

Znanstveni skup "Prometna problematika grada Zagreba"
HAZU, Zagreb, ožujak 2006

Davorin Kolić, Laslo Gulyas, Mohammad Irshad

GRAĐEVINSKI i EKONOMSKI ČIMBENICI PROCJENE OPRAVDANOSTI PODZEMNO-NADZEMNOG TRAČNIČKOG SUSTAVA GRADA ZAGREBA

SAŽETAK

Razvoj individualnog prometa u gradu Zagrebu dosegao je razinu na kojoj je razvoj sustava lake gradske željeznice nužan za unapređenje javnog gradskog prijevoza. Razrađena su varijantna rješenja koja upućuju na izgradnju osnovnog sustava LGŽ koji se bazira na dvije linije postavljene u smjerovima križa : istok-zapad i sjever jug. Razrada ukazuje na povoljnost uskog tračničkog sustava koji se veže na postojeću mrežu ZETA. Linije se sastoje od dionica koje se vode podzemno, u razini i nad zemljom uz više kapitalnih objekata kao što su tuneli, stanice , most preko Save , vijadukti i rampe. Financiranje i izgradnja bi se trebali razvijati u kontinuiranim koracima tokom vremena.

STRUCTURAL AND ECONOMICAL PARAMETERS OF FEASIBILITY OF LIGHT RAIL SYSTEM IN ZAGREB

SUMMARY

The development of individual traffic in the city of Zagreb has reached the level when it requires fast development of a light rail system as a mayor part of public transportation. Different variantes have been analysed leading to a solution of light rail system consisting of two lines in directions north-south and east-west. The analysis shows advantages of development of a narrow gauge track of 1000 mm width and a connection to an existing tramway network. The lines consist of sections located underground, on the surface and elevated with more mayor structures as tunnels, stations, bridge crossing Save river, viaducts and ramps. The financing and construction of the system should be developed continuously in steps during the time.

Davorin Kolić, M.Sc., Neuron Zagreb doo, Zagreb, Trnjanska 140, Hrvatska
Laslo Gulyas, M.Sc., DBR Metro Ltd., Budapest, Curia utca 3, Hungary
Mohammad Irshad, M.Sc., Infrastructure Development Corporation, Washington DC, USA

1. UVOD : ZAHTJEVI SREDINE

Grad Zagreb je na prijelazu u XXI stoljeće dosegao veličinu na čijem području živi oko 800 000 stanovnika. Urbanistički razvoj grada pratio je projektne standarde koji su definirali veličine protoka prometa kroz grad u većoj mjeri u tri faze : krajem XIX stoljeća pri razvoju Donjeg Grada, između dva rata prema Savi, a nakon 1950. i preko Save. Tadašnji standardi u većoj mjeri odredili su i prometne gabarite i kapacitete, pa je tako intenzivan razvoj individualnog prijevoza u posljednjih 20 godina premašio sva očekivanja i planiranja. Gradu Zagrebu nedostaje širina ulica, parkirališna mjesta i garaže, a uz to se javni prijevoz nije razvijao i pratio potrebe razvoja grada. Stoga je prometna prosječna dnevna brzina kroz grad niska, uz stalne čepove i zastoje. U skladu s razvojem prometnih potreba došlo je do razrade različitih preddokumenata koji su u proteklom desetljeću pokušali pokrenuti rješenje prometne problematike u gradu : razrada “Prometne studije” 1999 i novi GUP 2003 predočili su nova rješenja za probleme prometa u samome gradu i predložili razvoj sustava lake gradske željeznice (LGŽ) kao jednog od prometnih rješenja na razini unapređivanja javnog prijevoza.

2. KORIDORI I OSOBITOSTI VOĐENJA LINIJA LGŽ

Na temeljima GUPa 2003 razvila se potreba razrade sustava LGŽ kao jednog od sustava javnog prijevoza koji bi mogao poboljšati promet gradom i značajnije podignuti količinu dnevnih putovanja javnim prijevozom.



Slika 1 : Jedna od varijanti vođenja linija lake gradske željeznice (LGŽ) grada Zagreba.

U tome smislu osim osnovne sheme LGŽa, koja je prikazana u GUP2003, razvijene su i analizirane usporedno i druge varijante linija. Mreže linija koje su razmatrane načelno su se složile oko dva osnovna smjera pružanja koji prate koncept razvoja grada i glavne pravce odvijanja dnevnog gradskog prometa : one se pružaju u pravcima istok-zapad i sjever – jug (vidi sl.1). Ukupno 4 varijante linija su razmatrane i one su pokrivale :

Var. 0) smjerove koridora predstavljene u GUPu 2003 , a vezane na ZET mrežu

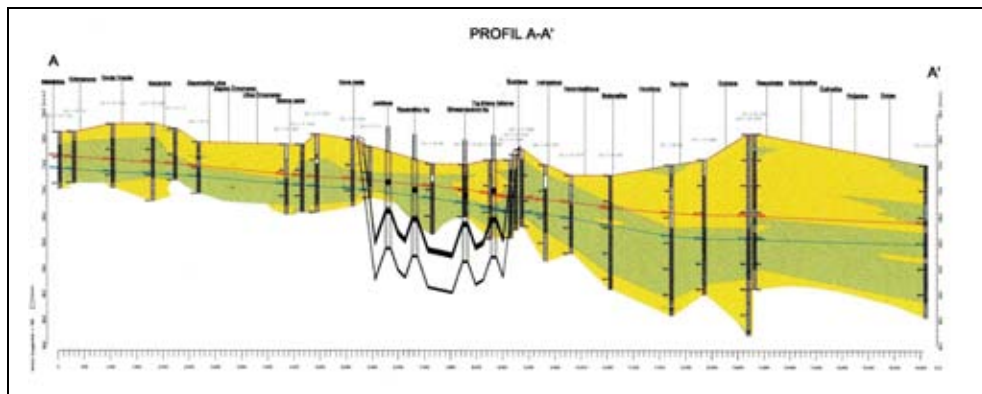
Var. 1) pojednostavljeni LGŽ po principima vođenja light-raila i vezom na ZET mrežu

Var. 2) istovrsne LGŽ linije kao u Var.1 i s vezom na HŽ mrežu

Var.3) razvoj LGŽ linija na identičnim pravcima s ZET linijama i vezom na ZET mrežu

U tlocrtnom smislu nastojalo se elemente linija LGŽ razviti u granicama predviđenih koridora. Oni su prethodno određeni : stvarnim prostornim mogućnostima vođenja linija, na osnovu mjerenja tokova prometa i predviđanjima razvoja za naredni period i razvoj mreže, te prema trenutnim tokovima i navikama putnika uz poštovanje prinudnih prometnih točaka u gradu koje svakako moraju biti uključene.

Pri tome su linije u većem dijelu pratile princip postavljanja u “težišnicu prometnog toka” koja također pogoduje tlocrtnom vođenju linije blagim horizontalnim krivinama i time omogućuje razvoj većih prosječnih dnevnih brzina prometa.



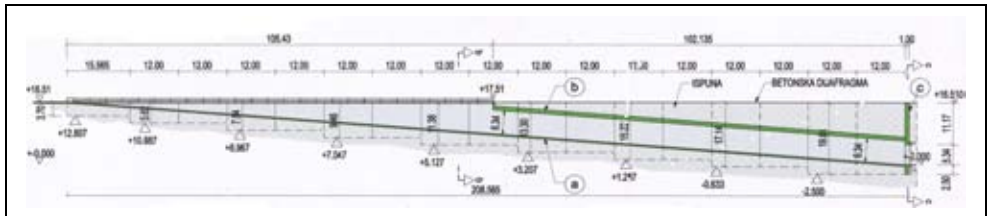
Slika 2 : Uzdužni hidro-geološki presjek na pravcu LGŽ linije zapad – istok u varijanti 1.

U vertikalnom smislu linije su u svim varijantama vođene podzemno, u razini i nad razinom zemlje (sl.2). Podzemni dijelovi su prvenstveno ograničeni na središnje dijelove gradske jezgre gdje nedostaje prostora za nadzemno vođenje. Dijelovi linija u razini zemlje pružaju se tamo gdje se zbog urbaniziranosti i manjka prostora nije moralo ići podzemno, a prostor u razini površine daje minimum mogućnosti za odvijanje tražene prosječne dnevne brzine prometa (pretpostavljena prosječna dnevna brzina od 25 km/h). Također zahtijevano je vezanje linije na neki postojeći sustav javnog prometa (ZET ili HŽ). Dijelovi linija nad razinom zemlje vođeni su na vijaduktima i to na mjestima gdje je bilo dovoljno prostora za takve objekte i gdje postoji potencijal da se dizanjem linije ubrza promet LGŽa koji je, kao i na podzemnim dionicama, odvojen od svih ostalih oblika prometa i time ne gubi na brzini.

Hidro-geološki profili koji su razvijeni za pretpostavljene linije na osnovnim pravcima istok-zapad i sjever –jug koristili su bazu podataka iz GIS sustava koji je u izradi za područje grada Zagreba. Postavljanje linija u tlocrtnom i vertikalnom smislu pokazalo je da upravo na podzemnim dionicama nedostaju detaljniji podaci o hidro-geologiji iako se i ovdje može otprilike pretpostaviti pružanje podzemnih slojeva prema iskustvu i prema par susjednih bušotina.

3. GRAĐEVINE NA PRAVCIMA LINIJA LGŽ

Duž linija LGŽa postavljene su stanice prema par kriterija : prema gravitacijskim zonama sakupljanja putnika, prema uobičajenim udaljenostima stanica kod sustava light-rail, te prema navikama putnika koji godinama koriste neke lokacije kao stanice. Gravitacijske zone su određene prema području koje jedna stanica privlači i one su užeg (400 m = 5 minuta hoda) ili šireg tipa (600 m = 7.5 minuta hoda). Uobičajeni razmak stanica kod sustava light-rail je 500-800 m pa se toga pridržavala i u ovoj razradi : udaljenosti koje su korištene su u rasponu 350-800 m, uz iznimke kada linija prolazi kroz manje naseljeno područje (prijelaz Save npr.). Uobičajenost nekih lokacija kao stanica je naizgled netehnički iracionalni momenat, ali vrlo važan u smislu prihvaćanja sustava javnog prijevoza od strane putnika, pa je izbor stanica nastojao zadržati kao stanična mjesta neke prinudne točke ili već uobičajena mjesta stanica pogotovo u centru grada.

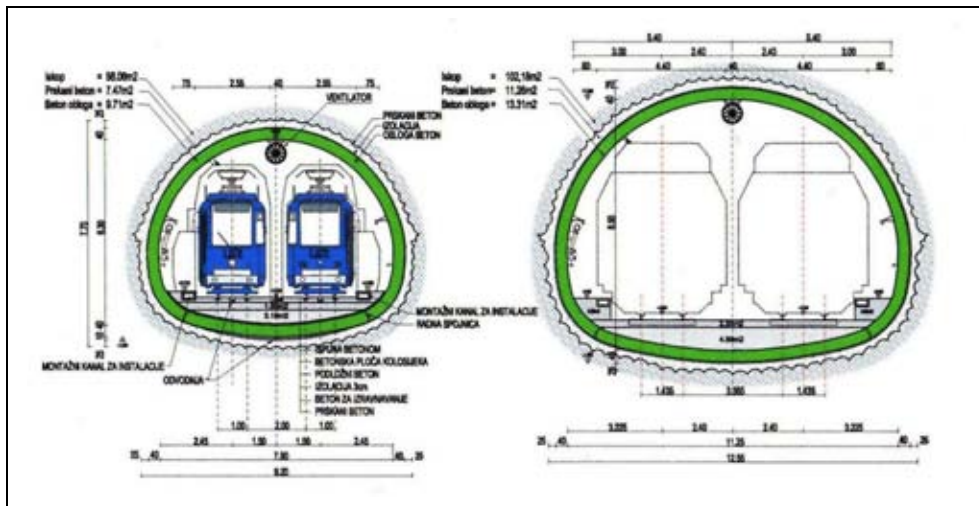


Slika 3 : Tipična rampa na prijelazu : dionica u razini – podzemna dionica.

Stanice koje su predviđene na linijama LGŽ su ili nadzemne ili podzemne. Da bi se stiglo do podzemnih potrebno se spustiti na dubinu na kojoj je moguće daljnje vođenje trase podzemno, a to bi u gradu Zagrebu bila za postojeću hidro-geološku situaciju dubina od oko 15-20 m. Rampa koja bi se uz maksimalni nagib light-raila od 8% koristila za silazak u podzemlje bila bi dugačka barem 250 m (sl.3) i bila bi izvedena najvjerojatnije putem betonskih dijafragma, iskopana, izgrađena s površine i zatim zatrpana.

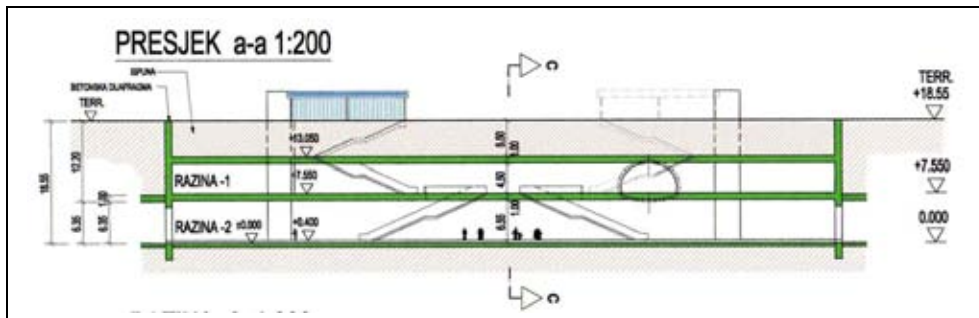
Podzemne dionice od rampi do stanica i među stanicama izvodile bi se tunelima koji se mogu izvesti u raznim profilima kao jednostruki ili dvostruki (sl. 4) i to za šinski razmak 1000 mm (lijevo na slici 4) ili za puni željeznički poprečni presjek (desno na slici 4). Usporedba varijanti 1 i 2 upravo se bavila razlikama i izvodljivostima primjena ova dva kolosijeka. Pokazatelji analize su išli u prilog varijante s užim kolosijekom i zbog količina i ukupne cijene radova kao i radi ukupne izvodljivosti jer za sustav javnog prijevoza koja bi trebao ići kroz centra grada na nekim mjestima bi slobodni gabariti u slučaju punog željezničkog profila bili mogući samo u podzemlju što bi dalje poskupilo izvedbu. Prema

slici 4 vidi se da već sama izvedba tunelskog profila za dupli tunel LGŽa s uskim kolosijekom ima 58 m², dok je u slučaju punog željezničkog presjeka skoro duplo veća i iznosi 102 m². Izgradnja tunelskih dionica nije upitna i ona bi bila izvodljiva primjenom uobičajenih tunelskih metoda za urbane sredine baziranih na NATM ili TBM metodi [5].



Slika 4 : Tipični poprečni presjeci tunela za uski (1.0m) i široki kolosijek(1.435m).

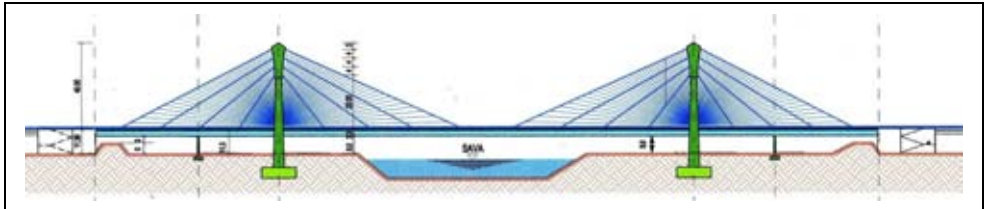
Tunelske dionice bi vodile do podzemnih stanica koje mogu biti izvedene nekom od rudarskih metoda [1,5]. ili otkopom s površine. Težnja za smanjenjem troškova izvedbe usmjerava prema stanicama izvedenim tzv. “top-down” metodom (sl.5.) kod koje se radovi izvode s površine i vrlo kratko narušava normalni život i promet u okolici gradnje [2], a i gospodarstveno su najprihvatljivije. Minimum u prometnom smislu koja ovaj tip konstrukcije mora osigurati je duljina perona 80 m i širina perona određena za navalu putnika iz i u kompoziciju vlaka LGŽ.



Slika 5 : Tipična podzemna stanica izvedena “top-down” metodom : Trg Bana Jelačića.

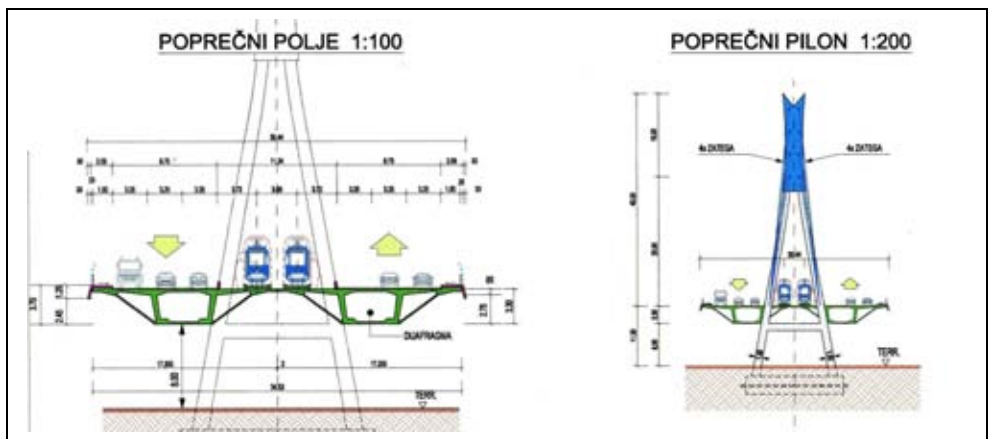
Daljnji dominantniji objekti koje su dijelovi linija su mostovi za prijelaz Save i vijadukti za nadzemno vođenje trase. Most preko Save biti će koncipiran ne samo kao nužni prijelaz

LGŽa linije nego i kao jedan od glavnih gradskih mostova koji će biti u funkciji prenošenja prometa motornih vozila preko rijeke. Uz već postojeće mostove na Savi ovaj prijelaz je u obliku mosta sasvim sigurno očekivan oblik prijelaza, a i par puta prihvatljiviji u gospodarstvenom smislu od tunelskih prijelaza [2,3]. Most na ovoj lokaciji će imati dominantnu ulogu u prostoru, a biti će i jedan od glavnih budućih ulaza u Zagreb s juga pa će zahtijevati i značajan trud pri projektiranju u estetskom pogledu.



Slika 6 : Pogled na most preko Save na pravcu Draškovićeve-Avenija SR Njemačke.

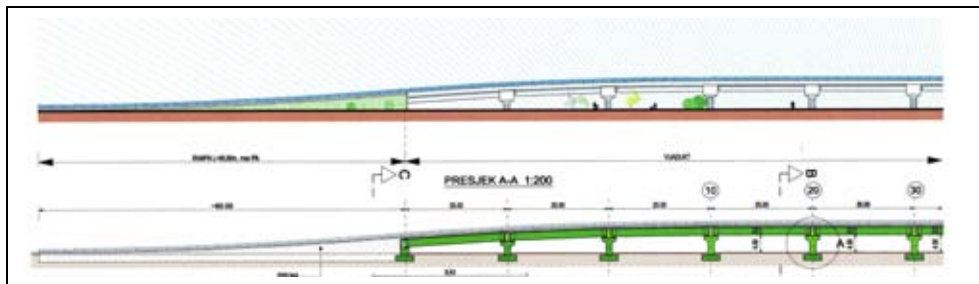
U prometnom smislu niveleta će biti nisko vođena što će olakšati prilaz mostu cestovnim rampama kao i rampi LGŽa koja na prilazu mostu iz prava sjevera izlazi iz podzemlja i prebacuje liniju LGŽa u Novi Zagreb. Stoga su u konceptualnom smislu prihvatljiva rješenja gdje se kolovozni nosač vodi u cijeloj širini nisko preko nasipa dok je nosiva konstrukcija ili ispod kolovoznog nosača, u obliku stupova ili luka, ili iznad u obliku ovjesa kao kod raznih tipova ovješanih mostova. Temeljenje u koritu Save nije problem, ali nije niti nužno jer se danas bez većih problema postižu rasponi za premoštavanja od preko 100 m koliko je prosječna širina korita. U poprečnom smislu očekuje se širina poprečnog presjeka kolovoznog nosača koja nosi barem 2 linije LGŽ i 6 traka za motorna vozila, uz obavezni prostor pješačkih staza.



Slika 7 : Poprečni presezi mosta preko Save s pogledom na pilon ovješeno mosta.

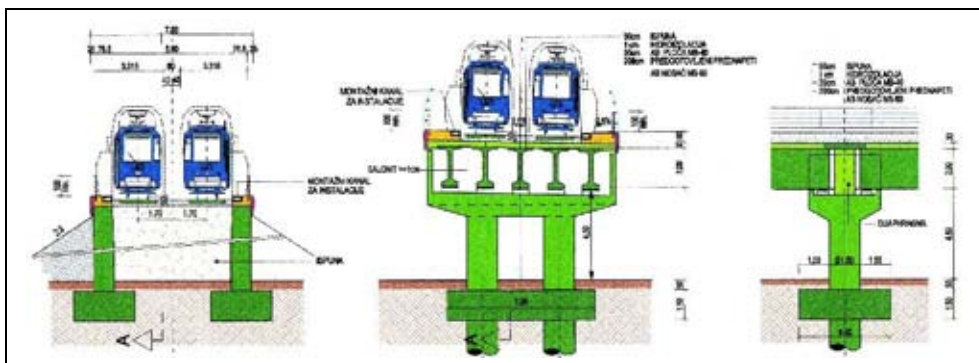
Vijadukti za nadzemno vođenje trase su jednostavne konstrukcije koje su izvedene od predgotovljenih prednapregnutih elemenata i mogu se vrlo efektivno, brzo i gospodarstveno prihvatljivo izvoditi na prostorima gdje za njih ima mjesta, te gdje njihov utjecaj na okoliš

nije prevelik. Niveleta je kod vijadukata nisko vođena što je povoljno zbog smanjenja duljine rampi, a i radi utjecaja na okoliš, narušavanje prostora i potresa.



Slika 8 : Karakteristični poprečni presjeci vijadukata za nadzemno vođenje trase.

U poprečnom presjeku su stupišta nešto masivnije izvedbe prije svega zbog potresa i održavanja, a ovi objekti kao stvaraoci i prenositelji buke su opremljeni i zaštitom od buke na rubovima poprečnog presjeka.



Slika 9 : Poprečni presjeci rampi i vijadukta, te presjek kroz stupište.

4. GOSPODARSTVENI ČIMBENICI PRIHVATLJIVOSTI

Izgradnja sustava LGŽ je jedan od kapitalnih projekata za urbanu sredinu veličine grada Zagreba, ali i za regiju i Republiku. Sredstva koja su potrebna za ostvarenje ovog sustava nisu jednoznačno predočiva jer se radi o projektu koji se treba izvoditi u fazama i tokom dužeg vremenskog razdoblja. Procjena prema današnjoj razini cijena je da bi 2 osnovne linije u smjeru istok-zapad i sjever-jug s voznim parkom i pripadnom opremom koštale oko 500-600 milijuna EURa. Zbog izuzetno velike sume će ovaj projekt imati razvoj u fazama i njegova isplativost i opravdanost će biti u nizu direktnih i indirektnih posljedica koje će imati svoj rezultat u svakodnevnom životu i radu ove sredine kao što su [4,6]:

- a) poboljšanje prometnih tokova grada, smanjenje buke, smanjenje zagađivanja mot.vozila
- b) povećanje cijena nekretnina na pravcima linija, dodatna izgradnja i investicije

- c) povećanje sigurnosti prometa, otvaranje pješačkih zona , manji broj nesreća
- d) kontinuirana izgradnja sustava kao pokretač razvoja sredine i otvaranje radnih mjesta

5. ZAKLJUČAK

Prema izvedenim varijantama i njihovoj analizi može se procijeniti da bi razvoj sustava LGŽ u gradu Zagrebu predstavljao značajan korak prema rješavanju javnog gradskog prijevoza. Preporuča se izgradnja sustava koji se bazira na uskom kolosijeku s razmakom šina od 1000 mm i koji se veže na postojeću tramvajsku mrežu ZETA.

Dvije osnovne linije koje se predlažu za provedbu su locirane na pravcima istok –zapad (Dubec-Špansko) i sjever –jug (Mihaljevac-Dugave) uz značajan krak razvoja na pravcu Roosveltov trg-Jadranski most-Utrine. Linije se izvode u dionicama koje su u razini, u podzemlju ili se vode nadzemno i njihovim razvojem može se dostići prosječna dnevna brzina putovanja od 25 km/h. Izgradnja dionica odvijala bi se u fazama iako se dijelovi linija, u slučaju osiguranog financiranja, mogu izvoditi neovisno jedni od drugih, tj. istovremeno.

Financiranje ovakvog infrastrukturnog mega-projekta moguće je iz više izvora i u više oblika (javno, iz vlastitih izvora, konvencionalno putem kredita, putem koncesija ili kao privatno financiranje [7,8].), a u njegovom ostvarenju nužno je sudjelovanje grada, regije i Republike.

IZVORI :

1. **Kolić D.** :"Estimation of Construction Costs for Subway Lines", *5th International Symposium on Tunnel Construction and Underground Structures*, Ljubljana, Slovenia, September 20-22, 2000, pp. 38-46
2. **Kolić D., Schultzer A., Gulyas L., Elekesz M.**: "Metro 4 Line in Budapest and Risk Assessment for Undercrossing of River Danube", *Felsbau* 19 (2001), No.3, pp.32-40
3. **Kolić D., Gulyas L.** : "Risk Analysis for the Metro 4 Line of City of Budapest", *Int. Conference "Safety, Risk and Reliability – Trends in Engineering"*, Malta, March 21-23, 2001, pp. 665-670
4. **Kolic D., Wagner H.** :"Financial Risk Assessment of New Subway Lines", *AITES-ITA 2001 Proceedings*, Milano, June 10-13, 2001, Vol. III, pp. 255-266
5. **Kolić D., Kolić V.**: "Prihvatljivost podzemne željeznice u Zagrebu", *Građevinar* 53 (2001), 9, str. 563-571
6. **Kolić D.** : "Risk Analysis Methodology for Underground Mass Transit Projects", *Transportation Research Board*, 81th Annual Meeting, Washington D.C., January 13-17, 2002, pp. 11
7. **Kolic D., Wagner H., Irshad M.** : "Financial Risk Assessment of Privately Financed Subway Lines", *North American Tunnelling 2002*, Seattle, May 18-22,2002, pp. 8
8. **Kolić D. , Matoš S., Krsić D.**: "Development of Privately Financed Subway Lines and Possible Application on Light Rail Zagreb Project", *7th Int.Symposium on Tunnel Construction*, Ljubljana, November 17-19, 2004, pp.231-242