

OBNOVA TRAMVAJSKOG VOZNOG PARKA U BEOGRADU

Prof. dr Gradimir Danon
Šumarski fakultet Beograd

Mr Slaven Tica
Gradsko saobraćajno preduzeće Beograd

Prof. dr Branko Vasić
Mašinski fakultet Beograd

Tramvajski saobraćaj ima važno mesto i perspektivu u sistemu javnog gradskog prevoza u Beogradu. Sagledavajući sadašnje stanje i buduće potrebe, Grad Beograd planira revitalizaciju, rehabilitaciju i osavremenjavanje ovog vida prevoza. Zadatak "Cost-benefit analize tramvajskog voznog parka", prikazane u radu, bio je da predloži takav način obnove tramvajskog voznog parka koji bi, uzimajući u obzir sva tehnička, finansijska i vremenska ograničenja, građanima Beograda obezbedio bezbedan, komforan i ekonomičan prevoz u narednih 20-30 godina. Za analizu je korišćen specijalizovani računarski program za višekriterijumsku analizu Criterium DecisionPlus.

Ključne reči: tramvaji, troškovi, koristi, izbor

UVOD

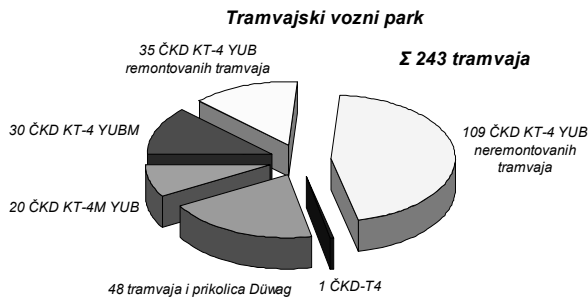
Tramvajski saobraćaj ima važno mesto i perspektivu u sistemu javnog gradskog prevoza u Beogradu. Trenutno stanje je loše i zato grad Beograd planira revitalizaciju, rehabilitaciju i osavremenjavanje ovog vida prevoza. Za ovaj obiman, skup i dugoročan posao postoji i podrška Evropske banke za obnovu i razvoj (EBRD) i Evropske investicione banke (EIB). Ove banke su spremne da finansijski podrže projekte kojima bi se poboljšala infrastruktura javnog gradskog prevoza u Beogradu i u okviru toga modernizacija postojećeg tramvajskog voznog parka. Pre realizacije, a da bi se obezbedili uslovi da ona bude uspešna, bilo je potrebno analizirati mogućnosti, sadržaj, obim i opravdanost ove obnove. Zadatak cost-benefit analize bio je da predloži takav način obnove tramvajskog voznog parka koji bi, uzimajući u obzir sva tehnička, finansijska i vremenska ograničenja, građanima Beograda obezbedio bezbedan, komforan i ekonomičan prevoz u narednih 20-30 godina /1/. Za analizu je korišćen specijalizovani računarski program za višekriterijumsku analizu Criterium DecisionPlus /9/. Potrebu za višekriterijumskim pristupom nametnula je činjenica da koristi koje bi građani Beograda mogli imati od poboljšanja tramvaj-

skog prevoza mogu biti svima jasno vidljive, ali nisu uvek lako merljive novcem. Stoga je bilo potrebno utvrditi međusobne relacije nivoa usluga u tramvajskom prevozu i sredstava koje bi trebalo uložiti da bi se očekivane koristi i obezbedile. Odnosno, bilo je potrebno da se troškovi (izraženi u novcu), uporede sa koristima koje bi se mogle ostvariti unapređenjem tramvajskog prevoza, a koje se sastoje od višeg komfora putnika, veće bezbednosti i pouzdanosti putovanja, skraćivanja vremena putovanja, poštovanja reda vožnje i dr.

POSTOJEĆE STANJE TRAMVAJSKOG PREVOZA

U Beogradu je, od uvođenja tramvaja pa sve do danas, projektovan i građen takozvani „uski“ tramvajski kolosek širine 1000 mm. Vozni park u tramvajskom saobraćaju sastoji se od 222 tramvajskih motornih kola i 21 tramvajske prikolice. Prevlađuju ČKD tramvaji (češke proizvodnje) kojih trenutno u inventaru ima 195. Ostala vozila su marke Düwag i potiču iz švajcarske donacije (slika 1). Od ukupnog inventarskog broja tramvajskih vozila, u momentu kada je ova analiza sprovedena, sedamdesetak tramvaja je bilo, u dužem periodu, van saobraćaja. Drugim rečima, za obavljanje normalnog tramvajskog saobraćaja Gradskom saobraćajnom preduzeću Beograd bilo je na raspolaganju oko 170 tramvaja dnevno. Iz navedene analize, ukoliko se u obzir uzme i broj tramvaja koji se (iz različitih razloga)

isključuju iz saobraćaja, može se zaključiti da GSP samo uz velike napore može da obezbedi 150 tramvaja, koliko je prema proračunu iz studije Saobraćajnog fakulteta u Beogradu potrebno za zadovoljavanje prevoznih zahteva i komfornog prevoza.



Slika 1. Struktura tramvajskog voznog parka po tipu vozila /1/

Razloga za to ima više i navedimo samo one najvažnije:

Starosna struktura tramvajskog voznog parka nije povoljna /2/. Poslednji put tramvaji su nabavljani 1998. godine. Tramvaji češkog proizvođača, tipa ČKD, stari su u proseku 20 godina. Jedan broj tramvaja je u međuvremenu remontovan i modernizovan. Situacija kod tramvaja Düweg je i pored dobrog održavanja i redovnih remonta još nepovoljnija. Naime, tramvajska motorna kola Düweg su u proseku stara 38 godina, dok su njihove tramvajske prikolice stare čak 52 godine /1/.

Tramvajski vozni park ima u proseku niske vrednosti pouzdanosti, odnosno ima veliki broj otkaza na 100.000 km pređenog puta. Tu postoje razlike u pouzdanosti novih i modernizovanih tramvaja u odnosu na ostale tramvaje istog tipa. Ovo ukazuje da bi se osavremenjavanjem postojećih tramvaja (posebno ugradnjom savremene regulacije pogona) značajno podigao nivo pouzdanosti /2/.

MOGUĆA REŠENJA OBNOVE TRAMVAJSKOG VOZNOG PARKA KAO OSNOVA ZA COST-BENEFIT ANALIZU

Sprovedena analiza strukture, starosti i stanja (pouzdanosti i raspoloživosti postojećeg tramvajskog voznog parka GSP-a) jasno je ukazala na moguće pravce njegove modernizacije u budućnosti i poslužila je kao osnova za definisanje tehničkih zahteva za eventualnu nabavku novih tramvaja /1/.

Za cost-benefit analizu odabrano je ukupno 5 varijantnih rešenja. Ova rešenja se odnose isključivo na tramvaje ČKD i to na 120 nere-

montovanih ili remontovanih tramvaja koji su u tom trenutku bili u najboljem stanju:

I varijanta: glavna opravka ili remont 120 ČKD tramvaja bez modernizacije,

II varijanta: osnovni nivo modernizacije svih 120 ČKD tramvaja koji ulaze u postupak obnove,

III varijanta: viši nivo modernizacije svih 120 ČKD tramvaja,

IV varijanta: osnovni nivo modernizacije 100 ČKD tramvaja i nabavka 10 novih u cilju zamene 20 postojećih tramvaja, i

V varijanta: viši nivo modernizacije 100 ČKD tramvaja i nabavka 10 novih u cilju zamene 20 postojećih tramvaja.

Treba napomenuti da je I varijanta uključena u analizu za poređenje, kao ogledalo sadašnjeg stanja, a ne kao moguće rešenje za poboljšanje tramvajskog saobraćaja. Drugim rečima, posle detaljnih analiza usvojeno je da se odbace sve varijante sa osnovnim remontom tramvaja bez modernizacije (zbog toga što se remontom ne povećava njihova pouzdanost) i varijante sa nabavkom polovnih remontovanih ili modernizovanih tramvaja (zbog narušavanja unifikacije voznog parka i ukupno viših troškova).

TROŠKOVI OBNOVE I EKSPLOATACIJE

Šinski vidovi prevoza zahtevaju znatna investiciona sredstva. Procena obima investicija u tramvajski sistem vrši se kroz troškove njegovih komponenata. Kada se radi o novoj liniji ili mreži, troškovi investicija se sastoje od:

- Troškova izgradnje infrastrukturnih objekata (kupovina, uređenje zemljišta, trasa, stanica, gornjeg stroja koloseka, ...),
- Troškova nabavke potrebnog broja tramvaja,
- Troškova održavanja i garažiranja vozila (izgradnja, adaptacija i prilagođavanje objekata, potrebna oprema, ...),
- Tehničko-administrativnih i nepredviđenih troškova (izrada projekata, doprinosi državi...).

U našem slučaju zadatak je bio ograničen samo na modernizaciju voznog parka i u "Cost-benefit analizi tramvajskog voznog parka" analizirani su isključivo troškovi nabavke novih, odnosno remonta i/ili modernizacije postojećih tramvaja, a u skladu sa predloženim varijantama obnove. Za to je bilo potrebno što preciznije odrediti cene tehničko-tehnoloških varijantnih rešenja. Lista analiziranih troškova uključuje troškove nabavke, remonta ili modernizacije, troškove održavanja, troškove električne energije i tro-

škove kašnjenja putnika. U analizu nisu uključeni troškovi saobraćajnog osoblja i tzv "ostali troškovi". Troškovi saobraćajnog osoblja inače imaju velikog udela u ukupnim troškovima eksploatacije /1, 3/. Modernizacija tramvajskog voznog parka imaće sigurno uticaja na broj, strukturu i stepen angažovanosti saobraćajnog osoblja u narednim godinama. Kako i u kojoj meri nije moguće utvrditi bez sprovođenja dodatnih istraživanja i analiza, te ovi troškovi nisu uzimani u obzir. Slična stvar je i sa troškovima administracije i drugim troškovima koji se obično zovu "ostali". Promene i unapređenja tramvajskog voznog parka ne mogu same po sebi značajnije uticati na promenu ovih troškova. Tu je potrebno, paralelno sa modernizacijom, sprovesti i odgovarajuću reorganizaciju saobraćajne operative, službi održavanja, ali i ostalih delova preduzeća.

Pre početka analize bilo je potrebno za svako od tehničko-tehnoloških rešenja prikupiti, odnosno proceniti, ukoliko nema preciznijih informacija, sledeće ulazne podatke:

- Nabavna cena novog tramvaja ili troškovi remonta, odnosno modernizacije postojećih tramvaja,
- Troškove održavanja novih, remontovanih ili modernizovanih tramvaja,
- Promenu troškova održavanja u funkciji dužine eksploatacije tramvaja,
- Specifičnu potrošnju električne energije novih, remontovanih ili modernizovanih tramvaja, i

- Cenu električne energije koju plaća GSP Beograd.

Uz gore navedene troškove bilo je potrebno prikupiti podatke o:

- Pouzdanosti novih, remontovanih ili modernizovanih tramvaja,
- Promeni pouzdanosti u funkciji dužine eksploatacije tramvaja,
- Raspoloživosti novih, remontovanih ili modernizovanih tramvaja, i
- Promeni raspoloživosti u funkciji dužine eksploatacije tramvaja, kako novih, tako i remontovanih ili modernizovanih tramvaja.

Investicije

Do računске cene novih tramvaja došlo se analizom cena i tehničko-eksploatacionih karakteristika novih tramvaja na tržištu i konsultacija sa mogućim ponuđačima. Analize su pokazale da se prosečna cena dužnog metra tramvaja na evropskom tržištu, kreće između 50.000 i 70.000 EUR /4, 5, 6/. Usvojena cena, data u tabeli 1, sračunata je tako što je neka prosečna cena od 60.000 EUR/m pomnožena sa 36m, koliko bi trebala da iznosi dužina predloženog tehničkog rešenja novog tramvaja.

Cena novog tramvaja = 60.000EUR/m · 36 m ~ 2.200.000 EUR

Zbog daljih analiza je važno napomenuti i to da jedan ovakav - novi tramvaj po svom kapacitetima zamenjuje dva postojeća ČKD tramvaja.

Tabela 1: Usvojene cene remonta, modernizacije postojećih tramvaja, odnosno novih tramvaja

Redni broj	Tehničko-tehnološko rešenje	Cena u EUR
1	Novi tramvaj	2.200.000
2	Redovni remont novih i modernizovanih ČKD tramvaja	50.000
3	Remont ČKD tramvaja bez modernizacije	120.000
4	Osnovni nivo modernizacije ČKD tramvaja	250.000
5	Viši nivo modernizacije postojećih ČKD tramvaja	410.000

U GSP je u eksploataciji grupa ČKD tramvaja (KT-4 YUB) remontovanih, kod nas, od 1991. godine do danas. Prosečna cena ovih radova, koja je uključivala i nabavku nedostajućih delova, bila je oko 85.000 EUR. Za potrebe „Cost-benefit analize tramvajskog voznog parka“, a uzimajući u obzir i da su ovi remontu uglavnom rađeni 90. godina prošlog veka,

promenu cena materijala i nadnica kod nas i u Evropi, navedena cena za remont tramvaja je uvećana na 120.000 EUR.

U GSP je u eksploataciji i određen broj tramvaja kod kojih je uz redovan remont urađena i modernizacija. Ugovorena cena remonta i modernizacije iznosila je 181.000 EUR. Ovaj

nivo remonta, uz određene korekcije, označen je kao osnovni nivo modernizacije tramvaja. S obzirom na dopunu specifikacije, vreme ugovaranja i promene koje su se u međuvremenu desile, za potrebe „Cost-benefit analize tramvajskog voznog parka“ usvojena cena za osnovni nivo modernizacije je nešto uvećana i iznosila je 250.000 EUR.

U želji da se još podigne nivo tramvajskog prevoza, 2004. godine grad Beograd je objavio tender za modernizaciju 10 tramvaja KT-4 YUB koji nije realizovan. Sadržaj tenderom predviđene modernizacije predstavljao je, uz određene dopune, osnovu za definisanje tehničko-tehnološkog rešenja za viši nivo modernizacije postojećih tramvaja /1/. Cena za viši nivo modernizacije, koja iznosi 410.000 EUR, utvrđena je na osnovu uprosečenih cena sa navedenog tendera i cena iz dobijenih ponuda, koje su tražene za potrebe navedene studije u 2005. godini.

Troškovi održavanja

Troškovi održavanja i eksploatacije su u direktnoj vezi sa podizanjem i održavanjem tehničkog nivoa tramvajskog voznog parka. Oni zavise od konstrukcije tramvaja, tehničkog stanja, starosti, stanja tramvajске mreže, uslova eksploatacije i drugih faktora. Za nova i modernizovana vozila oni bi bili niži nego za starija vozila gde održavanje tehničke ispravnosti, pouzdanosti i raspoloživosti traži svake godine sve više rada i rezervnih delova bez garancije da će uloženo obezbediti pozitivan rezultat.

U tabeli 2 date su, za potrebe „Cost-benefit analize tramvajskog voznog parka“, usvojene vrednosti troškova održavanja za različita tehničko-tehnološka rešenja za 2005. godinu. Za postojeći vozni park cena je 0,33 EUR/km. Od toga se 46% sredstava troši za rezervne delove, alat, HTZ opremu,...., a ostatak čine troškovi radne snage, što približno odgovara sadašnjoj situaciji u segmentu održavanja u GSP-u.

Troškovi za druga tehničko-tehnološka rešenja usvojeni su na osnovu učestalosti otkaza za pojedina tehničko-tehnološka rešenja, uzimajući u obzir da se značajan deo sredstava i vremena troši na preventivno održavanje (kontrole, servise i preglede).

Pretpostavljeni troškovi održavanja novoremontovanih tramvaja bili bi u prvoj godini, samo za 20% niži od sadašnjih koji se odnose na kompletan vozni park. Činjenica je da se remontom tramvaja ČKD podiže njihovo

tehničko stanje, delimično i pouzdanost i raspoloživost, ali se ne otklanjaju osnovni konstrukcijski nedostaci kod ovih tramvaja.

Tabela 2: Očekivani jedinični troškovi održavanja u 2005. godini

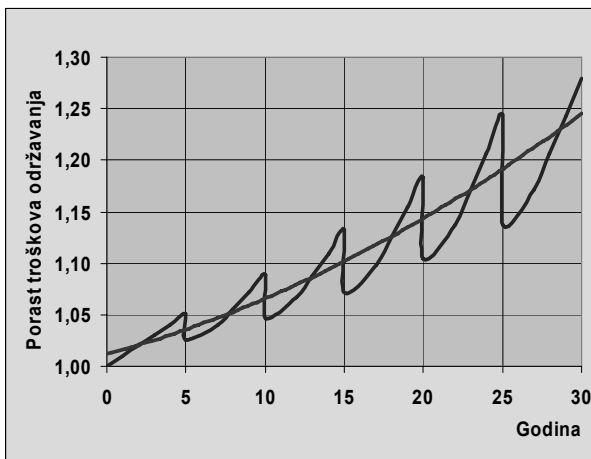
Redni broj	Tehničko-tehnološko rešenje	Cena EUR/km	Relativno u odnosu na sadašnji prosek
1	Postojeći vozni park	0,33	100%
2	Remontovani tramvaji	0,27	80%
3	Osnovni nivo modernizacije	0,18	54%
4	Viši nivo modernizacije postojećih tramvaja	0,15	45%
5	Novi tramvaji	0,15	45%

Troškovi održavanja novomodernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije) bili bi u prvoj godini eksploatacije, ako se isključe reklamacije u garantnom roku, za približno 45% niži od onih koji se odnose na ceo vozni park. Ugradnjom savremene regulacije glavnog pogona (vuče), statičkog pretvarača za pomoćne pogone i novog mehanizma za otvaranje vrata za putnike, koji su predviđeni za ovaj nivo modernizacije, dobila bi se značajno veća pouzdanost i niži troškovi održavanja tramvaja.

Pretpostavljeni troškovi održavanja novomodernizovanih (viši nivo modernizacije) tramvaja i novih tramvaj bili bi u prvoj godini, ako se isključe reklamacije, odnosno otkazi u garantnom roku, za 55% niži od sadašnjih koji se odnose na ceo vozni park.

Bez konkretnih istraživanja može se samo pretpostaviti koliko će navedeni troškovi rasti u narednim godinama. Svakih pet godina od početka korišćenja tramvaja predviđaju se obimnije opravke koje utiču na vraćanje pouzdanosti, raspoloživosti, komfora i troškova održavanja na nivo koji je samo nešto nepovoljniji nego početni (slika 2 - testerasta kriva linija). Iskustva govore da je porast troškova održavanja u početku sporiji, a kasnije sve brži i brži. To se može videti sa slike 2 (glatka kriva linija).

Nakon 30 godina porast ovih troškova bio bi, u skladu sa usvojenom pretpostavkom, oko 17%. Ovde nisu uključene opravke nakon eventualnih nezgoda, popravke i reklamacije u garantnom roku.



Slika 2: Uticaj starosti na troškove održavanja tramvaja

Potrošnja električne energije

Potrošnja električne energije tramvajskog voznog parka zavisi od karakteristika tramvaja i njihovog tehničkog stanja, starosti, stanja tramvajске mreže, obima i uslova eksploatacije i drugih faktora. Može se očekivati da će se trenutna prosečna potrošnja električne energije (3,1 kWh/km) smanjivati kako se bude podizao tehnički nivo tramvajskog voznog parka. Koliko i kojim tempom zavisice od izabrane alternative i brzine obnavljanja tramvajskog voznog parka. Za remontovane tramvaje je usvojeno da će ona biti za 20% manja od sadašnje, a za ostala tehničko-tehnološka rešenja još manja.

Tabela 3: Pretpostavljena specifična potrošnja električne energije za pojedina tehničko-tehnološka rešenja

Redni broj	Tehničko-tehnološko rešenje	Specifična potrošnja kWh/km	Napomena
1	Postojeći vozni park	3,1	Uprosečeni podaci iz GSP-a (2003. i 2004. godina)
2	Remontovani tramvaji	2,8	Redukovana sadašnja potrošnja za 20%
3	Osnovni nivo modernizacije	2,5	/4/
4	Viši nivo modernizacije postojećih tramvaja	1,5	/4/
5	Novi tramvaji*	2,5	/4, 5/

* Predloženi novi tramvaj po svom kapacitetima bi zamenio dva postojeća ČKD tramvaja.

U proračun je bilo potrebno uneti i odgovarajuću cenu električne energije. Za potrebe proračuna je usvojeno da prosečna cena iznosi 0,03 EUR/kWh – to je cena koju je GSP plaćao tokom 2004. i 2005. godine. Ova cena je dosta niža od onih koje važe u susjednim zemljama, a pogotovu u zemljama EU. Eventualno usklađivanje ovih cena sa evropskim dalo bi još veći značaj energetski efikasnijim tehničko-tehnološkim rešenjima.

Kašnjenje putnika

Pouzdanost tramvaja je u direktnoj korelaciji sa brojem otkaza u određenom vremenskom periodu ili za neku pređenu kilometražu. Za nas su bili interesantni samo otkazi koji su se desili na liniji. Razlozi za ove otkaze su različiti ali najčešće su to greške na električnim uređajima. U takvim situacijama troškove, osim GSP-a Beograd (zastoji, odvlačenje, opravke, itd) imaju i putnici, koji zbog otkaza tramvaja, odnosno značajnog produženja vremena putovanja, kasne na posao ili neku drugu obavezu ili zabavu. Troškovi opravki su već obuhvaćeni kroz troškove održavanja tako da će se ovde razmatrati samo troškovi putnika iz

pokvarenog tramvaja (eventualno i vozila koje ga je oteglilo do depoa), ali i onih koji su duže čekali na tramvaj, obzirom da svaki ovakav otkaz izaziva i određen poremećaj u redu vožnje na liniji. Takvih kvarova je 2004 bilo dosta (vidi tabelu 4). U najvećem broju slučajeva ovi tramvaji su svojim pogonom otišli u depo (70%). Drugu grupu čine tramvaji koji nakon kvara nisu mogli samostalno otići do depoa, a treću, koja je najmanja, tramvaji koji su popravljani na liniji (od strane terenskih ekipa) i ponovo vraćeni u saobraćaj.

Tabela 4: Prosečan dnevni broj isključenja tramvajskih vozila u periodu oktobar 2004. – mart 2005. godine

Prosečan broj isključenih tramvaja u toku dana	45	70%
Prosečan broj odvučenih tramvaja u toku dana	11	16%
Prosečan broj popravljenih tramvaja na liniji u toku dana	9	14%
Ukupno isključenih tramvaja u toku dana	65	100%

Izračunavanjem troškova kašnjenja putnika za pojedine varijante dobijeni su podaci koliko

štetu sada trpe putnici, odnosno građani Beograda, odnosno koliku bi korist imali u ukoliko bi se sadašnje stanje u tramvajskom prevozu poboljšalo.

U tabeli 5 dati su ulazni podaci za izračunavanje troškova i proračunska cena jednog događaja, odnosno jednog otkaza tramvaja na liniji.

Tabela 5: Ulazni podaci i cena kašnjenja putnika kod otkaza tramvaja na liniji

Ulazni podaci:	
Broj putnika koji trpe zbog otkaza tramvaja na liniji	200
Učešće putnika koji imaju poslovne obaveze	50%
Učešće putnika koji nemaju poslovne obaveze	50%
Prosečno izgubljeno vreme po događaju/putniku	20 min
Prosečni troškovi koje imaju putnici zbog otkaza tramvaja na liniji:	96 EUR

Zahvaljujući boljem održavanju i snabdevanju rezervnim delovima situacija je sada nešto bolja, ali pravi pomak se može očekivati tek nakon modernizacije tramvajskog voznog parka. Koliki će taj pomak biti zavisice od izbora tehničko-tehnoloških rešenja obnove. U tabeli 6 date su verovatnoće pojave otkaza na liniji za različite varijante obnove koje su bile korišćene u cost-benefit analizi. Ona je najveća za postojeći vozni park i odražava sadašnju situaciju kada 40% tramvaja ostane u kvaru tokom dana i mora da se vrati/odvuče u depo ili popravi na liniji. Za novoremontovane tramvaje pretpostavljena je nešto niža verovatnoća otkaza (30%).

Za određivanje verovatnoće otkaza za novomodernizovane tramvaje iskorišćeni su podaci iz 2004. koji se odnose na tramvaje koji su već modernizovani i koji su sada u eksploataciji. Kod tramvaja kod kojih bi, osim redovnog remonta, bio izvršen i viši stepen modernizacije usvojena je nešto niža vrednost za verovatnoću otkaza (7%) - obzirom da ovaj stepen modernizacije obuhvata veće zahvate, kao što je rekonstrukcija ulaznih vrata i drugo.

Tabela 6: Verovatnoća otkaza tramvaja na liniji u toku radnog dana

Tehničko-tehnološko rešenje	Verovatnoća otkaza tramvaja na liniji u toku radnog dana (%)
Prosek za postojeći vozni park	40
Remontovani tramvaj	30
Osnovni nivo modernizacija	12
Viši nivo modernizacije	7
Novi tramvaj	1

MOGUĆE KORISTI OD OBNOVE

Na listi koristi, koja bi mogla biti i znatno duža, našli su se prosečna brzina vožnje, poštovanje reda vožnje, komfor, bezbednost i pouzdanost usluge.

Prosečna brzina – prosečna dužina putovanja

Prosečna brzina tramvaja, odnosno dužina putovanja zavisi od samog tramvaja, odnosno od njegovih konstrukcionih karakteristika, tehničkog stanja, itd. Zavisi naravno i od uslova saobraćaja. U užem centru grada, gde su preko celoga dana saobraćajne gužve i gde tramvajske šine nisu odvojene od ostalog saobraćaja, karakteristike tramvaja nisu presudne za dužinu putovanja. Za sve tramvajske linije prosečna brzina radnim danom iznosi 13,55 km/h, subotom 14,1 km/h /1/. Na linijama koje vode do prigradskih naselja ili novobeogradskih blokova (linije 3, 11, 9, ...) ova brzina je nešto viša, a na linijama kroz gradsko jezgro (2, 6, 5,...) niža. Prosečne brzine tramvaja se ne razlikuju značajno radnim danom i vikendom. U tabeli 7 date su očekivane prosečne brzine tramvaja za svaku od izabranih varijanti. Najnižu pretpostavljenu prosečnu brzinu, u istim ili sličnim uslovima saobraćaja, imali bi remontovani tramvaji (I varijanta), a najvišu novi tramvaji (uključeni u IV i V varijantu), koji bi eventualno bili nabavljeni.

Razlike u pretpostavljenim brzinama nisu značajne osim kod novih tramvaja. Za nove tramvaje je pretpostavljeno da će biti korišćeni samo na rekonstruisanim i remontovanim delovima tramvajske mreže koja će biti odvojena od ostalih vidova saobraćaja.

Tabela 7: Očekivana prosečna brzina tramvaja - radnim danom

RB	Varijanta	Prosečna brzina (km/h)	Težinski faktor
1	I Varijanta – 120 remontovanih tramvaja	12	4,00
2	II Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije)	15	5,00
3	III Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije)	17	5,67
4	IV Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije) i 10* novih tramvaja	18	5,33
5	V Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije) i 10* novih tramvaja	19	6,00
6	Novi tramvaji	30	10,00

* Predloženi novi tramvaj po svojim kapacitetima bi zamenio dva tramvaja KT-4 YUB.

Frekvencija polazaka – poštovanje reda vožnje

Obnova tramvajskog voznog parka ne može sama po sebi da utiče na formiranje reda vožnje. Ona može imati samo posrednog uticaja jer novi, modernizovani i bolje održavani tramvaji, zahvaljujući višoj pouzdanosti i većoj raspoloživosti, mogu u toku svog radnog dana

obaviti veći transportni rad, odnosno napraviti veći broj obrta. Modernizacija može imati direktnog uticaja na poštovanje reda vožnje. Korišćenjem tramvaja koji se manje kvare i mogu ostvariti više prosečne brzine lakše je održavati red vožnje i nadoknaditi moguća kašnjenja zbog dužeg zadržavanja na stanicama ili gužve u saobraćaju.

Tabela 8: Ocena poštovanja reda vožnje tramvaja za različite varijante

Varijanta	Težinski faktori
I Varijanta – 120 remontovanih tramvaja	5,0
II Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije)	6,0
III Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije)	7,5
IV Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja (umesto 20 postojećih)	6,5
V Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja (umesto 20 postojećih)	8,0
Novi tramvaji	10,0

Razlike u ocenama nisu velike. Njihov raspon se kreće od 5 do 10. Najnižu ocenu je dobila I varijanta obzirom da su joj pouzdanost i performanse najlošije. Najvišu ocenu 10 ima novi tramvaj.

Pouzdanost usluge

Mera pouzdanosti usluge je, kako je već ranije rečeno, odstupanje od očekivanog vremena putovanja. Razlozi za ova odstupanja mogu biti posledica organizacionih propusta prevoznika, kvarovi na mreži, tramvajima ili pruži.

Pouzdanijim se smatraju oni tramvaji koji se ređe kvare (na liniji) i imaju takve tehničke karakteristike, odnosno sposobnosti, da nadoknade eventualna kašnjenja. U tabeli 9 su data vrednovanja odstupanja od reda vožnje. Usvojeno je da bi obnovljeni, modernizovani i/ili novi tramvaji imali značajno manje otkaza na liniji što bi uticalo i na veću pouzdanost usluge.

Tabela 9: Ocene pouzdanosti usluga tramvaja za različite varijante

Varijanta	Težinski faktori
I Varijanta – 120 remontovanih tramvaja	1,00
II Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije)	6,21
III Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije)	7,93
IV Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja	7,24
V Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja	8,28
Novi tramvaji	10,00

Neremontovani tramvaji su dobili najnižu ocenu (0), remontovani tramvaji nešto višu (1), a novi tramvaji najvišu (10).

Komfor

Razmatramo četiri tehničko-tehnološka rešenja (remont, osnovni nivo modernizacije, viši nivo modernizacije i nove tramvaje) koji putnicima pružaju različite nivoe komfora.

Tabela 10: Ocene komfora tramvaja za različite varijante

Varijanta	Težinski faktori
I Varijanta – 120 remontovanih tramvaja	1
II Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije)	4
III Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije)	7
IV Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja (umesto 20 postojećih)	5
V Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja (umesto 20 postojećih)	8
Novi tramvaji	10

Raspon ocena je od 0 do 10. Sa 0 je ocenjen komfor postojećih neremontovanih tramvaja. Ocenu 1 dobio je tramvaj sa najnižim komforom (remontovani tramvaj), a ocenu 10 zaslužuju novi tramvaji, koji su i najkomfortniji. Ocene za modernizovane tramvaje su negde između (tabela 10).

Tehničko-tehnološka rešenja obuhvaćena ovom analizom imaju različite karakteristike sa gledišta bezbednosti. Ocene bezbednosti za konkretne varijante kreću se između 5 i 10. Najnižu ocenu (5) dobija remonovani tramvaj, a ocenu 10 novi tramvaj (tabela 11).

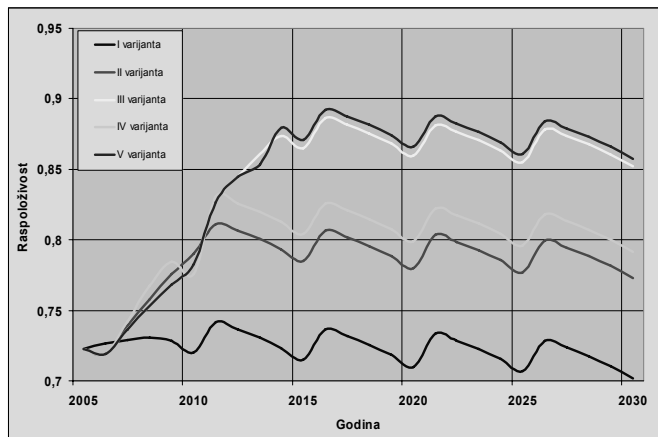
Tabela 11: Ocene bezbednosti za različite varijante

Varijanta	Težinski faktori
I Varijanta – 120 remontovanih tramvaja	5,00
II Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije)	6,00
III Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije)	8,00
IV Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja	6,20
V Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja	8,20
Novi tramvaji	10,00

Raspoloživost - pouzdanost

Podaci o raspoloživosti postojećeg voznog parka postoje i već su prikazani u okviru ove Studije. Oni se razlikuju za stare tramvaje, remontovane, modernizovane i novonabavljene tramvaje. Za očekivati je da će nakon modernizacije raspoloživost tramvajskog voznog parka porasti. Koliko, zavisice od izabrane varijante ali i nivoa i kvaliteta održavanja u eksploataciji (videti sliku 3).

Bezbednost



Slika 3: Uticaj starosti na raspoloživost tramvaja

Na nivo raspoloživosti voznog parka najviše utiču pouzdanost tehničkog sistema (u našem slučaju tramvaja), njihove pogodnost za opravku i nivo i kvalitet logističke podrške. Prosečni podaci za 2004. godinu su dati u tabeli 12.

Tabela 12: Pouzdanost tramvajskog voznog parka GSP-a u 2004. godini/2/

RB	Tehničko-tehnološko rešenje	Broj otkaza na 100.000 km	Relativno u odnosu na prosek
1	Vozni park GSP-a (KT tramvaji)	202	100 %
2	KT-4M YUB - novi	54	26%
3	KT-4 YUBM - modernizovan	71	35%
4	KT-4 –YUB - remontovan	245	120%
5	KT-4 –YUB - neremontovani	243	120%

Ocene za pouzdanost-raspoloživost imaju raspon između 0 i 10. Najniža ocena (0) odgovara sadašnjem stanju voznog parka (tabela 14). Najvišu ocenu (10) ima novi tramvaj. Ostala tehničko tehnološka rešenja imaju ocene u skladu sa očekivanim brojem kvarova na 100.000 kilometara.

Tabela 13: Ocene pouzdanosti - raspoloživosti za pojedine varijante

Varijanta	Ocena pouzdanosti broj otkaza na 100.000 km	Težinski faktor
I Varijanta – 120 remontovanih tramvaja	150	2,53
II Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije)	50	7,07
III Varijanta – 120 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije)	35	8,33
IV Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (osnovni nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja	52	7,47
V Varijanta – 100 modernizovanih tramvaja (viši nivo modernizacije) i 10 novih tramvaja	30	8,59
Novi tramvaji	2	10,00

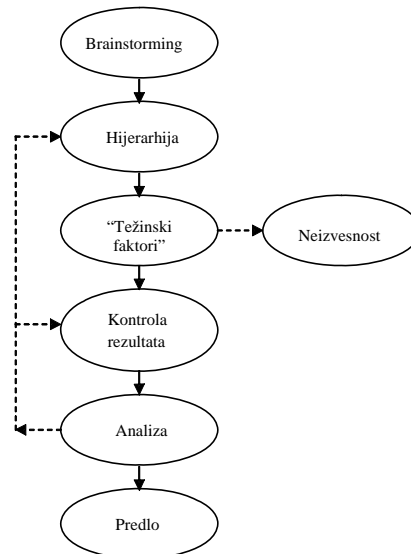
Buduća pouzdanost, odnosno raspoloživost tramvajskog voznog parka u značajnoj meri zavisice od sistema održavanja. Nabavka novih i/ili remont i modernizacija postojećih tramvaja neće dati odgovarajuće rezultate ukoliko se ne poboljšaju i uslovi njihovog održavanja, ali i održavanja električne mreže, pruga, skretnica,...

HIJERARHIJSKI DIJAGRAM

Za multikriterijumsku analizu i vrednovanje varijanti korišćen je računarski program Criterium DecisionPlus Version 3.0.4./S – 2001. godine. Program nudi dve metode za odlučivanje. Prva je SMART (Simple Multiattribute Utility Technique) metoda, a druga je AHP (Analytical Hierarchy Process) metoda. Program daje mogućnost analize uz pomoć obe navedene metode.

Proces odlučivanja počinje generisanjem ideja (brainstorming) što podrazumeva slobodno iznošenje svih mogućih ideja. Koristi se individualno ili u grupi. U radu u grupi učesnici se hrabre da iskažu ideje odmah čim im se pojave. Osnovno pravilo je da se proces ne prekida, da se ideje zapisuju i budu osnova za nove. Program omogućuje da se ovaj proces obavi i bez korišćenja olovke i papira i da kada budemo zadovoljni dobijenim rešenjem to jednostavno pretvorimo u hijerarhiski dijagram.

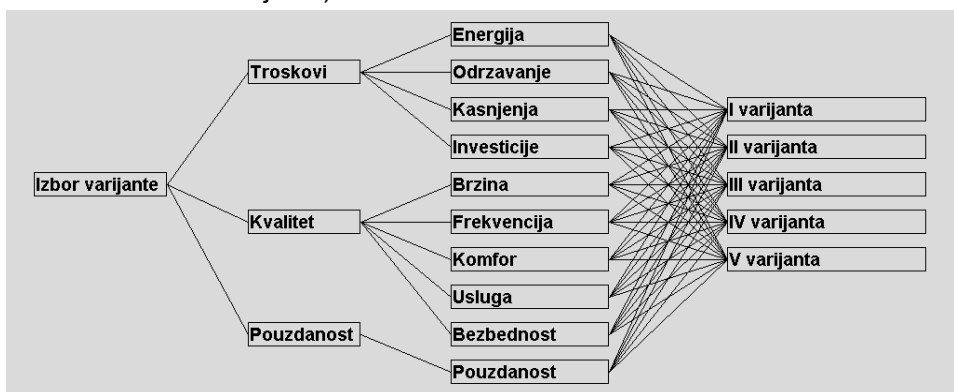
Sledeći korak je davanje značajnosti (težine) svakom od kriterijuma i potkriterijuma. Pri tome se mogu koristiti brojne vrednosti (u rasponu od 0 do 100) ili verbalni iskazi (pet nivoa važnosti kriterijuma od nevažan do krucijalan).



Slika 4: Dijagram procesa odlučivanja /9/

Kada je model formiran unose se odgovarajuće konkretne vrednosti za definisane varijante – alternative. Ove vrednosti se mogu uneti u vidu konkretnih brojeva ili verbalnih iskaza. Moguće je da se, kao ulazni podaci, umesto konkretnih brojeva unose odgovarajuće raspodele. Program, na osnovu unesenih podataka, izračunava ocene za svaku od postavljenih alternativa. Dobijeni rezultati se kontrolišu i analiziraju sve dok ne zadovolje postavljene zahteve.

Na slici 5 prikazan je hijerarhiski dijagram koji sadrži sve predložene varijante, subkriterijume i kriterijume. Broj nivoa korišćen za formiranje našeg modela bio je četiri, a krajnja mogućnost ovog programa je osam nivoa.



Slika 5: Hijerarhiski dijagram

Prvi, najniži, nivo su alternative odnosno varijante kojih u našem modelu ima pet. Drugi nivo su subkriterijumi kojih u našem modelu ima deset (investicije, potrošnja energije, održavanje, kašnjenje putnika, prosečna brzina, frekvencija, komfor, usluga i bezbednost). Treći nivo su kriterijumi, kojih u našem modelu ima tri (troškovi eksploatacije tramvajskog voznog parka, kvalitet vožnje i pouzdanost tramvajskog voznog parka). Četvrti nivo je sam izbor alternative. Druga karakteristika hijerarhiskog modela jeste veza postavljenih alternativa i subkriterijuma.

Sve varijante su vezane za sve subkriterijume. Subkriterijumi su grupisani u tri kriterijuma (troškovi, kvalitet i pouzdanost). Za analizu je korišćen AHP postupak. Rezultati, tj. ocene varijanti su uvek između 0 i 1, bez obzira na vrstu ulaznih podataka.

Usvojeni težinski faktori za kriterijume i subkriterijume

U tabelama 14 i 15 date su usvojene težine za pojedine kriterijume i subkriterijume. Kod troškova najveća važnost - težina je data subkriterijumu investicije (100), a ostala tri imaju težinu (50). Pri izboru varijante model obuhvata tri kriterijuma i to troškove, kvalitet i pouzdanost. Najveća važnost, kao i kod subkriterijuma, je data troškovima (100), a važnost kvaliteta prevoza i pouzdanosti obnovljenog tramvajskog voznog parka ocenjene su sa (50).

Tabela 14: Usvojene težine za kriterijume

Izbor	Kriterijumi	Težinski faktor
Izbor varijante	Troškovi	100,00
	Kvalitet	50,00
	Pouzdanost	50,00

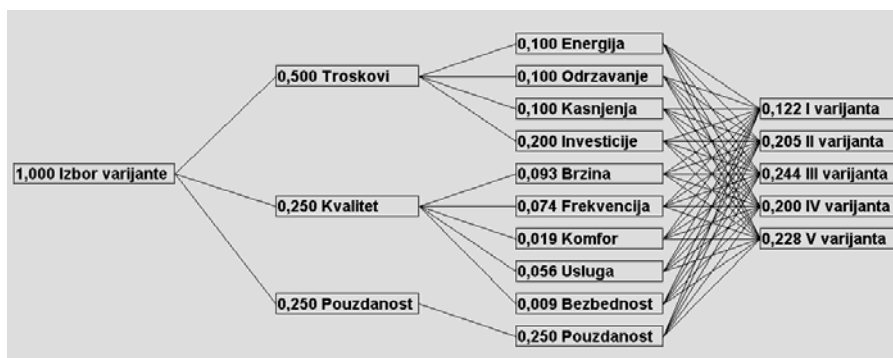
Tabela 15: Usvojene težine za subkriterijume

Kriterijumi	Subkriterijumi	Težinski faktor
Troškovi	Energija	50,00
	Održavanje	50,00
	Kašnjenja	50,00
	Investicije	100,00
Kvalitet prevoza	Brzina	100,00
	Frekvencija	80,00
	Komfor	20,00
	Usluga	60,00
	Bezbednost	10,00
Pouzdanost /raspoloživost	Pouzdanost/ raspoloživost	100,00

Vreme posmatranja je trideset godina uključujući i četvorogodišnji period predviđen za obnovu tramvajskog voznog parka.

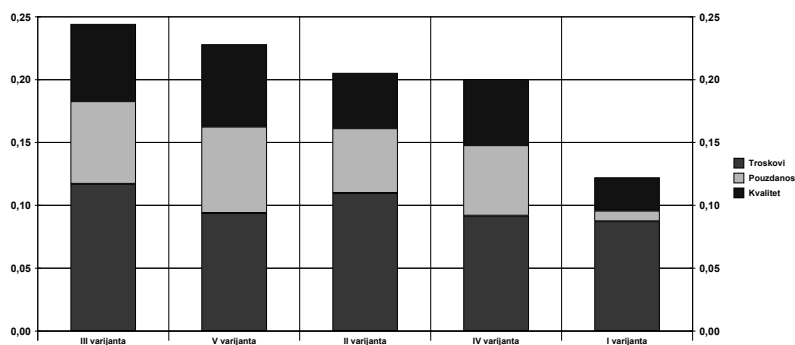
Rezultati vrednovanja

Na slici 6 dat je hijerarhiski dijagram sa prikazom rezultata višekriterijumske analize za period eksploatacije od 30 godina i kumulativne težine za sve subkriterijume i kriterijume.



Slika 6: Rezultati vrednovanja varijanti obnove tramvajskog voznog parka (30 godina eksploatacije)

Na slici 7 prikazana je rang lista varijanti i učešće pojedinih kriterijuma u ukupnoj oceni.



Slika 7: Rang lista varijanti (30 godina eksploatacije)

ANALIZA VREDNOVANJA

Analiza je u izvornoj studiji sprovedena za tri vremenska perioda (11 godina, 20 godina i 30 godina). Ukupne ocene varijanti su date u tabeli 16.

Tabela 16: Zbirni rezultati vrednovanja

Vremenski period	I Varijanta	II Varijanta	III Varijanta	IV Varijanta	V Varijanta
11 godina	0,122	0,211	0,238	0,210	0,220
20 godina	0,122	0,207	0,242	0,204	0,225
30 godina	0,122	0,205	0,244	0,200	0,228

Iz tabele 16, se vidi da je u svim slučajevima najbolja III varijanta (120 modernizovanih tramvaja - viši nivo modernizacije). Sledeća je V varijanta (100 modernizovanih tramvaja - viši nivo modernizacije i 10 novih tramvaja umesto 20 postojećih).

ZAKLJUČAK

Loše stanje u kome se nalaze tramvaji otežava ostvarenje prevoznih zahteva. Niske vrednosti pouzdanosti i raspoloživosti tramvajskog voznog parka ne ostavljaju mesta pretpostavci da se ovo stanje, bez radikalnih promena, može popopraviti. Grad Beograd planira revitalizaciju, rehabilitaciju i osavremenjavanje ovog vida prevoza. Za obnovu i unapređenje tramvajskog voznog parka u GSP-u imaju sledeća polazna opredeljenja:

Obnova tramvajskog voznog parka u periodu od četiri godine, odnosno modernizacija ukupno 120 postojećih i/ili nabavka novih vozila.

Osnovno strateško opredeljenje je povećanje pouzdanosti i raspoloživosti tramvajskog voznog parka i na tome treba insistirati sve do postizanja zadovoljavajućih karakteristika pouzdanosti i raspoloživosti i formiranja sistema održavanja koji te karakteristike treba da drži konstantnim.

Polazeći od toga da se obnova i modernizacija tramvajskog voznog parka može ostvariti na različite načine, „Cost-benefit analiza tramvajskog voznog parka“ je realizovana za pet varijantnih rešenja. Prva varijanta usvojena je samo kao referentna, radi poređenja sa ostalim. Vidi se da izabrana varijantna rešenja obnove tramvajskog voznog parka GSP-a podrazumevaju samo modernizaciju postojećih tramvaja KT-4 YUB u dva nivoa i nabavku određenog broja novih novih tramvaja. Rezultati cost-benefit analize i sprovedenog postupka višekriterijumskog vrednovanja pokazuju da je u obnovi tramvajskog voznog parka GSP-a najpovoljnija III varijanta, odnosno da je najracionalnije da se izvrši viši nivo modernizacije 120 ČKD tramvaja.

LITERATURA

/1/ Vasić i drugi: Cost-benefit analiza tramvajskog voznog parka, Institut za istraživanja i projektovanja u privredi i Mašinski fakultet beograd, 2005. godina

/2/ D.Milutinović, N. Stanojević: Pouzdanost i raspoloživost tramvajskog voznog parka GSP Beograd, Istraživanja i projektovanja za privredu, Beograd, pp 43-54.

/3/ Vučić, V., Javni gradski prevoz, Naučna knjiga, Beograd, 1987.

/4/ www.tbus.org.uk/trolleycoach_economics.xls.

/5/ Booz, Allen and Hamilton, Electric Trolleybus Study for the RTD and LACTC, 1991.

/6/ Qualitative Analysis of the Demand for Public -Transit in Greater Miami.

/7/ Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, drugo dopunjeno izdanje, 1990.

/8/ Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, JUMV, Beograd, 1993.

/9/ Criterium Decision Plus – Complete Decision Formulation, Analysis, and Presentation for Windows, Info Harvest Inc, 2001

COST BENEFIT ANALYSIS OF BELGRADE TRAM ROLLING STOCK

The tram traffic has important place and good perspective in Belgrade public transportation system. According to the current state and to the future needs, city of Belgrade plans revitalization, rehabilitation and modernisation of this form of transportation. The mission of "Cost-benefit analysis of Belgrade tram rolling stock" was to recommend renewal of tram rolling stock in a manner that would, seeing the all technical, finance and time limits, provide safe, cosy and economical transport to the citizens of Belgrade in the next 20-30 years. For analysis was used special computer program for multimeasure analysis Criterium DecisionPlus.

Key words: tram, cost, benefit, choice