

Prihvatljivost podzemne željeznice u Zagrebu

Davorin Kolić, Vjekoslav Kolić

Ključne riječi

grad Zagreb,
podzemna željeznica,
tehnički čimbenici,
gospodarski čimbenici,
podzemne konstrukcije,
prijelaz preko rijeke Save

Key words

city of Zagreb,
subway,
technical factors,
economic factors,
underground structures,
Sava river crossing

Mots clés

ville de Zagreb,
métro,
facteurs techniques,
facteurs économiques,
constructions souterraines,
franchissement de la
rivière Save

Ключевые слова:

город Загреб,
подземная железная
дорога, технические
факторы, экономические
факторы, подземные
конструкции, переход
через реку Саву

Schlüsselworte

Stadt Zagreb,
U-Bahn,
technische Faktoren,
unterirdische
Konstruktionen,
Übergang über
den Fluss Sava

D. Kolić, V. Kolić

Stručni rad

Prihvatljivost podzemne željeznice u Zagrebu

Polazi se od tvrdnje da su prve ideje o podzemnoj željeznici stare 25 godina te da argumenti zato vrijede i danas. Opisuju se tehnička rješenja podzemnih konstrukcija, a posebno najosjetljiviji dio prelaska rijeke Save. Pritom se sugerira rješenje s mostom. Također se razmatraju financijski aspekti cijelog pothvata koji se temelje na odnosima prema rješenjima u svijetu, posebno u Münchenu. Ističe se da će ipak razina cijena ovisiti o domaćem koštanju radne snage i materijala.

D. Kolić, V. Kolić

Professional paper

Acceptability of subway construction in Zagreb

Authors start by asserting that first ideas about subway construction were formulated 25 years ago and that arguments in relation to this project have remained unchanged to this day. Technical solutions for underground structures are described, and a particular emphasis is placed on the most sensitive portion of the project: the Sava river crossing. In that respect, the solution involving bridge construction is suggested. Financial aspects of the overall undertaking are analyzed taking into account solutions applied in other countries, particularly those used in the city of Munich. It is emphasized that the price will greatly be influenced by the domestic cost of labor and materials.

D. Kolić, V. Kolić

Ouvrage professionnel

Opportunité d'un métro à Zagreb

L'on part de la thèse que les premières idées d'un métro sont vieilles de 25 ans et que leurs arguments sont toujours valables. L'article décrit les conceptions techniques des constructions souterraines, et notamment la partie la plus sensible – le franchissement de la rivière Save. On suggère la solution d'un pont. Les aspects financiers de l'entreprise sont également étudiés par rapport à d'autres solutions retenues dans le monde, en particulier à Munich. Il est enfin souligné que le niveau des prix dépendra du coût de la main-d'oeuvre et des matériaux locaux.

Даворин Колич, Векослав Колич

Отраслевая работа

Приемлемость подземной железной дороги в Загребе

В работе исходит из утверждения, что первые идеи о подземной железной дороге появились 25 лет тому назад и что аргументы в этом отношении действительны еще и сегодня. Описываются технические решения подземных конструкций, а особенно самая чувствительная часть перехода через реку Саву. При этом рекомендуется решение с мостом. Также рассматриваются финансовые аспекты целого начинания, основанного на отношениях к решениям в мире, особенно в Мюнхене. Подчеркивается, что всётаки уровень цен зависит от отечественной стоимости рабочей силы и материала.

D. Kolić, V. Kolić

Fachbericht

Annehmbarkeit einer U-Bahn in Zagreb

Man geht von der Behauptung aus dass die ersten Ideen über eine U-Bahn in Zagreb 25 Jahre alt sind und dass die Argumente dafür auch heute noch gelten. Es sind technische Lösungen beschrieben für unterirdische Konstruktionen, besonders der heikelste Teil – Übergang über die Sava. Dabei suggeriert man die Lösung mit einer Brücke. Ebenso betrachtet man die finanziellen Aspekte des ganzen Projekts, begründet auf Lösungen in der Welt, besonders in München. Es wird hervorgehoben dass die Kosten immerhin von den einheimischen Preisen für Arbeitskräfte und Materialien abhängen.

Autori: Mr. sc. **Davorin Kolić**, dipl. ing. građ., D2 Consult Zagreb; **Vjekoslav Kolić**, ing. građ., Zagreb, Trnjanska 140

1 Uvod

Prve tehnički argumentirane razloge za podzemnu željeznicu grada Zagreba nalazimo u stručnim izvorima od prije 25 godina [1]. Prometni zahtjevi sredine i njihov budući razvoj već su onda bili dovoljno jasni i predvidljivi pa tako autorova predviđanja susrećemo danas u stvarnosti, i to kao prometnu zagušljivost, nepostojanje parkirališnih mjesta, veliku zagađenost i buku u središtu grada, mase ljudi pri svakodnevnom kretanju unutar gradske sredine u smjerovima sjever–jug i istok–zapad. Autor je bio upoznat s uvjetima razvoja, tehnologijom izgradnje i konačnim rezultatima podzemne željeznice u gradovima bivšeg SSSR-a, no ondašnja se argumentacija bez iznimaka može i danas upotrijebiti. Način financiranja izgradnje zasnivao se na načinu koji je bio tada uobičajen (zajmom koji preuzima grad ili država), no iako i danas može biti primijenjen, trend promjena u načinu financiranja infrastrukturnih objekata u svijetu, koji se u posljednje vrijeme promijenio od direktnog financiranja od strane lokalnog vlasnika (grada, države) prema privatnom obliku financiranja, još više olakšava pronalaženje financijskih izvora za gradnju gradske podzemne željeznice.

Reakcije na članak u stručnoj literaturi koje su se nedugo zatim pojavile [2] pokazale su da postoji određeni broj stručnjaka koji se osjećaju ponukani reagirati na ponudenu temu jer je shvaćaju dijelom svojih inženjerskih preokupacija. Dodatne napomene razlučuju pojam podzemne željeznice i njezine uloge od pojmova prigradske željeznice, autobusnog i tramvajskog prometa. Posebno je pojmu tramvajskog prometa, njegovoj usporedbi s autobusnim prometom, te ograničenjima svakog od tipova javnog prometa, dano detaljno objašnjenje kojim se možemo nadalje koristiti kada želimo pronaći razloge za primjenu podzemne željeznice u zagrebačkoj prometnoj sredini.

Na takvim osnovama, kao i uz entuzijazam stručne sredine, organiziran je 20 godina nakon toga, točnije 20. 4. 1994., u godini obilježavanja 900 godina postojanja grada Zagreba, inicijativni sastanak neformalne grupe za početak razvoja ideja na projektu pod radnim naslovom "Metro Zagreb" [3]. Sastanku je prisustvovalo 10 sudionika koji su na osnovi radnog materijala razmotrili trenutne spoznaje, potrebe i mogućnosti gradske sredine, ali isto tako razmijenili informacije o trenutačnim studijama, planovima i htijenjima koji su u razvoju u gradu. Predloženi materijal bavi se najvidljivijim prometnim problemima grada, navodi usporedbe s rješenjima drugih gradskih sredina, i to posebno s osvrtom na podzemnu željeznicu. Isto tako predočena je i ideja prve, kružne linije buduće podzemne željeznice uz usporedbu zagrebačkih prometnih uvjeta s uvjetima drugih gradova slične veličine, geoloških uvjeta i prometnih zahtjeva. Lini-

ja je imala duljinu od oko 12 km, s razmakom stanica od oko 0,5-1,5 km i okruživala je užu gradsku jezgru na strani Donjega grada s četiri područja Novog Zagreba: Velesajmom, Sigetom, Sopotom i Središćem.

Jedna od najvažnijih smjernica ovog sastanka bila je informacija o postojanju studije o razvoju prometa grada Zagreba koja je tada bila u prvoj fazi izvedbe i trebala je biti dalje razvijena [4]. No, već tadašnja razina razrade studije i podaci u njoj mogli su poslužiti kao izvanredan dokument o pravim potrebama i strujanjima prometnih tokova u gradu te kao pregled problema koje treba razraditi u daljim fazama ovog plana.

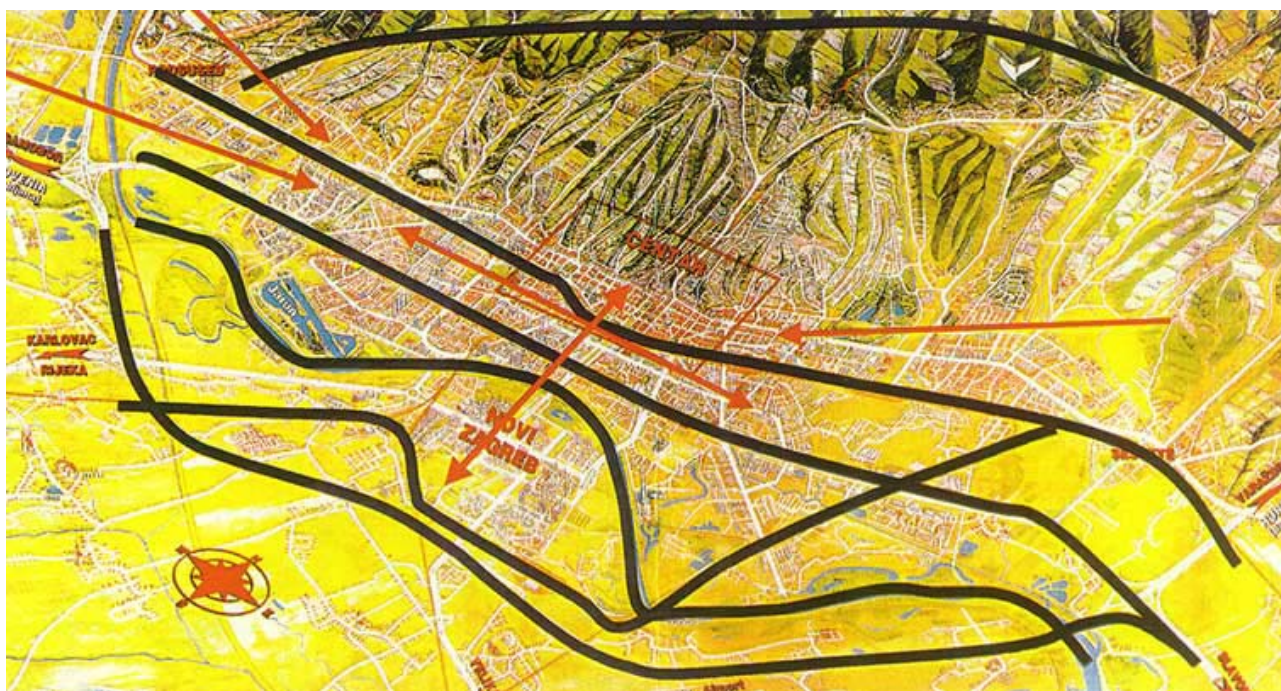
2 Prometni tokovi i zahtjevi prometa

Pregled stanja predočen u studiji okarakterizirao je promet grada Zagreba kako slijedi:

- 214 osobnih vozila na svakih 1000 stanovnika u gradu s 930.000 stanovnika (bez širega gradskog područja) što vodi prema broju od oko 200.000 osobnih vozila u gradu;
- opće pomanjkanje parkirališnih prostora;
- intenzivan dnevni promet kroz gradsku jezgru;
- nepostojanje biciklističkog prometa (što ne začuđuje jer biciklističkih staza nema, a promet osobnim vozilima je toliko jak da je promet biciklima opasan);
- visok stupanj zagađenja ispusnim plinovima vozila (ne postoje mjesta za mjerenje stupnja zagađenosti);
- izuzetno jako opterećenje bukom (detaljna mjerenja ne postoje);
- veliki broj prometnih nesreća.

Studija je rađena u suradnji s jednom od vodećih tvrtki koja se bavi problematikom prometa sa sjedištem u Njemačkoj (Aachen/München) i smjernice koje su za unapređenje situacije u gradu predložene uvelike pokazuju način rješavanja takvih problema u srednjo-europskim gradovima, a one su kako slijedi:

- održavanje principa nemotoriziranog prometa;
- povećanje prometne sigurnosti;
- središnji dio grada (Donji grad) bez automobila (samo vozila opskrbe, i to ograničeno, i taksi);
- osiguranje kretanja pojedinaca u središnjem dijelu grada bez vozila;
- drastično sniženje zagađivanja ispusnim plinovima osobnih vozila te mjerenje stupnja zagađenosti zraka: CO₂, NO_x, SO₂, O₃;
- drastično smanjenje buke koja je u središnjem dijelu grada uzrokovana prometom.



Slika 1. Prirodne i prometne zapreke na širem području Zagreba

Daljnji dijelovi studije analizirali su pojedine prometne koncepte i mogućnosti aktiviranja prometnih sredstava te mogućnosti aktiviranja pojedinih trasa. Podzemna željeznica navodi se jednom rečenicom i nije bila detaljnije razmatrana, vjerojatno i zbog neupućenosti u takav oblik prometa, kao i nepostojanje tradicije gradnje podzemnih prostora u mekim tlima, te neiskustva naših investitora, projektanata i izvođača u tunelogradnji u urbanim sredinama.

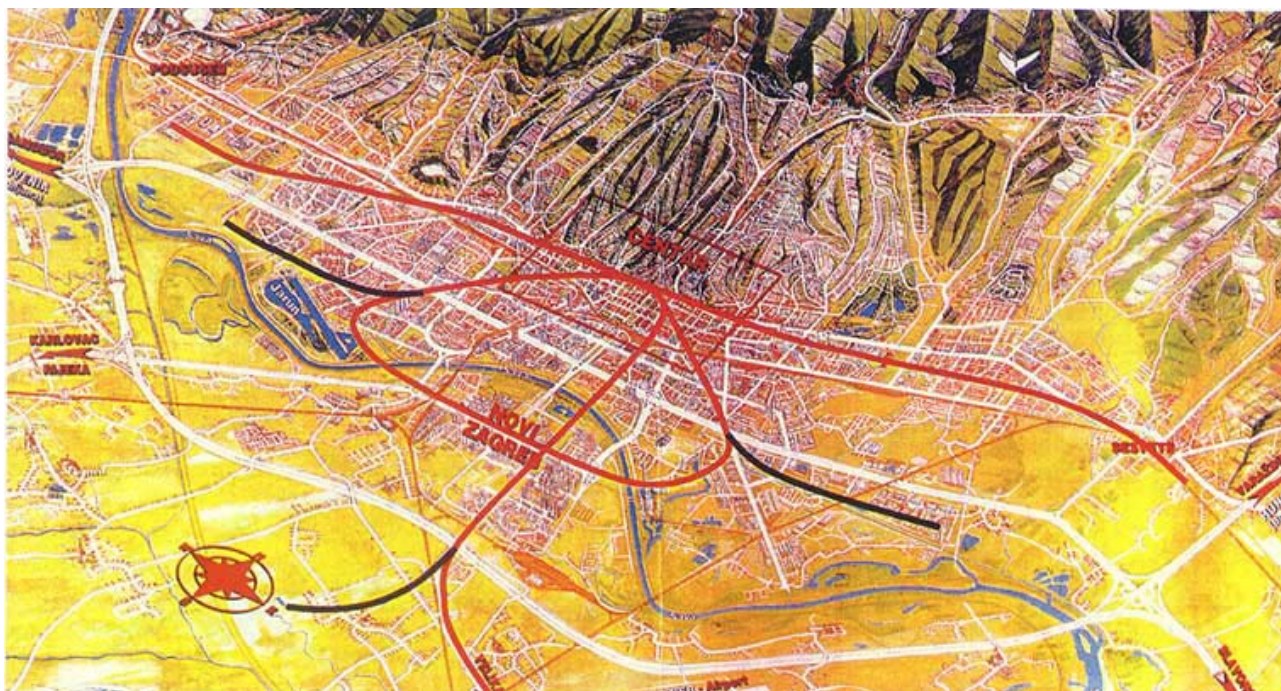
U svakom slučaju ova studija prometno je usmjerila ideje na razradi prijedloga sustava podzemne željeznice prikazanog u ovome radu. Grad Zagreb prostire se uzdužno u smjeru istok-zapad i taj smjer imaju i prirodne i prometne barijere koje nalazimo na području grada: planina Medvednica, glavna željeznička pruga koja prelazi preko Glavnog kolodvora, brza cesta koja prolazi sjeverno od Save (Ljubljanska avenija), tok rijeke Save, južna željeznička pruga koja prolazi preko ranžirnog kolodvora i cestovna obilaznica grada Zagreba. Prometne tokove u gradu karakterizira intenzivan promet u smjeru istok-zapad, ali i u smjeru sjever-jug koji veže Novi Zagreb s Donjim gradom. Intenzivan je i promet prema gradskoj jezgri od strana prigradskih naselja Velike Gorice, Sesveta te Samobora, Zaprešića i Podsuseda. U takvom odnosu postavljene su i prve linije "podzemne željeznice", koje neće uvijek biti podzemne.

Prvi stupanj, prvi dio prve linije predviđen je kao spoj dviju sredina koje se nalaze na tangenti sjever-jug:

Donjeg grada i Novog Zagreba te produženje te linije dalje prema zračnoj luci Pleso i jednom od većih prigradskih naselja koje gravitiraju prema gradu - Velikoj Gorici. Južni dio linije do Save predviđen je kao nadzemna linija koja treba prijeći most i neposredno nakon njega zaroniti pod površinu. Podzemni dio predviđen je po pravcu Draškovićeve ulice do jednog od budućih podzemnih čvorišta: Trga hrvatskih velikana.

Drugi stupanj razvoja predviđa zatvorenu kružnu liniju koja od Trga žrtava fašizma ide preko glavnoga gradskog trga dalje preko Trešnjevke prema novim područjima kao Jarun i vraća se, prelazeći ponovno Savu prema Dubrovačkoj aveniji u Novom Zagrebu i ide dalje prema TE-TO, gdje se ponovno vraća prema središnjem dijelu grada i čvorištu pri Trgu hrvatskih velikana. Ova linija pojačava vezanost središnjeg dijela Donjega grada s novim naseljima te snaži ponovno prometni smjer sjever-jug, ali isto tako veže zrakasto stari centar grada s lokalnim centrima u novim naseljima i jača lokalni promet južno od Save. Ova linija može se raditi u dijelovima koji se mogu zasebno puštati u promet, a neki će dijelovi sigurno biti izvedeni nadzemno, kao što su prelasci rijeke.

Treći stupanj predviđa podzemno povezivanje prigradskih naselja na tangenti istok-zapad. Ovo će povezivanje sigurno biti potrebno jer je urbaniziranost na površini velika, ulice i parkirališna mjesta nedovoljni su za motorna vozila, a zagađenost i buka su izvan svake kontrole.



Slika 2. Konačno rješenje trase Zagrebačke podzemne željeznice

Četvrti stupanj predviđen je kao produženje ogranaka linija prema gradskim naseljima kod kojih je udaljenost do prve stanice podzemne željeznice velika, ali isto tako može se predvidjeti da će se na pravcima ovih linija u budućnosti razviti i nova naselja.

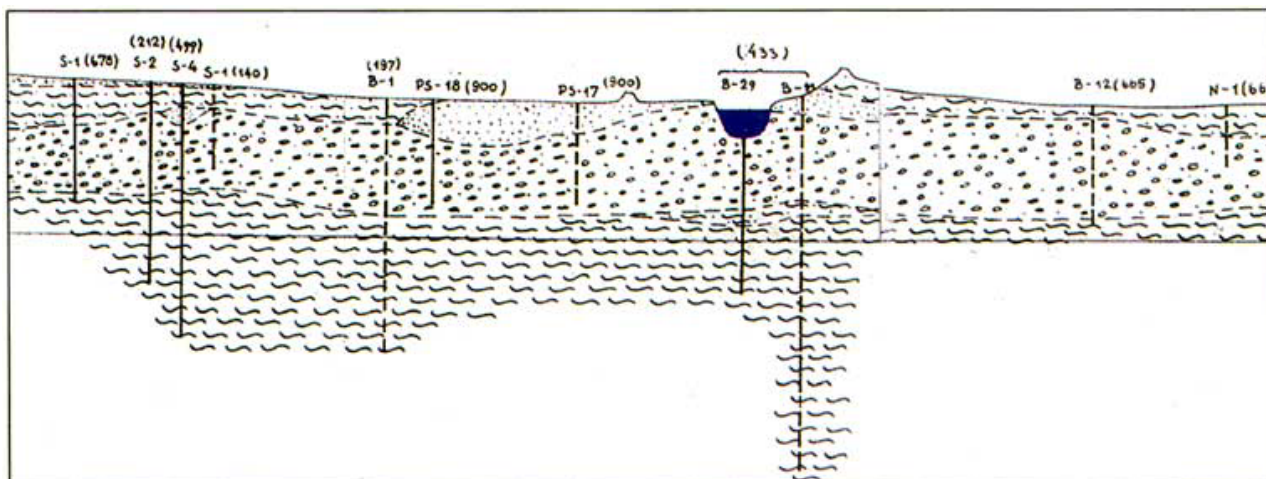
Promatramo li iskustva drugih sredina u kojima se gradila podzemna željeznica, vidljivi su određeni fenomeni koje susrećemo na primjerima razvoja sustava podzemne željeznice u urbanim sredinama, a koji zbog sličnosti mogu biti primijenjeni ili očekivani i u Zagrebu [5, 6].

1. Razvoj sustava započinje spuštanjem pojedinih linija tramvaja pod zemlju (Bruxelles, Berlin, Budimpešta).
2. Spuštanje linije tramvaja počinje onda kada je brzina kretanja putnika u rangu 7-15 km/h. Podzemna željeznica podiže tu brzinu na 25-40 km/h (Bruxelles).
3. S razvojem podzemnog sustava smanjuju se troškovi održavanja i izgradnje cesta i parkirališta. Na površini, u jezgri grada, nastaju pješačke zone.
4. Smanjenjem gradske buke i zagađenja rastu cijene poslovnih prostora i stanova u središtu grada. Bolji uvjeti života i rada privlače investicije (Bruxelles, Toronto, Melbourne).
5. Otvaranjem prve linije podzemne željeznice raste broj putnika koji se njome služe, a pada na ostalim sredstvima javnog prijevoza (Toronto, Prag, Bruxelles, Melbourne, Berlin).

6. Smanjuje se broj prometnih nesreća u središtu grada odnosno povećava se sigurnost u prometu (Prag).
7. Sustav podzemne željeznice može se vezati na postojeću željezničku mrežu koja prolazi gradom (Melbourne).
8. Trend u gradnji podzemne željeznice, zbog smanjenja troškova gradnje i održavanja prije svega, ide prema sistemu *light-railway* (laka željeznica), odnosno vagoni na pneumatskim (npr. francuski proizvođač *Matra* sa sustavom VAL) (Pariz, Toronto, Budimpešta).
9. Gradnja podzemne željeznice je kontinuirana izgradnja infrastrukture u većem središtu i stalni je oblik zapošljavanja građevinskih poduzeća i ljudi u dužem vremenskom razdoblju, te predstavlja jednu od fiksnih točaka u gospodarstvenom razvoju grada, regije i države.

3 Geološke podloge

Ako usvojimo tlocrtnu raspoređenost linija, pitanje je na kojoj dubini bi trebalo locirati podzemni sustav da bi imao što manje troškove i sto veću sigurnost tijekom gradnje, te što bolju iskoristivost u operativnom dijelu. Promotrimo li uzdužne geološke presjeka vidimo da se bazen ispod planine Medvednice sastoji od slojeva pijeska, šljunka, pjeskovitih i prašnjavih šljunaka ili šljunkovitih glina, gledamo li područje Donjeg grada, korito rijeke Save, te nizinu Novog Zagreba. Vodno lice nalazi se na



Slika 3. Geološki uzdužni presjek na lokaciji novoga mosta

oko 2-3 metra ispod površine, a na dubini od oko 8-12 m nalaze se slojevi gline [7]. Promatrani uzdužni geološki profili nalaze se na pravcu sjever-jug i prelaze trima pravcima: Trešnjevka - Sava-Remetinec - Botinec; Donji grad - Sava - Velesajam - Klara - Mala Mlaka; D. Bukovec - Maksimir - Sava - Zaprude-Hrelić - Buzin.

Uzevši u obzir iskustva s drugih sustava podzemnih željeznica gradova koji su se razvili u nizinama uz rijeke (München, Budimpeštu, Beč), bilo bi korisno spustiti uzdužnu os podzemne linije na dubine 15-20 m ispod površine u sloj gline. Ovakvo lociranje ima više prednosti i nameće se kao najbolje rješenje zbog sljedećih razloga:

- Jednostavnija izgradnja linije kroz pretežito istovjetne naslage jedne geološke formacije, gdje je kohezivnost gline olakšavajući faktor pri izvođenju tunela bilo konvencionalno (NATM = Nova austrijska metoda), ili uporabom rotacijskih bušaćih strojeva, ili iskorištavanjem zraka pod pritiskom.
- Ova dubina još uvijek omogućuje silazno-uzlaznu liniju vođenja trase tunela u uzdužnom smjeru između pojedinih stanica. Pri tome vlak pri izlazu iz stanice ponire, a pred ulazom u sljedeću stanicu uzlazi, i time se iskorištavaju ubrzavajuće - usporavajući efekti koji vode višestrukoj štednji energije pri korištenju linijom.
- Ova dubina linije omogućuje još uvijek izvođenje stanica s površine, bočno podupiranje dijafragmama, pilotima, ali isto i primjenu *top-down* metode, pri kojoj se stanica izvodi s površine, ali ona ostaje vrlo kratko otvorena i poslije izgradnje prve ploče ona se s površine zasipa i iskapanje se radi podzemno. Usporedimo li ovaj način izgradnje stanica s podzemnim, nalazimo velike uštede pri izgradnji.
- Izgradnja tunela u naslagama gline ima sigurnosnu komponentu u manjoj propusnosti tla, te je time i

dotok podzemne vode manji, što značajno smanjuje troškove odvodnje i povećava sigurnost izgradnje tunela, bez obzira na primijenjenu metodu iskopa.

4 Tehnologija izvedbe podzemnih i nadzemnih građevina

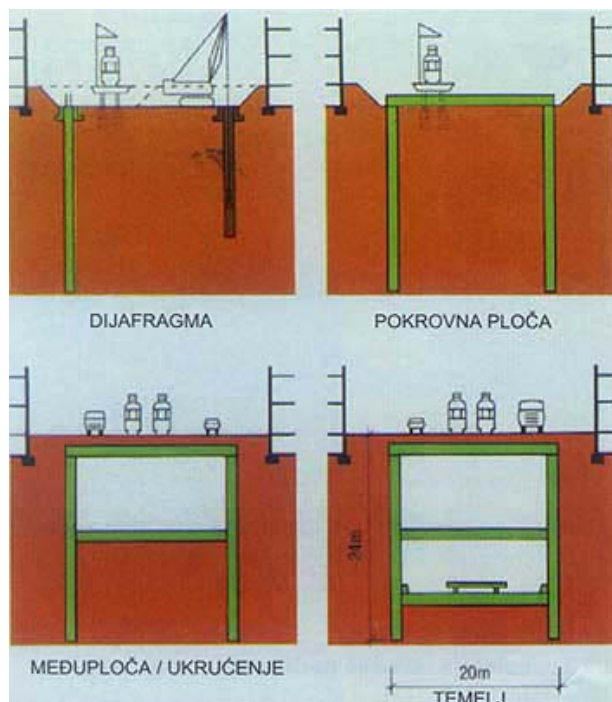
Razmatramo li tehnologiju izvedbe podzemnih i nadzemnih građevina kao dijelova sustava podzemne željeznice, možemo usvojiti metode koje su u sličnim uvjetima primijenjene u srednjoj Europi, i to u Münchenu, Beču i Budimpešti [8 – 14].

Stanice podzemne željeznice se kod navedenih sustava nalaze na dubinama od oko 15-20 m (gornji rub kolosijeka na platformi stanice), dok su u Budimpešti položene nešto niže: u rasponu 20-35 m. Ovako locirane stanice omogućuju izgradnju s površine i ta se metoda u posljednjih tridesetak godina razvila do oblika pri kojem se prvo izvode dijafragme (danas se više rabe stijene pilota), otkapa površina do dubine od nekoliko metara, betonira na bočnim zidovima i na tlu gornja ploča stanice, zatrpava površina i pušta promet po njoj te se potom svi radovi na stanici obavljaju podzemno. Ova metoda poznata je pod nazivom *top-down method*, ili u njemačkom govornom području *Schlitzwand-Deckelbauweise*, i optimalna je za izvedbu stanica u urbanim sredinama, u mekim tlima s problemima prodiranja vode, te je ujedno gospodarstveni najprihvatljivija varijanta. Postoje i neke varijante metode npr. s redom stupova u sredini koji se temelje na uzdužnom temelju betoniranom u pilot-tunelu i koja se primjenjuje u slučaju većih potrebnih širina stanice.

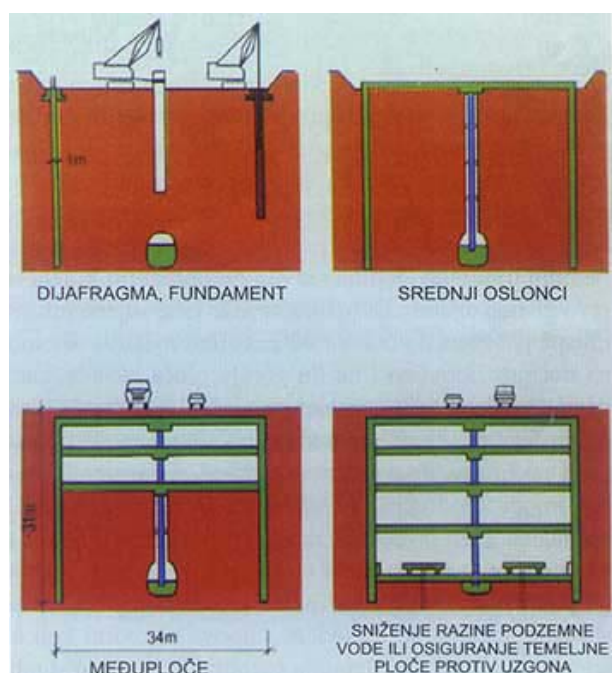
Iskop tunela između stanica obavlja se konvencionalnim metodama ili uporabom rotacijskih bušaćih strojeva.

Kod konvencionalnih metoda ističe se kao najčešća primjena Nove austrijske metode (NATM) koja je u Nje

a) Izrada dijafragme s pokrovnom pločom



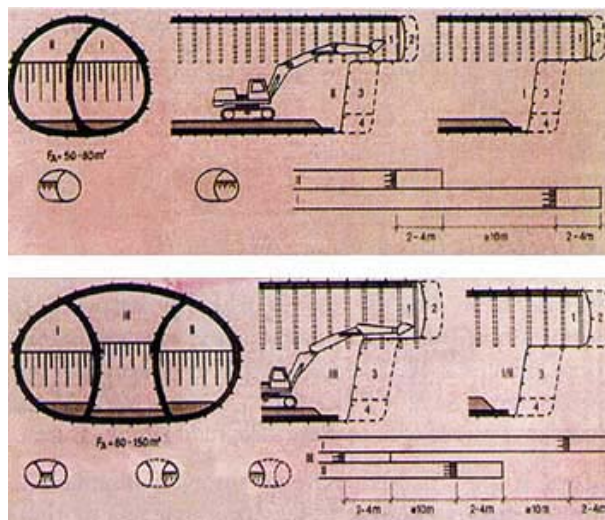
b) Izrada dijafragme s pokrovnom pločom i središnjim stupom

Slika 4. Izgradnja postaja podzemne željeznice metodom **TOP DOWN** (primjer iz Münchena)

mačkoj poznata i pod nazivom *Spritzbetonbauweise*. Njezina primjena u mekim tlima u gradu Münchenu razlikuje prije svega izvedbu u naslagama tercijara (lapor,

glina) ili kvartara (pijesci, šljunci). Svoju primjenu našla je prije svega u gospodarstvenim razlozima jer su se pojedine dionice svake linije podzemne željeznice raspisivale od stanice do stanice. Kako su udaljenosti stanica u gradu manje, 0,4-1,5 km, tako se i NATM zbog svoje fleksibilnosti na promjenu geologije i malih inicijalnih troškova izvodila u velikoj većini slučajeva.

Za pojedinačne tunele poprečnog presjeka od 38,0 m², kopane u tercijaru, primarna podgrada izvodi se armiranim prskanim betonom s lučnim čeličnim profilima na



Slika 5. Metode iskopa: gore – jednostrani iskop; dolje – dvostrani iskop

razmaku 1,0 metra, a iskop se izvodi s jednom stepenicom s uzdužnim razmakom čela iskopa od 2-4 m, ponekad se i sistematski primjenjuju sidra. U kvartaru bilo je potrebno prethodno osiguranje tjemena tunela čeličnim limovima s lučnim čeličnim profilima, razmak čela iskopa na dvije razine išao je i do 40 m, a povremeno je bila potrebna i primjena lokalnog injiciranja na petama kalotnog dijela presjeka.

Za tunele većih presjeka (50-80 m²), koji se primjenjuju za dvokolosiječnu liniju podzemne željeznice ili kao stanice s platformom i jednim kolosijekom, metoda iskopa dijeli cijeli presjek na dva dijela i svaki dio vodi u uzdužnom dijelu sa dva čela iskopa. Dva lica presjeka premještena su otprilike 10 metara i razdijeljena su privremenom stijenkom od armiranoga prskanog betona. Tuneli s vise kolosijeka ili podzemne stanice imaju presjeka veličine i do 150 m² i izvode se samo u tercijarnim naslagama. Poprečni presjek podijeljen je na tri lica i svako se iskapa u dvije stepenice s primjenom armiranoga prskanog betona i lučnih čeličnih presjeka (puni čelični profili ili žičani tipa *Pantex*).

Pri svim tunelskim radovima u aluvijalnim nizinama problem je prodor podzemne vode i ona se u slučaju visoko položenog vodnog lica rješava ili sustavom

“korita”, primjenom nepropusnih zagata unutar kojih se voda crpi ispod razine stope tunela ili se razina vodnog lica snižava crpenjem preko zdenaca. U slučajevima višestruko uslojenog tla mogu postojati i dva ili više vodnih lica koja sprovode vodu kroz vodopropusne naslage. Posebno su neugodni slučajevi tunela s kalotom u nepropusnom sloju iznad kojeg stoji propusni koji nosi vodu, pa je tako voda u tlu stalna opasnost tijekom izvedbe tunela. Takvi su se slučajevi do 1979. godine rješavali injiciranjem, no od tada radi zaštite okoliša dozvoljeno je samo zamrzavanje tla.

Primjena rotacijskih bušaćih strojeva (TBM) danas je uobičajena kada je opravdana njihova gospodarstvena prihvatljivost. Grubo procjenjujući, tunel se isplati izgraditi TBM tehnologijom kada je duljina tunela barem 2 km, bez obzira na promjer. U drugim slučajevima TBM se primjenjuje u mekim tlima kada su zahvati za povećanje stabilnosti tla toliki da je primjena stroja sigurnija i jeftinija ili daje manja slijeganja površine. Neki gradovi, kao primjerice Budimpešta, za novu, 4. liniju podzemne željeznice raspisuju bušene tunele duljine 8,0 km kao natječaj namijenjen jednom izvođaču, dok su stanice posebni ugovori za odvojene izvođače.

Razina kvalitete TBM strojeva na tržištu može se ocijeniti kao visoka i postoje strojevi za polivalentnu primjenu u raznim geološkim formacijama. Takav primjer nalazimo npr. u primjeni *Polyshielda* za liniju EOLE, Lot 35 B u Parizu koja je u svojoj duljini 2*1670 m trebala proći kroz slojeve koji se mijenjaju od pijeska, preko lapora do vapnenca. Linija je bušena u samom centru Pariza, na dubini od 15–35 m i sastoji se od dva usporredna tunela na osnovnom razmaku od 20 m. Tunelska obloga sastoji se od armiranobetonske segmentne obloge koja je montirana u repu stroja uz pomoć erektora. Svaki prsten širine je 1,40 m i sastoji se od 6 dijelova debljine 35 cm. Kako je tunel predviđen za kolosijek normalne željeznice ima i promjer iskopa od 7,40 m. Za linije podzemne željeznice koje se redovito primjenjuju u gradovima zadovoljavaju već profili od 5,50–5,80 m pred-

viđeni za promet lakih vlakova na tračnicama ili pneumaticima na betonskim stazama, kao npr. automatski vlakovi francuskog sistema VAL.

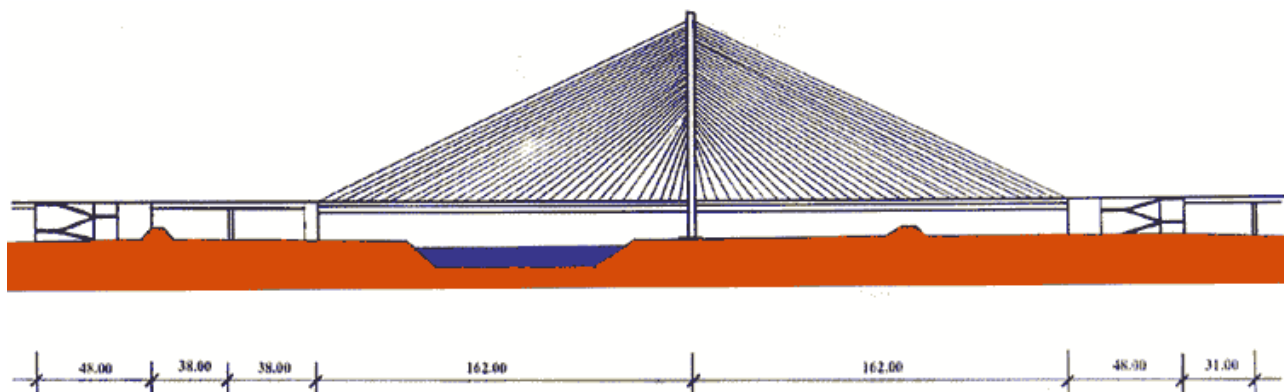
Svakako, valja uzeti u obzir da se cijela linija odnosno svi dijelovi linija podzemne željeznice ne moraju voditi



Slika 6. Izvedba tunela TBM tehnologijom (primjer iz Pariza)

podzemno, ili bar ne u prvoj fazi njihove izgradnje. Tako se za prvu liniju grada Zagreba predviđaju nadzemni dijelovi koji uključuju prelazak preko Save, pa je za tu priliku i pripremljeno rješenje novog mosta na lokaciji produženja Draškovićeve ulice [15]. Most je koncipiran kao most s kosim zategama u uzdužnom smjeru s dvije ravnine kosih zatega, jednim pilonom i simetričnim rasporedom zatega kao gospodarstveno najprihvatljivije rješenje za predviđene terete cestovnoga, željezničkoga i pješackog prometa koje novi gradski most centralne lokacije treba preuzeti. U poprečnom smjeru mosta, kolnički je nosač sandučastog presjeka s dvije ćelije i nosi dva kolosijeka lake željeznice, 2 puta po 3 kolnička traka, te 2 pješacke staze na vanjskim krajevima. Na temelju analize cijena konačna cijena mosta procjenjuje se na vrijednost od 48,5 milijuna DEM, (4460 DEM/m²) [15].

5 Gospodarstveni čimbenici i dinamika razvoja sustava



Promotrimo li trenutačne ogledne cijene na tržištu tunela u urbanim sredinama srednje Europe možemo procijeniti jedan dužni metar tunela, uključivo stanice, na 35.000 – 45.000 DEM, bez opreme i ventilacije. Ovu cijenu treba korigirati prema odgovarajućim cijenama radne snage na domaćem tržištu, ali i prema realnome radnom učinku tog osoblja. Usporedimo li ove cijene s takvom procjenom za izgradnju nove linije podzemne željeznice u Budimpešti vidimo da se cijene kreću:

- NATM tuneli na Buda strani u mekoj stijeni po 7.500 DEM/ m na duljini od 8068 m
- TBM tuneli na Buda strani u mekoj stijeni po 14.500 DEM/m na duljini od 8068 m
- TBM tuneli na Pest strani u mekim tlima pod vodom po 15.700 DEM/m na duljini od 6750m.

Ovaj pregled pokazuje da je svaka analiza cjelina za sebe i treba ih tako i odvajati i izvesti, uzevši u obzir sve moguće posebnosti lokalne sredine i tržišta. Sigurno je jedino da se bez sudjelovanja inozemnih izvođača takav složeni posao ne može izvesti jer se radi o iskustvima i stručnom osoblju koji se stvaraju godinama.

U vremenskom pogledu potrebno je prihvatiti dinamiku razvoja jedne linije podzemne željeznice koji u prosjeku traje oko 12-14 godina, i to po dijelovima:

- razrada varijantnih rjesenja 4 god. 1. – 4. godina
- izrada projekata 8 god. 5. - 13. godina
- izgradnja linije 5 god. 8. – 13. godina
- oprema linije 4 god 9. – 13. godina.

Financiranje takvog projekta obično je podijeljeno na sve sudionike koji imaju interes i korist od unapređivanja prometa i gospodarstva: grad, regija i država obično su zastupljeni u ovisnosti o direktnom učinku na razvoj svakog sudionika.

6 Zaključak

IZVORI

- [1] Brezarić, V.: *Metro u Zagrebu*, Građevinar 25 (1973) 5, str. 162.-165.
- [2] Žagar, Z.: *Metro u Zagrebu – za ili protiv*, Građevinar 26 (1974) 3, str. 84.-88.
- [3] Hudec, M.; Kolić, D.: *Zagreb zaslužuje bolju prometnu budućnost* (podloga pripremljena za inicijativni sastanak o projektu "Metro Zagreb", održanom u Zagrebu 20. travnja, 1994., str.1-23, neobjavljeno

Umjesto zaključka citiramo tekst iz publikacije u kojoj se opisuje početak gradnje podzemne željeznice u Budimpešti.

"Razvoj stanovništva grada Budimpešte išao je ubrzano u posljednjih 150 godina: dok je 1840. godine u gradu živjelo 107.000 stanovnika, već 1880. godine grad ima 370.000, a na kraju prošlog stoljeća oko godine 1900. čak 733.000 stanovnika. Gradnja prve linije podzemne željeznice počinje pred kraj prošlog stoljeća kada su dvije tramvajske kompanije podnijele zamolbu gradskom poglavarstvu za gradnju podzemne željeznice. Bilo je to 22. 1. 1894. godine i plan je s veseljem prihvaćen kao dio proslave 1000. godišnjice postojanja mađarske države. Radovi na spuštanju jedne tramvajske linije pod površnu započeli su iste godine u kolovozu. Nakon dvije godine 3,75 km tramvajske linije spušteno je pod površinu, radovi su se izvodili u otvorenom kopu, a da bi se ubrzali upotrijebljeni su električni strojevi za iskop zemlje. Nakon završenog betoniranja stijenci zidova, poda i stropa tunel je zatrpan s površine i ponovno su na površini izvedeni kolnik i pločnici. Stanice podzemne linije bile su opremljene automatskim signalnim sistemom, a mreža telefona bila je instalirana kao stalna veza među njima. Kao druga podzemna linija nakon Londona, linija je otvorena za promet 1896. godine" [16].

Citirani tekst pokazuje da su svijest i htijenje za izgradnjom takvog oblika javnog prometa jednostavno izraslo iz javnog života sredine. Javno mišljenje razvilo se uz razvoj grada, povećanih prometnih potreba i želje za boljom kvalitetom života i rada. To se dogodilo prije više od sto godina jer je sredina bila spremna inicirati takvu ideju, te je s druge strane prihvatiti, izvesti i dalje primjenjivati.

Ovdje se želi napomenuti da svi parametri koji su prije navedeni mogu i trebaju proći tehničko i gospodarstveno vrednovanje, no odlučujuća jest spremnost sredine da se na osnovi informacija koje posjeduje može opredijeliti za ideju podzemne željeznice te za njezino provođenje. Danas u svijetu postoji više od 120 urbanih sredina koje imaju podzemne sustave transporta i rade dalje na njihovu razvoju kao primarnom obliku javnog prijevoza.

- [4] Ploss, G.; Boesefeldt, J.; Hösch, M.; Poloski, D.; Korlaet, Ž.: *Verkehrsentwicklungsplan Zagreb – Phase I.: Projektplanung*, S. 1-70, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Juli, 1993.
- [5] Blennemann F.: *Effects of Urban Rapid Transport System Construction*, Tunnel 2/1989., pp. 70.-80.
- [6] *Planung der Tunnel für die Fern-, S- und U-Bahn in der Mitte Berlins*, TIS 1/ 1994, S. 30.-32.
- [7] Magdalenić, A.; Jurak, H.: *Seizmička mikrorajonizacija grada Zagreba – Geološki profili*, Geološki zavod, Zagreb 1968

- [8] Greschik, G.: *Budapest's Metro – Past and Present*, Tunnels & Tunneling International, Nov. 1997., pp. 30.-32.
- [9] Gulyasz, L.: *General Information on the Metro Line 4, Section I (Kelenföldi pu. – Keleti pu.)- Technical Solutions and Main Features of the New Metro Line Section*, 1999., pp. 1.-20.
- [10]**** : *Die 1. Und 2. Ausbauphase der Wiener U-Bahn, 1969-1983*, Compress Verlag, Wien, 1985.
- [11]**** : *Die U-Bahn Linie U3, 1981-1997*, Compress Verlag, Wien, 1991.
- [12]Hochmuth, W. und and.:*U-Bahn für München : U-Bahn-Linie 8/1*, 1980.
- [13]Hochmuth, W.und and.: *25 Jahre U-Bahn –Bau in München*, 1990.
- [14]Hackelsberger, C.: *U-Bahn Architektur in München*, Prestel-Verlag, München, 1997.
- [15]Kolić, D.: *Gospodarstveni i konstruktivni čimbenici prihvatljivosti mostova s kosim zategama*, Magistarski rad, 149 str., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, studeni, Zagreb, 1998.
- [16]Kozary, I. et alt.: *The Budapest Metro*, Uvater Technical Publications 1976/2, 1976., pp. 1.-110.