pojazdu. Pojawiające się trudności należy pokonywać prowadząc szerokie konsultacje i badania społeczne, a uzyskane wyniki wykorzystywać jako kolejne źródło danych, pozwalające w większym stopniu na dostosowanie pojazdu do pasażerów.

Badania prowadzone w ramach projektu „ECO-Mobilność” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. (UND-POIG.01.03.01-14-154) – koordynator prof. W. Choromański

#### Bibliografia

1. Anderson J. E.: The Future of High-Capacity PRT. Advanced Automated Transit Systems Conference, Bologna, Italy, November 7-8, 2005.
2. Cook Ch., Fereday D., Lawson M., Teychenne R.: Passenger Response to a PRT System., Transportation Research Board Paper 04-305.

3. Gedliczka A.: Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. CIOP, Warszawa 2001,
4. Grabarek I.: Wybrane zagadnienia ergonomii i bezpieczeństwa w polskiej Konstrukcji pojazdu PRT (Personal Rapid Transit). Pojazdy Szynowe – Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” , Poznań, 2009, kwartalnik nr 2, s. 6- 9.
5. Kroemer K.H.E.: „Extra-Ordinary” Ergonomics. CRC Press, Taylor & Francis Group, USA, 2006.
6. Pheasant S., Haslegrave Ch.M.: Bodyspace – Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work. CRC Press, Taylor & Francis Group, USA, 2006.

## **THE IMPORTANCE OF ERGONOMIC FACTORS IN PRT VEHICLE DESINGING**

**Abstract:** Ever growing exhaust gas pollution, traffic jams in towns and on access roads, increasing accident rates are only a few features which are specific for contemporary urban life. New and innovative solutions, which could hopefully improve the urban transit conditions have been long searched for, even as early as in sixties of the last century. Personal Rapid Transit (PRT) is an intelligent transportation system, which might offer an alternative solution to the systems currently used in urban agglomerations. The new system would be based on intelligent vehicles (auto controlled without driver), suitably adjusted to carry four passengers at a time. The journey would begin from the start point and then end at the destination point without intermediate stops. The importance questions connected with ergonomics and safety in polish PRT vehicle designing process and their influence on ergonomic and technical quality of vehicle have been presented. The research are carried out under the project ECO-mobility co-funded by European Regional Development Fund under the Operational Program Innovative Economy.

**Keywords:** vehicle PRT, designing process, ergonomic factors