

ŠTUDIJA VPLIVOV GRADNJE PODZEMNIH OBJEKTOV NA POVRŠINO NA TRASI GRADNJE NOVE ŽELEZNIŠKE PROGE DIVAČA - KOPER



3727

1. Uvod

Tekstualni del
1.1.1.4.3.12.6.1.2
Za DŽI Eocen d.o.o. 27.5.2011

Na trasi nove železniške proge Divača – Koper je predvidena gradnja osmih železniških predorov. V prvi fazi je predvidena gradnja dvotirne proge do priključka na progo Trst-Divača v predoru T2 ter enotirne proge od priključka do Kopra.

Namen naloge je izdelava strokovnih podlag v fazi dopolnitve DLN za drugi tir v DPN za dvotirno progo – prva faza, in definira območja, kjer je možno pričakovati vplive podzemne gradnje na površje, objekte in podzemne jame.

Študija se nanaša na same predore, to je podzemno gradnjo, in ne obravnava portalnih območij predorov in objektov, ki se nahajajo v vplivnem območju portalnih konstrukcij. Prav tako ne obravnava območij z nizkim nadkritjem, kjer se v bližini ne nahajajo objekti.

2. Opis trase

Trasa proge poteka skozi dva dolga predora T1 in T2 med Divačo in Črnim Kalom v skoraj ravni liniji. Odprta trasa na tem odseku je predvidena samo v dolini Glinščice, kjer bo zgrajen tudi krajši predor T1a. Na Črnem Kalu proga zavije med stebri obstoječega avtocestnega viadukta Črni Kal proti italijanski meji, in poteka večinoma po manjših predorih od T3 do T7. V bližini italijanske meje zavije proti Kopru ter skozi predor T8 preide v odprto traso pod obstoječo regionalno cesto Divača- Koper.

Večina trase se nahaja v predorih, ki v glavnem potekajo pod nenaseljenimi področji. V predoru T2 je predvideno cepišče oziroma izvedba povezave Trst-Divača, skladno z meddržavnim sporazumom Slovenija-Italija. V prvi fazi dopolnitve je predvideno, da je trasa od Divače do cepišča v predoru T2 dvotirna, od cepišča do Kopra pa enotirna.

Pričujoča študija pri izračunih upošteva dvotirno progo (vsak tir v svoji predorski cevi) do cepišča v predoru T2, vključno z odsekom proge Trst-Divača, kolikor ga je potrebno zgraditi, da je možna nadaljna gradnja proti Trstu brez prekinitve prometa na progi Divača-Koper, ter enotirno progo od cepišča do Kopra.

3. Značilnosti predorov

V prvi fazi je predvidena gradnja predorov, katerih kratek opis je podan v nadaljevanju:

- **Predor T1**

V predoru je predvidena dvotirna proga, vsak tir se nahaja v svoji cevi. Predor poteka med Divačo in Dolino Glinščice. Medosna razdalja med predorskima cevema znaša na večini trase približno 25 m. Predor se nahaja v apnencu, na trasi obstaja velika verjetnost pojavljanja kraških jam.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 6700 m, dvocevni enotirni (tir je v obeh ceveh)
- medosna razdalja 25 m
- največja višina nadkritja 360 m

Večji objekti na površini:

- Vas Preložje pri Lokvi (med km 3+300,00 in km 4+200.00, med 30 in 130 m nadkritja, nad predori in 70 m desno od osi desne predorske cevi)
- Vas Vrhpolje (približno na km 6+575,00, približno 35 m desno od osi desne predorske cevi, približno 245 m nadkritja)
- Vas Krvavi potok (približno na km 8+450,00, nad predorskimi cevmi, približno 130 m nadkritja)

- **Predor T1A**

Gre za kratek predor v dolini Glinščice, v njem je predvidena enotina proga. Vzporedni tir poteka v odprti trasi. Dolžina predora znaša 60 m. Višina nadkritja nad predorom je majhna (do 15 m).

Osnovni podatki o predoru:

- L = 60 m, enocevni enotirni
- največja višina nadkritja 15 m

Večji objekti na površini:

Objektov na površini ni.

- **Predor T2 L = 5985 m, v večjem delu dvocevni enotirni (tir je v obeh ceveh), deloma pa tudi enocevni dvotirni z vzporednim servisnim predorom**

V predoru je predvidena dvotirna proga do cepišča, vsak tir se nahaja v svoji cevi. Predor poteka med Dolino Glinščice in Črnim Kalom. Medosna razdalja med predorskima cevema znaša na večini trase približno 25 m. Predor se nahaja v apnencu, deloma pa tudi v flišu. Na večjem delu trase obstaja velika verjetnost pojavljanja kraških jam.

Območje cepišča za progo Trst- Divača se nahaja med km 11+700,00 in 13+700,00. Na tem območju je predvidena gradnja dveh predorskih cevi proge Trst-Divača v takšni dolžini, da je v naslednjih fazah možna gradnja proge Trst-Divača vzporedno z obratovanjem proge Divača-Koper. Proti Kopru bo do Črnega kala grajena dvotirna proga, deloma kot dvotirna proga v ločenih predorskih ceveh, deloma kot dvotirna proga v eni predorski cevi, z vzporednim servisnim predorom.

Med km 13+750,00 in km 14+000,00 je predvidena še gradnja odcepa za progo Trst-Koper v takšni dolžini, da je v naslednjih fazah možna gradnja proge Trst-Koper vzporedno z obratovanjem proge Divača-Koper.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 5985 m, dvocevni enotirni (tir je v obeh ceveh) do in na območju cepišča, v nadaljevanju kot enocevni dvotirni z vzporednim servisnim predorom.
- medosna razdalja 25 m do cepišča, na območju cepišča pride do križanja cevi, v nadaljevanju do Črnega Kala dvotirna proga v eni cevi ter servisni predor na razdalji 25 m.
- največja višina nadkritja 225 m

Večji objekti na površini:

- Vas Beka (nad predorsko cevjo, približno na km 11+000,00, približno 130 m nadkritja)
- Predor Kastelec (nad predorsko cevjo, v km 12+700,00, preko 100 m nadkritja)
- Kamnolom Bradolini (nad predorsko cevjo, med km 14+300,00 in km 15+100,00, približno 180 m nadkritja)
- Regionalna cesta Koper Divača na južnem portalu (nad predorsko cevjo, v km 15+800,00, do 40 m nadkritja)
- **Predor T3 L = 330 m, enocevni enotirni**

Gre za krajši predor, katerega ne prečkajo večji objekti. Dolžina predora znaša 330 m. Gre za enotirno progo. Predor se nahaja v flišu.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 330 m, enocevni enotirni
- največja višina nadkritja 35 m

Večji objekti na površini:

Objektov na površini ni.

- **Predor T4, L = 1945 m, enocevni enotirni**

Gre za daljši predor, ki poteka na območju z nizkim nadkritjem, deloma pod obstoječo avtocestno povezavo Divača-Koper. Predorska cev se nahaja pod in med stebri obstoječega nadvoza nad avtocesto. Višina nadkritja je na tem odseku 15 m. Dolžina predora znaša 1945 m, predor je enocevni enotirni s prečnimi izhodi na vzhodno pobočje Osapske doline. Predor se nahaja v flišu.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 1945 m, enocevni enotirni
- največja višina nadkritja 70 m
- Predor ima dva prečna izhoda

Večji objekti na površini:

Avtocestna povezava Ljubljana-Koper, nadvoz nad avtocesto.

- **Predor T5, L = 115 m, enocevni enotirni**

Predor T5 je krajši predor, ki poteka na območju z nizkim nadkritjem. Dolžina predora znaša 115 m, predor je enocevni enotirni. Predor se nahaja v flišu.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 115 m, enocevni enotirni
- največja višina nadkritja 25 m

Večji objekti na površini:

Objektov na površini ni.

- **Predor T6 L = 335 m, enocevni enotirni**

Podobno kot predhodni predor je predor T6 krajši predor, ki poteka na območju z nizkim nadkritjem. Dolžina predora znaša 335 m, predor je enocevni enotirni. Predor se nahaja v flišu.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 335 m, enocevni enotirni
- največja višina nadkritja 35 m

Večji objekti na površini:

Objektov na površini ni.

- **Predor T7 L = 1150 m, enocevni enotirni**

Dolžina predora T7 presega dolžino 1000 m, zato so predvideni prečni izhodi na površino. Največja višina nadkritja znaša 50 m. Dolžina predora znaša 1150 m, predor je enocevni enotirni. Predor se nahaja v flišu.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 1150 m, enocevni enotirni
- največja višina nadkritja 50 m

Večji objekti na površini:

Objektov na površini ni.

- **Predor T8 L = 3760 m, dvocevni enotirni (glavna in servisna cev).**

Predor T8 je daljši predor, zato je predvidena izgradnja vzporedne servisne cevi, ki je z glavno povezana s prečniki. Največja višina nadkritja znaša 150 m. Dolžina predora znaša 3760 m, predor je dvocevni enotirni. Profil servisnega predora je manjši od glavne predorske cevi. Predor se nahaja v flišu.

Osnovni podatki o predoru:

- L = 3760 m, enocevni enotirni
- največja višina nadkritja 150 m

Večji objekti na površini:

- Vas Plavljje-Badna (nad predorsko cevjo, med km 23+100,00 do km 23+400,00 med 30 in 50 m nadkritja)
- Vas Zgornje Škofije-Četrta Škofija (nad predorsko cevjo, v km 24+825,00, okoli 140 m nadkritja)
- Predor Dekani (v km 25+500,00, približno 40 m nadkritja)
- Regionalna cesta Koper Divača na južnem portalu (nad predorsko cevjo, v km 25+950,00, med 5 in 10 m nadkritja)

4. Splošno o možnih vplivih gradnje železniške proge Divača-Koper

Gradnja predorov povzroča spremembe v okolici gradnje, ki lahko negativno vplivajo na stanje objektov v vplivnem območju. Pri gradnji bodoče železniške povezave Divača-Koper ob upoštevanju geoloških danosti in konfiguracije terena lahko pričakujemo vplive na okolico, razdeljene v naslednje glavne skupine:

- deformacije na površini, ki so posledica izkopa predorov
- seizmični učinki, ki so posledica gradnje predora z miniranjem in razstreljevanjem
- deformacije in seizmični učinki na podzemne naravne objekte, kot so podzemne kaverne in kraške jame

4.1. Deformacije na površini, ki so posledica izkopa predorov

Deformacije oziroma konvergence pri gradnji predorov so posledica izkopa predora in posledično razbremenitve intaktne hribine, ki konvergira proti izkopu. Deformacije se širijo v okolno hribino, velikost deformacij pa je v splošnem odvisna od izkopnega profila predora, primarnega napetostnega stanja, globine predora, geoloških značilnosti okolne hribine ter podpornih ukrepov. Deformacije se razširijo tudi na površino, kjer lahko povzročijo poškodbe na obstoječih objektih, zgrajenih v vplivnem območju predorov.

Deformacije se na površini pojavijo v obliki kotanje. Deformacije v sredini kotanje so običajno največje, proti robu kotanje oziroma vplivnega območja pa se manjšajo. Objekti, ki se nahajajo v sredini kotanje, so deležni posedkov, ki pa ne vplivajo znatno na stanje objekta, če so enakomerni in ne preveliki (do nekaj centimetrov). Na mejah vplivnega območja pa prihaja do relativnih deformacij oziroma neenakomernega posedanja, ki lahko povzroči poškodbe objektov na tem območju. Relativne deformacije se izražajo v relativnem posedku (n mm na tekoči meter). Velja, da relativni posedki, večji od 2 mm na tekoči meter, lahko poškodujejo objekt na površini. Resnost poškodb je odvisna od stanja objekta, velikosti in načina vpliva deformacij na objekt in geoloških razmer na območju objekta.

Stanje površinskih objektov ni znano, kakor tudi ne detaljne geološke razmere na območju železniške proge, zato ni mogoče napovedati vpliva na posamezen objekt. V okviru te naloge bomo na podlagi numeričnih izračunov ob privzetih predpostavkah opozorili na objekte, ki bi lahko zaradi gradnje predorov utrpeli škodo zaradi deformacij. Kot merilo privzemamo, da objekti, kjer so posedki večji od 0.5 cm, in relativne deformacije večje od 1 mm/m, lahko utrpijo škodo zaradi deformacij, povzročenimi zaradi izkopa predorov.

4.2. Seizmični učinki, ki so posledica gradnje predora z miniranjem in razstreljevanjem

Pri gradnji predorov se izkop v razmeroma trdnih hribinah, kamor spadata tudi apnenec in fliš, izvaja tudi z miniranjem in razstreljevanjem. Miniranje in razstreljevanje povzročajo vibracije in hrup, kar lahko negativno vpliva na objekte, ki so v vplivnem območju miniranja. Vplivno območje je v splošnem odvisno od količine razstreliva, količine odstrela ter geoloških danosti. V tej fazi nobeden od teh parametrov ni znan, zato bomo podali izračun vplivnega

območja za privzete, relativno konzervativne vrednosti, ter opozorili na objekte, ki bi se lahko nahajali v vplivnem območju.

Pri tem bomo razdelili objekte na tri skupine:

- objekte, ki se nahajajo v vplivnem območju, in kjer je miniranje in razstreljevanje prepovedano.
- Objekte, ki se lahko nahajajo v vplivnem območju, in kjer je miniranje in razstreljevanje dovoljeno, ob upoštevanju določenih omejitev.
- Objekte, ki se nahajajo izven območja v vplivnem območju, in kjer je miniranje in razstreljevanje dovoljeno, brez posebnih omejitev.

4.3. Deformacije in seizmični učinki na podzemne naravne objekte, kot so podzemne kaverne in kraške jame

Kraški svet je prepreden z kraškimi jamami in kavernami, kar je bilo ugotovljeno že pri gradnji predora Kastelec, kjer je trasa predora prečila več podzemnih jam, med drugim tudi eno večjo. Podobne razmere lahko pričakujemo tudi pri gradnji železniške proge, kjer na območjih predorov T1 in T2 lahko pričakujemo odkritje med 5-10 kraških jam premera 5-10 m na tekoči kilometer, obstaja pa tudi možnost odkritja večjih jamskih sistemov.

Nekatere zname jame se nahajajo v bližini trase železnice, zato so v vplivnem področju predorov. Na te podzemne prostore gradnja predorov vpliva preko deformacij ter vibracij, zaradi pomankljivih podatkov pa natančen izračun ni mogoč. Zato je vplivno območje predora definirano kot območje, kjer so deformacije večje od 1 mm, oziroma doseg vplivnega območja miniranja in razstreljevanje.

4.4. Vplivi na predore med gradnjo in v fazi obratovanja

V bližini predorov se nahajajo kamnolomi, ki izkop izvajajo z miniranjem in razstreljevanjem. Ker so pri tem uporabljene velike količine razstreliva, bo v nekaterih primerih vpliv na predore med gradnjo in v času obratovanja znaten. To je potrebno upoštevati pri načrtovanju konstrukcije predorov ter med gradnjo predorov.

5. Geološko geotehnične razmere na trasi železniške proge

Geološko geotehnični podatki o trasi proge Divača-Koper so bili zbrani v okviru izdelave idejnega projekta enotirne proge iz leta 2001 na podlagi geološkega kartiranja trase in zbiranja obstoječih podatkov. Vse analize v pričujoči študiji do bile izvedene na podlagi podatkov iz idejnega projekta, razen 3D analiza za južni portal predora T8 (pod regionalno cesto), kjer so bili pridobljeni delni podatki o geološki zgradbi in lastnostih hribinskih materialov iz rezultatov vrtalnih del, opravljenih v okviru izdelave projekta PGD predora T8.

Obstoječi podatki so torej precej pomanjkljivi, in ker služijo kot vhodni podatek za numerične analize, so možna odstopanja od v tej študiji izračunanih vrednosti. Zato so za ugotavljanje vplivov privzete razmeroma konzervativne vrednosti.

V splošnem se na celotni trasi nahajata dve geološki formaciji, in sicer apnenec (predor T1 in večina predora T2), ter fliš (vsi ostali predori). Tam, kjer je bilo za izračune pomembno, so bili uporabljeni še podatki za preperel fliš, flišno preperino in cestni nasip.

6. 2D numerične analize

6.1. Splošno

2D numerične analize so bile izvedene s programom PLAXIS, ki temelji na metodi končnih elementov. V vsakem profilu je bila povzeta geološka zgradba, geometrija predorov ter konfiguracija površine (samo za predore od T4 do T8, kjer so bili podatki znani). Privzeli smo, da je v vseh primerih najprej izvedena desna predorska cev, če je predor dvocevni. Kot podporni element so bili uporabljeni elementi, s katerimi je bil simuliran brizgani cementni beton debeline 10 cm (apnenec, nadkritje do 50 m), in 20 cm (fliš in apnenec za nadkritje več kot 50 m).

Numerične analize so izvedene v 10 prečnih profilih kot 2D analize in sicer na mestih, kjer se nahajajo v bližini trase večji objekti in naselja. Ker študija obsega 26 km proge, to pomeni, da so izračuni povprečno narejeni po en izračun na 2.6 km. Mesta izračunov so bila postavljena na območju objektov.

6.2. Rezultati 2D izračunov

- Vas Preložje pri Lokvi (med km 3+300,00 in km 4+200.00, med 30 in 130 m nadkritja, nad predori in 70 m desno od osi desne predorske cevi)

Numerična analiza je bila izvedena v km 3+300,00, kjer se nad predorskima cevema nahajajo objekti v nizkem nadkritju (manj kot 30 m), in je zato nevarnost večja kot pri sami vasi Preložje pri Loki, kjer je višina nadkritja večja.

Izračuni kažejo, da deformacije na površini komaj presegajo vrednosti desetinke milimetra, relativne deformacije pa dosegajo vrednosti do 0.004 mm/m, kar je daleč pod mejnimi vrednostmi.

Izračun torej kaže, da površinski objekti zaradi površinskih deformacij, povzročenih zaradi gradnje predorov, ne bodo poškodovani. Kljub temu pa je mogoče, da se na odseku nahajajo kraške jame, zapolnjene z slabonosilnim materialom, kar bi lahko povzročilo poškodbe na objektih. Zato je potrebno za objekte, kjer je nadkritje manj kot 30 m, predvideti spremljavo objektov med gradnjo predorov.

Na risbi 2.1. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.1 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Vas Vrhpolje (približno na km 6+575,00, približno 35 m desno od osi desne predorske cevi, približno 245 m nadkritja)

Numerična analiza je bila izvedena v km 6+575.00, kjer se nahaja v bližini trase več objektov. Ker je višina nadkritja zelo velika, večjih vplivov ni pričakovati. Deformacije na površini dosegajo vrednosti do 0.6 mm, relativne deformacije pa 0.0015 mm/m, kar pomeni, da so deformacijski vplivi na površino minimalni in ne morejo poškodovati površinskih objektov. Spremljava objektov ni potrebna.

Območje v okolici predorov, ki meri približno 70 m v širino in 120 m v višino, kjer deformacije dosegajo vrednosti do 1 mm, je v vplivnem območju predorov, kakor tudi podzemne jame, ki se nahajajo v tem področju. Deformacije niso tako velike, da bi lahko

povzročile večjo škodo, vendar zaradi nepredvidljivosti jamskih sistemov predlagamo, da v času gradnje ni dovoljeno jamarjenje v jamah v vplivnem območju.

Na risbi 2.2. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.2 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Vas Krvavi potok (približno na km 8+450,00, nad predorskimi cevmi, približno 130 m nadkritja)

Višina nadkritja je v tem primeru nekoliko manjša, vendar so rezultati izračunov podobni kot v predhodnem primeru. Površinske deformacije dosegajo vrednosti do 0.5 mm, relativne deformacije pa vrednosti do 0.003 mm/m. Tudi v tem primeru površinski objekti zaradi gradnje predorov ne bodo imeli poškodb. Spremljava objektov ni potrebna.

Območje v okolici predorov, ki meri približno 45 m v širino in 100 m v višino, kjer deformacije dosegajo vrednosti do 1 mm, je v vplivnem območju predorov, kakor tudi podzemne jame, ki se nahajajo v tem področju. Deformacije niso tako velike, da bi lahko povzročile večjo škodo, vendar zaradi nepredvidljivosti jamskih sistemov predlagamo, da v času gradnje ni dovoljeno jamarjenje v jamah v vplivnem območju.

Na risbi 2.3. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.3 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Vas Beka (nad predorsko cevjo, približno na km 11+000,00, približno 130 m nadkritja)

Višina nadkritja je velika, se pa vas nahaja na flišni podlagi. Rezultati izračuna kažejo, da površinske deformacije dosegajo vrednosti do 1.4 mm, relativne deformacije pa 0.008 mm/m. Tudi v tem primeru površinski objekti zaradi gradnje predorov ne bodo imeli poškodb. Spremljava objektov ni potrebna.

Na risbi 2.4. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.4 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Kamnolom Bradolini (nad predorsko cevjo, med km 14+300,00 in km 15+100,00, približno 180 m nadkritja)

Vplivi zaradi izkopa predora na površino bodo minimalni (do 1.1 mm površinske deformacije in 0.006 mm/m relativnih deformacij), vendar bodo deformacije nastale zaradi izkopa v kamnolomu. Trenutna kota kamnoloma znaša +385,00 m, v prihodnje pa nameravajo izkop izvajati do kote +340,00 m. Izračuni kažejo, da se bo zaradi razbremenitve površina kamnoloma dvignila za približno 3.5 cm, posledično pa tudi območje predorov, in sicer za vrednosti med 1.0 in 1.5 cm. Dno predora se bo dvignilo manj kot teme predora, zato lahko pride do dodatnih obremenitev predorov, kar je potrebno upoštevati pri dimenzioniranju konstrukcije. V tem primeru bo izkop v kamnolomu imel precej večji vpliv na predorske cevi kot obratno.

Območje v okolici predorov, ki meri približno 110 m v širino in se nadaljuje do površine, kjer deformacije dosegajo vrednosti do 1 mm, je v vplivnem območju predorov, kakor tudi podzemne jame, ki se nahajajo v tem področju. Deformacije niso tako velike, da bi lahko povzročile večjo škodo, vendar zaradi nepredvidljivosti jamskih sistemov predlagamo, da v času gradnje ni dovoljeno jamarjenje v jamah v vplivnem območju.

Na risbi 2.5. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.5 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Vas Stepani (avtocestna povezava Divača-Koper, približno 15 m nadkritja, km 17+700,00)

V predoru T4 predorska cev delno poteka pod avtocesto Divača-Koper, višina nadkritja pa dosega vrednosti okoli 15 m. V tem primeru smo v izračunu upoštevali tudi plast preperelega fliša in flišno preperino, ter prometno obremenitev ceste 50 kN/m. Deformacije na cestišču dosegajo vrednosti do 1.2 mm, relativne deformacije pa vrednosti do 0.15 mm/m. Te deformacije načeloma ne bi smele povzročiti poškodb avtoceste, vendar moramo upoštevati, da je območje geološko površno preiskano, zato so lahko razmere tudi drugačne, kot so predvidene v geološkem poročilu iz idejnega projekta. Zato menimo, da je avtocesta v vplivnem območju predora, med gradnjo je potrebno izvajati ustrezne meritve posedkov na površini in spremljati stanje avtoceste.

Na risbi 2.6. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.6 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Vas Stepani (nadvoz nad avtocesto, približno 15 m nadkritja, km 17+900,00)

Razmere so podobne kot v predhodnem primeru, višina nadkritja pa dosega vrednosti okoli 15 m. Tudi v tem primeru smo v izračunu upoštevali tudi plast preperelega fliša in flišno preperino, ter prometno obremenitev ceste 30 kN/m. V izračunu smo upoštevali tudi stebre nadvoza. Deformacije na cestišču dosegajo vrednosti do 0.7 mm, relativne deformacije pa vrednosti do 0.03 mm/m, vendar so največje na mestih temeljnih stebrov nadvoza. Te deformacije načeloma ne bi smele povzročiti poškodb avtoceste in objekta, vendar moramo upoštevati, da je območje geološko površno preiskano, zato so lahko razmere tudi drugačne, kot so predvidene v geološkem poročilu iz idejnega projekta. Menimo, da je avtocesta in objekt v vplivnem območju predora, zato je potrebno med gradnjo izvajati ustrezne meritve posredkov na površini in nadvoza ter opazovati stanje nadvoza.

Na risbi 2.7. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.7 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Vas Plavlje-Badna (nad predorsko cevjo, km 23+175,00 med 30 m nadkritja)

Vas se nahaja na območju z nizkim nadkritjem (manj kot 30 m). Deformacije na površini dosegajo vrednosti do 0.25 mm, relativne deformacije 0.006 mm/m. Vrednosti so daleč pod dovoljenimi vrednostmi, vendar zaradi pomanjklivih geoloških podatkov predlagamo, da se na objektih, kjer je višina nadkritja nižja od 30 m, izvajajo ustrezne meritve med gradnjo predorov.

Na risbi 2.8. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.8 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Vas Zgornje Škofije-Četrta Škofija (nad predorsko cevjo, v km 24+825,00, okoli 140 m nadkritja)

Zaradi visokega nadkritja so vrednosti za deformacije na površini majhne. Površinske deformacije dosegajo vrednosti do 1.1 mm, relativne deformacije pa vrednosti do 0.006 mm/m. Tudi v tem primeru površinski objekti zaradi gradnje predorov ne bodo imeli poškodb. Spremljava objektov ni potrebna.

Na risbi 2.9. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.9 pa izpis rezultatov numerične analize.

- Predor Dekani (v km 25+500,00, približno 40 m nadkritja do predora Dekani)

Železniška proga skoraj pravokotno prečka traso obstoječega predora Dekani. Višina nadkritja železniške proge do predora Dekani znaša okoli 40 m. Izračuni kažejo, da deformacije v predoru Dekani dosegajo vrednosti do 1.2 mm, relativne deformacije pa vrednosti do 0.015 mm/m. Predvidoma bo gradnja železniške proge vplivala na predor Dekani v dolžini okoli 100 m. Izračunane vrednosti kažejo, da bo vpliv na predor Dekani zelo zmeren, zato v samem predoru med gradnjo predlagamo samo opazovanja konstrukcije v vplivnem območju v času gradnje železniške proge.

Na risbi 2.10. so podani rezultati izračunov, v prilogi S.10 pa izpis rezultatov numerične analize.

7. 3D numerične analize

7.1. Splošno

Za razliko od 2D numeričnih analiz 3D analize omogočajo opazovanje dogajanja tudi v tretji dimenziji, ter upoštevanje več značilnosti gradnje predorov, kot je faznost del v predoru. Ker so 3D analize v primerjavi z 2D analizami veliko bolj zahtevne, so bile v okviru študije izvedene le tri, za primere, kjer lahko le te dajo bolj natančne rezultate. Analize so bile izvedene s programom FLAC, ki temelji na metodi končnih diferenc.

7.2. Rezultati 3D numeričnih analiz

- 3D numerična analiza prehoda predorskih cevi pod regionalno cesto Divača-Koper v bližini južnega portala predora T8.

Za to območje so znani podrobnejši geološko- geotehnični podatki, pridobljeni v okviru geoloških raziskav za izvedbo projekta PGD za predor T8. Predvsem se podatki nanašajo na geološke plasti, ki se nahajajo na tem področju, ter na okvirne lastnosti teh materialov. Na podlagi teh podatkov je bilo v okviru izdelave projekta PGD na podlagi preliminarne izračunov ter tehničnih rešitev ugotovljeno, da je mogoče izvesti izkop predorov pod obstoječo regionalno cesto brez večjih posegov s površine, torej brez izvedbe koroškega

pokrova ali galerije, ki so bile možne rešitve v primeru slabših razmer. Ker predvidevamo, da bo med izkopom predora promet po cesti omejen, nismo predvideli prometne obtežbe.

3D analiza upošteva geološko zgradbo, skladno z pridobljenimi podatki. Upoštevani so fliš, preperel fliš ter plast preperine oziroma cestnega nasipa. Detajlna izvedba izkopa predora še ni znana, zato smo simulirali naslednje faze izkopa v glavni predorski cevi.

- Izkop kalote predorske cevi v kampadah dolžine 2 m.
- Izvedba predorske obloge iz brizganega cementnega betona v debelini 25 cm (en korak za izkopnim čelom).
- Izvedba začasnega talnega oboka (dva koraka za izkopnim čelom).
- Izkop stopnice in talnega oboka bo izveden po končani izvedbi kalote na območju regionalne ceste v kampadah po 2 m.
- Izvedba brizganega betona v stopnici in talnem oboku en korak za izkopom stopnice.

Izvedenih je bilo več izračunov, pri čemer smo vstavljali oziroma opuščali posamezne podporne elemente, ter spreminjali njihovo oddaljenost vgradnje. Pri tem smo ugotovili, da v primeru, da ni vgradnje začasnega talnega oboka razmeroma kmalu za izkopom kalota, lahko pride do znatnih deformacij čela kalote.

Z izračunom je bilo torej ugotovljeno, da je potrebno vgraditi začasni talni obok razmeroma kmalu za čelom izkopa kalote, (2-4 koraka izkopa), za zmanjšanje deformacij pa je primerno uporabiti tudi druge ukrepe za zmanjševanje deformacij, kot so zaščita čela z brizganim betonom, sidranje čela in vgradnja jeklenega ščita ali jeklenih sulic po obodu predora, kar sicer ni bilo upoštevano v izračunu.

V servisnem predoru je bil postopek enak, s tem, da začasni talni obok ni bil uporabljen.

Deformacije na cestišču dosegajo vrednosti do 0.5 cm, relativne deformacije pa do 0.5 mm/m. Zanimivo je, da so deformacije nad servisno predorsko cevjo večje kot nad glavno, kar pa je najverjetneje posledica neuporabe začasnega talnega oboka v servisnem predoru ter vpada plasti preperelega fliša. Gradnja predorov bo vplivala na obstoječo cesto v dolžini med 50-70 m.

Iz izračunov je razvidno, da vrednosti ne dosegajo takšnih, ki bi lahko povzročile poškodbe na vozišču, kljub temu pa predlagamo predhodno izvedbo zaščitne konstrukcije na cesti ter stalna merjenja in opazovanja v času gradnje predora na območju regionalne ceste.

Na risbi 3.1. so podani rezultati izračunov, v prilogi P.1 pa izpis rezultatov numerične analize.

- 3D numerična analiza prehoda predorskih cevi pod avtocestnim predorom Dekani

Ta analiza je bila izvedena že kot 2D analiza, vendar smo zaradi pomembnosti objekta izvedli tudi 3D analizo. Pri tem smo upoštevali pozicijo predora Dekani glede na železniško progo, geometrijo predora Dekani in predorov železniške proge ter samo konstrukcijo (končno) predora Dekani.

Simulirane so bile naslednje faze gradnje predorov:

- Izkop kalote glavne predorske cevi v kampadah dolžine 4 m.
- Izvedba predorske obloge iz brizganega cementnega betona v debelini 25 cm (en korak za izkopnim čelom).
- Izkop stopnice in talnega oboka bo izveden po končani izvedbi kalote na območju regionalne ceste v kampadah po 4 m.
- Izvedba brizganega betona v stopnici in talnem oboku en korak za izkopom stopnice.

Enak postopek izkopa je bil uporabljen tudi za servisno cev. Okolna hribina je bila upoštevana kot enoten material s karakteristikami fliša.

Deformacije na vozišču dosegajo vrednosti do 3.3 mm, relativne deformacije pa do 0.3 mm/m. Te vrednosti so približno trikrat večje od tistih, ki so bile izračunane z 2D analizo. Menimo, da je razlika nastala zaradi načina izračuna v 3D analizi, ki dopušča deformacije čela izkopa, kar v 2D analizi ni mogoče izvesti.

Kljub temu menimo, da se rezultati analiz dokaj dobro ujemajo. V obeh primerih lahko zaključimo, da vpliv gradnje železniških predorov ne bo takšen, da bi lahko ogrozil ali poškodoval obstoječi avtocestni predor Dekani. Vseeno predlagamo opazovanje predora na odseku, ki je v vplivnem področju železniške proge (v dolžini približno 100 m).

Na risbi 3.2. so podani rezultati izračunov, v prilogi P.2 pa izpis rezultatov numerične analize.

- 3D numerična analiza razcepa v predoru T2

Na območju cepišča se nahaja več objektov večjih dimenzij, kot so kaverne, kjer se železniški tiri ločijo. Ker je višina nadkritja na tem odseku zelo velika, objektov pa na mestu cepišča ni, tudi podzemni prostori večjih dimenzij ne bodo povzročili večjih površinskih deformacij. Zato smo analizirali križanje predorov na progi Divača- Koper in Trst-Divača, kjer je razdalja med predorskimi cevmi razmeroma majhna.

Upoštevali smo, da bo proga Divača-Koper zgrajena prva, odcep proti Trstu pa kasneje. Proga Divača Trst se na tem mestu nahaja okoli 15 m nad progo Divača-Koper, kar pomeni, da debelina intaktne hribine na mestu križanja dosega vrednosti do 5 m, križanje pa je izvedeno pod kotom približno 25° . Izkop predorskih cevi je bil izveden v enem koraku v dolžini kampade 5 m, vgradnja podpornih elementov (brizgan beton debeline 10 cm) je sledila v razdalji 1 kampade. Podporje v talnem oboku ni bilo izvedeno.

Rezultati izračuna kažejo, da deformacije v temenu predora železniške proge Divača-Koper dosegajo vrednosti do 8 mm, relativne deformacije pa vrednosti do 0.9 mm/m. Gre za lokalne vrednosti, ki so najverjetneje posledica medsebojne lege obeh predorskih cevi ali vpliva robnih pogojev.

Rezultati izračuna kažejo, da bo medsebojni vpliv predorskih cevi zmeren. Tudi deformacije na površini ne bodo bistveno povečane zaradi križanja cevi.

Na risbi 3.3. so podani rezultati izračunov, v prilogi P.3 pa izpis rezultatov numerične analize.

8. Razstreljevanje in miniranje

8.1. Vpliv miniranja in razstreljevanja pri gradnji predorskih cevi na obstoječe objekte

Pri gradnji predorov v takšnih hribinskih formacijah, ki se nahajajo na trasi predorov bodoče železniške povezave Divača-Koper, je najbolj učinkovit in najhitrejši način izkop z miniranjem in razstreljevanjem. Ta pa povzroča nezaželene učinke na objekte, ki se nahajajo v vplivnem območju miniranja.

Vpliv uporabe miniranja in razstreljevanja pri gradnji predorov na objekte je v največji meri odvisen od:

- Razdalje od mesta miniranja
- Stanja objektov
- Količine izkopa pri enem odstreli ter posledično količine razstreliva
- Tehnologije gradnje predorov ter faznosti gradnje predorov
- Intervala razstreljevanja
- Geološke zgradbe

Zaradi nezadostnega poznavanja zgoraj naštetih vplivnih parametrov je mogoče podati samo okvirno oceno vpliva izkopa z miniranjem in razstreljevanjem na okoliške objekte. Privzete bodo konzervativne vrednosti.

$$r = 7 \cdot Q^{\frac{2}{3}}$$

Q=5 kg/interval

R=20.46 m

Stanja površinskih objektov ne poznamo, zato bomo privzeli, da gre za objekte, kjer veljajo pravila o zmanjšani vrednosti hitrosti nihanja, to je <2 mm/s. V tem primeru je potrebno dobljeno vplivno območje povečati za dvakrat, na 40.92 m. Če upoštevamo še višino predora, potem lahko postavimo naslednje kriterije, ki povzamejo vpliv miniranja na objekte. Razdalje so merjene od nivelete tira.

- Razdalja do objektov $h < 30$ m -miniranje in razstreljevanje ni dovoljeno. Izkop se izvaja z drugimi metodami.
- Razdalja do objektov $30 \text{ m} < h < 50 \text{ m}$ -miniranje in razstreljevanje je dovoljeno, vendar mora biti količina razstreliva prilagojena tako, da izkop predora ne ogroža objekta. Pri tem se morajo na objektih izvajati meritve v času izkopa predora v bližini objekta, s katerimi se določa vplive na objekte, ter v primeru vplivov, ki presegajo zakonsko določene normative, ustrezno ukrepati.
- Razdalja do objektov $h > 50$ m -miniranje in razstreljevanje je dovoljeno brez posebnih omejitev.

Glede na zgornje navedbe so definirani naslednji odseki, kjer veljajo omejitve:

- Odsek med severnim portalom predora T1 in km 3+500,00. Miniranje in razstreljevanje je dovoljeno, vendar z omejitvami.
- Odsek predora T4 med km 17+250,00 in km 18+150,00. Miniranje in razstreljevanje ni dovoljeno.
- Odsek predora T8 med severnim portalom predora T8 in km 23+400,00. Miniranje in razstreljevanje je dovoljeno, vendar z omejitvami.
- Odsek predora T8 med km 25+400,00 in južnim portalom predora T8 (predor Dekani in regionalna cesta Divača-Koper). Miniranje in razstreljevanje ni dovoljeno zaradi občutljivosti in pomembnosti objektov.

8.2. Vpliv miniranja in razstreljevanja v kamnolomu Bradolini na železniško progo med gradnjo in v obratovanju

Pri odstrelu v kamnolomu Bradolini uporabljajo znatne količine razstreliva, po znanih podatkih do 137 kg/interval. Po informativnem izračunu lahko pričakujemo, da se v vplivnem območju, ki dosega do 200 m, znajde precejšen del predora, in sicer predor T2 med km 12+200,00 in južnim portalom predora T2.

Pri sami gradnji predora je potrebno izvajati koordinacijo med kamnolomom in izvajalci predorov, ker zaradi vibracij lahko pride do izpadanja kosov okolne hribine in posledično do delovnih nesreč. Zato je potrebno v času odstrela v kamnolomu prekiniti delo in izvesti umik na varno. Možen, vendar malo verjeten je tudi vdor plinov iz področja odstrela na območje gradnje predorov preko sistema podzemnih jam, kar je še razlog več za previdnost pri delu.

Tudi v času obratovanja predora se predori nahajajo v vplivnem območju, zato morajo biti predori ustrezno konstruirani tako, da blažijo posledice vibracij na progo.

9. Povzetek vplivov gradnje predorov na objekte.

Glede na zgornje navedbe lahko definiramo naslednja območja, kjer lahko pride do negativnih učinkov gradnje predorov na površinske objekte.

- **Odsek med severnim portalom predora T1 in km 3+500,00.**

Zaradi majhne višine nadkritja zaradi miniranja in razstreljevanja lahko pride do poškodb površinskih objektov. Miniranje in razstreljevanje je dovoljeno, vendar z omejitvami. Na tem mestu obstaja možnost nahajanja kraških vrtač in jam, zapolnjenih z slabonosilnim materialom.

Predlagamo, da se miniranje in razstreljevanje lahko izvaja, vendar z omejitvami. Na območjih z nadkritjem manj kot 30 m se izvaja monitoring objektov, skladno z zakonodajo.

- **Odsek predora T4 med km 17+250,00 in km 18+150,00. Miniranje in razstreljevanje ni dovoljeno.**

Zaradi majhne višine nadkritja miniranje in razstreljevanje ni dovoljeno, ker lahko pride do poškodb avtoceste in objektov na površini. Pri gradnji predorov je potrebno izvajati monitoring avtoceste in nadvoza, skladno z zakonodajo.

- **Odsek predora T8 med severnim portalom predora T8 in km 23+400,00.**

Zaradi majhne višine nadkritja zaradi miniranja in razstreljevanja lahko pride do poškodb površinskih objektov. Miniranje in razstreljevanje je dovoljeno, vendar z omejitvami.

Predlagamo, da se miniranje in razstreljevanje lahko izvaja, vendar z omejitvami. Na območjih z nadkritjem manj kot 30 m se izvaja monitoring objektov, skladno z zakonodajo.

- **Odsek predora T8 med km 25+400,00 in južnim portalom predora T8 (predor Dekani in regionalna cesta Divača-Koper).**

Predlagamo izvajanje opazovanja stanja objekta v predoru Dekani, ki je v vplivnem območju gradnje železniške proge. Predlagamo monitoring regionalne ceste Divača-Koper v času gradnje predorskih cevi v vplivnem območju ceste, ter začasno zaščito ceste pred vplivi izkopa predorov, ter začasno omejitev prometa. Miniranje in razstreljevanje ni dovoljeno zaradi občutljivosti in pomembnosti objektov.

- **Odsek predora T2 med km 12+200,00 in južnim portalom predora T2 (vplivno območje kamnoloma Bradolini).**

Predlagamo prekinitev del pri gradnji predorov v času odstrela v kamnolomu. Predlagamo tudi izvedbo takšne konstrukcije v predoru na tem odseku, ki bo blažila vibracije, ter takšno konstrukcijo predora na tem odseku, ki bo nevtralizirale dvižke, nastale zaradi bodočega izkopa v kamnolomu Bradolini.

Na risbi 1.2 so podane oznake zgoraj omenjenih odsekov s kratkimi komentarji v vzdolžnem profilu. Situativno so ti odseki podani na risbi 1.3 (predor T1), 1.4 (predor T2), 1.5 (predori od T3 do T7) in na risbi 1.6 (predor T8).

10. Zaključek

V okviru študije je bilo izvedenih 10 2D numeričnih analiz in 3 3D numerične analize. Analizirana so bila območja, kjer se na površini nahajajo objekti, večinoma naselja in cestni objekti. Rezultati analiz so bili aplicirani na celotno traso železniške proge. Ocenjen je bil vpliv miniranja in razstreljevanja v času gradnje predora ter vpliv miniranja in razstreljevanja v kamnolomu Bradolini na železniško progo.

Na nekaterih odsekih so predlagane omejitve oziroma način gradnje, ki bi čimbolj zmanjšal negativne učinke gradnje na obstoječe objekte. Na ostalih odsekih je mogoča gradnja brez omejitev.

Glede na pomanjkljive podatke lahko dejanske deformacije in vpliv razstreljevanja odstopa od izračunanih vrednosti za vplivna območja, zato so bila kot merila privzete razmeroma konzervativne vrednosti. Menimo pa, da v nobenem primeru ne bo prišlo do odstopanj, ki bi lahko prizadela objekte, ki so izven vplivnih območij, definiranimi v študiji.

Objekt:

NOVA ŽELEZNIŠKA PROGA DIVAČA-KOPER

Načrt:

**ŠTUDIJA VPLIVOV GRADNJE PODZEMNIH OBJEKTOV NA POVRŠINO NA TRASI
GRADNJE NOVE ŽELEZNIŠKE PROGE DIVAČA – KOPER**

G. RISBE