

GRADNJA PODZEMNIH POVEZAV MED NOVIM PODZEMNIM OBJEKTOM IN KLETNIMI PROSTORI STARE GROFIJE V CELJU – ZAŠČITA IZKOPOV IN IZVEDBA GRADNJE

CONSTRUCTION OF CONNECTION CORRIDORS BETWEEN A NEW UNDERGROUND OBJECT AND THE CELLAR OF STARA GROFIJA IN CELJE - DETERMINATION OF EXCAVATION PROTECTION MEASURES AND CONSTRUCTION OF CORRIDORS

dr. Bojan Čas, univ. dipl. inž. grad.

bojan.cas@fgg.uni-lj.si
UL, FGG, Jamova 2, Ljubljana

dr. Jurij Šporin, univ. dipl. inž. rud. in geoteh.

jurij.sporin@ntf.uni-lj.si
UL, NTF, Aškerčeva 12, Ljubljana

Strokovni članek

UDK 625.712.3(497.4Celje)

Povzetek | V letu 2017 je Mestna občina Celje pričela z izvedbo projekta zaščite arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju. Zaščita arheoloških ostalin je bila opravljena z gradnjo podzemnega objekta, ki je zajemal tudi gradnjo dveh podzemnih povezav s kletnimi prostori zgradbe Stara grofija, v kateri je nastanjen Pokrajinski muzej Celje. Podzemne povezave med novim objektom in kletnimi prostori Stare grofije so umeščene pod območjem konstrukcijsko občutljivih zunanjih arkadnih hodnikov. Na podlagi geotehničnega mnenja, analiz obstoječe stavbe ter deloma že zgrajenih konstrukcij novega podzemnega objekta so bili podani konstrukcijski ukrepi za zagotovitev varnosti in stabilnosti severnih in zahodnih zunanjih arkadnih hodnikov zgradbe Stara grofija med izkopnimi deli. V članku so opisani načrtovanje, tehnološki postopki in gradnja obeh podzemnih povezav v zelo omejenem in konstrukcijsko občutljivem prostoru zgradbe Stara grofija po t. i. sistemu »cut & cover«.

Ključne besede: podzemna hodnik, varovalne konstrukcije, »cut & cover«, rekonstrukcija

Summary | In 2017, the Municipality of Celje launched a project for the protection of archaeological remains in the Muzejski trg area in Celje. The protection of archaeological remains was carried out by constructing an underground facility that included two connections to the basements of the Stara grofija, where now the Celje regional museum is located. The underground connections between the new building and the basements of the Stara grofija are situated under the old arcade corridors and stairways, the construction of which is structurally very sensitive. Construction protection measurements, to ensure structural stability and safety of northern and western arcaded corridors of existing

museum building, were determined by preliminary static calculations and geotechnical inspection of the location. In the article, the planning, technological approach and excavation works executed in very limited and structurally sensitive space, based on "cut & cover" principle, are presented.

Key words: adhesive, bonded joint, timber, glass

1 • UVOD

V letu 2017 je Mestna občina Celje pričela z gradnjo podzemnega objekta za zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju (slika 1) (Navor, 2017). Arheološka izkopavanja ter gradbena dela za izvedbo podzemnega objekta in povezovalnih hodnikov so se iz-

izvedeni pod sistemom konstrukcijsko zelo občutljivih zunanjih arkadnih hodnikov omenjene zgradbe.

Da bi bilo mogoče podzemni povezavi strokovno korektno in varno izvesti, predvsem v smislu zagotavljanja mehanske od-



Slika 1 • Arheološke ostaline na Muzejskem trgu v Celju.

vajala v neposredni bližini obstoječe zgradbe Pokrajinskega muzeja Celje, ki se imenuje tudi Stara grofija. Nad zgrajenim podzemnim objektom za zaščito arheoloških ostalin sta se po končanih delih uredili pohodna in povozna površina Muzejskega trga.

Zgradba Stara grofija je stara več stoletij. V preteklosti je bila večkrat konstrukcijsko preurejena z izvedenimi prezidavami in dozidavami. Zgradba ima v osnovi zgrajeno klet, pritlične prostore, prostore nadstropja ter podstrešne prostore, na Muzejski trg sta orientirana zahodni ter severni arkadni hodnik s stopniščem. Temeljenje arkadnih stebrov je izvedeno na nivoju stropne konstrukcije nad kletnimi prostori.

V sklopu novega podzemnega Objekta za zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu je bila predvidena gradnja podzemne povezave z južnim traktom kletnih prostorov zgradbe Stara grofija. Po odločitvi naročnika sta se zasnovali (Korpnik, 2018a) in zgradili dve (južna in vzhodna) podzemni povezavi, s katerima se je novozgrajeni podzemni objekt povezal s kletnimi prostori Stara grofija (slika 2). Podzemni povezavi sta bili zasnovani in

pornosti, stabilnosti ter preprečitve nastanka konstrukcijskih poškodb elementov zunanjih arkadnih hodnikov, je bilo predhodno izdelano geotehnično mnenje o mikrolokaciji območja (Geosolut, 2018), ob tem pa izvedena statična presoja stanja obstoječih arkadnih

hodnikov (Korpnik, 2018b) skladno z veljavno zakonodajo ((SIST EN 1990, 2004), (SIST EN 1991-1-1, 2004), (SIST EN 1992-1-1, 2005), (SIST EN 1997-1, 2005)). Poleg navedenega so bile opravljene tudi računske analize in dimenzioniranje elementov obeh podzemnih povezav (Korpnik, 2018b). Na podlagi geotehničnega mnenja ter rezultatov računskih analiz so bili definirani tehnologija izkopa in konstrukcijski ukrepi za zagotovitev varnosti in stabilnosti severnega in zahodnega arkadnega hodnika zgradbe Stara grofija med predvidenimi gradbenimi posegi.

Ob pričetku izdelave projektne dokumentacije za izvedbo podzemnih povezav so dela na objektu za zaščito arheoloških ostalin prehajala v zaključno fazo gradnje nosilnih konstrukcij. Na podlagi opravljenih računskih analiz (Korpnik, 2018b), ob navezavi na že izdelano dokumentacijo (Navor, 2017), ter ob konstruktivni koordinaciji s projektantom objekta za zaščito arheoloških ostalin je bilo mogoče prilagoditi izvedbo vzhodne armiranobetonske stene osnovnega podzemnega objekta tako, da so se sočasno z izvedbo stene izvedle tudi kasneje potrebna odprtina v omenjeni steni ter varovalne konstrukcije arkadnih hodnikov. Te varovalne konstrukcije so bile potrebne v kasnejših fazah izkopa vzhodne podzemne povezave.



Slika 2 • Pogled na zahodni in severni arkadni hodnik zgradbe Stara grofija, gradbišče objekta za zaščito arheoloških ostalin, ter z rdečima puščicama nakazani smeri vzhodne in južne podzemne povezave.

2 • IZVEDBA VAROVALNIH KONSTRUKCIJ OBSTOJEČE ZGRADBE

2.1 Geotehnična sestava temeljnih tal

Predvidene geološko-geotehnične preiskave so predvidevale izvedbo vsaj ene geomehan-

zaradi že izvedenih gradbenih konstrukcij v neposredni bližini predvidenih izkopov, heterogenih nasutij ter zaradi obstoja arheoloških



Slika 3 • Temeljna tla na območju temeljenja stebrov arkadnih hodnikov.

ske vrtnice ter več preiskav s penetrometrom za določitve geološke sestave terena in geomehanskih lastnosti zemljin in hribin, ki nastopajo na tem območju (slika 3). Predvsem

objektov (antični in srednjeveški zidovi), ki so bili odkriti na območju posega, predvidene preiskave ne bi imele posebnega smisla, saj bi bili rezultati le-teh nereprezentativni in ne bi

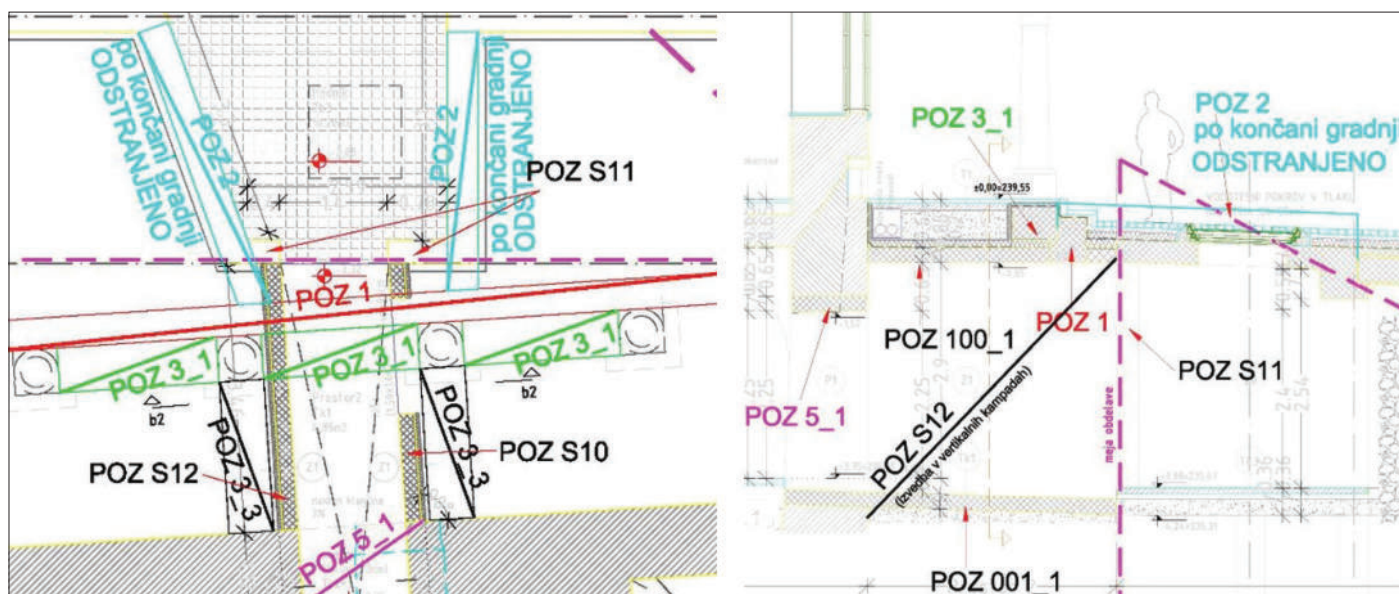
prikazovali dejanskega stanja tal neposredno pod temeljnimi nastavki stebrov arkad. Tako je bilo v smislu geološko-geotehničnih lastnosti prostora, v katerega smo posegali, upravičeno pričakovati, da bomo med izvedbo del naleteli na precej heterogene oziroma spreminjajoče se lastnosti temeljnih tal.

2.2 Južna podzemna povezava

Način varovanja temeljev priljubljenih stebrov severnega arkadnega hodnika je temeljil na gradnji armiranobetonskih varovalnih konstrukcij, ki so se opirale na že zgrajene armiranobetonske konstrukcije podzemnega objekta za zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu. Izkoristili smo že izdelani armiranobetonski podzemni podaljšek (dva armiranobetonska pilota premera 40 cm, vkopane stene debeline 40 cm, stropna plošča debeline 30 cm s stropno odprtino) podzemnega objekta v smeri proti jugu, ki je predstavljal nastavek za izvedbo južne podzemne povezave.

Pred začetkom izvajanja izkopov so zgradili:

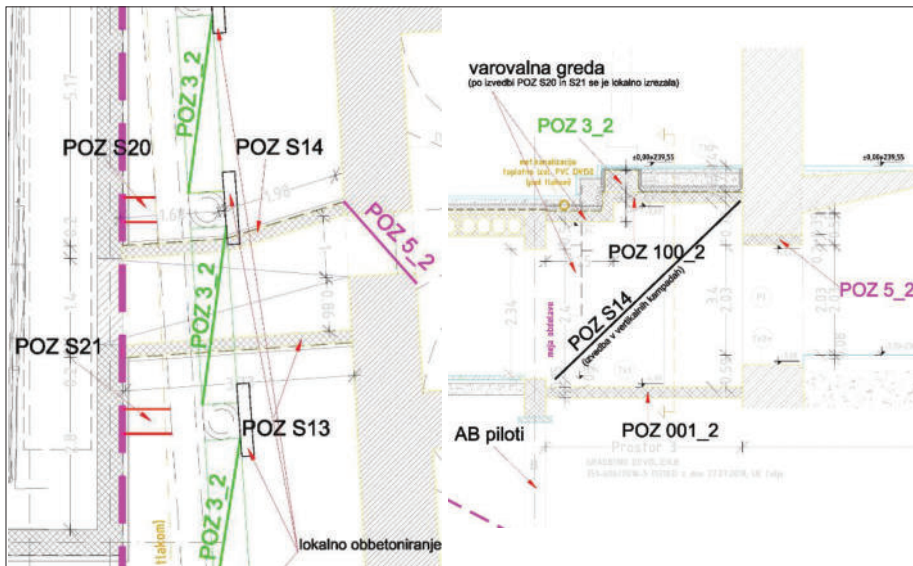
- zaščitno armiranobetonsko povezovalno gredo POZ 1 (b/h = 40/60 cm) za bočno stabilizacijo štirih temeljev arkadnega hodnika v območju izkopov,
- dve prečni oporni armiranobetonski gredi POZ 2 (b/h = 40/60 cm), ki sta se preko vgrajenih vertikalnih sider povezali s predhodno izvedenimi armiranobetonskimi stenami podzemnega objekta,
- razpiralne armiranobetonske grede POZ 3_1 in POZ 3_3, ki so se izdelale po odkopu temeljev arkadnih stebrov in so se z vgradnjo sider povezale z obstoječimi točkovnimi temeljnimi nastavki stebrov



Slika 4 • Pozicije varovalnih konstrukcij (tloris in prerez) obstoječe zgradbe ob gradnji južne podzemne povezave.



Slika 5 • Armiranobetonski varovalni gredi, izvedeni v dveh nivojih, povezani preko pasivnih sider z obstoječim kletnim zidovjem Stare grofije.



Slika 6 • Pozicije varovalnih konstrukcij (tloris in prerez) obstoječe zgradbe ob gradnji vzhodne podzemne povezave.

arkadnega hodnika in obstoječim zidovjem zgradbe Stara grofija (slika 4).

2.3 Vzhodna podzemna povezava

Prav tako se je tudi ob gradnji vzhodne podzemne povezave najprej pristopilo k izvedbi varovanja temeljenja pritičnih stebrov zahodnega arkadnega hodnika.

Dodajmo, da sta se ob gradnji podzemnega objekta za zaščito arheoloških ostalin na vzhodni strani gradbene jame z namenom varovanja obstoječega temeljenja pritičnih stebrov arkadnega hodnika že predhodno v dveh nivojih izvedli varovalni horizontalni gredi prečnih dimenzij okvirno $b/h = 20/120$ cm, ki sta se s pomočjo 11 pasivnih jeklenih sider $\phi 32$ mm povezali s kletnim zidovjem vzhodnega dela zgradbe Stara grofija (slika 5).

Varovanje temeljenja pritičnih stebrov zahodnega arkadnega hodnika je temeljilo na:

- prilagoditvi lokacij izvedbe armiranobetonskih pilotov premera 40 cm pod vzhodno armiranobetonsko obodno steno objekta za zaščito arheoloških ostalin, ki so bile predhodno usklajene s projektantom navedenega objekta (Navor, 2017),
- gradnji dveh krajših, prečnih povezovalnih armiranobetonskih sten (POZ S20 in POZ S21), ki sta zagotovili prenos obtežb temeljnih nastavkov arkadnih stebrov na v prejšnji alineji omenjeni sistem armiranobetonskih pilotov pod obodnimi stenami osnovnega podzemnega objekta, in
- izdelavi razpiralnih armiranobetonskih gred POZ 3_2, ki so se izvedle po odkopu temeljev arkadnega hodnika (slika 6).

3 • TEHNOLOGIJA GRADNJE PODZEMNIH POVEZAV

Izbrano tehnologijo gradnje podzemnih povezav so določali:

- ugotovitve geološko-geotehničnega pregleda (Geosolut, 2018) mikrolokacije območja posega,
- opravljena statična presoja stanja obstoječih arkadnih hodnikov,
- opravljene računske analize in dimenzioniranje obeh podzemnih povezav (Korpnik, 2018b) ter
- kulturno varstveni pogoji, ki jih je izdal Javni zavod RS za varstvo kulturne dediščine, Območna enota Celje.

Zaradi izjemnih preteklih arheoloških odkritij v območju posega sta bili izbrani tehnologija izkopa podzemnih povezav in dinamika napredovanja del ves čas gradnje, usklajevana

z Javnim zavodom RS za varstvo kulturne dediščine, Območna enota Celje.

Vsa dela, potrebna za gradnjo podzemnih povezav, so se izvajala z uporabo tehnologij in orodij, ki so vnašala kar najmanjše vibracije v bližnje okolico. Tako so bili uporabljeni ročna pnevmatska kladiva, tehnologija rezanja betonov ter kamnitega in opečnega gradiva z diamantnimi žagami in verigami, izkopi pa so se izvajali ročno. Predhodno je bila naročniku predstavljena ter z njegove strani potrjena izvedba podzemnih povezav po t. i. pristopu »cut & cover« z izkopi po vertikalnih kampadah od pohodnega nivoja v območju pritičja proti dnu predvidenega izkopa s sprotno izvedbo varovalnih in nosilnih vertikalnih konstrukcij. Po opravljenem

izkopu je bila v končni fazi predvidena še izvedba horizontalnih nosilnih konstrukcij, in sicer armiranobetonska temeljna in stropna plošča z navezavo na obstoječe kletne konstrukcije zgradbe Stara grofija in objekta za zaščito arheoloških ostalin.

Ob izdelavi projekta za izvedbo je bila predvidena gradnja podzemnih povezav, ki bi se izvajale v devetih zaporednih fazah:

1. Gradnja varovalnih konstrukcij temeljev arkadnih stebrov (slika 7)
2. Gradnja prve kampade (slika 8):
 - ročni izkop do globine največ 1 m,
 - takojšen obrizg z brizganim betonom bočnih izkopnih površin v debelini 5 cm s predhodno vgradnjo armaturne mreže Q335,
 - fina obdelava vertikalnih betonskih površin pred vgradnjo hidroizolacijskega sloja,



Slika 7 • Odkop temeljnih nastavkov arkadnih stebrov za izvedbo varovalnih konstrukcij.

- izvedba vertikalne hidroizolacije z bitumenskim varilnim trakom s spodvihanimi spodnjimi robovi na mestu preklopa slojev v globljih fazah izkopa,
- izvedba zaščite hidroizolacijskega sloja z vgradnjo sloja toplotne izolacije, npr. XPS, v debelini 3 cm,
- izdelava enostranskega opaža in betoniranje armiranobetonskih sten povezave debeline 20 cm z betonom kvalitete C25/30 z obojestranskim armiranjem v vertikalni in horizontalni smeri s palicami premera $\phi 10$ mm/15 cm. Pri tem se navpične armaturne palice kampade, ki se gradi, vgradijo 40 cm pod dno izkopa. Ti »podaljški palic« opravljajo funkcijo navpičnih povezav med posameznimi vertikalnimi kampadami. Posamezne

kampade sten se sidrajo v oba obstoječa objekta (v novozgrajeni podzemni objekt za zaščito arheoloških ostalin ter v obstoječo kletno zidovje Stare grofije) s sidri premera $\phi 14$ mm/25 cm. Sidra se vgradijo v predhodno izvrtane ter razprašene luknje z uporabo epoksidnih malt (sidranje v armiranobetonske konstrukcije) oziroma z uporabo s polimeri modificiranih cementnih malt (sidranje v kamnito zidovje). Ob izvedbi globljih kampad se opravi tudi ročno zametovanje območja stika kampad sten višine okvirno 10 cm z nabrekajočim betonom (agregat 0–8 mm) ter injektiranjem kontaktov z nabrekajočo cementno suspenzijo,

- po vezavi vgrajenih betonov sledita odstranitvev enostranskih opažev ter takojšnja



Slika 8 • Pričetek izkopa prve vertikalne kampade južne podzemne povezave.

izvedba prečnega razpiranja vertikalne kampade sten s kovinskimi razporami.

3., 4., 5. Gradnje druge tretje in četrte kampade

- v času, predvidenem za doseganje trdnosti vgrajenih betonov armiranobetonskih sten 1. vertikalne kampade, se ponovijo postopki, opisani v 2. fazi gradnje podzemnih povezav v 2. vertikalni kampadi ter na enak način ob nadaljevanju izkopa do dokončanja izvedbe 4. vertikalne kampade izkopa (slike 9, 10 in 11).

6. Gradnja temeljne plošče podzemne povezave

Ta faza obsega naslednja dela:

- izvedba 40 cm sloja komprimiranega izravnalnega nasutja, možna izvedba tudi



Slika 9 • Območje izkopa globljih vertikalnih kampad podzemnih povezav.



Slika 10 • Izkop globljih vertikalnih kampad, vidni so injekcijski nastavki, preko katerih se je injektiralo med izkopi odkrito kamnito-opečno gradivo.



Slika 11 • Izkop globljih vertikalnih karnadov, vidni so ostanki stropnega oboka srednjeveške kleti ter lokalno izžagano kamnito-opečno gradivo.



Slika 12 • Strojni izrez armiranobetonskih in prehodno injektiranih opečno-kamnitih zidov.

4 • MONITORING IN PROJEKTANSKI NADZOR

Pred pričetkom opravljanja del se je vzpostavil monitoring spremljanja stanja konstrukcijsko občutljivih elementov v območju posegov, ki se je izvajal ves čas gradnje. Sistem kontrolnih plombic, izdelanih iz fine, s polimeri modificirane malte, smo namestili preko karakterističnih razpok v obstoječem zidovju zgradbe Stara grofija (slika 13). Naročnik je med izkopi zagotavljal izvajanje geodetske spremljave nekaterih stebrov arkadnih hodnikov. Med izvedbo se je napredovanje del spremljalo

in sprotno usklajevalo tudi z rednim projektantskim nadzorom. Navedeno navajamo kot primer dobre prakse, saj zaradi dodatnega stroška naročniki monitoring vplivnega območja gradnje prepogosto opustijo. Kot se je izkazalo, je izvedba monitoringa predstavljala upravičen strošek, saj se je zaradi ugotovljene ugodnejše sestave temeljnih tal in na osnovi rezultatov monitoringa racionalizirala gradnja v smislu opuščanja določenih varovalnih in podpornih ukrepov, kar je posledično omo-

s t. i. pustim betonom kvalitete C16/20 v debelini 10 cm,

- izvedba horizontalne hidroizolacije z bitumenskim varilnim trakom,
- betoniranje armiranobetonske temeljne plošče debeline 25 cm, beton kvalitete C25/30, armiran z armaturno mrežo $\pm Q503$, vključno s sidranjem v obstoječe kletno zidovje s sidri $\phi 14$ mm/25 cm, vgrajenimi v predhodno izvrtane ter razprašene luknje z uporabo s polimeri modificiranih cementnih malt.

7. Gradnja stropne plošče

V tej fazi se opravijo opaženje, armiranje in betoniranje stropne armiranobetonske plošče debeline 25 cm, beton kvalitete C25/30, armiran z armaturno mrežo $\pm Q503$, vključno s sidranjem v kletno zidovje Stare grofije s sidri premera $\phi 14$ mm/25 cm, vgrajenimi v predhodno izvrtane ter razprašene luknje z uporabo s polimeri modificiranih cementnih malt.

8. Gradnja prehoda med podzemno povezo in kletjo Stare grofije

V tej fazi sta bila predvidena izvedba sistematičnega injektiranja območja preboja v kamnitem kletnem zidu Stare grofije ter strojni izrez odprtin z žaganjem z diamantnimi orodji, zidovi debeline okvirno 1,1 m. Sledil je strojni izrez preboja z žaganjem z diamantnimi orodji v armiranobetonski oporni konstrukciji povprečne debeline 35–40 cm, ki začasno podpira konstrukcije Stare grofije (slika 12).

9. V zadnji fazi se opravijo zaključna zidarska dela (ometi na notranjih površinah armiranobetonskih konstrukcij izvedenih podzemnih povezav), zaključna obrtniška in zemeljska dela.

gočilo precejšnje zmanjšanje stroškov sicer zahtevnih gradbenih posegov.



Slika 13 • Nameščene kontrolne plombice preko karakterističnih razpok v obodnem zidovju in obokanih stropih arkadnih hodnikov Stare grofije.

5 • GRADNJA

Ob gradnji se je izkazalo, da je prostor, v katerega smo z izkopi posegali, bistveno stabilnejši in kompaktnjši, kot je bilo mogoče pričakovati na osnovi preliminarnih geotehničnih ocen. Tako je bilo ob napredovanju izkopov ugotovljeno, da so temeljni nas-

tavki arkadnih stebrov vgrajeni na mešano kamnito opečno gradivo. Ob gradnji južne podzemne povezave so se odkrile tudi ostaline srednjeveške obokane kleti. Na podlagi ugotovljenega je bilo mogoče do določene mere poenostaviti prvotno predviden rela-

tivno zahteven tehnološki postopek izvedbe del. Tako se je, v dogovoru z odgovornim nadzornikom in naročnikom, opustilo varovanje bočnih izkopnih površin z brizganimi betoni, opustili so se tudi hidroizolacijski sloji, ki bi sicer zahtevali precej natančno obdelavo predvsem na vertikalnih preklonih posameznih izkopnih kampad.



Slika 14 • Pogled navzgor na arkade in izvedene varovalne konstrukcije iz izkopnega prostora in pogled na dno izkopa vzhodne podzemne povezave.

6 • ZAKLJUČEK

V članku smo predstavili načrtovanje, tehnološke postopke izkopa ter izvedbo dveh podzemnih povezav (slika 15), ki služita komunikaciji med kletnimi prostori zgradbe Stara grofija z novozgrajenim objektom za

zaščito arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju (slika 16). Načrtovanje gradbenih posegov je pomenilo precejšen tehnološki izziv, saj obe podzemni povezavi potekata v območju konstrukcijsko občutljivih

zunanjih arkadnih hodnikov zgradbe Stara grofija. Poleg navedenega se je izvedba del prilagajala navodilom stalnega arheološkega nadzora, saj smo imeli opraviti s posegi v območjih najdišča izjemnih arheoloških ostalin. Te so bile dodatno odkrite med izvajanjem izkopov, nekatere med njimi tudi odstranjene za restavriranje in kasnejšo trajno prezentacijo. Izvedba del je večidel

potekala skladno z izdelano projektno dokumentacijo. Glede na ugotovljeno stanje materialov med izvajanjem izkopov, rezultate monitoringa stanja obstoječih konstrukcij ter v soglasju z naročnikom in nadzorom je bilo

mogoče opustiti določene izvedbene ukrepe, predvidene v projektni dokumentaciji za izvedbo. Dobro sodelovanje med naročnikom, projektantom, nadzorom in izvajalcem se je odražalo v sprotne prilagajanju projektnih

rešitev glede na dejansko ugotovljeno stanje izkopov ob upoštevanju obvladovanja stroškov investicije. Navedeno nedvoumno predstavlja primer dobre prakse.



Slika 15 • Konstrukcije vzhodne podzemne povezave.



Slika 16 • Dokončana ureditev Muzejskega trga v Celju (Vir: Andraž Purg).

7 • LITERATURA

- Geosolut, Jurij Šporin, s. p., Geotehnično mnenje za zaščito temeljev arkad Stare grofije v Celju, št. dok.: 001/2018 GP/JŠ, januar 2018.
- Korpnik produkcija, d.o.o., Delna rekonstrukcija Stare Grofije, Mapa 1 – načrt arhitekture, faza PZI, št.proj. 240/2018, junij 2018a.
- Korpnik produkcija, d.o.o., Delna rekonstrukcija Stare Grofije, Mapa 3 – načrt gradbenih konstrukcij, faza PZI, št.nač./št.proj.: KM-strok-1_2018, 240/2018, junij 2018b.
- Navor, d.o.o., Zaščita arheoloških ostalin na Muzejskem trgu v Celju, Mapa 3.1 – načrt gradbenih konstrukcij, faza PZI, št. proj. 23/17-GK, oktober 2017.
- SIST EN 1990, Evrokod - Osnove projektiranja konstrukcij, september 2004.
- SIST EN 1991-1-1, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb, september 2004.
- SIST EN 1992-1-1, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe, maj 2005.
- SIST EN 1997-1, Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 1.del: Splošna pravila, maj 2005.