Osobni brzi javni prijevoz

Švajda, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:642133

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Švajda

OSOBNI BRZI JAVNI PRIJEVOZ

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2016.

Sveučilište u zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

OSOBNI BRZI JAVNI PRIJEVOZ

PERSONAL RAPID TRANSIT

Mentor : dr.sc. Marko Slavulj
Student : Marko Švajda, 0135220110

Zagreb, 2016.

SAŽETAK

U ovom završnom radu predstavljena je inovativna tehnologija gradskog prijevoza pod nazivom osobni brzi javni prijevoz. Izgradnjom ovakvog prometnog sustava na gradskom području podiže se razina usluge, a smanjuju se prometna zagušenja. Cilj PRT sustava je osigurati putnicima brz i siguran način prijevoza od ishodišta do odredišta. PRT sustav povezan je sa drugim tipovima prometa u gradovima te na taj način dolazi do velike prometne povezanosti. Funkcioniranje PRT sustava ovisi o strukturi i veličini grada. Osobni brzi javni prijevoz nije u potpunosti primijenjen u praksi, tako da na svijetu postoje samo četiri grada sa takvim tipom gradskog prijevoza.

Ključne riječi: javni gradski prijevoz, osobni brzi javni prijevoz, investicija, sigurnost, efikasnost

SUMMARY

In this final thesis were present the innovative tehnology of urban transport called personal rapid transit. This traffic system in metropolitan area raises the level of service, and reduce traffic congestion. The goal of PRT system is secure passengers fast and safe way of transportation from start point to their destination. PRT system is connected with with other types of traffic on cities witch leads to great general traffic connection. The functioning of the PRT system depends on the structure and size of the city. Personal rapid transit is not fully applied in practice, so in the world are only four towns with public transport like this.

Key words: public transport, personal rapid transit, financial investment, safety, efficiency

SADRŽAJ :

1 UVOD 1

2 KONCEPTI PRT SUSTAVA 3

2.1 POSTOJEĆI PRT SUSTAVI 3

2.2 PRT SUSTAV NA GRADSKOM PODRUČJU 5

2.3 TEHNIČKE ZNAČAJKE PRT SUSTAVA 6

2.4 KAPACITET LINIJE 7

2.5 PRIJEVOZ TERETA 9

2.6 SIGURNOST 10

2.6.1 Sigurnost putnika 10

2.6.2 Sigurnost sustava 10

3 PLANIRANJE MREŽE 11

3.1 PJEŠAŠAČKI PRISTUP 11

3.2 POLOŽAJ LINIJE 11

3.3 JEDNOSMJERNA U ODNOSU NA DVOSMJERNU MREŽU 13

3.4 SUSTAV VODILICA 14

3.5 POGONSKI SUSTAV 16

4 TERMINALI I STAJALIŠTA 17

4.1 TIPOVI STAJALIŠTA 17

4.1.1 Stanica sa jednom platformom sa jednostavnim prilazom 17

4.1.2 Stanica sa jednom platformom sa dva prilaza 18

4.1.3 Stanica sa dvije platforme 19

4.2 DIZAJNIRANJE POSTAJA 19

5 SIGURNOST I ZAŠTITA 21

5.1 PROBLEMI ELEKTRONSKOG SUSTAVA 21

5.2 SUDAR VOZILA 22

5.3 PREPREKE NA LINIJI PRT SUSTAVA 25

5.4 NESTANAK STRUJE 25

6 POUZDANOST PRT SUSTAVA 27

7 FINANCIJSKA OPRAVDANOST PRT SUSTAVA 28

7.1 TROŠKOVI ZA IZGRADNJU VODILICA 28

7.2 TROŠKOVI VOZILA 29

7.3 TROŠKOVI ZA IZGRADNJU STANICA 30

7.4 TROŠKOVI RAČUNALA I RAČUNALNIH PROGRAMA 30

8 ZAKLJUČAK 32

LITERATURA 33

POPIS SLIKA 36

POPIS TABLICA 36

POPIS GRAFIKONA 36

POPIS PRILOGA 37

1 UVOD

PRT sustav je inovativni način javnog prijevoza putnika i tereta. Sadrži mala vozila koja prometuju po posebno izgrađenoj mreži. Vozila najčešće prevoze pojedinca ili manju grupu putnika koja se međusobno poznaje. PRT mreža je raspoređena tako da se na kolosijeku nalaze sve stanice tako da korisnik odabere željenu destinaciju i bez stajanja na međupostajama i presjedanja dolazi na istu. Upravo to omogućava veliku, brzu i učinkovitu cirkulaciju putnika. Ovaj sustav možemo usporediti sa vodoravnim dizalom ili taxi uslugom zbog sličnog prometnog koncepta.

Tema završnog rada je "Osobni brzi javni prijevoz „ . Cilj završnog rada je analizirati ovu inovativnu tehnologiju na području gradskog prijevoza putnika i robe, objasniti prednosti sustava, kao i njegove nedostatke.

Rad je strukturiran u osam poglavlja:

1. Uvod
2. Koncepti PRT sustava
3. Planiranje mreže
4. Terminali i stajališta
5. Sigurnost i zaštita
6. Pouzdanost PRT sustava
7. Financijska opravdanost PRT sustava
8. Zaključak

Radi boljeg razumijevanja problematike, u prvom poglavlju opisati će se glavne karakteristike i način rada PRT sustava, nabrojit će se postojeći sustavi koji su trenutno u funkciji, objasniti način rada sustava na cjelokupnom gradskom području. Također će se nabrojiti i analizirati tehničke značajke sustava, usporediti kapacitet linije sa drugim načinima prometa, objasniti mogućnosti prijevoza tereta na gradskom području te sigurnost sustava u tehničkom smislu. U trećem poglavlju opisati će se način planiranja PRT mreže i objasniti svi elementi PRT mreže, a to su pješački pristupi, položaj linije, razni tipovi linija, sustav vodilica po kojima se vozila kreću i pogonski sustav. U četvrtom poglavlju nabrojati će se i objasniti tipovi postaja te način na koji se dizajniraju. U petom poglavlju odgovorit će se na sva pitanja koja imaju veze sa sigurnosti i zaštitom sustava te samih putnika. Neki od događaja koji ugrožavaju sigurnost su problemi sustava, sudar vozila, prepreke na infrastrukturi sustava te nestanak struje. U šestom

poglavlju utvrdit će se pouzdanost sustava, u ovom slučaju to je nesmetan i pouzdan prijevoz putnika, bez neočekivanih smetnji i kašnjenja. U sedmom poglavlju prikazati će se podaci o troškovima cijelog PRT sustava, kao i troškovima izgradnje pojedinog elementa sustava kao što je sustav vodilica, vozila u sustavu, stanice, računala i program koji upravljaju sustavom.

Analizom proučene literature i osobnih zaključaka dan je pregled svih elemenata PRT sustava. Također, u završnom radu analizirani su postojeći PRT sustavi u gradovima Morgantown u West Virginiji, u Masdaru u Ujedinjenim Arapskim Emiratima, u Londonu na aerodromu Hethrow, te u Suncheonu u Južnoj Koreji.

2 KONCEPTI PRT SUSTAVA

2.1 POSTOJEĆI PRT SUSTAVI

Godine 1966. odjel stambenog i urbanog razvoja Sjedinjenih Američkih Država ulazi u projekt osmišljavanja novih sustava za prijevoz putnika i robe. Uvjeti projekta bili su brzina, sigurnost i što manje onečišćenje zraka. 1969. godine stručnjaci objavljuju prvi koncept PRT sustava koji se realizira tek 1975. godine.

Danas na svijetu postoje četiri PRT sustava koji su operativni. Najstariji i najopsežniji PRT sustav na svijetu nalazi se u Morgantownu (West Virginia). Taj sustav je u pogonu od 1975. godine. 2010. godine u pogon ulazi i PRT sustav u Masdaru, gradu u Ujedinjenim Arapskim Emiratima. To je veoma mali sustav sa svega deset vozila. 2011. godine na Londonski aerodrom Heathrow uvodi se PRT sustav sa dvadeset jednim vozilom. 2014. godine PRT sustav sa četrdeset vozila uveden je u Južno Korejski grad Suncheon.

Slika 1. Prvi PRT sustav u Morgantownu (West Virginia)

Izvor: [3]

Slika 2. PRT sustav u Londonu na aerodromu Heathrow

Izvor: [4]

Slika 3. PRT sustav u Južno Korejskom gradu Suncheon

Izvor: [5]

Slika 4. PRT sustav u gradu Masdar u Ujedinjenim Arapskim Emiratima

Izvor: [6]

2.2 PRT SUSTAV NA GRADSKOM PODRUČJU

Izgradnja PRT sustava na nekom gradskom području uvelike bi povećala razinu usluge i brzinu transporta putnika i tereta. Većina sustava linija bila bi uzdignuta iznad gradskih ulica, što se smatra najjeftinijim načinom izvedbe PRT mreže. Na nekim pozicijama ne bi bilo moguće realizirati uzdignute linije iznad gradskih ulica, stoga bi se neke linije morale graditi pod zemljom ili umetnuti u prizemlje. Jedno od rješenja bilo bi umetanje linija u sredini brzih cesta ili autocesta. U shopping područjima i stambenim dijelovima grada razmak između stanica bio bi najviše 800 metara. U takvim situacijama, korisnik usluge, morao bi pješačiti najviše dva do tri bloka ulica do najbliže stanice. U poslovnim zonama te na pozicijama na kojima cirkulira velika količina ljudi, stanice bi bile puno bliže jedna drugoj te bi se osigurali dodatni kapaciteti linija i stanica radi lakšeg pristupa i smanjenja zagušenja sustava. Problemi prelaska vozila na drugu liniju koja se nalazi na različitoj visini rješavat će se posebnim rampama. Na većini sustava vodit će se jednosmjeran promet i na taj način smanjit će se preveliko iskorištenje prostora na ulici i na raskrižjima će biti potrebne samo dvije rampe za skretanje. Brzina bi se smanjivala prilikom određenog polumjera zakrivljenosti linije i na prelasku preko rampe. Brzina vozila na područjima gdje su stanice bliže jedna drugoj, tj. u poslovnim zonama bila bi najviše 30 km/h, a u prigradskim naseljima brzina vozila bila bi između 50 i 80 km/h. Ako putnik uđe u vozilo koje se kreće na liniji suprotnog smjera to neće biti problem jer će vozilo samo, nakon što putnik odabere odredište, pronaći najbliži put. Putnik će moći odabrati stanicu odredišta ili odrediti na karti kamo ide i sustav će sam odrediti najprihvatljiviju rutu putovanja. Način naplate bio bi posebnom PRT karticom koja bi bila punjiva i naplaćivala bi se usluga na mjesečnoj razina. Još jedan tip plaćanja bio bi gotovinskom karticom gdje bi uređaj izračunao iznos vozarine i automatski naplatio račun.

2.3 TEHNIČKE ZNAČAJKE PRT SUSTAVA

PRT vozila namijenjena su za prijevoz pojedinca ili skupine ljudi koji se međusobno poznaju. Kapaciteti vozila su između tri i šest sjedećih mjesta. Stanice PRT sustava nalaze se na linijama, a linije su najčešće razgranate radi bolje pokrivenosti teritorija. Vozilo prevozi putnike do željene destinacije bez zaustavljanja vozila na međustanicama i bez ikakvih presjedanja. Ako se dogodi da se vozilu nalaze putnici koji izlaze na različitim stanicama, vozilo će ostaviti putnika čija je stanica bliža i nakon što njega ostavi pronaći će najkraći put za transport drugog putnika. U vršnim vremenima vozila se najčešće koriste za povratak odnosno odlazak ljudi na posao, stoga bi vozila trebala biti maksimalno popunjena radi veće prometne iskorištenosti, što smanjuje prometna zagušenja i troškove sustava. Prosječna iskorištenost vozila je između 1,1 i 1,5 putnika/vozilu. PRT sustavi su dizajnirani tako da vrijeme između dva vozila obično iznosi tri sekunde.

Slika 5. Ulaz u vozilo PRT sustava u Suncheonu

Izvor: [7]

2.4 KAPACITET LINIJE

Ključno pitanje je da li PRT sustav može postići dovoljan kapacitet tijekom vršnih sati u urbanom području. Usporedit ćemo brzu cestu sa četiri trake u svakom smjeru. Maksimalan protok na brzoj cesti javlja se pri brzini od oko 50-65 km/h. Razmak između automobila iznosi dvije sekunde. Pretpostavka je da je popunjenost automobila tokom špice 1,25 ljudi u prosjeku, što znači da u četiri traka dobijemo brojku od 2,5 putnika/sekundi ili 9000 putnika/satu. Stvarni kapacitet za bilo koju liniju PRT sustava ovisit će o broju i razmaku linija, gustoći naseljenosti područja i udjelu stanovništva koji koristi PRT sustav u vršnom satu. Zahtjev za PRT sustavom biti će puno manji nego za brzom cestom. Ali ako bi zahtjev za PRT sustavom bio jednak kao za brzom cestom pretpostavili da bi popunjenost vozila biti jednaka kao kod automobila na brzoj cesti. Ako bi razmak između vozila bio bi 0,3 – 0,4 sekunde rezultat bi bio jednak kao kod brze ceste sa četiri traka, stoga možemo reći da bi kapacitet PRT sustava bio zadovoljavajući tijekom vršnih sati u urbanom području.

PRT sustav može se usporediti i sa ostalim tipovima javnog gradskog prijevoza kao što su autobusi, trolejbusi, tramvaji i podzemne željeznice. Jasno je da se kapacitet jednog PRT vozila ne može usporediti sa prethodno navedenim tipovima prometa, ali kada se uzme u obzir broj vozila koji su raspoređeni po sustavu prijevozna moć može se uspoređivati s tramvajskim tipom prijevoza putnika.

Autobus i trolejbus (prijevozna moć)

- S jednodijelnom karoserijom, 2.500 – 3.500 putnika/h
- S dvodijelnom karoserijom, 4000 – 4.500 putnika/h

Autobus i trolejbus (kapacitet)

- S jednodijelnom karoserijom, 85 – 115 putnika
- S dvodijelnom karoserijom, 145 – 180 putnika

Tramvaj (prijevozna moć)

- Četveroosovinski motorni vagon, 5.000- 7.000 putnika/h
- Četveroosovinski motorni vagon s prikolicom, 6.000 – 7.500 putnika/h
- S dvodijelnom karoserijom, 8.000 – 10.000 putnika/h
- S trodijelnom karoserijom, 11.000 – 14.000 putnika/h

Tramvaj (kapacitet)

- Četveroosovinski motorni vagon , 65 - 80 putnika
- Četveroosovinski motorni vagon s prikolicom, 110 – 120 putnika
- S dvodijelnom karoserijom, 150 – 165 putnika
- S trodijelnom karoserijom , 190 – 205 putnika

Metro (prijevozna moć)

- Standardna kompozicija od 6 vagona, 45.000 – 60.000 putnika/h

Metro (kapacitet)

- Standardna kompozicija od 6 vagona , 950 putnika.

Regionalna željeznica ima prijevoznu moć oko 100.000 putnika po satu, a kapacitet joj varira ovisno i broju vagona koje vozilo sadrži.

PRT (prijevozna moć)

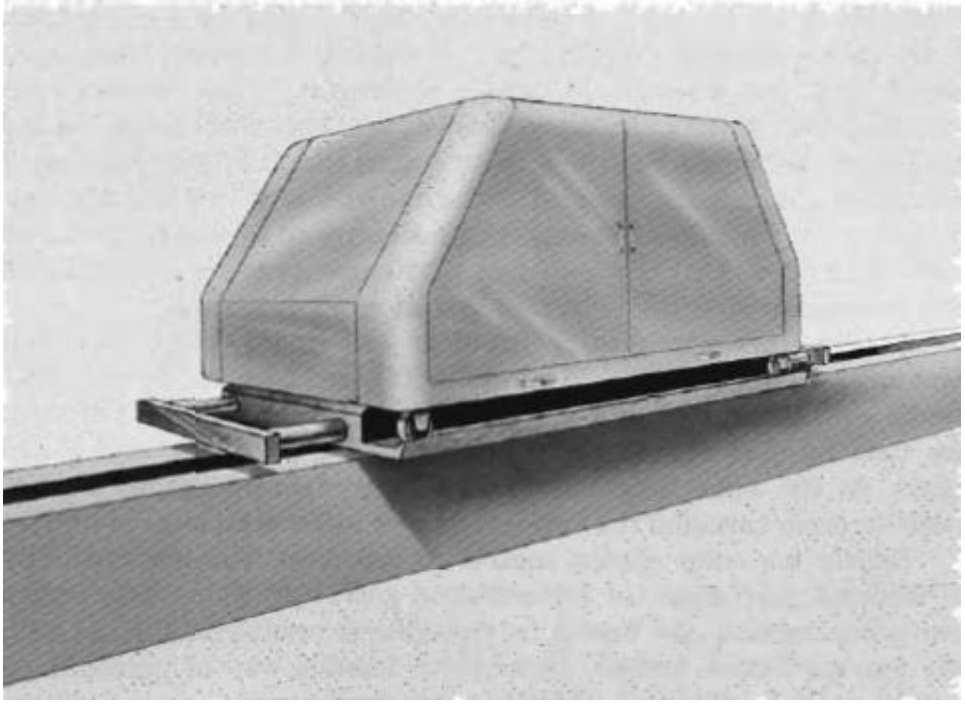
- Više od 9000 putnika/h

Slika 6. Vozila PRT sustava čekaju na iskrcaj i ukrcaj putnika

Izvor: [12]

2.5 PRIJEVOZ TERETA

Transport tereta često je zanemaren, ali on je bitan jednako kao i transport putnika u gradskom prometu. Prijevoz tereta po prometnicama i brzim cestama naveliko utječe na prometna zagušenja u urbanim sredinama. Budući da se uobičajeni prijevozni sustavi ne koriste za prijevoz robe i tereta obično se previše ne raspravlja o tim temama. Nema razloga zašto PRT sustav ne bi imao posebna vozila i linije za transport tereta. Postoje i neke vrste tereta koje ne bi bilo učinkovito prevoziti PRT sustavom kao što je građevinski materijal ili isporuke benzina za benzinske postaje. Međutim većina tereta koja cirkulira unutar jedne urbane sredine može se prevoziti ovim sustavom. To bi bili poštanski paketi, sanduci, kutije i općenito pakirani materijal do nekoliko stotina kilograma. Za to bi se koristili posebno dizajnirana vozila. Teretna skladišta kao što su poštanski uredi, skladišta, trgovački centri ,imala bi posebne kolosijeke.



Slika 7. Vozilo za prijevoz tereta

Izvor: [1]

2.6 SIGURNOST

S gledišta putnika, osobna sigurnost je veoma važna stavka u bilo kojem sustavu javnog prijevoza. Dvije su vrste sigurnosti sustava, a to su sigurnost putnika i sigurnost sustava. PRT sustav je veoma siguran. Cijeli sustav može biti narušen vandalizmom, zbog kojeg se poduzimaju velike mjere opreza. Svaki grad je drugačiji i zahtjeva posebne mjere sigurnosti. Treba imati na umu da neko rješenje za jedan grad ne mora nužno biti rješenje za drugi grad.

2.6.1 Sigurnost putnika

Sigurnost putnika u PRT sustavu počinje kada putnik uđe na stanicu. Puno veći stupanje nesigurnosti nalazi se na gradskim ulicama koje putnik mora proći na putu do stanice, ali to je izvan nadležnosti dizajnera sustava. Velika razina sigurnosti ostvaruje se postavljanjem video nadzora na stanicama i u dizalima sustava. U PRT sustavu putnik je siguran iz razloga što se ne zadržava i ne čeka vozilo na stanicama, nego vozilo čeka putnika. Video nadzor se ne postavlja u vozila zbog intime korisnika sustava. Jedina prijetnja za putnika može biti nasilan ulazak napadača u vozilo. Svako vozilo ima dvije tipke. Jedna tipka je „sljedeća stanica“ koja preusmjerava vozilo na prvu sljedeću stanicu. Ako se pritisne druga tipka „Hitna stanica“ vozilo će nastaviti vožnju do prve hitne stanice gdje će putniku na raspolaganju stajati hitna pomoć i policija. Prilikom dolaska putnika na odredište, vozilo se važe. Ako je u roku od 40 sekundi putnik i dalje u vozilu, vrata se zatvaraju i vozilo se preusmjerava na najbližu „hitnu stanicu“. Takav postupak osigurava brzu hitnu pomoć onima kojima je to zaista potrebno.

2.6.2 Sigurnost sustava

Usluga prijevoza naplaćuje se PRT kreditnom karticom na kraju mjeseca ili gotovinskom karticom prilikom ukrcavanja putnika u vozilo. Gotovinska kartica može se kupiti na svakoj stanici gdje korisnik unosi svoje podatke, plaća i dobiva karticu. Pomoću podataka koji su registrirani na karticama za naplatu sustav se održava na visokom stupnju sigurnosti. Dakle, ako jedan od korisnika na bilo koji način nanese štetu na sustavu, automatski se znaju njegovi podaci. Ako uzmemo u obzir da je cijeli sustav pokriven video nadzorom, možemo reći da je PRT sustav veoma siguran.

3 PLANIRANJE MREŽE

3.1 PJEŠAŠAČKI PRISTUP

Već je rečeno da u gušće naseljenim dijelovima grada projektira sustav sa manjim međustajališnim udaljenostima. Blizina stanice ovisi i o drugim čimbenicima kao što je prosječni financijski dohodak stanovništva koji žive u određenom dijelu grada. U području višeg financijskog dohotka stanice se izvode tako da budu udaljenije jedna od druge. Događa se da takav tip stanovništva koristi automobil kako bi došao do stanice PRT sustava kako bi uštedili na vremenu. Udaljenost stanica ne može se izračunati formulom, ali postoje metode za postavljanje stanica kao što je izgradnja stanice u blizini ili na samom trgu.

3.2 POLOŽAJ LINIJE

Iako je većina PRT vodilica uzdignuta iznad gradskih ulica, također je moguće smjestiti vodilice pod zemlju ili na razinu zemlje

Podzemne vodilice

Izgradnja podzemnih vodilica veoma je skupo u odnosu na nadzemne koncepte. Takve vodilice izvode se samo kad je to potrebno. Najčešće zbog estetskih razloga. Jedan primjer bio bi očuvanje arhitektonskog integriteta neke povijesne četvrti. Prometne studije u Švedskoj donijele su odluku da povijesno utvrđeni grad ne bi trebao imati povišene vodilice pa su isplanirani pothodnici za taj dio sustava. Na nekim mjestima PRT sustava dolazi do ispreplitanja linija stoga, da bi se izbjegli problemi grade se podzemne vodilice. To uključuje i izgradnju podzemnih stanica, što može biti jako skupo, ali i puno jeftinije nego izgradnjom konvencionalne željeznice. Još jedan od nedostataka gradnje podzemnih vodilica je relativno dugo vrijeme gradnje. Zbog visokih troškova i ostalih nedostataka, izgradnju podzemnih vodilica treba smanjiti na minimum.

Prizemne vodilice

Prilikom projektiranja prizemnih sustava dolazimo do problema odvajanja PRT vodilica od automobilskog i pješačkog prometa. Ako vodilica nije niti malo odvojena od ostatka prometa, potrebna je izgradnja mostova za odvajanje pješaka i automobila od PRT sustava.

Površinske vodilice

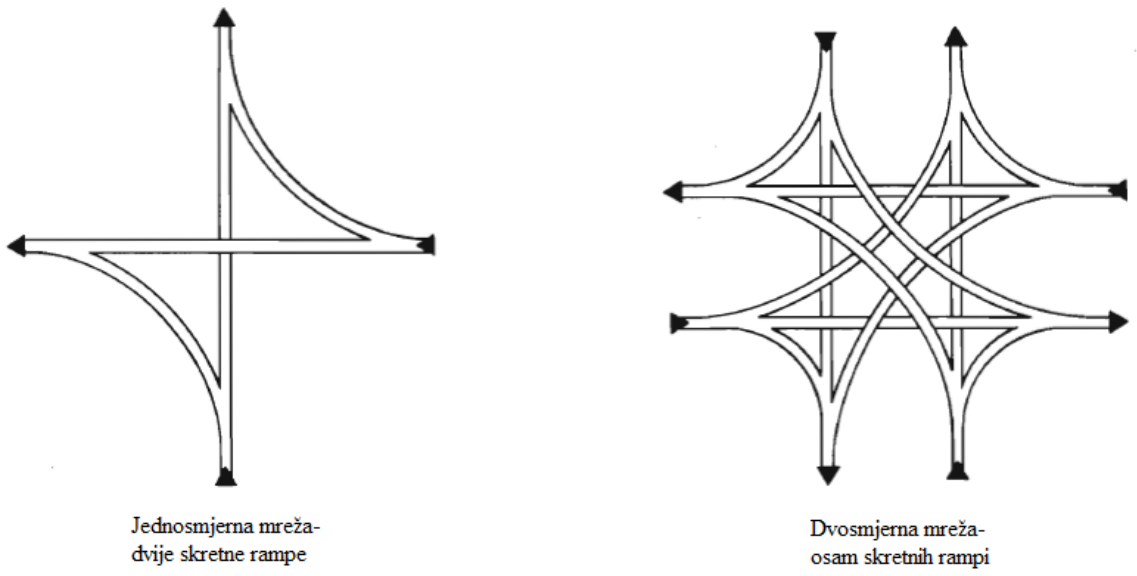
Velika većina sustava realizirat će se uzdignutim vodilicama. To je najprihvatljivija varijanta izrade PRT sustava. Veliku ulogu u izgradnji ima estetika i o tome se mora voditi računa. Vodilica mora biti što uža kako bi se sjene i vizualne smetnje svele na minimum. Visina vodilica mora biti tolika da najveće mjerodavno vozilo može nesmetano prometovati. U ovoj varijanti najčešće se projektiraju jednosmjerni sustavi. Ne toliko zbog vodilica koliko zbog izrade raskrižja koje u dvosmjernoj varijanti zahtijevaju puno više prostora, a i narušavaju estetiku nekog područja.

Slika 8. Površinske vodilice uklopljene u okoliš (Suncheon)

Izvor: [14]

3.3 JEDNOSMJERNA U ODNOSU NA DVOSMJERNU MREŽU

Prednosti jednosmjerne mreže su estetika, ekonomičnost i jednostavnija kontrola sustava, a nedostatak bi bio taj što vozilo mora zaobilaziti blok i samim tim produžuje se vrijeme putovanja. Već je spomenuto da se zbog ostalih sudionika u prometu i estetike najčešće odabiru jednosmjerne vodilice. Najbolji prikaz narušavanja estetike bio bi na raskrižjima gdje na jednosmjernom sustavu ima samo dvije skretne rampe, dok na dvosmjernom sustavu ima osam skretnih rampi, što je vidljivo na slici. Ne samo što će takve strukture biti nametljive javljaju se i drugi problemi. Jedan od njih je ekonomska opravdanost. Za vrijeme izgradnje jednog kilometra dvosmjerne mreže može se izgraditi i do dva kilometra jednosmjerne mreže. Ako se dogodi kvar na raskrižju dvosmjerne mreže, problem se odnosi na oba smjera što zahtjeva zatvaranje tog dijela sustava i pronalazak alternative dok se kvar ne otkloni. Smatra se da je estetika, jednostavnost kontrole nad sustavom i ekonomska opravdanost puno bitnija nego da prosječno putovanje traje dvije minute više. Zato se u većini situacija realizira jednosmjerna struktura sustava, osim u situacijama kada je nužno izgraditi dvosmjernu strukturu sustava.

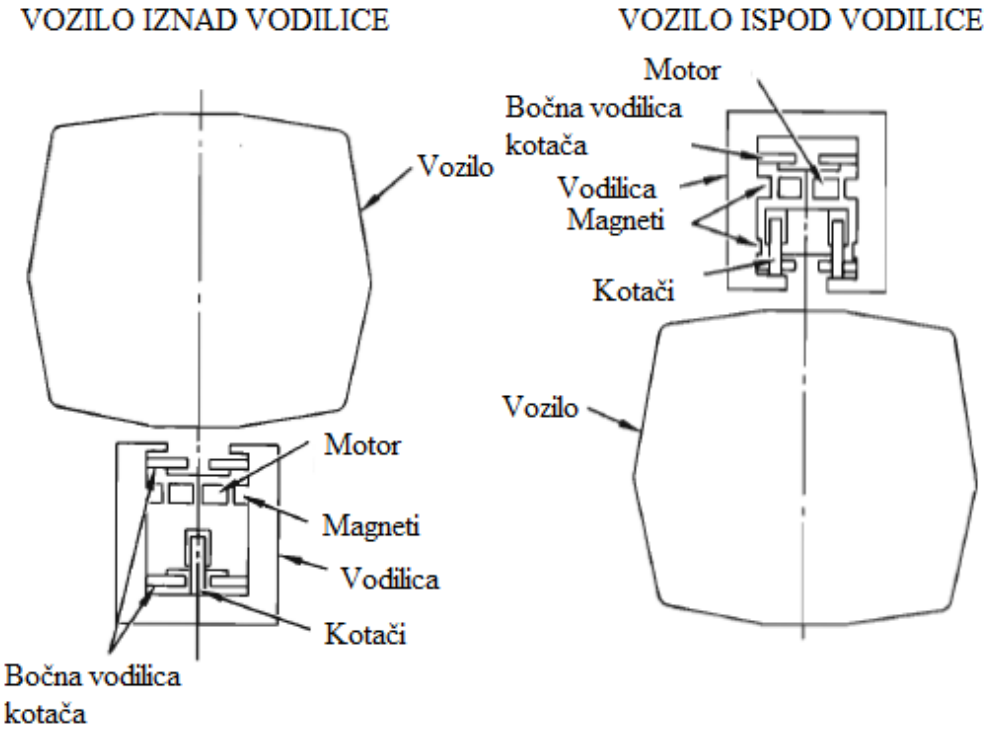


Slika 9. Izgled čvorišta u jednosmjernoj i dvosmjernoj mreži.

Izvor: [1]

3.4 SUSTAV VODILICA

Vodilice je potrebno dizajnirati tako da budu čvrste i dimenzionirane u skladu sa propisima. Vodilice utječu na udobnost vožnje stoga moraju biti pravilno napravljene, bez rupa i neravnina. Vodilice moraju biti zaštićene od leda, snijega i udara groma. Svi postojeći PRT sustavi imaju vozila sa četiri kotača, ali sve više se razvija tehnologija koja uvodi u sustave vozila s dva kotača. Postoji dvije varijante vodilica s obzirom na pozicioniranost vozila (slika 10). Prva varijanta bila bi da se vozilo nalazi iznad vodilica. Tako bi se pogonski sustav i kotači nalazili na donjem dijelu vozila. Druga varijanta je da se vozilo nalazi ispod vodilica. U tom slučaju svi pogonski elementi bili bi na gornjem dijelu vozila. Prema istraživanjima, druga varijanta je prihvatljivija. Prednosti takvog načina projektiranja vodilica su stabilnost vozila na raskrižjima te ne može doći do prevrtanja vozila. Troškovi za izgradnju takvog sustava vodilica je manji i u prednosti je na području estetike. Nakupljanje sinjega i leda na takvim vodilicama manje je vjerojatna nego na vodilicama na kojima vozilo prometuje sa gornje strane.

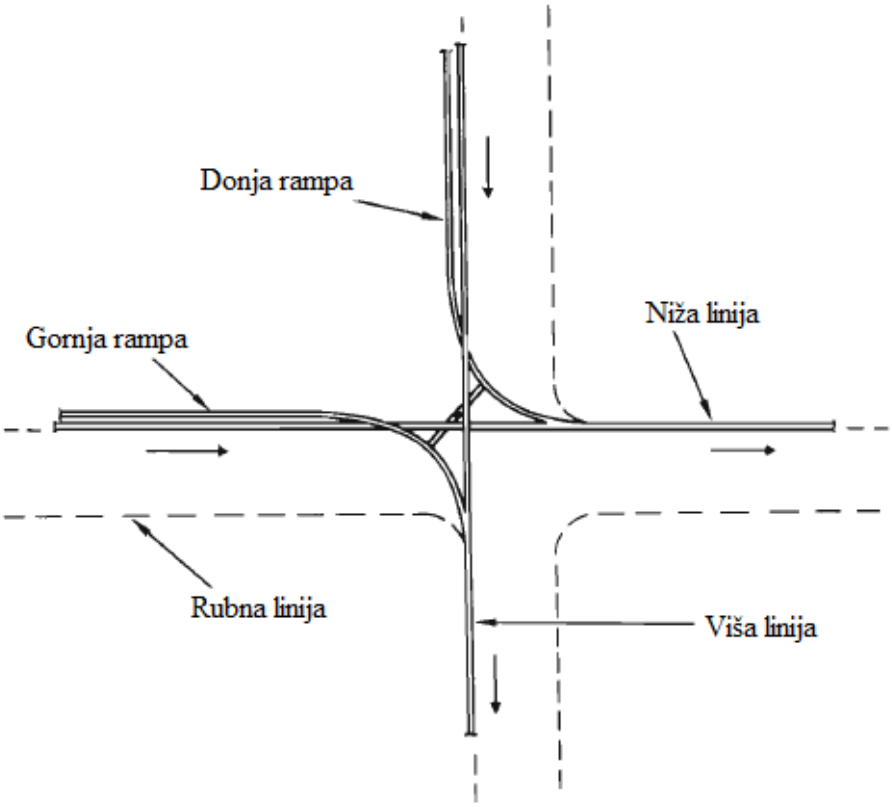


Slika 10. Prikaz sustava vodilica

Izvor: [1]

Dizajn raskrižja inženjerima i dizajnerima PRT sustava zadaje najveći problem. Glavni cilj PRT sustava prijevoza je da se infrastruktura odvoji od ostalih tipova prometa zato se PRT mreža radi iznad zemlje. Raskrižja je potrebno dizajnirati tako da estetski lijepo izgledaju i ne narušavaju okolinu. To se može postići da se što manji prostor iskoristi za izgradnju raskrižja a da isto tako bude efikasno i učinkovito. Na slici 11 može se vidjeti klasični tip raskrižja u jednosmjernoj PRT mreži. Izbor materijala također igra ulogu u estetici raskrižja. U izgradnji raskrižja koriste se čvrsti materijali radi veće sigurnosti jer ipak je sigurnost sustava važnija od same estetike.

Estetika samih vodilica nije toliki problem kao estetika raskrižja. Pri projektiranju vodilica potrebno je iskoristiti što manju površinu. PRT sustav ne bi trebao ometati druge vrste prometa. Na sustavu je potrebno je izgraditi sjenila koja će spriječiti svjetlosne odsjaje koji mogu ugroziti vozače automobila i drugih vozila koja se kreću ispod ili pored PRT sustava.

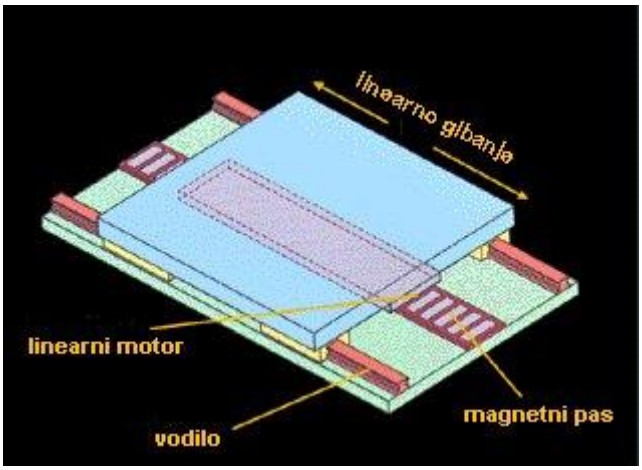


Slika 11. Prikaz realizacije čvorišta PRT sustava

Izvor: [1]

3.5 POGONSKI SUSTAV

Glavne značajke pogonskog sustava kod PRT vozila su da nema ispušnih plinova koji zagađuju okoliš, a razina buke i vibracija smanjena je na minimum. Vozila koriste linearne motore koje pokreće električna energija (slika 12.). Linearni motor je posebni oblik elektromotora bez rotirajućih dijelova odnosno rotora. Razlog upotrebe linearnog motora je taj što je lakša kontrola nad vozilom. Obični elektromotor podložan je većoj potrošnji, dok nema pokretnih dijelova i samim tim koristi manju količinu električne energije. Obični indukcijski motor ne pruža dovoljnu silu kočenja što je kod PRT sustava veoma potrebno jer u radu sustava dolazi do velikih oscilacija u brzini.



Slika 12. Prikaz pogonskog gibanja vozila u PRT sustavu

Izvor: [16]

4 TERMINALI I STAJALIŠTA

4.1 TIPOVI STAJALIŠTA

Tipovi stajališta u PRT sustavu mogu se podijeliti u odnosu na broj platformi, raspored kolosijeka i pokretnost prilikom ukrcaja ili iskrcaja. Stanice se nalaze na bočnim trakama tako da nemaju veze sa glavnim prometnim trakom čime osiguravaju brži protok putnika. Svaka stanica može imati više pozicija za ukrcaj i iskrcaj. Stanice mogu biti izgrađeni objekti ali pravilo je da budu sto jednostavnije napravljene jer se putnici ne zadržavaju dugo na njima te nema potreba za velikim ulaganjima. Ako se sustav mreže nalazi u nadzemnom dijelu, potrebno je postaviti liftove koji povezuju te dvije razine radi kvalitetnije pristupačnosti. Nekoliko vozila u sustavu imaju mogućnost spuštanja na razinu ceste zbog putnika koji imaju poteškoće u kretanju. Kada je potražnja usluge niska, vozila koja nisu na radu raspoređuju se po cijeloj mreži stojeći na stanicama. Takav način rada omogućuje brzu dostavu vozila na određenu poziciju uz minimalno vrijeme čekanja putnika.

4.1.1 Stanica sa jednom platformom sa jednostavnim prilazom

Ovo je najjednostavniji i najefikasniji tip stanice. Sastoji se od jedne platforme uz jednostavan sporedni kolosijek. Ista platforma koristi se za ukrcaj i iskrcaj putnika. Nakon iskrcaja putnika vozilo se pomiče naprijed na područje ukrcaja. Duljina platforme ovisi o maksimalnom broju vozila koja čekaju na ukrcaj ili iskrcaj. Broj pozicija za ukrcaj i iskrcaj na jednoj platformi je između 1 i 3. Pozicija za ukrcaj najčešće je 30 centimetara dulja od same duljine vozila.

Slika 13. Stanica s jednom platformom i jednim prilazom

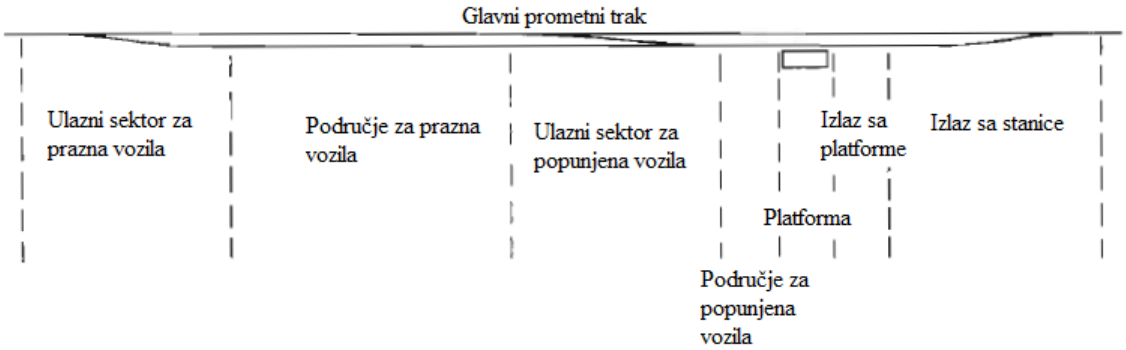
Izvor: [1]

Slika 14. Stanica s jednom platformom i jednim prilazom u Suncheonu

Izvor: [18]

4.1.2 Stanica sa jednom platformom sa dva prilaza

Tip stanice sa dva prilaza. Jedan prilaz koriste prazna vozila koja čekaju ukrcaj putnika, a drugi prilaz koriste popunjena vozila koja dovoze putnike na određenu destinaciju. Ovaj tip stanica koristi se da bi se smanjilo gubljenje praznih vozila. Prazna vozila koriste prvi prilaz i smještaju se na području za prazna vozila. Popunjena vozila ulaze na prilazu za popunjena vozila. Dolaskom na platformu vrši se iskrcaj putnika, a neposredno nakon toga ukrcaj putnika. Ovaj način projektiranja stanica dobar je za vrijeme vršnog sata kada je veća potražnja za prijevozom zato što putnicima na raspolaganju stoji cijeli red praznih vozila, spremnih za rad, na području za prazna vozila.

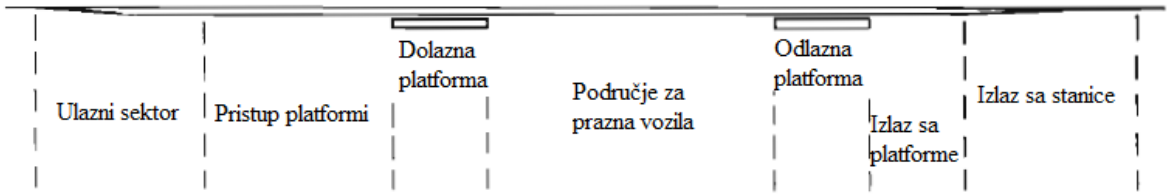


Slika 15. Stanica s jednom platformom i dva prilaza

Izvor: [1]

4.1.3 Stanica sa dvije platforme

Ove stanice imaju dvije platforme. Jedna platforma je dolazna platforma, a druga odlazna. Obje platforme nalaze se na sporednom kolosijeku. Odvojene su prostorom za smještanje praznih vozila koje čekaju na polazak. Prazna i zauzeta vozila ulaze na ulaznom sektoru. Na dolaznoj platformi odvija se iskrcaj putnika. Prazna vozila koja ulaze na stanicu moraju pričekati iskrcaj putnika, nakon toga smještaju se na područje za prazna vozila. Na odlaznoj platformi odvija se ukrcaj putnika, zatim slijedi izlazak sa platforme pa izlazak sa stanice. Ovakva vrsta stanica zahtjeva veće područje za izgradnju pa su tako i troškovi izgradnje veći u odnosu na prethodno navedene tipove stanica. Ovakav tip stanice je najduža varijanta. Prednost stanice s dvije platforme je odvajanje dolaznih i odlaznih putnika, što ubrzava protok stanice pa tako i cijelog sustava. Prosječno vrijeme zadržavanja vozila na stanici sa dolaznom i odlaznom platformom kraće je nego na ostalim tipovima stanica. Da bi se postigla slična učinkovitost na stanicama sa jednom platformom potrebno je osigurati veći broj vozila koji cirkulira sustavom.



Slika 16. Stanica s dvije platforme

Izvor: [1]

4.2 DIZAJNIRANJE POSTAJA

Dizajniranje postaja ovisi o poziciji mreže linije koje mogu biti podzemne, nadzemne i pri površini. Već je spomenuto da je nadzemna mreža primarna osim u situacijama kada to nije moguće realizirati, pa će tako i postaje biti povišene. Dio postaja biti će u sklopu ili u blizini već sagrađenih objekata kao što su poslovne zgrade, hoteli, robni centri, škole, sportske arene ili aerodromi. U ovakvim varijantama potrebno je dizajnirati i osmisliti najbolje rješenje kako uskladiti postojeći objekt sa postajom na PRT sustavu. Većina postaja biti će uzdignuta od zemlje dizajnirana na poseban način. Takve stanice biti će izgrađene na gradilištu i zatim prevezene na područje instalacije. Montažne stanice smanjuju troškove realizacije samog projekta, a ne umanjuju kvalitetu i sigurnost samog sustava. Pošto su stanice iznad zemlje, potrebno je ubaciti tehnologiju koja osigurava transport putnika na višu razinu. U ovom slučaju

može se upotrijebiti dizalo ili pokretne stepenice. Pokretne stepenice lošija su varijanta od dizala zato što zauzimaju više prostora ali i troškovi izgradnje veći su od troškova za izgradnju dizala. Dizalo bi bilo bolje rješenje zato što ga mogu koristiti i osobe sa invaliditetom i majke sa djecom u kolicima. U stambenim područjima dovoljno je jedno dizalo na stanici dok je na većim stanicama, na području poslovnih centara, potrebno dva ili više dizala. Pokretne stepenice koriste se rijetko na jako velikim stanicama, tamo gdje je cirkulacija putnika velika, ali i u takvim slučajevima mora se izgraditi jedno dizalo za ljude koji ne mogu koristiti pokretne stepenice. Za nužne slučajeve dizajniraju se i obične stepenice.

Slika 17. Realizacija jedne postaje s prilazom za putnike (Suncheon)

Izvor: [19]

Na slici 17 nalazi se stanica koja je postavljena preko centralne ulice. Pješački most spaja platformu i dizali ili stepenice.

Već je spomenuta funkcija elektronske opreme kojom će biti opskrbljena stanica kao što su sustavi za izbor puta, aparati za naplatu, sustav za nadzor. Stanica će imati kontrolu nad kretanjem vozila pomoću posebnog računala koje bi bilo dovoljno jako da održi sustav sigurnim i efikasnim. Glavna zadaća takvih računala bila bi kvalitetan raspored praznih vozila na području kompletnog sustava.

5 SIGURNOST I ZAŠTITA

PRT sustav posjeduje veliki broj vozila koja prometuju automatskom kontrolom. Potrebno je, korisnicima sustava, pružiti pouzdanu i sigurnu uslugu i smanjiti vjerojatnost kvara na minimum. Visoka pouzdanost sustava tj. niska stopa kvarova, može se postići pravilnim dizajniranjem i projektiranjem PRT opreme i pomoću dobro organiziranog načina rada sustava. Potrebno je redovito održavanje i provjera mehaničkih i elektronskih dijelova tako da ne dođe do zamora materijala nego da se određeni dio promijeni prije otkazivanja. Također je važan i pametan odabir dijelova. Na taj način ne samo da se unaprjeđuje sigurnost nego se smanjuju troškovi održavanja sustava.

5.1 PROBLEMI ELEKTRONSKOG SUSTAVA

Lokalna računala na stanicama obavljaju glavni posao. Organiziraju upravljanje na najbližim raskrižjima, organiziraju rute za manevar vozila i prave raspored praznih vozila po mreži ovisno o potražnji. Centralno računalo povezano je sa lokalnim računalima na stanicama i ostalim elektronskim uređajima, tako da je svaka informacija o protoku putnika ili kvar na sustavu evidentirana na centralnom računalu.

Pogreška lokalnih računala

Iako svako vozilo u sustavu ima posebne senzore koje služe za sigurnost sustava, može se dogoditi da lokalno računalo ne izračuna potrebne podatke ili pogrešno izračuna manevarske i upravljačke naredbe. Bilo koji od tih zatajenja lokalnih računala može dovesti do sudara. Da bi se izbjegle takve situacije koriste se dva računala koja izdaju rute kretanja i manevra pojedinih vozila. Ako dođe do neslaganja u rezultatima i svako računalo izda drugačiju naredbu to će biti znak da nešto ne valja. Ako dođe do ove situacije, pokušava se što prije otkloniti kvar sa pokvarenog računala. Neko vrijeme se ne zna na kojem je računalu kvar tako da se na raskrižjima, kojima upravlja to računalo, otvore sklopke da ne može doći do sudara i u skladu s tim centralno računalo organizira rute koje isključuju zatvoreno područje. Vjerojatnost za sudar u ovako organiziranom i opremljenom sustavu veoma je mala.

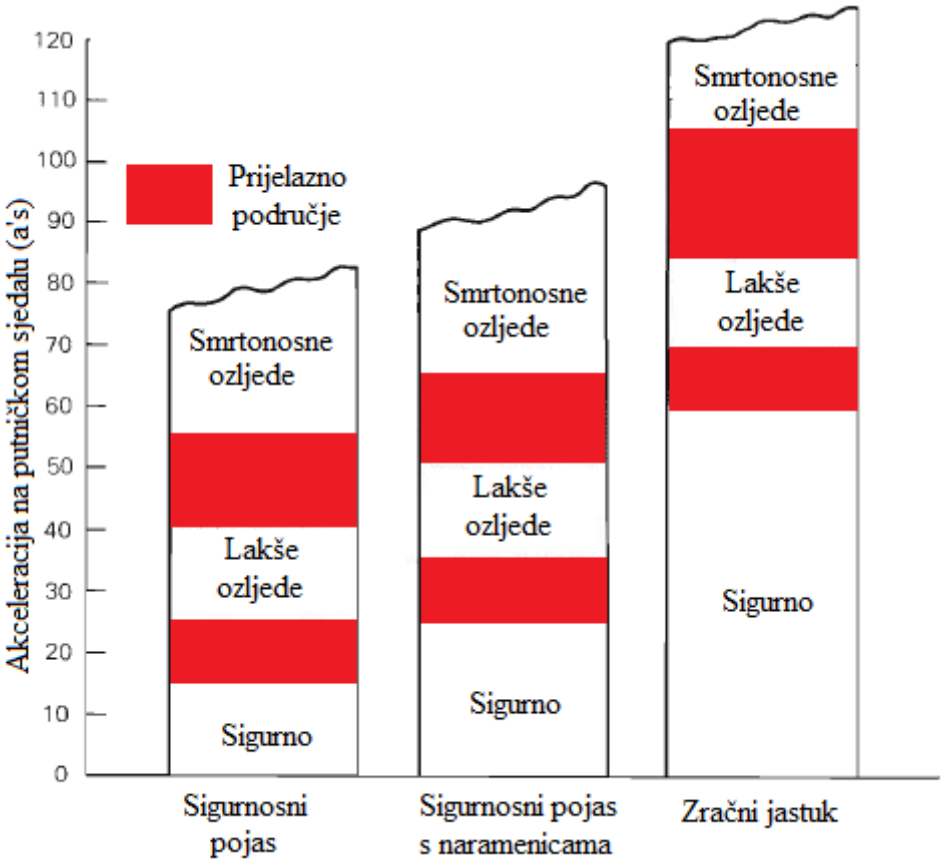
Pogreška središnjeg računala

Kvar na središnjem računalu neće utjecati na sigurnost sustava niti će uzrokovati poremećaj prijevoza jer središnje računalo ne provodi taktičku kontrolu i upravljanje sustavom.

5.2 SUDAR VOZILA

Dizajn i koncept rada PRT sustava koji su spomenuti ranije svesti će broj sudara na minimum. Ako dođe do takve situacije prvenstveno je potrebno osigurati sigurnost putnika. Do sudara između dva vozila na PRT liniji može doći tako da stražnje vozilo udari u prednje vozilo prilikom vožnje ili na raskrižjima zbog krivo programiranih vodilica. Prilikom vožnje, u PRT vozilima, putnici sjede. Zbog toga lakše je dizajnirati sustav koji štiti putnike od težih, možda čak i smrtnih ozljeda. Sva vozila u sustavu jednake su težine što smanjuje vjerojatnost kompletnog uništenja udarenog vozila. Unutar vozila, pametno su raspoređeni zračni jastuci koji se prilikom sudara aktiviraju i u potpunosti štite putnika. Vozila u sustavu kreću se automatski po posebno izgrađenoj liniji tako da se ne može dogoditi da dođe do zanošenja vozila ili nagle promjene smjera što je uzrok većine nesreća u cestovnom prometu. PRT sustav je najsigurniji tip transporta. Kontrolna računala upravljaju kontrolama vozila, tako da nema šanse da dođe do ljudske pogreške. Podvozje za vozilima odvojeno je od površine vodilice kojom se vozilo kreće što smanjuje problem ako se nađe prepreka na vodilici. Infrastruktura se gradi nad zemljom odvojena od ostalih tipova prometa pa zbog toga ne može doći do konflikta sa pješacima ili vozilima kojima upravlja čovjek.

Stupanj sigurnosti putnika prilikom prometne nezgode ovisi o načinu oblikovanja putničke kabine vozila. Vanjski dio vozila dizajniran je na poseban način tako da sadrži posebne uređaje koji prilikom sudara apsorbiraju udarac i tako smanjuju trzaj i nagle neočekivane pokrete putnika koji mogu dovesti težih tjelesnih ozljeda. Prilikom težeg sudara može doći do ispadanja putnika sa sjedala, pa se tako unutar kabine nalaze uređaju koji pridonose sigurnosti putnika. Neki od njih su sigurnosni pojasevi, sigurnosni pojasevi s naramenicama i zračni jastuci. Jedan od načina zaštite putnika je taj da se sjedala u vozilu okrenu u smjeru vožnje tako da kada do udara u stražnji dio vozila, putnik ostaje na sjedištu. Događa se da putnici namjerno ne žele staviti sigurnosne pojaseve, pa se na njih ne može oslonit. Zato je najbolji sustav sigurnosti unutar vozila zračni jastuk koji ima senzore, otvara se u kritičnim situacijama i sprečava nastanak teških tjelesnih ozljeda prilikom sudara.



Grafikon 1. Stupanj sigurnosti zaštite putnika u vozilu

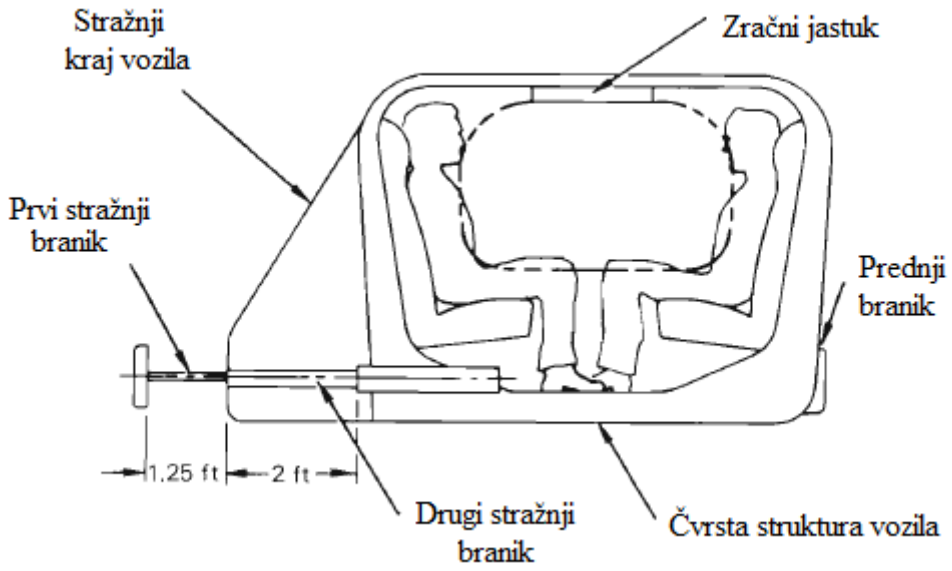
Izvor: [1]

Na grafikonu se vidi koliko je siguran pojedini sustav zaštite putnika. Može se primijetiti da je zračni jastuk najsigurniji sustav zaštite, više od tri puta kvalitetniji način zaštite od običnog sigurnosnog pojasa. Problem je taj što ne želi svaki putnik staviti sigurnosni pojas pa je zato stupanj sigurnosti nedovoljan. Najbolje rješenje bilo bi korištenje sva tri oblika osiguranja

Sudar na liniji sustava

PRT vozilo dizajnirano je tako da u slučaju sudara dvaju vozila osigurava sigurnost putnika. To se postiže sa posebnim branicima, zračnim jastucima i stražnjim dijelom vozila koji se prilikom snažnijeg udara deformira i na taj način smanjuje snagu samog udarca. Na stražnjem dijelu vozila nalaze se dva branika. Prvi branik je kraći i mekši tako da ublažuje sudare pri manjim brzinama, do 30 km/h. Prednji branik je nešto duži i služi za ublaživanje naleta vozila pri velikim brzinama, čak i do 90 km/h. Prednji branik na vozilu služi za ublaživanje udara na

vozilo ispred, ali koristan je i u drugim situacijama. Jedna od tih situacija je kada se na liniji nalazi neki čvrsti predmet koji može poremetiti normalno prometovanje sustava i time ugroziti sigurnost putnika.



Slika 18. Elementi koji smanjuju posljedice pri sudaru

Izvor: [1]

Bočni sudar

Bočni sudari su vrlo rijetki zbog kvalitete sustava i kvalitete osiguranja lokalnih računala. Bočni sudari događaju se na raskrižjima gdje su krivo programirane skretnice. Vozila PRT sustava dizajnirana su tako da garantiraju sigurnost korisnika usluge u slučaju bilo kakve nezgode pa tako i bočnog naleta drugog vozila. Bočne strane vozila napravljene su od krutog materijala tako da se u slučaju takve vrste sudara vozila odbijaju jedno od drugog. Šanse za bočni sudar dvaju vozila gotovo su nikakve, ali i ako dođe do toga putnik je siguran.

5.3 PREPREKE NA LINIJI PRT SUSTAVA

Mali objekti

Moguće je da netko namjerno stavi neki predmet na vodilicu ili da se slučajno nađu neke manje prepreke kao što su limenke, komadi kamenja i boce. Infrastruktura je dizajnirana tako da vozila mogu preći preko toga i unatoč manjim preprekama nastaviti nesmetano prometovati sustavom. Površina kojom prometuje vozilo povišena je na području kotača pa svi manji objekti neće ugroziti sigurnost putnika. Vozila također imaju posebne naprave koje služe za sklanjanje manjih objekata koji se nađu ispred njega.

Veliki objekti

Nije baš česta pojava da se na putu vozila nađe neki veliki objekt, ali može se dogoditi da neki veći objekt padne ili ga netko namjerno postavi na infrastrukturu PRT sustava. Kako bi se smanjila vjerojatnost takvog događaja, potrebno je dizajnirati sustav koji nema jednostavan pristup linijama. Velik dio sustava linija gradi se uz drvorede, stoga je potrebno dizajnirati posebne pregrade koje onemogućuju padanje grana na područje na kojemu prometuju vozila. Već je spomenuto na koji način je dizajnirano vozilo u slučaju sudara. Isti ti elementi pridonose smanjenju negativnih posljedica priliko sudara vozila sa velikim objektom.

5.4 NESTANAK STRUJE

U slučaju kratkotrajnog nestanka struje vozila se preusmjeravaju na teritorij koji nije zahvaćen sa navedenim problemom. Ako to nije moguće, vozila miruju dok se problem ne otkloni. Puno veći problem je dugotrajni nestanak struje na cijelom području PRT infrastrukture u hladnijim krajevima. Vozila se u trenutku nestanka struje zaustavljaju i putnici ostaju u vozilu. Ako su vremenski uvjeti loši, velika hladnoća ili snijeg postoji mogućnost da dođe do pothlađivanja putnika. Takvi uvjeti ugrožavaju sigurnost putnika i dovode to teških tjelesnih ozljeda pa i smrti. Da bi se izbjegli ovakvi crni scenariji u slučaju nestanka struje osmišljeni su sustavi za evakuaciju putnika. Putnicima je omogućeno napuštanje vozila i PRT infrastrukture pomoću teleskopskih ljestava, ljestava od užadi, žljebova na napuhavanje koji se ugrađuju u vozila. Putnicima je onemogućen pristup području na kojem vozila prometuju radi njihove sigurnosti. Postoji još jedno rješenje za problem nestanka struje, a to je ugradnja pomoćnih baterija koje

će napajati računala, vozila i kompletan sustav. Takve baterije trebale bi imati snagu dovoljnu da mogu obnašati osnovne funkcije prijevoza i dovesti putnike, koji su se u trenutku nestanka struje našla u mreži, do najbliže stanice. Težina baterije koja bi mogla obaviti takav tip hitne intervencije iznosila bi pola kile i bila bi smještena u svakom vozilu.

Slika 19. PRT vozilo u teškim vremenskim uvjetima (Suncheon)

Izvor: [20]

6 POUZDANOST PRT SUSTAVA

Pouzdanost se može definirati kao vjerojatnost obavljanja zahtjeva korisnika u određenom vremenskom periodu. Sa stajališta stručnjaka zaduženog za transportni sustav, pouzdanost bi bila vjerojatnost izvršenja zadatka bez neočekivanih smetnji i kašnjenja. Vrijeme kašnjenja je vrlo relativan pojam. Većina putnika tolerirati će do dvije minute kašnjenja vozila. Do velikog kašnjenja dolazi u trenucima kada se na malom području sustava nalazi veliki broj vozila. U takvim trenucima sustav jednostavno ne može podnijeti toliki broj vozila te dolazi do nešto sporije rada sustava. Cilj sustava je svesti vrijeme kašnjenja u prihvatljive okvire i ostvariti što veći protok putnika u kratkom roku. Kod pouzdanosti PRT sustava bitno je napomenuti da se to ne odnosi samo na učinkovitost prijevoza, nego i na sigurnost svih korisnika usluge. U istraživanju i oblikovanju plana PRT sustava, koristile su se statistike cestovnog prometa za automobile. Zaključak je bio da je čovjek najveći krivac za prometne nesreća. U PRT sustavu izbačen je vozač i mogućnost ljudske pogreške pri upravljanju vozilima te se tako stopa invalidnosti u nesrećama smanjuje na samo 1%. Velika pouzdanost sustava može se postići i pravilnim dizajnom vozila i unapređenjem računalnog programa koji upravlja sustavom. Lokalna računala upravljaju sustavom za navođenje i manevar vozila pa se može reći da su ona veoma bitna kod pitanja pouzdanosti sustava. Ako je omjer kvara jednog računala 1:1000 onda je omjer zatajenja dva računala 1:1000 000 pa se iz tog razloga osiguravaju dva lokalna računala, koja odrađuju isti posao, da bi se vjerojatnost pogreške svela na minimum. Radi bolje pouzdanosti, potrebno je mehaničke dijelove povezati sa elektronikom. Tako bi se kvarovi na mehaničkim dijelovima mogli otkriti i lakše otkloniti, pomoću elektronskih alata. Bitno je provoditi preventivna održavanja sustava. Na taj način izbjegava se problem zamora materijala i neočekivanog kvara na potrošnim dijelovima.

7 FINANCIJSKA OPRAVDANOST PRT SUSTAVA

Glavni troškovi za izgradnju kompletnog PRT sustava dijele se na tri skupine. U prvoj skupini troškovi bi bili oni koji ne ovise o veličini voznog parka, a to su infrastrukturni elementi, stanice, računala, kompjuterski programi i kontrolni centar. U drugoj skupini troškovi ovise o veličini voznog parka, a u te troškove ulaze troškovi za nabavu vozila, troškovi za distribuciju električne energije, troškovi za izgradnju objekata za održavanje i skladištenje vozila, troškovi nabave naplatnih uređaja i uređaja za čišćenje. U treću skupinu spadaju troškovi projektiranja, upravljanja projektom i troškovi raznih dozvola koje su potrebne za izgradnju PRT sustava. Takva vrsta troškova zauzima 6 % ukupnog troška za izgradnju i realizaciju cijelog sustava.

Izgradnja PRT sustava na Londonskom aerodromu Heathrow stajala je oko 300 milijuna kuna. Navedeni sustav sastoji se od dvadeset jednog vozila koja prometuju na sustavu vodilica od sveukupno 3.8 kilometara. U jedno vozilo može se smjestiti najviše četiri putnika u što se ne računa i prostor za prtljagu i prostori za malu djecu. Kapacitet ovog PRT sustava je 164 vozila u satu po smjeru, a maksimalan broj putnika koji se preveze u jednom satu je 656.

PRT sustav u Morgantownu u West Virginiji koštao je oko 800 milijuna kuna. U tu cijenu ulaze pet stanica, sustav za održavanje, kontrolna soba, 14 kilometara vodilica na kojima prometuje sveukupno 71 vozilo koje ima 21 mjesto od čaga su 8 mjesta sjedećih. Ovaj sustav godišnje preveze preko 75 milijuna putnika. Cijena karte iznosi 3 kune po vožnji dok je za studente fakulteta West Virginia besplatno.

7.1 TROŠKOVI ZA IZGRADNJU VODILICA

U troškove za izgradnju vodilica spadaju ravne vodilice, potporni stupovi od armiranog betona i zakrivljene vodilice na raskrižjima. U prosijeku, na jednosmjernoj PRT mreži, raskrižje se postavlja svakih 160 kilometara. Vozila se napajaju električnom energijom pa je potrebno izgraditi bakrene kanale kroz koje prolazi električna energija. U samim vodilicama nalaze se magneti pomoću kojih se vozilo kreće po sustavu. U troškove ulazi i ugradnja senzora i kablova koji spajaju vozilo i lokalna računala radi lakše cirkulacije informacija i podataka. Ukupni troškovi za izgradnju 160 kilometara jednosmjernog sustava vodilica iznosi oko 667 milijuna dolara, što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Podaci za 160 km jednosmjernog sustava uključujući vodilice na stanicama

Proizvod	Troškovi izgradnje	Arhitektonski troškovi	Nepredviđeni troškovi	Ukupno
Ravne vodilice	$300 000 000	$107 000 000	$43 000 000	$450 000 000
Stupovi	$35 000 000	$12 000 000	$5 000 000	$52 000 000
Raskrižja	$112 000 000	$38 000 000	$15 000 000	$165 000 000
Ukupni trošak	$447 000 000	$157 000 000	$63 000 000	$667 000 000

Izvor: [1]

7.2 TROŠKOVI VOZILA

Dijelovi za izgradnju jednog vozila su tijelo, okvir, stakla, kotači i gume, kočnički sustav, sigurnosna oprema, razna elektronika, glavni linearni motor koji pokreče vozilo, električni sustav za napajanje, vrata vozila i sustav za klimatizaciju. U troškove vozila ulaze troškovi sastavljanja vozila, troškovi testiranja vozila i troškovi postavljanja vozila u mrežu. Prije puštanja vozila u pogon potrebno je obaviti testove i ustanoviti da je vozilo sposobno za rad. Troškovi pojedinačnog vozila manji su ako se u isto vrijeme proizvodi više vozila. Tako pri izgradnji 10 000 vozila cijena jednog vozila bila bi oko 49 600 dolara, što je vidljivo u tablici broj 2.

Tablica 2. Troškovi jednog vozila u odnosu na količinu vozila

PREDMET	KOLIČINA					
	10	100	1 000	10 000	100 000	1 000 000
Tijelo	$13 000	$9 000	$7 000	$5 000	$4 000	$2 700
Okvir	$7 000	$5 000	$4 000	$3 500	$2 500	$1 300
Staklo	$16 000	$8 000	$6 000	$5 000	$3 000	$2 400
Kotači	$4 000	$3 000	$2 000	$2 000	$1 000	$900
Kočnice	$4 000	$2 000	$2 000	$1 000	$800	$600
Sigurnosna oprema	$4 000	$2 000	$2 000	$1 000	$800	$600
Elektronika	$16 000	$12 000	$7 000	$7 000	$3 000	$2 000
Motor	$12 000	$9 000	$6 000	$4 000	$2 500	$1 600
Električni sustav	$10 000	$7 000	$5 000	$3 000	$2 500	$1 600
Vrata	$2 000	$2 000	$1 000	$1 000	$600	$400
Klimatizacija	$4 000	$3 000	$2 000	$2 000	$1 200	$800
Ostalo	$4 000	$2 000	$2 000	$1 000	$800	$400
Suma materijala	$96 000	$64 000	$46 000	$35 000	$22 700	$15 300
Sastavljanje	$32 400	$20 400	$15 100	$9 100	$7 000	$4 900
Završna montaža	$16 500	$11 600	$8 200	$5 500	$3 800	$2 700
Ukupni troškovi	$144 900	$96 000	$69 300	$49 600	$33 500	$22 900

Izvor: [1]

7.3 TROŠKOVI ZA IZGRADNJU STANICA

Postoje dvije varijante PRT stanica. Prvi tip stanica je stanica u gradskom području. Za takve stanice karakteristično je da su veće zbog veće cirkulacije putnika. Drugi tip stanice je u prigradskom području, na takvim stanicama puno je manja potražnja za uslugom nego u gradskim središtima. Veličina natkrivene stanice na gradskom području je oko 90 kvadratnih metara i sadrži platforme za vozila, područje za pristajanje 6 vozila, dizalo koje služi za transport ljudi po razinama, vanjske stepenice za izlaz u nuždi i sigurnosne i informacijske sustave. Veličina natkrivene stanice u prigradskom području iznosi oko 30 kvadratnih metara i sadrži platformu za pristanak dva vozila, dizalo, vanjske stepenice i sigurnosne i informacijske sustave. Ukupni troškovi za izgradnju 200 stanica u sustavu iznosi 216 milijuna dolara, što uključuje 40 gradskih postaja od kojih svaka postaja košta 1.4 milijuna dolara i 160 prigradskih stanica od kojih svaka košta milijun dolara.

7.4 TROŠKOVI RAČUNALA I RAČUNALNIH PROGRAMA

Ukupni troškovi računala i računalnih programa iznose oko 146 milijuna dolara, što je vidljivo u tablici broj 3. U takvu vrstu troškova spadaju troškovi centralnog računala koji iznose 93 milijuna dolara, troškovi lokalnih računala, koji se nalaze na stanicama, iznose 37 milijuna dolara, troškovi izgradnje kontrolnog centra iznose oko 10 milijuna dolara, dok računalni program za upravljanje sustavom iznosi 6 milijuna dolara.

Tablica 3. Ukupni troškovi informatičkog dijela sustava

Centralno računalo	$93 000 000
Lokalna računala	$37 000 000
Kontrolni centar	$10 000 000
Računalni program	$6 000 000
Ukupno	$146 000 000

Izvor: [1]

Slika 20. Šalter za kupnju karte (Suncheon)
Izvor: [29]

8 ZAKLJUČAK

Zbog velike brzine rasta gradova i gradskih središta porasla je i potražnja za prijevozom, pa tako javni gradski prijevoz ima veliko značenje. Njegovu ulogu nemoguće je zamijeniti zbog masovnih prijevoznih potreba građana. Kao rezultat globalizacije, povećava se potreba za mobilnosti, a samim time stvara se ovisnost o određenim tipovima prometa. Javni gradski promet u većim gradovima zadovoljava više od 50 posto svih putovanja građana. U njegove sustave uložena su vrlo velika sredstva i svako planiranje grada nezamislivo je bez tog segmenta. Pri planiranju nekog sustava bitno je uskladiti financije, razinu usluge i sigurnost sustava. PRT sustav, može se reći, inovativna je tehnologija koja je tek u počecima.

Svi sustavi javnog prijevoza prevoze ljude u skupinama što dovodi do problema nepovezanosti, nepotrebna čekanja i kašnjenje sustava, a to i nije učinkovito. PRT sustav koristi mala vozila, i sustav je dizajniran na način da izbjegne spomenute probleme. Korisnik PRT sustava posjeduje privatnost i mogućnost oblikovanja svog rasporeda. PRT infrastruktura nema doticaj sa individualnim vrstama prijevoza pa je zbog toga u prednosti u vršnim satima. Zbog veličine vozila, infrastruktura ne mora biti masovna, što smanjuje troškove izgradnje i estetski je prihvatljivija u odnosu na ostale tipove sustava za masovni prijevoz putnika. PRT sustav je odlična tehnologija prometa koja može osigurati pristupačnost, sigurnost i ekološku održivost na području jednog grada. Sustav je isplativ i po nekim istraživanjima moguće je sa troškovima poslovanja pokriti dio troškova izgradnje, u najboljem slučaju i sve troškove. Tu tvrdnju dokazuje i PRT projekt u Sunscheonu koji je počeo s radom u travnju 2014 godine te do kraja godine prevezao ukupno 285 000 putnika te pritom zaradio više od 7 milijuna kuna. Nakon usporedbe s ostalim tipovima javnog gradskog prijevoza, dolazi se do zaključka da je PRT sustav dovoljno siguran i učinkovit.

Postojeći PRT sustavi u Morgantownu, Masdaru, Londonu i Suncheonu dokaz su da se ovakva inovativna tehnologija polako usavršava i unaprjeđuje, te se može očekivati veći broj primjena PRT sustava u urbanim područjima.

LITERATURA

[1] Irving, J.H.: Fundamentals of personal rapid transit, Massachusetts, Toronto, 1977.

[2] Wikipedia internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Personal_rapid_transit

[3] Wikipedia internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/ba/Morgantown_PRT_-_Beechurst_Station.jpg

[4] Joy enjoys internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.joyenjoys.com/wp-content/uploads/2011/12/Electric-Pod-Cars-at-The-Heathrow-Airport-4.jpg

[5] Kojects internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://kojects.com/wp-content/uploads/2015/07/suncheon_skycube_PRT_10-800x405.jpg

[6] Photo shelter internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://cdn.c.photoshelter.com/img-get2/I0000rtKsEYZ6fLw/fit=1000x750/PRT-Masdar-1.jpg

[7] Kojects internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://kojects.com/wp-content/uploads/2015/07/suncheon_skycube_PRT_13.jpg

[8] Štefančić, G.: Tehnologija gradskog prometa I, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2008.

[9] Štefančić, G.: Tehnologija gradskog prometa II, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2008.

[10] Zavada, J.: Vozila za javni gradski prijevoz, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2006.

[11] Wikipedia internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Public_transport

[12] Tdi internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.tdi.uk.com/uploads/5269352ECE3A4.jpg

[13] Vectus inteligent transport internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.vectusprt.com/EN/technology/

[14] Vectus inteligent transport internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.vectusprt.com/uploads/5177F9B8A9643_500.jpg

[15] Srednja tehnička škola Koper internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www2.sts.si/arhiv/tehno/vho/linearni_motorji.htm

[16] Srednja tehnička škola Koper internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www2.sts.si/arhiv/tehno/vho/Slike/Image149.jpg

[17] Princeton University internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F10/PRT@LHR10_Conf/StationDesign_Hammersle_prez-1.pdf

[18] Vectus inteligent transport internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.vectusprt.com/uploads/517808534BEF1_500.jpg

[19] Anastas internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://anastas.org/wp-content/uploads/2010/02/Vectus-PRT-Station-Dusk-small.jpg

[20] PRT consulting internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.prtconsulting.com/galleries/gallery07/Photo03.jpg

[21] Advanced Transit Association internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.advancedtransit.org/advanced-transit/applications/morgantown/

[22] Advanced Transit Association internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.advancedtransit.org/advanced-transit/applications/masdar-prt/

[23] Advanced Transit Association internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.advancedtransit.org/advanced-transit/applications/heathrow/

[24] Advanced Transit Association internet poveznica, Pristup u srpnju 2015., Dostupno na: http://www.advancedtransit.org/advanced-transit/applications/suncheon/

[25] Wikipedia internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Morgantown_Personal_Rapid_Transit

[26] Railway tehnology internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: http://www.railway-technology.com/projects/personal-rapid-transit/

[27] Kojects internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: http://kojects.com/2015/07/20/suncheon-skycube-prt-ride/

[28] The Steel Wire internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: http://globalblog.posco.com/koreas-first-personal-rapid-transit-prt-skycube/

[29] Kojects internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: http://kojects.com/wp-content/uploads/2015/07/suncheon_skycube_PRT_14.jpg

[30] West Virginia University internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: http://transportation.wvu.edu/prt/prt-facts

[31] Wikipedia internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/ULTra_(rapid_transit)

[32] Wikipedia internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_guideway_transit

[33] West Virginia University internet poveznica, Pristup u kolovozu 2015., Dostupno na: http://transportation.wvu.edu/prt/prt-modernization

POPIS SLIKA

Slika 1. Prvi PRT sustav u Morgantownu (West Virginia) ... 3
Slika 2. PRT sustav u Londonu na aerodromu Heathrow ... 4
Slika 3. PRT sustav u Južno Korejskom gradu Suncheon ... 4
Slika 4. PRT sustav u gradu Masdar u Ujedinjenim Arapskim Emiratima ... 4
Slika 5. Ulaz u vozilo PRT sustava u Suncheonu ... 6
Slika 6. Vozila PRT sustava čekaju na iskrcaj i ukrcaj putnika ... 8
Slika 7. Vozilo za prijevoz tereta ... 9
Slika 8. Površinske vodilice uklopljene u okoliš (Suncheon) ... 12
Slika 9. Izgled čvorišta u jednosmjernoj i dvosmjernoj mreži. ... 13
Slika 10. Prikaz sustava vodilica ... 14
Slika 11. Prikaz realizacije čvorišta PRT sustava ... 15
Slika 12. Prikaz pogonskog gibanja vozila u PRT sustavu ... 16
Slika 13. Stanica s jednom platformom i jednim prilazom ... 17
Slika 14. Stanica s jednom platformom i jednim prilazom u Suncheonu ... 18
Slika 15. Stanica s jednom platformom i dva prilaza ... 18
Slika 16. Stanica s dvije platforme ... 19
Slika 17. Realizacija jedne postaje s prilazom za putnike (Suncheon) ... 20
Slika 18. Elementi koji smanjuju posljedice pri sudaru ... 24
Slika 19. PRT vozilo u teškim vremenskim uvjetima (Suncheon) ... 26
Slika 20. Šalter za kupnju karte (Suncheon) ... 31

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podaci za 160 km jednosmjernog sustava uključujući vodilice na stanicama ... 29
Tablica 2. Troškovi jednog vozila u odnosu na količinu vozila ... 29
Tablica 3. Ukupni troškovi informatičkog dijela sustava ... 30

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Stupanj sigurnosti zaštite putnika u vozilu ... 23

POPIS PRILOGA

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

METAPODACI

Naslov rada: Osobni brzi javni prijevoz

Autor: Marko Švajda
Mentor: dr. sc. Marko Slavulj

Naslov na drugom jeziku (engleski):
Personal Rapid Transit

Povjerenstvo za obranu:

- prof. dr. sc. Gordana Štefančić, predsjednik
- dr. sc. Marko Slavulj, mentor
- dipl. ing. Mario Ćosić, član
- izv. prof. dr. sc. Ljupko Šimunović, zamjena

Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu
Zavod: Zavod za gradski promet
Vrsta studija: sveučilišni
Naziv studijskog programa: Promet
Stupanj: preddiplomski
Akademski naziv: univ. bacc. ing. traff.
Datum obrane završnog rada: 1.03.2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____završni rad_____ isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____završnog rada_____

pod naslovom **Osobni brzi javni prijevoz**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 12.02.2016

(potpis)