

Iwona GRABAREK¹, Włodzimierz CHOROMAŃSKI²

WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA INNOWACYJNYCH ŚRODKÓW TRANSPORTU DOSTOSOWANYCH DO OSÓB O OGRANICZONEJ SPRAWNOŚCI RUCHOWEJ

Streszczenie. Problem starzejącego się społeczeństwa i konieczność zapewnienia mu większej mobilności w celu funkcjonowania w życiu społecznym stały się wyzwaniem dla konstruktorów środków transportu. W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia dotyczące projektowania dwóch nowych konstrukcji transportu miejskiego, całkowicie dostosowanych do osób starszych i niepełnosprawnych. Prace te są prowadzone w ramach Projektu Eco-Mobilność, realizowanego na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej, objętego Programem Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka i współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Innowacyjne, funkcjonalne rozwiązania przedstawiono dla eco-samochodu i pojazdu PRT (Personal Rapid Transit).

Słowa kluczowe: innowacyjne środki transportu, mobilność, osoby niepełnosprawne

SELECTED DESIGNING ISSUES OF INNOVATIVE MEANS OF TRANSPORT ADAPTED TO PEOPLE WITH LIMITED PHYSICAL ABILITY

Summary. Nowadays, the challenge for transport designers is to ensure more mobility and participation in social life of elderly and disabled people, because of the systematic increase of this group. The selected issues regarding designing of the two new public means of transport construction, completely adjusted to the elderly and disabled people have been presented in this paper. The research work has been carried out within the Eco Mobility Project that is co-financed by the European Regional Development Fund/Operational Programme for Innovative Economy. The innovative solution of eco-car and PRT vehicle have been presented.

Keywords: innovative means of transport, mobility, disabled people

1. WPROWADZENIE

Prognozy światowe informują o procesie szybkiego starzenia się społeczeństw wszystkich krajów rozwiniętych oraz o stałym wzroście globalnego odsetka osób niepełnosprawnych. Według danych statystycznych obecnie prawie w każdym kraju około

¹ Faculty of Transport, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, e-mail: igr@wt.pw.edu.pl

² Faculty of Transport, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, e-mail: prof.wch@gmail.com

10% populacji można zaliczyć do osób niepełnosprawnych, z których 50-70% to inwalidzi z dużym stopniem niesprawności, utrudniającym funkcjonowanie w różnych dziedzinach życia. Jest to również problem Polski ze względu na ogromną liczbę osób zaliczanych do niepełnosprawnych, szacowaną na około 6 mln. Integracja osób niepełnosprawnych i starszych ze społeczeństwem wymaga nie tylko zmiany zachowań i reakcji społecznych, lecz także podjęcia konkretnych działań w celu adaptacji środowiska do odmiennych potrzeb psychofizycznych osób niepełnosprawnych. Integracja ta jest ściśle uzależniona od możliwości swobodnego poruszania się tej grupy osób. W związku z tym zwiększa się zapotrzebowanie na środki transportu i infrastrukturę ułatwiające samodzielne poruszanie się.

Obecnie wszelkie działania z obszaru transportu, w tym również nowe inwestycje transportowe, powinny zawierać ocenę ich wpływu na bezpieczeństwo i dostępność dla osób starszych i niepełnosprawnych. W działaniach tych istotny jest aktywny udział ergonomii w eliminowaniu barier architektonicznych i komunikacyjnych. Projektowanie ergonomiczne nowych środków transportu uwzględnia procedury obejmujące aspekty związane z przystosowaniem nowych konstrukcji do osób starszych i z ograniczoną sprawnością ruchową. Projekt Eco-Mobilność, realizowany na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, poddziałanie 1.3.1, i współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, wpisuje się w działania minimalizujące bariery komunikacyjne, zwiększając tym samym mobilność osób o różnej sprawności. W artykule przedstawiono specyficzne z punktu widzenia omawianej grupy użytkowników rozwiązania konstrukcyjne dwóch innowacyjnych środków transportu realizowanych w ramach projektu.

2. SPECYFIKA PROJEKTOWANYCH ŚRODKÓW TRANSPORT

W Projekcie Eco-Mobilność są realizowane m.in. dwa zadania dotyczące innowacyjnych środków transportu. Proces projektowania został poprzedzony założeniem dotyczącym przewidywanej grupy użytkowników. Grupa ta, jak już wspomniano, ma charakterystyczną dla społeczeństw rozwiniętych zróżnicowaną strukturę wiekową, tzn. taką strukturę, w której procentowy udział osób w podeszłym wieku jest znaczący. Niepełnosprawność jest więc wynikiem nie tylko chorób i urazów wypadkowych (niezależnych od wieku), lecz także szerokiego spektrum chorób towarzyszących wiekowi starszemu. Określenie specyficznych założeń konstrukcyjnych i ergonomicznych w stosunku do projektowanych nowych środków transportu wymaga krótkiej ich charakterystyki [3].

Personal Rapid Transit (PRT) to zeroemisyjny, inteligentny system transportowy, łączący cechy indywidualnego i masowego transportu miejskiego typu „point to point” lub „door to door”, na który składają się małe pojazdy (czterooosobowe) poruszające się zdalnie po lekkiej infrastrukturze – najczęściej szynie napowietrznej. Podróż odbywa się od stacji początkowej do stacji docelowej bez przystanków pośrednich, a pojazdy nie stanowią żadnej bariery dla osób niepełnosprawnych ruchowo. W przypadku tego systemu człowiek pełni funkcję pasażera, a bezzałogowy pojazd wymaga od niego jedynie wykonania prostych czynności dotyczących obsługi monitora dotykowego (interfejsu), niezbędnych dla wyznaczenia punktu docelowego podróży.

Innowacyjność miejskiego elektrycznego eco-samochodu wynika z jego dostosowania zarówno do kierowców sprawnych, jak i poruszających się za pomocą wózków inwalidzkich. Konstrukcja wnętrza kabiny, a szczególnie fotela kierowcy i pulpitu sterowania, pozwala na kierowanie samochodem przez osobę z ograniczoną sprawnością kończyn dolnych bez konieczności przesiadania się z wózka na fotel kierowcy. Człowiek w eco-samochodzie może pełnić funkcję kierowcy i pasażera.

Przystępując do projektowania kabin obu pojazdów: PRT i eco-samochodu, sformułowano zadania do realizacji uwzględniające podstawowe postulaty ergonomii:

- dostosowanie antropometryczne obu środków transportu do potencjalnych użytkowników,
- zapewnienie funkcjonalności pojazdów (sprawność, niezawodność, łatwość użytkowania),
- zapewnienie komfortu i bezpieczeństwa podróżowania,
- uzyskanie akceptacji i zadowolenia użytkowników.

3. METODYKA BADAŃ

Zaprojektowanie funkcjonalnych i ergonomicznych pojazdów wymagało przeprowadzenia wielu badań i analiz, m.in.:

- badań ankietowych, w których osoby niepełnosprawne stanowiły grupę ekspertów,
- analizy wymiarowej przestrzeni obu kabin z punktu widzenia zarówno pasażerów, jak i kierowców, czyli weryfikacji antropometrycznej,
- analizy możliwości obsługi manualnej obu interfejsów: pasażera i kierowcy,
- analizy pola widzenia kierowcy w odniesieniu do różnych wymiarów kierowców,
- analizy możliwości sterowania eco-samochodem tylko za pomocą kończyn górnych,
- możliwości łatwego wsiadania do pojazdów i wysiadania z nich.

Badaniami ankietowymi objęto dwie grupy osób poruszających się na wózkach inwalidzkich aktywnych. Pierwszy etap przeprowadzono w Ośrodku Fundacji Aktywnej Rehabilitacji w Warszawie. Respondenci drugiego etapu rekrutowali się spośród osób wytypowanych przez Fundację Aktywnej Rehabilitacji i ankiety zostały rozpowszechnione drogą elektroniczną. Ogółem w badaniach wzięło udział 27 osób w przedziale wiekowym od 26 do 45 lat, w tym 5 kobiet. Większość osób miała prawo jazdy. Celem badań było uzyskanie opinii tej grupy użytkowników co do ich preferencji, oczekiwań i możliwości w stosunku do nowo projektowanych pojazdów. Wnioski szczegółowe sformułowane przez grupę respondentów wykorzystano w rozwiązaniach konstrukcyjnych elementów kabiny pojazdu PRT i eco-samochodu.

Analizę wymiarową przeprowadzono na podstawie metody bezpośredniej i fantomów komputerowych w programie Catia.

4. WYKORZYSTANIE WYNIKÓW BADAŃ W PROJEKTOWANIU POJAZDÓW

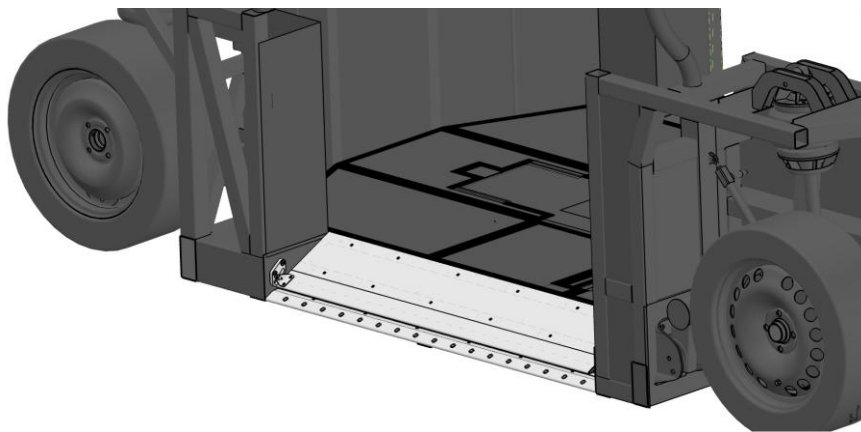
W wyniku przeprowadzonych badań ankietowo-ekspertowych uzupełniono założenia podstawowe tworzonych konstrukcji o założenia szczegółowe, które dotyczyły m.in.:

- wchodzenia i opuszczania kabiny,
- umiejscowienia/mocowania wózka w kabinie,
- konstrukcji siedzeń,
- dostępności interfejsu/urządzeń sterowniczych,
- obsługi interfejsu/urządzeń sterowniczych,
- rozmieszczenia pozostałych urządzeń,
- widoczności,
- komfortu podróży (wygoda, łatwość, estetyka),
- poczucia bezpieczeństwa.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wybrane aspekty konstrukcyjne, stanowiące istotny element innowacyjności i funkcjonalności pojazdów.

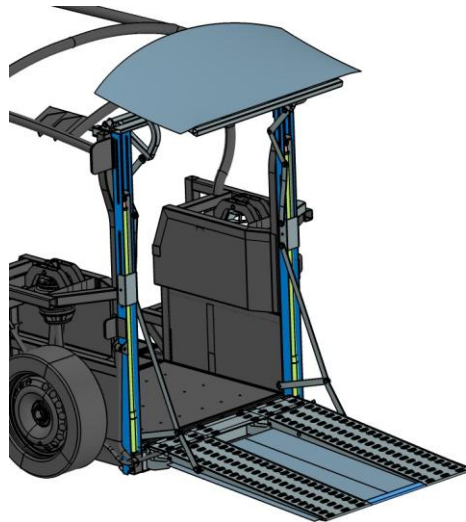
4.1. Wybrane elementy konstrukcji eco-samochodu

Założenia wstępne określały maksymalną liczbę osób jednocześnie podróżujących samochodem, czyli konfigurację foteli w kabinie, usytuowanie fotela kierowcy (w osi samochodu), jak również założono możliwość kierowania samochodem przez osobę z ograniczoną sprawnością kończyn dolnych z pozycji aktywnego wózka inwalidzkiego. Oznaczało to konieczność zapewnienia odpowiedniego miejsca dla wjazdu wózka do kabiny i jego manewrowania. Samochód wyposażono też w specjalne układy mocujące w celu unieruchomienia osób na wózkach inwalidzkich zarówno na miejscu kierowcy, jak i pasażera. Możliwość kierowania samochodem z wózka inwalidzkiego wymagała opracowania specjalnego systemu składania i przesuwania fotela przedniego. Rozwiązanie konstrukcyjne wraz z mikroprocesorowym systemem sterowania jest w rozumieniu Autorów istotną innowacją. Wjazd osoby na wózku z napędem ręcznym (aktywnym) do kabiny samochodu może być realizowany od tyłu samochodu (specjalna rampa) lub dwóch boków. Płyta podłogowa w samochodzie jest opuszczana dzięki zastosowaniu zawieszenia pneumatycznego. Pozostały, po opuszczeniu podłogi, próg o wysokości 12 cm według przeprowadzonych testów z osobami poruszającymi się wózkami nie stwarza osobie niepełnosprawnej kłopotu. W celu ułatwienia wjazdu samochód wyposażono w dodatkowe uchwyty. Wjazd wózka elektrycznego jest przewidziany tylko z tyłu samochodu. Osoba poruszająca się na wózku elektrycznym ma w znacznym stopniu ograniczoną możliwość manipulacji kończynami górnymi, zatem nie ma uprawnień do kierowania samochodem. Jako pasażer ma przewidziane miejsce w tylnej części samochodu i zapewniony wjazd po rampie do tego przeznaczonej. Na rysunkach 1 i 2 przedstawione są rozwiązania ułatwiające wjazd wózka inwalidzkiego z trzech stron samochodu.



Rys. 1. Rozłożony próg dla wózków inwalidzkich podczas wjazdu drzwiami bocznymi (autor: M. Barwicki)

Fig. 1. The spreading threshold for active wheelchair to make entering the car easy (author: M. Barwicki)

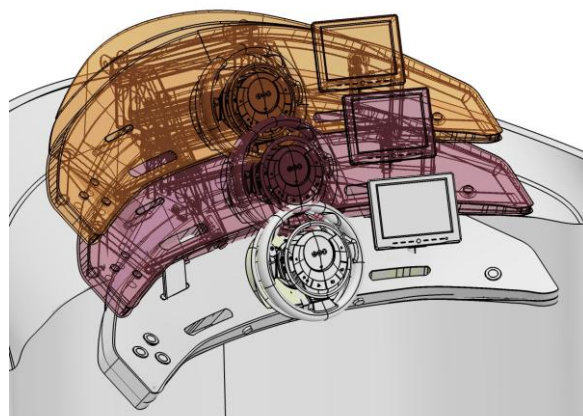


Rys. 2. Opuszczana tylna rampa umożliwiająca wjazd dowolnego wózka (autor: M. Barwicki)
Fig. 2. The lowery back ramp which enables entering the car by any wheelchair (author: M. Barwicki)

Wysokość fotela kierowcy i brak jego regulacji to elementy odróżniające projektowany eco-samochód od tradycyjnych samochodów osobowych. Dopuszczając kierowanie z pozycji wózka inwalidzkiego, należało uprościć sposób zapewnienia wymaganej widoczności i dostępu do pulpitu wraz z urządzeniami sterującymi. Z punktu widzenia antropometrii przeanalizowano dwa skrajne położenia kierowcy, czyli usytuowanie:

- najwyższego mężczyzny (C_{95}) na najwyższym wózku inwalidzkim (zgodnie z normami maksymalna wysokość siedziska wózka wynosi 52 cm),
- najniższej kobiety (C_5) siedzącej na fotelu kierowcy, będącym na wyposażeniu samochodu (wysokość 40 cm).

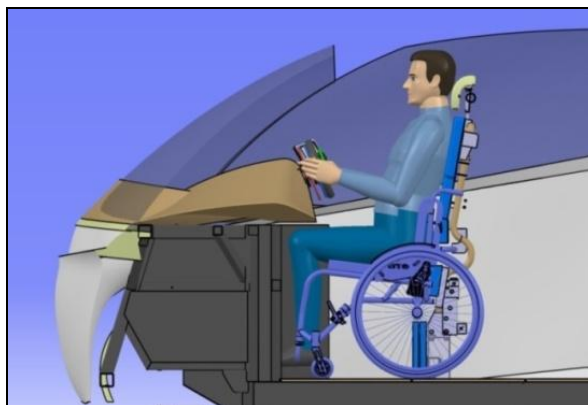
Ze względu na dużą różnicę w wysokości dwóch skrajnych wariantów założono tylko jedną wysokość fotela kierowcy, czyli 40 cm, natomiast odpowiednie usytuowanie względem pulpitu jest możliwe dzięki jego wzdłużnej i pionowej regulacji. Stopień przeszklenia samochodu zapewnia również wymagane pole widzenia kierowcy. Na rysunku 3 przedstawiono różne położenia pulpitu sterowniczego.



Rys. 3. Różne położenia pulpitu sterowniczego (autor: M. Barwicki)
Fig. 3. The different controlling panel positions (author: M. Barwicki)

Złożona konstrukcja fotela kierowcy wynika z wielu funkcji, jakie realizuje. Stanowi on podstawowe miejsce dla sprawnego kierowcy, składa się i przesuwa w momencie wjazdu kierowcy na wózku inwalidzkim, aby zapewnić wystarczające miejsce do manewrowania. Rozwiązanie konstrukcyjne wraz z mikroprocesorowym systemem sterowania jest

w rozumieniu Autorów istotną innowacją. Ponadto złożony fotel stanowi dodatkowe podparcie wraz z zagłówkiem dla kierowcy na wózku i jest elementem wyposażonym w pasy bezpieczeństwa. Unieruchomienie wózka w wyznaczonym położeniu kabiny pojazdu zrealizowano za pomocą urządzenia mocującego wózek do podłogi. Na rysunku 4 przedstawiono usytuowanie kierowcy na wózku inwalidzkim aktywnym, podpartym złożonym fotelem sprawnego kierowcy, wraz z regulowanym zagłówkiem.



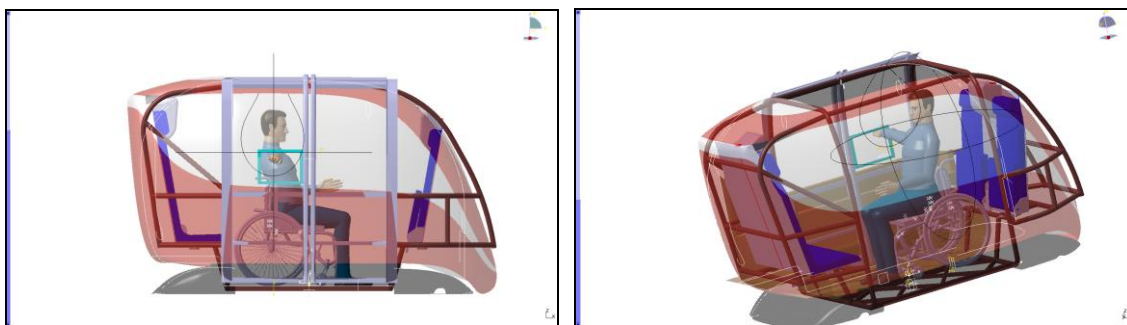
Rys. 4. Pozycja kierowcy siedzącego na wózku inwalidzkim, podpartego złożonym fotelem (autor: M. Barwicki)

Fig. 4. Position of the driver in an active wheelchair, supported with a folded seat (author: M. Barwicki)

W projekcie eco-samochodu została wykorzystana technologia drive-by-wire. Steer-by-wire nadzoruje kąty skrętu kół, poprawia komfort kierowania i umożliwia interwencję systemowi nadzorującemu ruch pojazdu niezależnie od kierującego pojazdem. Brake-by-wire nadzoruje układ hamowania pojazdu i umożliwia także interwencję systemowi nadzorującemu ruch pojazdu niezależnie od kierującego w celu dostosowania sił hamowania na poszczególnych kołach pojazdu do wartości odpowiednich do rzeczywistych warunków drogowych. Ze względu na kierowców z niesprawnymi kończynami dolnymi kierowanie samochodem odbywa się jedynie za pomocą rąk i służy do tego wielofunkcyjna kierownica, zaprojektowana na potrzeby eco-samochodu.

4.2. Wybrane elementy konstrukcji pojazdu PRT

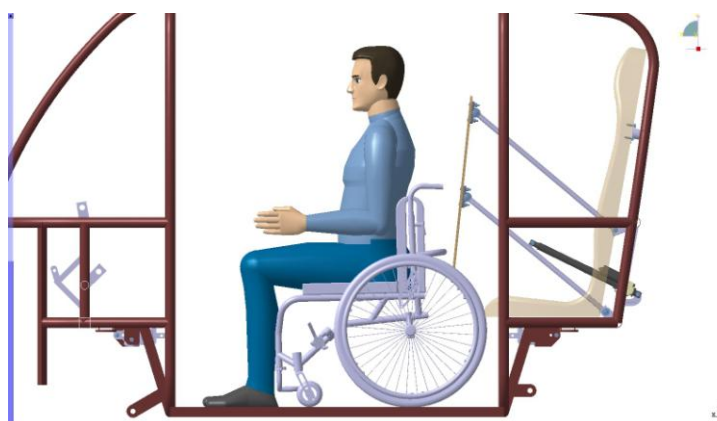
W pojeździe PRT człowiek odgrywa tylko rolę pasażera, zatem musi w łatwy sposób wejść i opuścićabinę niezależnie od swojej sprawności, unieruchomić wózek w przypadku osoby niepełnosprawnej i obsłużyć interfejs, czyli monitor dotykowy, w celu wybrania punktu docelowego podróży. Podstawowe problemy do rozwiązania dotyczą mocowania wózka, usytuowania monitora i zaprojektowania intuicyjnego interfejsu pasażera. Podczas jazdy wózek wraz z pasażerem jest unieruchomiony w osi pojazdu (przodem lub tyłem do kierunku jazdy). Z tej pozycji pasażer musi mieć zapewniony dostęp do interfejsu. Zapewnienie dostępności do monitora/interfejsu najmniejszej osobie siedzącej na wózku, czyli C₅ ♀, jest w tym przypadku warunkiem koniecznym i wystarczającym. Zastosowanie fantomów komputerowych w weryfikacji antropometrycznej pozwoliło określić obszary dostępu dla granicznych centyli. Zainstalowanie dwóch monitorów na przeciwległych ścianach pozwoli na ich obsługę za pomocą prawej ręki, w zależności od usytuowania wózka w stosunku do kierunku jazdy. Na rysunku 5 przedstawiono usytuowanie monitorów na dwóch przeciwległych ścianach kabiny.



Rys. 5. Położenie dwóch monitorów interfejsu pasażera (autor: P. Rumianek)

Fig. 5. Two passenger's displays positions (author: P. Rumianek)

Przy usytuowaniu foteli pasażerskich parami naprzeciwko siebie i możliwości składania tylko tych siedzisk w fotelach, które są umieszczone tyłem do kierunku jazdy, mamy dwa położenia wózka po unieruchomieniu. W obu przypadkach wózek jest mocowany do oparcia foteli i w każdym z nich zajmuje nieco inne położenie w stosunku do wyposażenia kabiny, a przede wszystkim monitora, czyli interfejsu pasażera. Sytuacja ta ma istotny wpływ na określenie wymiarów kabiny zapewniających dostęp do najistotniejszych elementów jej wyposażenia. Na rysunku 6, wykonanym w programie wspomagającym projektowanie Catia, przedstawiono usytuowanie wózka przodem do kierunku jazdy.



Rys. 6. Usytuowanie wózka przodem do kierunku jazdy (autor: P. Rumianek)

Fig. 6. The forward-facing position of active wheelchair (author: P. Rumianek)

Dostosowanie środka transportu do szerokiej rzeszy użytkowników to nie tylko dostosowanie wymiarowe, lecz także funkcjonalne. W pojeździe PRT o funkcjonalności niewątpliwie decyduje urządzenie sterownicze, jakim jest monitor dotykowy. Założono, że w trakcie jazdy również istnieje możliwość zmiany punktu docelowego i z tego powodu interfejs jest umieszczony wewnątrz kabiny, a nie na peronie. Główne założenia, którymi kierowano się podczas tworzenia metodologii obsługi urządzenia oraz szaty graficznej, są następujące [3]:

- możliwość wykrycia informacji,
- możliwość odróżnienia informacji,
- możliwość rozpoznania zawartości informacyjnej lub znaczenia sygnału.

Aby umożliwić wykrycie oraz odróżnienie informacji, należało zapewnić czytelność wyświetlanych treści. Zapewnienie rozpoznania zawartości informacyjnej powoduje dużą zrozumiałość oraz intuicyjność obsługi interfejsu graficznego. Początkiem skomunikowania się z interfejsem jest odczytanie informacji bądź pytań przekazywanych przez urządzenie.

W celu wygodnej dla użytkownika realizacji tego zadania należy dobrać w odpowiedni sposób:

- krój i wielkość czcionki,
- układ tekstu,
- kolorystykę, kształt oraz wielkość wyświetlanych elementów graficznych,
- jasność monitora.

Formę, w jakiej powinny być prezentowane informacje określa Polska Norma [5]. Zalecenia normy mają na celu zapewnienie czytelności. Po stronie użytkownika leży jednak zrozumienie wyświetlanych treści. Zrozumiałość wyświetlanego obrazu dla użytkownika lub jej brak mogą być powodowane:

- językiem, w jakim jest wyświetlany tekst,
- biegłością w obsłudze urządzeń interaktywnych lub multimedialnych.

Dobłą i powszechnie stosowaną praktyką jest umożliwienie użytkownikowi wyboru języka komunikacji z maszyną. Przygotowując różne wersje językowe, wybrano te języki, które są najczęściej używane na terenie Polski.

Często obsługa urządzeń multimedialnych jest dużym problemem dla ludzi starszych, a informacje prezentowane przez ikony bądź obrazy są całkowicie niezrozumiałe w przeciwieństwie do tekstu, z którym mieli styczność przez większość życia. Zatem w celu zapewnienia szerokiej grupie użytkowników, w tym również osobom starszym, wygodnej i łatwej obsługi monitora elementy graficzne (ikony, symbole) zostały opatrzone odpowiednim tekstem. Cechą intuicyjności obsługi jest również możliwość przewidywania przez użytkownika sposobu reakcji wyświetlanego interfejsu graficznego na jego uprzednie działanie. Skutkuje to szybką i wygodną obsługą programu oraz brakiem potrzeby tworzenia dodatkowych instrukcji obsługi, a co za tym idzie uczenia użytkownika.

W projekcie interfejsu pasażera przewidziano możliwość wyboru punktu docelowego na kilka sposobów. Osoba nieznająca terenu, na którym funkcjonuje system PRT, może dysponować tylko nazwą przystanku. Z kolei dla osoby na co dzień posługującej się takim środkiem transportu najszybsze może być wybranie celu podróży przez wskazanie go na planie miasta.

W procesie projektowania interfejsu pasażera prowadzono również badania nad zwiększeniem jego dostępności dla osób z ograniczoną sprawnością nie tylko fizyczną. Dotyczyły one m.in. osób słabowidzących, z zaburzeniami postrzegania barwnego, z problemami motorycznymi, a ich wyniki zostaną uwzględnione w kolejnych rozwiązaniach. Interfejs składa się z szeregu ekranów: powitalnego, ekranów umożliwiających w różny sposób wybór przystanku docelowego, ekranu, na którym następuje potwierdzenie wyboru przystanku, oraz ekranu wyświetlanego podczas jazdy. Na rysunku 7 przedstawiono pola funkcyjne ekranu monitora, jak również przykładowe ekrany pojawiające się w trakcie wyboru punktu docelowego podróży.



Rys. 7. Schemat funkcjonalny ekranu monitora i przykładowe ekrany interfejsu (autor: D. Matelak)
Fig. 7. Functional scheme of monitor display and exemplary interface screens (author: D. Matelak)

5. PODSUMOWANIE

Projektowanie nowych środków transportu, a w szczególności takich, które powinny być dostępne dla różnych grup pasażerów, wymaga znajomości ich potrzeb i ograniczeń. Duża różnorodność wymiarowa użytkowników i brak odpowiednich danych niewątpliwie nie ułatwiają projektowania zapewniającego dobrą jakość ergonomiczną i użytkową pojazdu. Uzyskanie wysokiej funkcjonalności pojazdów jest możliwe dzięki konsultacjom i badaniom społecznym prowadzonym przed projektem i w trakcie trwania projektu. Sformułowanie wymagań z ergonomii i bezpieczeństwa oraz zastosowanie ich w fazie koncepcyjnej procesu projektowania jest niezwykle istotne dla zapewnienia niezawodnego i komfortowego transportu pasażerów.

Projekt Eco-Mobilność jest realizowany w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, poddziałanie 1.3.1, i współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Bibliografia

1. Gedliczka A.: Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. CIOP, Warszawa 2001.
2. Grabarek I., Choromański W.: Innovative environmental design in means and systems of transport with particular emphasis on the human factor. *Advances in Human Aspects of Road and Rail Transportation*, edited by Neville A. Stanton, CRS Press Taylor&Francis Group, 2012, pp. 273-282.
3. Jabłoński J. (red.): Ergonomia produktu. Ergonomiczne zasady projektowania produktów, Poznań 2006.
4. Jasiak A., Swereda D.: Ergonomia osób niepełnosprawnych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
5. PN-EN ISO 9241-12:2002 Wymagania ergonomiczne dotyczące pracy biurowej z zastosowaniem terminali wyposażonych w monitory ekranowe (VDT): Prezentacja informacji.