

Matjaž Beltram, univ. dipl. inž. grad.
matjaz.beltram@elea.si



dr. Jaka Zevnik, univ. dipl. inž. grad.
jaka.zevnik@elea.si
Elea iC. d. o. o.,
Dunajska cesta 21, 1000 Ljubljana



Strokovni članek
UDK/UDC: 624.01:725.95(497.451.1)

PODHOD LATTERMAN LATTERMAN UNDERPASS

Povzetek

Podhod Latterman omogoča oživitev stare povezave središča Ljubljane z mestnim parkom Tivoli. Objekt leži pod dvotirno progo na eni najbolj obremenjenih železniških povezav v Sloveniji. Gradnja podhoda je potekala s tehnologijo podrivanja in sprotnim izkopavanjem materiala, kar je omogočilo neprekinjenost železniškega prometa. Gre za najdaljši tovrstni objekt, zgrajen s tako tehnologijo, v Sloveniji. Objekt je zasnovan kot škatlasta armiranobetonska konstrukcija. Investitorja objekta sta bila Mestna občina Ljubljana in Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo, projektant objekta je projektantski biro Elea iC, d. o. o., izvajalec del pa Makro 5 gradnje, d. o. o.

Ključne besede: podhod, podrivanje, železnica, integralna konstrukcija

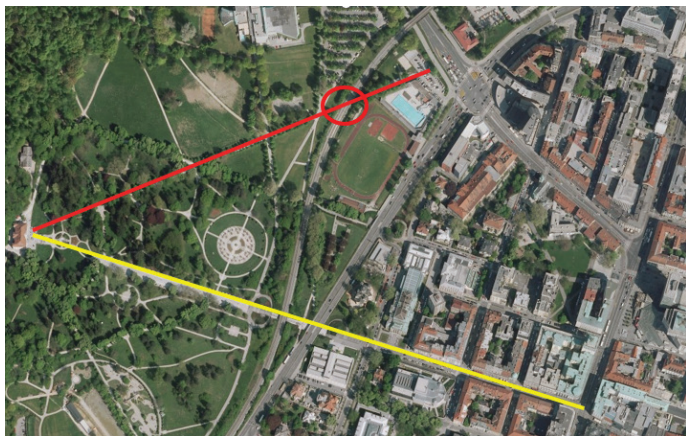
Summary

The Latterman underpass enables the revival of the old connection between the center of Ljubljana and the Tivoli city park. The underpass is located under a double-track line on one of the busiest railway connections in Slovenia. The underpass was constructed using box jacking technology with continuous excavation of the soil. It is the longest structure of its kind to be built in Slovenia with this technology. The underpass is designed as a box structure made of reinforced concrete. The investors are the Municipality of Ljubljana and the Directorate of Infrastructure of the Republic of Slovenia, while the designer of the building is Elea iC. d. o. o., design bureau, and the contractor is Makro 5 gradnje, d. o. o.

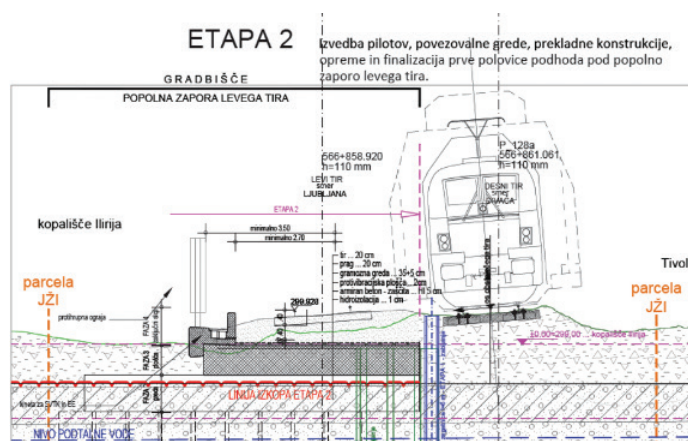
Key words: underpass, box jacking, railway, integral construction

1 UVOD

Podhod Latterman leži na Tivolskem loku v Ljubljani in predstavlja nadaljevanje starega Lattermanovega drevoreda, ki poteka v parku Tivoli (slika 1). Podhod nosi ime po Krištofu Lattermanu, avstrijskem guvernerju, ki je snoval ureditev osrednjega ljubljanskega parka. Zasnova in začetki parka Tivoli segajo v leto 1813, v čas Ilirskih provinc. Jean Blanchard je takrat začel urejanje parka in snovanje drevoredov. A ker so Ilirske province hitro propadle, je njegovo delo nadaljeval avstrijski guverner Krištof Latterman, po katerem se podhod imenuje. Krištof Latterman je parku dodal novo pot – drevored, ki



Slika 1. Območje Tivolskega parka in lokacija podhoda. Z rumeno črto je označena prvotna Lattermanova linija, z rdečo pa sedanja.



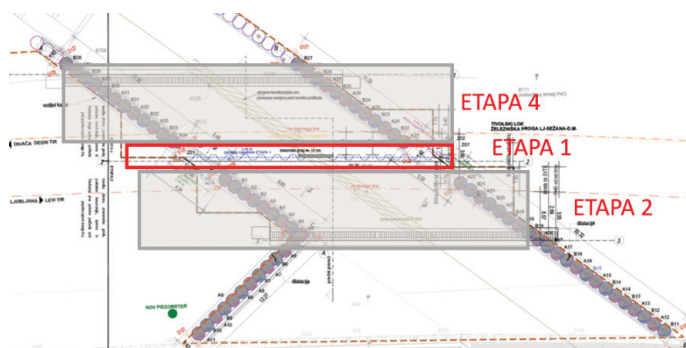
Slika 2. Prvotna zasnova z etapno gradnjo [Elea iC, 2021].

povezuje današnje Namo preko Cankarjeve ceste z gradom Tivoli. Nova povezava je bila med meščani zelo priljubljena in sprejeta, zato so drevored poimenovali po njem. Kasneje sta na drevoredu in povezavi svojo sled pustila še slikar Rihard Jakopič in arhitekt Jože Plečnik, zato so ga preimenovali v Jakopičev drevored oziroma v Jakopičevo sprehajališče. Ker pa je imel Latterman velike zasluge pri zasnovi in razvoju parka, so po njem kasneje poimenovali drevored med gradom Tivoli in kopališčem Ilirija.

Leta 1850 zgrajena železnica je park zmanjšala, presekala njegove povezovalne poti in ga s tem ločila od mesta. Da bi povezanost ponovno obudili, so v drugi polovici 20. stoletja zgradili tri podhode, in sicer pri Rožni dolini, Moderni galeriji in Narodnem domu, in tako je do pred kratkim manjkala le še povezava na mestu Lattermanovega drevoreda.

Ko je investitor izrazil željo po obuditvi povezave s parkom Tivoli, je bila v izvedbi že gradnja novega kopališča Ilirija, in ker je Lattermanova linija zaščitena, se vanjo ne sme posegati z objekti. Zaradi tega je kopališče Ilirija razdeljeno na dva objekta; na plavalni kompleks in telovadnico. Vmes po Lattermanovi liniji poteka sprehajališče, ki je dostopno vsem meščanom. Ker pa bi bila ta delitev objektov Ilirije nesmiselna, če s sprehajališčem ne bi nadaljevali proti Tivoliju, je investitor izrazil željo po gradnji novega podhoda na mestu, kjer Lattermanovo linijo seka dvotirna železnica.

Oktober 2021 smo v podjetju dobili nalogo sprojektirati nov podhod na mestu Lattermanove linije. Ker je takrat na tem mestu ravno potekala nadgradnja železniške proge med Ljubljano in Brezovico, smo zasnovali rešitev z etapno gradnjo (slika 2). V času projektiranja je bila aktivna zapora levega tira, zato je bila najprej predvidena gradnja polovice objekta pod tem delom, ko pa bi se zapora tirov obrnila, bi se zgradila še preostala polovica. V ta namen se je v medtirni prostor tudi že zabilo zagatnice za varovanje izkopa med gradnjo. Ker pa se investitorju, nadzorniku in izvajalcu ni uspelo pravočasno dogovoriti glede izvedbe in je bilo do konca zapore levega tira premalo časa za izvedbo prve polovice objekta, so projekt in vsa pripravljena dokumentacija padli v vodo.



Delitev objektov kopališča in izvedba sprehajališča, ki bi brez izvedbe podhoda trčilo v tيره, bi bila nesmiselna, zato smo pristopili k iskanju novih možnosti izvedbe podhoda.

2 ZASNOVA

Pri zasnovi je veliko vlogo igrala izbira načina gradnje. Na mestu podhoda poteka dvotirna železnica, ki je ena najbolj obremenjenih v državi, zaradi česar smo stremeli k načinu gradnje,

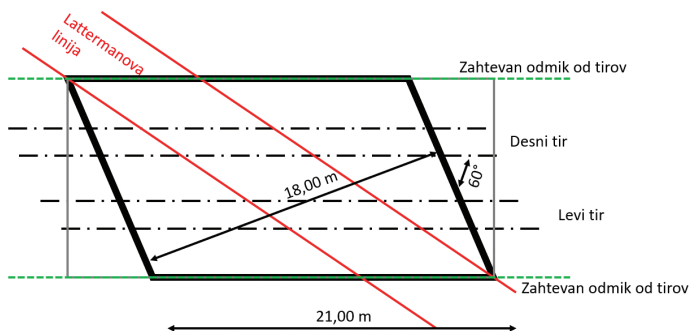
ki bi čim manj vplival na železniški promet. Daljših zapor železniškega prometa nismo imeli na voljo.

Investitor:	Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo in Mestna občina Ljubljana
Projekt:	Podhod Latterman
Projektant:	Elea iC, d. o. o.
Izvajalec:	Makro 5 gradnje, d. o. o.
Nadzor:	DRI upravljanje investicij, d. o. o., GTS inženiring, d. o. o.

Preglednica 1. Osnovni podatki o projektu.

Izbrali smo tehnologijo gradnje s podiranjem in sprotnim izkopavanjem. Pri tem načinu gradnje se objekt v celoti zgradi ob končni lokaciji, nato pa se ga s pomočjo hidravličnih batov potisne na končno mesto.

S takim načinom gradnje se lahko objekt potiska ali vleče. Gradnja na strani parka Tivoli zaradi posega v park in samih dostopov ni bila mogoča, zato je bila edina možnost gradnja s strani Ilirije, kjer je že bilo aktivno gradbišče kopališča. To je pomenilo, da terminsko vplivamo na gradnjo kopališča, saj je bilo



Slika 3. Gabarit objekta.

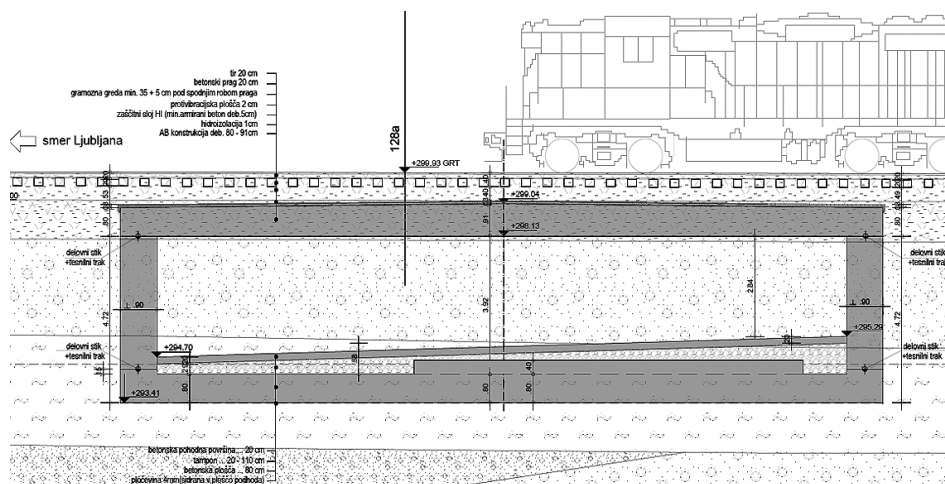
gradbišče podhoda sredi gradbišča Ilirije, s čimer ga je oviralo. Vsled tega smo imeli zelo kratke roke, ki pa smo jih z angažmajem vseh akterjev tudi izpolnili.

Vsa projektna dokumentacija, z opravljeno revizijo, verifikacijo in pridobljenimi soglasji, je bila izdelana v šestih mesecih. Podhod je bil izveden kot vzdrževalna dela v javno korist, saj leži na območju javne železniške infrastrukture.

Obliko in zasnovo podhoda narekuje izbrana tehnologija gradnje. Zaradi podiravanja mora biti objekt zasnovan kot škatla. Lattermanova linija seka smer železniške proge pod zelo ostrim, neugodnim kotom. Pravilniki [DRSC, 2001] narekujejo, da je lahko najmanjši dovoljeni kot križanja železnice z objektom 60° . Pri manjšem kotu križanja je treba izvesti dodatne ukrepe, ki pa v primeru podiravanja ne pridejo v poštev. Poleg tega pravilniki določajo minimalen odmik kinete, ograj in posledično roba objekta od osi tira. Z upoštevanjem vseh teh robnih pogojev dobimo objekt zelo velikih dimenzij, zaradi katerih je bilo treba prekladno ploščo podpreti z dvema stebroma; pravokotna razdalja med opornikoma znaša kar 18 m, dolžina objekta vzdolž robnega venca pa 21 m. To je najdaljši tovrsten objekt, zgrajen s tehnologijo podiravanja v Sloveniji.

Minimalni odmik prekladne plošče od tirov je definiran s pravilniki [UL RS, 2010], prav tako minimalna svetla višina znotraj podhoda. Višina opornika je 3,92 m, kar zadošča zahtevam. Znotraj podhoda namreč pot poteka v naklonu in v nasutju, saj smo le tako dosegli še sprejemljive velikosti naklonov navesovalnih poti, s katerimi se priključujemo na že obstoječe poti v parku Tivoli.

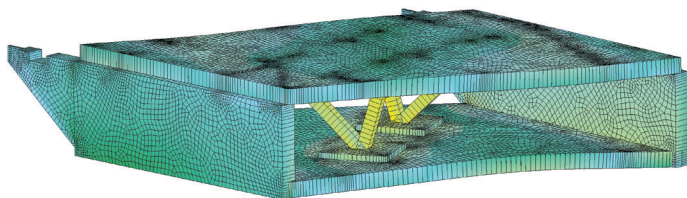
Objekt je zasnovan kot škatla z debelino temeljne plošče 80 cm, ki je na mestu stebrov povečana za 40 cm. Stene podhoda so debeline 90 cm, preklada pa ima strešni naklon in je pri vpetju v stene debeline 80 cm, na sredini razpona pa 91 cm. Uporabljen je bil beton trdnostnega razreda C40/50. Na obeh straneh objekta je robni venec s kineto. Celotna širina mostne kape je 146 cm, kineta je široka 50 cm. Na robni venec je nameščena protihrupna ograja z večjimi transparentnimi paneli. Vse notranje površine so vidne, predpisan je vidni beton tipa VB3. Objekt je narejen iz neprepustnih betonov po metodi bele kadi.



Slika 4. Vzdolžni prerez objekta [Elea iC, 2022].

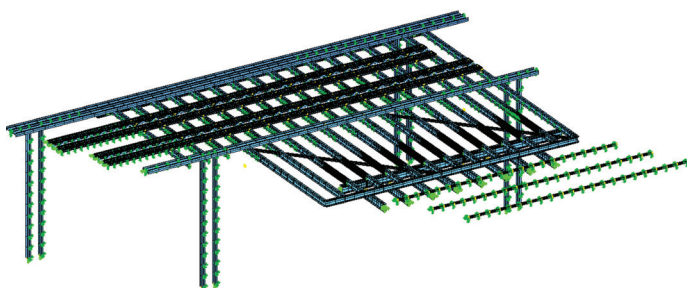
Računska hitrost proge za tovarne in klasične vlake na tem mestu je 100 km/h, kategorija nosilnosti proge pa D4. Proga na podhodu poteka v radiju $R = 500$ m in ima vzdolžni naklon 0,18 % (L50) oz. 0,23 % (D50).

S programskim orodjem SOFISTiK [SOFISTiK, 2020] je bila naredjena statična analiza z upoštevanjem obtežnih shem LM71, SW0 in SW/2 [SIST, 2004]. Dinamični vplivi so bili zajeti z dinamičnim faktorjem $\Phi = 1,21$, upoštevan je bil faktor razreda obtežbe $\alpha = 1,21$. Ob vertikalnih obremenitvah so bili upoštevani tudi vplivi pripadajočih horizontalnih sil (pospeševanje in zaviranje, bočna sila in centrifugalna sila). Masa podhoda je 2200 t.



Slika 5. Model podhoda [SOFISTiK, 2020].

Ločeno je bila zmodelirana in preverjena tudi celotna jeklena konstrukcija, ki podpira železniški promet med gradnjo.



Slika 6. Model jeklene podporne konstrukcije [SOFISTiK, 2020].

3 TEHNOLOGIJA GRADNJE

Gradnja objekta s podiranjem in sprotim izkopavanjem ima najmanjši vpliv na železniški promet. Objekt je bil v celoti zgrajen na delavnici, 30 m oddaljeni od končne lokacije.

Delavnico predstavlja armiranobetonska plošča, na kateri je bil zgrajen celoten podhod. Robovi delavnice imajo vodila, ki služijo usmerjanju objekta med podiranjem. Površina delavnice mora biti ustrezno zglajena, da se doseže čim manjše trenje med podiranjem objekta. Zadnji del delavnice predstavlja odrivna greda, v katero se upre s hidravličnimi bati. Greda je bila dimenzij 150 x 100 cm in temeljena s 45 jet grouting slopi v obliki kože, torej s tlačno-nateznim parom.

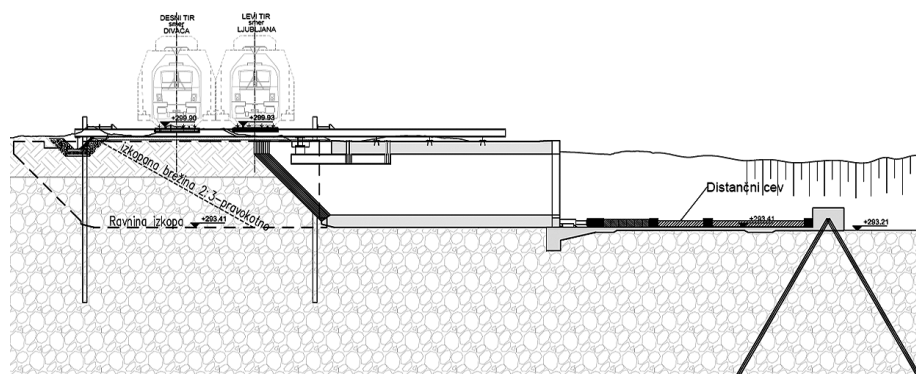
Zaradi tehnologije s sprotim izkopavanjem je bilo treba opornika podaljšati v nože. Gre za armiranobetonski element trikotne oblike, ki med podiranjem varuje izkop, poleg tega pa služi kot podpora jeklenim nosilcem, preko katerih se prenaša železniška obtežba.

Pripraviti je bilo treba tudi železniško opremo. Betonski pragovi so bili zaradi pritrdjevanja provizorijev zamenjani z lesenimi, tir je bil višinsko reguliran, vozna mreža pa korigirana. Nato so bili na tise nameščeni tirnični provizoriji. Zaradi velike dolžine objekta je bilo na vsakem tiru treba sestaviti več provizorijev različnih dolžin (6,5 m + 12 m + 12 m + 6,5 m), čemur je sledila namestitev nosilcev HEB 600, ki so se uvlekli pravokotno pod tise in katerih funkcija je bila prenos železniške obtežbe. Nosilci so na eni strani podprti s objektom, ki pod njimi drsi, na strani Tivolija pa so sloneli na nosilcu HEB 600, ki je bil podprt s točkovnimi temelji. Horizontalne obremenitve so se prenašale preko nosilcev HEB 800, ki so se upirali v štiri armiranobetonske grede, sidrane z jet grouting slopi. Zaradi velike razdalje med noži je bil prvi podporni nosilec na objektu podprt s konzolami HEB 400.

Na vsakem tiru je bila potrebna 12-urna zapora, znotraj katere so bili zamenjani pragovi, ter urejena tir in vozna mreža. Namestitev provizorijev in uvlečenje nosilcev je potekalo pod aktivnim železniškim prometom, ob prisotnosti čuvajev. Med celotnim podiranjem je bila največja dovoljena hitrost vlakov 30 km/h.

Ko je bilo vse pripravljeno in je beton podhoda dosegel zadostno trdnost, se je začelo podiravanje. Podiravanje se je izvajalo s 16 bati, ki so bili razporejeni v dve skupini, postavljeni vsaka na svoj rob podhoda. S tem je bilo zagotovljeno lažje manevriranje pri podiravanju. Hod bata znaša 50 cm in po vsakem raztegu se je bat skrčil, praznina pa se je založila z distančnikom.

Podiravanje se je začelo 9. 1. 2023 in je trajalo tri tedne, sočasno pa je potekal izkop materiala. Podiravanje je potekalo v oteženih pogojih. Poleg majhne svetle višine podhoda in stebrov v osrednjem delu, ki so upočasnjevali hitrost odvoza materiala,



Slika 7. Shema tehnologije podiranja [Elea iC, 2022].



Slika 8. Vgradnja provzorijev in uvlačenje nosilcev pod trome med prometom (slika levo) ter delavnica (slika desno).



Slika 9. Izvedena temeljna plošča (slika levo) in betoniranje preklade (slika desno).

sta izkop oteževala še deževno obdobje in velik dotok zaledne vode na čelu izkopa, ki je izkopni material spreminjal v tekoče blato. Temperature so bile blizu ledišča, gradbišče pa je med podiranjem celo pobelil sneg.

Podirvanje je bilo razdeljeno v dve fazi; prva faza je bila dolžine 15 m, druga pa 14,5 m. Po prvi fazi se je distančnike odmaknilo, za objektom pa je bila dodatno zabetonirana odzivna plošča,

ki je bila povezana s temeljno ploščo objekta. Z dodatno ploščo smo se izognili velikim uklonskim dolžinam distančnikov in naredili prehod objekta iz delavnice na teren bolj zvezen.

Med podiranjem smo naleteli na še eno oviro, in sicer na zagatnice, ki so ostale v terenu od prvotne zasnove in ki niso bile pravočasno odstranjene. Zagatnice so bile postavljene v osi opornika in so onemogočale nadaljnje podirvanje. Po petih



Slika 10. Začetek podirvanja (slika levo) in zalaganje distančnikov (slika desno).



Slika 11. Oteženi pogoji izkopa.

dneh naporega dela so bile zagatnice naposled odstranjene in podrivanje se je nadaljevalo. Celotno podrivanje je trajalo 18 dni in je bilo končano 26. 1. 2023. Brez zamud z zagatnicami bi (skupaj z betoniranjem dodatne odrivne plošče) podrivanje trajalo 14 dni.



gostem stanju. Plasti se prepletajo s slojem peščenega melja in meljne gline v srednje do težko gnetnem stanju in se različno izklinjajo v prostoru. Geološka sestava je na tem območju zelo heterogena, s pogostim menjavanjem slojev, zato je bilo težko določiti natančen potek plasti.



Slika 12. Začetek podrivanja (slika levo) in preboj ter sklepna faza podrivanja (slika desno).

Ko je bil objekt na končni lokaciji, se je začela rušitev delavnice in odrivne grede, da se je v čim krajšem času sprostilo gradbišče kopališča Ilirija. Sledili so odstranjevanje jeklenih nosilcev, tirničnih provizorijev, menjava pragov ter regulacija vozne mreže in tirov. Za to je bila potrebna 12-urna zapora na vsakem tiru. Sledili so izvedba robnih vencev, rušitev nožev ter nadaljevanje izkopov za navezovalne poti proti Tivoliju. Skupaj so bile na tirih potrebne štiri 12-urne zapore in še dodatna 12-urna zapora za končno regulacijo objekta.

4 ZALEDNE VODE

Podrivanje je oteževal velik dotok zaledne vode na čelu izkopa, ki ga z raziskovalnimi vrtnami nismo zaznali. Tla so slabo nosilna, sestavljena iz peščeno zaglinjenih prodov, ki so v srednje

V sklopu gradnje kopališča Ilirija je bila vzdolž gradbene jame za varovanje izkopa izvedena diafragma, ki je preprečila naraven pretok zaledne vode z območja Šišenskega hriba proti Ljubljani. Voda se je verjetno kanalizirala in nabrala ravno na območju podhoda, ki predstavlja edino odprtino v diafragmi in hkrati preprečuje pretok vod naprej proti Celovski cesti. Višina zalednih vod se je po končanem podrivanju ob podhodu dvignila za 1 m.

Zaradi tega smo okoli podhoda naredili nearmirano tesnilno zaveso iz jet grouting slopov premera 60 cm in v rastru 50 cm, ki je segala v nepropusten glinen sloj. S tem smo preprečili dotok zaledne vode v podhod. Za primer ekstremnih vremenskih razmer in prelijanja vode preko tesnilne zaveso so v podhodu nameščene drenažne cevi, ki so speljane v črpališče, od koder se voda po potrebi prečrpava.

5 IZHOD TIVOLI

Zasnova navezovalnih poti in izhoda je prinesla kar nekaj iz-
zivov, saj je podhod v krajinskem parku Tivoli, Rožnik in Šišenski
hrib. Pri načrtovanju je bilo treba ob že tako neugodnih robnih
pogojih zadostiti še pogojem in željam veliko deležnikov. Na
zelo kratki razdalji je bilo treba premostiti večjo višinsko raz-
liko, ob tem pa ugoditi pravilnikom za gibalno ovirane osebe
in kolesarje. Poleg tega je bilo treba upoštevati zahteve glede
zasaditev in poteka drevoreda Zavoda za varstvo narave Repu-
blike Slovenije [ZRSVN, 2023] ter poteka Lattermanove linije
Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije [ZVKDS, 2022]
in hkrati izhod smotrno umestiti v prostor. Končna rešitev je
zasnovana tako, da glavna promenada poteka po Latterma-
novi liniji in se v zadnjem delu, preko stopnic, dvigne na nivo
preostalih poti v Tivoliju. Ob promeni je zasajen kostanjev
drevored, ki se bo navezal na obstoječ drevored v parku. Za
gibalno ovirane osebe je bila dodana rampa blažjega naklona
v obliki cikcaka.



Slika 13. Gradnja izhoda iz podhoda.

Kolesarji se v zadnjem delu od skupne osrednje poti ločijo
in se po svoji rampi navežejo na preostale kolesarske poti v
Tivoliju.

Tlaki znotraj podhoda potekajo v naklonu 3,5 %, saj smo s tem
dosegli navezavo na pot na strani Ilirije in hkrati največjo mož-
no višino tlaka na izstopu iz podhoda, kar nam je omogočilo
manjše naklone navezave na obstoječe poti v Tivoliju. Višinska
razlika do obstoječih poti v parku Tivoli tako znaša 3,45 m in
smo jo premostili z za kolesarje še sprejemljivo rampo naklona
8,1 %. Za gibalno ovirane osebe je bila dodana rampa naklona
6,4 %.

6 SKLEP

Tehnologija gradnje podhoda je pomenila svojevrsten izziv. Za
gradbene projekte ni ravno vsakdanje, da so zgrajeni na eni
lokaciji in jih nato premaknejo na končno lokacijo. Pri opisa-

nem projektu smo bili primorani v tako rešitev, saj večje zapore
železniškega prometa niso bile mogoče.

Lattermanov podhod tako predstavlja novo izvennivojsko kri-
žanje z železnico in to v samem središču Ljubljane. Z novim
podhodom se oživlja stara povezava mesta s parkom Tivoli.
Lattermanova avenija bo tako postala ena glavnih vhodnih
točk v mestni park in s tem velika pridobitev glavnega mesta
in njegovih uporabnikov.

7 LITERATURA

Dr Jam Travels, spletna stran - <https://drjamtravels.blog/sl/tivoli-roznik-in-sisenski-hrib>, popotniški dnevnik Dr Jam Travels-
Experiencing the Earth, 2023.

DRSC, TSC 07.114, Premostitveni objekti v območjih železniških
prog, Direkcija Republike Slovenije za ceste, Ljubljana, 2001.

Elea iC, d. o. o, Podhod Latterman, etapna gradnja, Projektna
dokumentacija IDZ, Izvedbeni načrt, 2021.

Elea iC, d. o. o, Podhod Latterman, Projektna dokumentacija
IDZ, Izvedbeni načrt, 2022.

SIST, SIST EN 1991-2: 2004, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije –
2. del: Prometna obtežba mostov, Slovenski inštitut za standar-
dizacijo, Ljubljana, 2004.

SOFISTIK, SOFISTIK AG, Flataustr. 14, 90411 Nürnberg, 2020.

UL RS, Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, Uradni
list RS, št. 92/10, 2010.

ZRSVN, Projektni in drugi pogoji v postopku pridobitve grad-
benega dovoljenja št.: 3562-0724/2021-16, Zavod Republike
Slovenija za varstvo narave, Ljubljana, 2023.

ZVKDS, Kulturnovarstveni pogoji št.: 35102-0954/2021-3, Zavod
za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Ljubljana 2022.