



**DRUŽBA ZA AVTOCESTE V REPUBLIKI SLOVENIJI**  
**DARS d.d.**

## **TEHNIČNE SPECIFIKACIJE**

**za**

**Geološko, hidrogeološko in geotehnično opazovanje sanacije obstoječe zahodne cevi  
avtocestnega predora Karavanke na A1, odsek 0001 Karavanke - Obrežje**

Februar 2026

## Kazalo vsebine

1	Splošno .....	3
1.1	Namen tehničnih specifikacij .....	3
1.2	Opis opazovalne metode.....	3
1.3	Zakonodaja, standardi in smernice .....	4
2	Zahteve, organizacija in izvajanje tehničnega opazovanja .....	5
2.1	Delitev odgovornosti in vloge .....	5
2.2	Komunikacija, koordinacija in sodelovanje.....	7
2.2.1	Dnevni operativni sestanki.....	7
2.2.2	Geotehnične koordinacije .....	7
2.3	Tok informacij in hranjenje podatkov.....	7
2.4	Merilna oprema in merski profili .....	8
2.5	Programska oprema za vrednotenje meritev .....	8
2.6	Dokumentacija .....	8
2.7	Materiali in vgradnja merskih elementov .....	9
2.8	Izvedba meritev in vrednotenje .....	11
2.8.1	Splošne zahteve.....	11
2.8.2	Pogostost meritev .....	13
2.8.3	Odčitavanje, obdelava in interpretacija .....	13
2.8.4	Geološka in hidrogeološka spremljava .....	14
2.8.5	Kontrola vibracij in plinov .....	14
2.8.6	Ukrepanje med gradnjo (GVN – varnostni nivoji) .....	15
2.9	Končno poročilo .....	15
2.10	Arhiviranje in dostop .....	15
2.11	Izmere .....	15
2.12	Plačilo .....	15

# 1 Splošno

Obravnavani dokument je pripravljen na osnovi tehničnih specifikacij za geološko geotehnično spremljavo gradnje predora Karavanke in je smiselno prilagojen glede na projektno dokumentacijo PZI za sanacije obstoječe zahodne cevi avtocestnega predora Karavanke na A1, odsek 0001 Karavanke - Obrežje, predvsem glede na načrte, ki zajemajo tehnično opazovanje sanacije predora in predvidene geotehnične meritve ter geološko, geomehansko in hidrogeološko spremljavo.

## 1.1 Namen tehničnih specifikacij

Tehnične specifikacije podajajo zahteve za izvajanje vseh aktivnosti tehničnega opazovanja pri **sanaciji obstoječe zahodne cevi avtocestnega predora**, in sicer na področjih:

- **geotehničnih meritev v predoru** v času izvajanja sanacijskih del,
- **geološke in hidrogeološke spremljave izkopov** ter drugih posegov v času sanacije,
- **geotehničnega nadzora**, ki se izvaja skladno z 92. členom *Uredbe o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje cestnih predorov v Republiki Sloveniji* (Ur. l. RS, št. 48/2006 in 54/2009) ter pripadajočimi smernicami.

Pomemben del tehničnega opazovanja predstavljajo **geotehnične meritve**, katerih namen je opazovanje, merjenje in beleženje pomikov, deformacij, posedkov in spremenljivih obremenitev v podpornih elementih ter v hribini. Rezultati meritev omogočajo sprotno odločanje o potrebnih podpornih ukrepih, preverjanje učinkovitosti obstoječega podporja in napovedovanje kratkoročnih geoloških razmer pri napredovanju sanacijskih del.

**Geološka spremljava** je namenjena beleženju in napovedovanju geoloških, hidrogeoloških in geomehanskih razmer, ki vplivajo na potek sanacijskih posegov. Pridobljeni podatki služijo kot ključna podpora pri določanju in prilagajanju načinov izkopa, sanacijskih ukrepov ter pri preverjanju ustreznosti obstoječega podporja.

Obravnavani del tehničnega opazovanja praviloma vključuje tudi **geološko spremljavo in geotehnične meritve na površini terena ter na drugih podzemnih objektih** v vplivnem območju predora, **spremljanje raziskovalnega vrtanja** med izvajanjem sanacije ter **analizo izdanega jedra hribine**, pridobljenega pri vgradnji merilne opreme oziroma podpornih elementov.

Poleg navedenih zahtev ta dokument določa tudi:

- **vloge in organizacijsko strukturo** za tehnično opazovanje in ukrepanje med sanacijo,
- **vlogo izvajalca gradbenih del** pri podpori in izvajanju tehničnega opazovanja,
- **pravila za izvajanje izmer,**
- **pravila za obračun in plačilo del.**

## 1.2 Opis opazovalne metode

Skladno s SIST EN 1997-1:2005 predori spadajo v 3. geotehnično kategorijo, ki vključuje neobičajno velika tveganja ali izjemno zahtevne pogoje tal ali obtežbe. Ker je navkljub številnim izvedenim

preiskavam in kompleksnim analizam napoved geotehničnega obnašanja takšnega objekta težavna, standard dopušča uporabo t. i. opazovalne metode, pri kateri se projekt preverja med gradnjo.

Pred začetkom gradnje po opazovalni metodi morajo biti izpolnjene naslednje zahteve:

- določiti je treba še sprejemljive meje obnašanja;
- oceniti je treba območje možnega obnašanja in pokazati, da obstaja sprejemljiva verjetnost, da bo dejansko obnašanje znotraj sprejemljivih meja;
- pripravljen mora biti načrt tehničnega opazovanja, ki bo pokazal, ali je dejansko obnašanje znotraj sprejemljivih meja. Tehnično opazovanje mora to razjasniti dovolj zgodaj in v dovolj kratkih intervalih, da se omogoči uspešna uporaba dodatnih ukrepov;
- odzivni čas merilnih instrumentov in postopkov za analizo rezultatov mora biti dovolj kratek v primerjavi z možnim razvojem dogodkov pri gradnji;
- načrt dodatnih ukrepov, ki se lahko uporabijo, kadar tehnično opazovanje odkrije obnašanje izven sprejemljivih meja, mora biti pripravljen vnaprej.

Za potrebe načrta tehničnega opazovanja predora je v PZI za sanacijo predora zajeto tudi tehnično opazovanje sanacijskih del. V načrtu so podrobno opisane vrste, namen, pogostost in način geotehničnih meritev ter geološko, geomehansko in hidrogeološko spremljavo gradnje predora. Poleg tega so podane tudi zahteve za meritve plinov in vibracij med gradnjo predora.

Navkljub vsem pripravljenim dokumentom, kjer so podane rešitve za številne verjetne scenarije, pa opazovalna metoda vseeno zahteva med gradnjo prilagodljiv sistem s stalnim preverjanjem stanja in podajanjem nove napovedi.

Opazovalna metoda zahteva ustrezen odzivni čas, v katerem je potrebno poskrbeti za:

- izvedbo meritev in drugih opazovanj
- izdelavo interpretacije
- analizo možnih ukrepov in odločitev o izvedbi ukrepov
- izvedbo ukrepov

Posebno vlogo pri tem imajo meritve pomikov, napetosti, povratne geotehnične analize in statistične analize pomikov.

### **1.3 Zakonodaja, standardi in smernice**

- [1] GZ-1 (Ur. List, RS št. 199/21)
- [2] Tehnični standardi za gradbene konstrukcije SIST EN (Eurocode).
- [3] DIREKTIVA EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA 2004/54/ES z dne 29. aprila 2004 o minimalnih varnostnih zahtevah za predore v vseevropskem cestnem omrežju Zakon o cestnem prometu s spremembami
- [4] Uredba o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje cestnih predorov v Republiki Sloveniji UL RS 48/06
- [5] Zakon o cestah / ZCes - 1 /, Uradni list RS, št. 109/10, 48/12, 36/14-odl. US, 46/15, 10/18, 123/21 – ZPrCP-F)
- [6] Zakon o varstvu pred požarom (Uradni list RS, št. 3/07 – uradno prečiščeno besedilo, 9/11, 83/12, 61/17 – GZ, 189/20 – ZFRO in 43/22)
- [7] Zakon o varnosti cestnega prometa (Uradni list RS, št. 56/08 – uradno prečiščeno besedilo, 57/08 – ZLDUVCP, 58/09, 36/10, 106/10 – ZMV, 109/10 – ZCes-1, 109/10 – ZPrCP, 109/10 – ZVoz, 39/11 – ZIZ-E, 75/17 – ZMV-1 in 10/18 – ZCes-1C)

- [8] RVS 09.01.21 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Linienführung im Tunnel (september 2007, sprememba februar 2010)
- [9] RVS 09.01.22 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Tunnelquerschnitte (marc 2010)
- [10] RVS 09.01.23 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Innenausbau (april 2009, december 2010)
- [11] RVS 09.01.24 Tunnel, Tunnelbau, Bauliche Gestaltung, Bauliche Anlagen für Betrieb und Sicherheit (junij 2014)
- [12] RVS 09.01.45 Tunnel, Tunnelbau, Konstruktive Ausführung, Baulicher Brandschutz in Straßenverkehrsbauten (oktober 2015)
- [13] RVS 09.02.22 Tunnel, Tunnelausrüstung, Betrieb und Sicherheit (junij 2014, november 2016, november 2019)
- [14] RVS 09.02.31 Tunnel, Tunnelausrüstung, Belüftung, Grundlagen (junij 2014)
- [15] ÖBV-Merkblatt Tunnelbeschichtungen (01.08.2014)
- [16] ÖBV-Richtlinie Erhöhter baulicher Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke aus Beton (01.04.2015)
- [17] ÖBV-Richtlinie Innenschalenbeton (01.12.2012)
- [18] ÖBV-Richtlinie Tunnelabdichtung (01.12.2012)
- [19] ÖBV-Richtlinie Tunnelentwässerung (27.04.2010)
- [20] ASFINAG Richtlinien (PlaNT, PlaPB)

## 2 Zahteve, organizacija in izvajanje tehničnega opazovanja

### 2.1 Delitev odgovornosti in vloge

Zahteve se delijo na dela posameznih deležnikov: **naročnik, inženir, projektant, geotehnični nadzornik, inženir geotehničnih meritev, geolog, geodet, izvajalec gradnje ter izvajalec tehnične spremljave (monitoringa)**. Ta delitev sledi Načrtu tehnične spremljave za sanacijo zahodne cevi (E-11) in je vezana na izvajanje meritev, vodenje, interpretacijo ter poročanje. [v](#) nadaljevanju so opisana dela, ki jih opravljajo posamezni deležniki.

#### ➤ predstavnik naročnika (inženir):

- vodenje vseh aktivnosti
- vodenje in koordinacija izvedbe zahtevanih / potrebnih ukrepov
- ukrepanje v kritičnih situacijah
- organizacija, vodenje in beleženje geotehničnih sestankov
- koordinacija med nadzorom, projektantom in izvajalcem spremljave

#### ➤ gradbeni nadzor po GZ (nadzornik)

- spremljava gradnje predora skladno s terminskim planom in obnašanje predorskih konstrukcij
- dogovarjanje z izvajalcem o načinu prilagoditve izvedbe na geotehnične zahteve
- zbiranje in shranjevanje vseh podatkov o spremljavi gradnje in drugih opazovanjih in posredovanje relevantnih informacij odgovornih
- opozarjanje izvajalca gradnje o opazovanih odstopanjih od predvidenega geotehničnega obnašanja
- organizacija nujnih ukrepov v kritičnih razmerah, ko varnostna stopnja doseže nivo 1 do 2b

- **izvajalec gradnje: sodeluje pri vgradnji merskih profilov (vrtanje, injektiranje ...) in omogoči nemoten dostop, izvajanje meritev, zaščito opreme in izvede nujne ukrepe po navodilih inženirja/nadzora.**
  - izvajanje del skladno s projektnimi zahtevami in geotehničnimi meritvami
  - sodelovanje z nadzorom pri prilagajanju izvedbe geotehničnim razmeram
  - sodelovanje pri vgradnji merskih profilov (vrtanje, injektiranje ...)
  - skrb za varnost v predoru za vse deležnike pri gradnji in obiskovalce
  - takojšnja naznanitev nepredvidenih in posebnih aktivnosti nadzoru
  - izvedba vseh nujnih ukrepov po navodilih nadzora in izvajalca tehnične spremljave
  - poročanje na geotehničnih sestankih
  - izvedba vseh potrebnih meritev za varno gradnjo (plinometrija, vibracije, iztoki vode ...)
  - podajanje predlogov za izvedbo protiukrepov v kritičnih razmerah
- **projektant:**
  - spremljava gradnje predora/geotehničnega objekt in prilagajanje pogostosti meritev v sodelovanju z izvajalcem spremljave
  - sodelovanje pri interpretaciji geotehničnih meritev
  - priprava eventualno potrebnih dodatnih oziroma spremenjenih podpornih ukrepov za zagotovitev stabilnosti predora
  - opozarjanje nadzora ob ugotovitvi odmika od predvidenega obnašanja
  - sodelovanje in poročanje na geotehničnih koordinacijah
- **Izvajalec tehnične spremljave:**
  - geološko kartiranje, spremljavo predvrtanja, vzorčenje in preiskovanje hribine, vzorčenje in spremljanje podzemne vode ter ostala dela, potrebna za geološko in hidrogeološko spremljavo ter napoved hribinskih razmer pri nadaljevanju izkopa in podpiranja,
  - dobava, vgradnja, odčitavanje oz. zajem merskih podatkov ter vsa druga dela, vezana na izvedbo meritev (ekstenzometri, inklinometri, merilne celice na pasivnih sidrih ...), v sklopu tehničnega opazovanja predora spremljava 3-dimenzionalnih (3-d) pomikov (deformacije) podpora v predoru
  - izdelava rednih dnevnih in tedenskih poročil
  - celovita in skladna interpretacija vseh izvedenih meritev v periodičnih (dnevnih in tedenskih oz. skladno s frekvenco meritev) poročilih s komentarji in predlogi za nadaljevanje del
  - sprotno obveščanje izvajalca, projektanta in naročnika (oz. inženirja in nadzornika) o rezultatih, vnaprej predpisani obliki.
  - sprotno obveščanje izvajalcev posameznih geotehničnih meritev in opazovanj ali geologa o morebitnih neskladjih in potrebnih spremembah in dopolnitvah meritev.
  - izdelava tedenskih poročil in vmesnih poročil vključno s strokovnimi predstavitvami, če to zahtevata inženir in projektant
  - ukrepanje med gradnjo skladno z določili v poglavju 2.8.3
  - izdelava končnega poročila skladno z določili v poglavju 2.8.5
  - ekipo izvajalca tehnične spremljave sestavljajo:
    - geotehnični nadzornik
    - inženir geotehničnih meritev
    - geolog
    - geodet
    - hidrogeolog

Neodvisnost izvajalca tehnične spremljave od izvajalca gradnje je prvi pogoj za kakovostno spremljavo in odločanje.

## **2.2   Komunikacija, koordinacija in sodelovanje**

Koordinacija med posameznimi deležniki poteka na neformalnem nivoju preko pogovorov, elektronske pošte, portala in formalno preko skupnih koordinacijskih sestankov.

### **2.2.1   Dnevni operativni sestanki**

Namen dnevnih operativnih sestankov, na katerih so prisotni nadzornik, izvajalec gradnje in izvajalec tehnične spremljave, je usklajevanje vsakodnevnih aktivnosti in zgodnje opozarjanje na potrebno ukrepanje. Sestanke organizira in vodi nadzornik, po potrebi lahko tudi izvajalec tehnične spremljave. Termin dnevnih sestankov se določi v tehnološkem elaboratu, takoj po prejetju vseh rezultatov meritev. Teme dnevnih sestankov so pregled dnevnih meritev in geološkega kartiranja z uporabo 3D prikaza, ugotavljanje obnašanja konstrukcije in morebitnih odstopanj od predvidenega, določitev podpornih ukrepov in način izkopa ter morebitnih odstopanj zaradi nepričakovanega obnašanja hribine.

### **2.2.2   Geotehnične koordinacije**

Na geotehničnih koordinacijah, kjer so prisotni naročnik, inženir, izvajalec gradnje, nadzornik, izvajalec tehnične spremljave (geotehnični nadzornik, inženir geotehničnih meritev, geolog, hidrogeolog in geodet), projektant in varnostni inženir, se periodično informirajo vsi deležniki o obnašanju predora, geološkem modelu v 3D okolju in se sprejemajo odločitve na temo nadaljnje izvedbe izkopnih del, uporabe podpornih tipov in časovnih zahtev. Geotehnične koordinacije organizira in vodi izključno inženir, potekajo mesečno oziroma pogosteje, če je glede na razmere to potrebno.

V primeru varnostnega nivoja 1, 2a ali 2b je potrebno sestanke sklicevati na krajše obdobje, da je zagotovljena strokovna pomoč. Teme sestanka so spremljava izvedbe predkopov, vključno s piloti ter aktivnosti v predoru (po potrebi tudi ogled predkopov in predora), potrditev zapisnika predhodne koordinacije (nadzor), predstavitev geološko geomehanskih razmer v 3D okolju (geolog), predstavitev geotehničnih meritev in interpretacija (geotehnični nadzornik, inženir geotehničnih meritev), predstavitev rezultatov hidrogeološke spremljave (hidrogeolog), predstavitev prognoze nadaljevanja izkopnih del (projektant), predstavitev drugih aktivnosti za izvedbo (izvajalec gradnje), odločitev o predlogih izvajalca gradnje (inženir, nadzor in projektant) in druge teme. Inženir s pomočjo geotehničnega nadzornika, inženirja geotehničnih meritev, geologa in nadzora izdela uradni zapisnik.

Inženir **geotehničnih meritev** izdela **mesečno poročilo** (po potrebi pogosteje) in ga **vsaj 3 dni pred koordinacijo** posreduje inženirju, projektantu, nadzoru in izvajalcu; vsebovati mora diagrame, interpretacijo in oceno tveganj po GVN.

**Geodet** dnevno posreduje rezultate geodetskih meritev nadzoru, projektantu in inženirju v obliki, ki omogoča interpretacijo deformacijskih in napetostnih razmer.

## **2.3   Tok informacij in hranjenje podatkov**

Vsak deležnik gradnje predora je dolžan deliti svoja opažanja nemudoma z **nadzorom** in **geotehničnim nadzornikom** v ustni in pisni obliki. Vsa opažanja morajo biti ustrezno shranjena pri **nadzoru** in po potrebi posredovana ostalim v vednost ali ukrepanje.

Geološko geotehnično spremljavo bo izvajala skupina strokovnjakov skladno s predmetnimi specifikacijami. Geotehnični nadzornik bo odgovoren za usklajeno delovanje navedene skupine in redno, usklajeno poročanje o rezultatih meritev in opazovanj. Geotehnična spremljava pomikov in drugih meritev se izvaja dnevno. Izvajalec tehnične spremljave je dolžan vse podatke pridobiti, pregledati in obdelati ter najkasneje do ure, določene v tehničnem elaboratu, izdelati poročilo in ga

posredovati naprej nadzoru in izvajalcu gradnje, ki ju s poročilom seznani na dnevnem geotehničnem sestanku.

V kritičnih situacijah se časovnico prilagodi zahtevam na gradbišču z namenom pravočasnega ukrepanja.

## 2.4 Merilna oprema in merski profili

Upoštevajo se merski profili po E-11; minimalna sestava in ključne zahteve:

- **MS1 – 3D merske točke / konvergence:** jeklene palice s prizmami/odbojnimi tarčami, v oblogi/hribini; **sidra  $\geq 250$  mm**, zaščita pred poškodbami; meritve v **absolutnem KS** s preciznim tahimetrom. Razmik profilov v zahodni cevi do  $\sim 30$  m (po kampadah); možnost prerazporeditve/zgostitev.
- **MS3 – sile v geotehničnih sidrih:** merske celice na glavah sider; **območje do 1500 kN**, natančnost min.  $\pm 0,5$  % F. S.; **najmanj 10 %** vseh sider opremimo z merskimi celicami.
- **MS4 – NATM tlačne celice** (radialni kontaktni tlaki hribina–obloga): v talnem oboku glavne cevi in odstavnice niše na projektnih mestih; kompenzacijski način merjenja priporočljiv; natančnost min.  $\pm 0,5$  % F.S.
- **MS5 – merilci specifičnih deformacij + dilatometri:** površinska vgradnja na notranjo oblogo (strop/boka) in na stikih (odpiranje/zapiranje); občutljivost do **1  $\mu$ strain** in npr. **12,5 mm** območja za dilatometer; s temperaturno kompenzacijo; **referenčno spremljanje  $\geq 3$  mesece** izven območja aktivnih del ( $\sim \geq 300$  m).
- **MS6 – pritiski/osi v hidravličnih razporah:** senzorji tlaka za spremljanje **osnih sil**; spremljanje vseh obremenjenih razpor med razpiranjem.
- **MS7 – veriga inklinometrov v talnem oboku:** 360° zaznava nagibov; korozijska odpornost, IP zaščita; vgradnja pred novo izvedbo talnega oboka; v glavnih profilih npr. niz sedmih senzorjev.
- **ZMP in centralna programska oprema:** nastavljen interval (npr.  $\geq 2$ /h; tipično **30 min** za kontinuirano spremljanje), **avtonomija napajanja  $\geq 30$  dni**, IP65, **oddaljeni prenos (LoRa)**, web-vizualizacija, alarmiranje in upravljanje dostopov.

## 2.5 Programska oprema za vrednotenje meritev

Uporabi se **centralna programska oprema za monitoring** (npr. GeoFit) za grafični/numerični prikaz, vključevanje fotografij/opomb, **online** povezavo s senzoriko, ročni vnos, **alarmiranje** in **oddaljen vpogled** po vlogah. Za geodetske meritve mora programska oprema omogočati **obdelavo 3D koordinat, standardne deviacije** in preglednice/diagrame v skladu z E-11.

## 2.6 Dokumentacija

Izvajalec tehnične spremljave mora inženirju predložiti tehnološki elaborat, ki ga potrdi inženir.

Izvajalec geotehnične spremljave mora inženirju predložiti:

- vzorce merskih točk z načinom pritrditve in predvidenim sistemom zaščite, prizem, odbojnih tarč, inklinometrov in merskih celic na glavah sider
- podrobne opise in kataloge instrumentov in aparatov za zajem podatkov, ki bodo uporabljeni
- seznam merske opreme za merske profile
- rezultate predhodnih geodetskih meritev prvotnega stanja, ki morajo biti izvedene pred gradbenimi posegi in služijo kot referenčne pri nadaljevanju meritev po potrjenem programu
- predlog s strokovno utemeljitvijo inženirsko geološke klasifikacije po sistemu GSI in RMR. splošen opis metodologije geološkega kartiranja
- legendo oz. pomen oznak, ki poleg ostalega vsebuje litološke, strukturne geološke, inženirsko geološke in hidrogeološke parametre
- popisni list za popisovanje izkopnega čela
- organizacijsko shemo izvajalca geotehnične spremljave,



- podatke o strokovnjakih, ki sestavljajo ekipe geološke, geodetske in drugih služb oz. nominiranih podizvajalcev, vključno z njihovimi referencami, ki jih imajo za ustrezno področje delovanja
- ostale splošno znane vsebine TEE (tehnično ekonomskega elaborata).

Poleg tega mora izvajalec geotehnične spremljave inženirju predložiti še:

- opis izbranega programskega paketa za vrednotenje geodetskih meritev s pripadajočimi potrjenimi referencami s strani drugih naročnikov, ki obsega najmanj (predstavitev pomikov v treh smereh in prečnem profilu z vektorji pomikov, izpis ovojníc pomikov v različnih smereh, izpis radialnih pomikov, določitev predpomika,
- potreben format podatkov za vrednotenje geodetskih meritev,
- način posredovanja predstavitev rezultatov v dnevni in tedenski poročili,
- načrt dežurstva in kontaktne podatke odgovornih oseb

Rezultati geotehnične spremljave so last naročnika in se smejo uporabljati za strokovno objavo ali pedagoške namene samo v primeru odobritve s strani naročnika.

Vso navedeno dokumentacijo mora odobriti inženir.

## 2.7 Materiali in vgradnja merskih elementov

- **Višinski reper** - igle ali sidra, vgrajena v strop, tla in ali v bok predora, ki morajo omogočati uporabo optičnih merilnih metod za določanje vertikalnih pomikov. Uporabljena metoda niveliranja mora ustrezati natančnosti  $\pm 0,3$  mm z upoštevanjem dovoljene absolutne napake 0,5 mm.
- **Nosilec 3D tarče v predoru (MS1)**  
Nosilci 3D merske točke morajo biti izdelane iz pocinkanih rebrastih jeklenih palic, zaščitene proti koroziji, dolžine najmanj 50 mm za notranjo oblogo in 250 mm za primarno oblogo. Sidra morajo biti pritrjena na armaturno mrežo ali/in uvrstena v hribinsko podlago, in po vgradnji zaščitena proti mehanskim poškodbam ter morajo biti dostopna tudi po končani vgradnji končne plasti brizganega betona. Način vgradnje, pritrditve in zaščite potrdi geotehnični inženir in odobri nadzornik.
- **Prizme ali odbojne tarče (MS1)**  
Za izmere v predoru se uporabi obojestransko odsevne merske tarče z vgrajenim sistemom preloma, ki preprečuje poškodovanje adapterja za namestitev tarč v primeru razstreljevanja ali drugega močnejšega mehanskega dotika tarče. Vse merske točke na površini morajo biti opremljene s steklenimi prizmami.  
Odsevne tarče in steklene prizme morajo biti v geometrijskem smislu narejene tako, da so skladna z vso standardno geodetsko mersko opremo.
- **Tahimeter**  
Za izvedbo optičnih elektronskih meritev mora biti uporabljen tahimeter. Za izvajanje izmer v predoru mora zagotavljati natančnost merjenja kotov  $1''$  in natančnost merjenja razdalj  $1$  mm  $\pm 1,5$  ppm. Za izvajanje kontrolnih izmer geodetskih mrež in izmer površinskih merskih točk mora zagotavljati natančnost merjenja kotov  $0,5''$  in natančnost merjenja razdalj  $0,6$  mm  $\pm 1,0$  ppm.  
Pri kontroli geodetske mreže je nujna uporaba preciznih prizem.  
Za čas izvajanja spremljave mora pooblaščen geodet, ki mu je neposredno nadrejen naročnik, razpolagati z ustreznim instrumentom, ki mora biti redno enkrat letno pregledan in kalibriran s strani pooblaščenega serviserja. Pregled instrumenta se dokazuje s predložitvijo certifikata.
- **Fotogrametrični zajem izkopnih površin in površine primarne obloge**

Fotogrametrično snemanje izkopnih površin je treba izvajati na čelu predora na način, da ne ovira drugih dejavnosti izvajalca. V času ne daljšem od nekaj minut, je treba zajeti celotni izkop čela kalote in pripadajočega ostenja kalote do drugega sloja brizganega betona.

V izogib prevelikim šumom je potrebno omejiti kot snemanja na <45 stopinj glede na izkopno površino. Nezajeta površina ne sme presegati več kot 5 % celotne površine. Interpolirani deli morajo biti jasno označeni.

Oprema mora zagotavljati realističen, zvezen, nepopačen, georeferenciran 3D model z vidno strukturo in geometrično resolucijo, enako ali manjšo kot 1 mm (gostota pik oz. velikost mreže). Absolutna natančnost meritve glede na projektni koordinatni sistem ne sme presegati 2 mm standardne deviacije na razdalji 25 m glede na fiksne točke v predoru.

- **Terestrično lasersko skeniranje površin betonskih oblog**

Pred izvedbo laserskega skeniranja je treba preveriti in uskladiti koordinatni izhodišči izvajalca gradbenih del za vodenje gradbenih del ter geodetov geotehnične spremljave.

Oprema za lasersko skeniranje mora zagotavljati ločljivost skeniranja vsaj 3 mm / 10 m in natančnost skeniranih točk vsaj 2 mm / 10 m.

Programska oprema za obdelavo oblakov točk laserskega skeniranja in analizo geometrije izvedenih del mora zagotavljati neposredno primerjavo s teoretičnim 3D modelom predora. Rezultate mora biti možno prikazovati v zahtevani barvni lestvici, in sicer v obliki prečnih profilov in razvitih plaščev oboka predora. Iz oblakov točk mora biti možno izračunati prostornine nadprofilov in prostornine polnilnih betonov zaradi neizvršenih deformacij.

Navodila za izvajanje meritev, opise opreme in druga navodila morajo biti pred vgradnjo posredovana v potrditev nadzorniku. Če nadzor ne potrdi prelagane merske opreme ali zahteva dopolnitev opisov in delovanja naprave, je izvajalec spremljave dolžan vlogo dopolniti, skladno z zahtevami.

- **Merske celice na geotehničnih sidrih (MS3)**

Merske celice se vgrajujejo na glavah merskih sider za merjenje obremenitev. Uporabijo se lahko električne merske celice, ki delujejo na principu meritev sprememb specifičnih deformacij. Občutljivost meritev znaša za hidravlične celice  $\pm 1\%$  njene merilne kapacitete. Za električne merske celice je občutljivost določena z vrednostjo  $\pm 0.5\%$  njene merilne kapacitete. Napaka zaradi temperaturne spremembe 200C znaša lahko do 1.2 % izmerjene vrednosti. Omogočati morajo povezavo na sistem za avtomatsko zbiranje podatkov ZMP.

- **Tlačne merske celice (MS4)**

Za spremljavo razvoja napetosti ter njihove prerazporeditve na kontaktu med primarno oblogo in hribino predora bodo uporabljene tlačne merske celice. Uporabljena bo referenčna metoda merjenja, ki omogoča direktno določitev radialnih kontaktnih napetosti (tlakov) med hribino in oblogo. V glavni predorski cevi je projektno določen merski profil MS4, ki je sestavljen iz treh radialni tlačnih merskih celic v talnem oboku. V odstrani niši je merski profil MS4, sestavljen iz petih radialnih tlačnih celic v talnem oboku.

Specifikacije tlačnih celic:

- tip celice: NATM tlačna kontaktna celica za merjenje radialnih/tangencialnih tlakov med hribino in oblogo
- merilno območje: 20 MPa (standardne vrednosti)
- varnostna rezervna kapaciteta (overload kapaciteta):  $\geq 150\%$  FS (VW)
- natančnost: min.  $\pm 0,5\%$  F.S.
- življenjska doba: >15 let

Opomba: F.S. (full scale) pomeni celotno merilno območje.

Tlačne merske celice morajo omogočati povezavo na sistem za avtomatsko zbiranje podatkov ZMP.

- **Merilci deformacij na betonskih stikih (MS5)**

Merilci deformacij (»crackmeter«, dilatometer) na betonskih stikih so namenjeni za zaznavanje morebitnih premikov dilatacij na stiku stropne plošče z notranjo oblogo. Specifikacije merilcev deformacija:

- območje: 12.5 mm
- občutljivost: min.  $\pm 0.1\%$  F. S.
- natančnost: min.  $\pm 0.5\%$  F. S.
- omogočati mora povezavo na sistem za avtomatsko zbiranje podatkov
- imeti morajo temperaturni senzor

Opomba: F.S. (full scale) pomeni celotno merilno območje

- **Merilci pritiska v hidravličnih razporah MS(6)**

Senzorji, ki beležijo pritisk v hidravlični razpor, se vgradijo na hidravličnih elementih razpor. Občutljivost meritev znaša za hidravlične celice  $\pm 1\%$  njene merilne kapacitete. Napaka zaradi temperaturne spremembe 200C znaša lahko do 1.2 % izmerjene vrednosti. Omogočati morajo povezavo na sistem za avtomatsko zbiranje podatkov ZMP.

- **Niz inklinometrov MS(7)**

Za meritve razvoja deformacij talnega oboka zahodni cevi je predvidena vgradnja niza - verige inklinometrov med primarno oblogo in hribino.

Niz inklinometrov (»tilt strin«) omogoča meritve spremembe nagiba talnega oboka oziroma zaznamo deformacij le tega. Inklinometri morajo omogočati zaznambo sprememb nagiba v območju 360 stopinj v vseh smereh. Senzorji morajo biti korozijsko odporni in zaščiteni pred vdorom tekočin pri nazivnem tlaku 12 bar.

V glavni predorski cevi in v območju odstavne niše je merski profil sestavljen iz niza sedmih inklinometrov.

Senzorji morajo omogočati povezavo na sistem za avtomatsko zbiranje podatkov ZMP.

## **2.8 Izvedba meritev in vrednotenje**

### **2.8.1 Splošne zahteve**

Vsi instrumenti morajo biti vgrajeni na mestih in v skladu s programom ob upoštevanju tehničnih specifikacij in s projektom določenih pogojev. Program izdela izvajalec spremljanja in odobri nadzornik.

Vsi materiali morajo biti vgrajeni v skladu z zahtevami izbranega proizvajalca opreme in z dodatnimi zahtevami, navedenimi v tem dokumentu. Izvajalcu spremljanja tehnično pomoč pri vgradnji opreme nudi izvajalec sanacije.

Obseg tehnične spremljave sanacije predora se lahko spremeni, če to zahtevajo dejanske geološke ali geotehnične razmere med sanacijo.

Opazovalne točke morajo biti označene s prizmami ali odbojnimi tarčami, pritrjenimi na projektno določene nosilce prizem oz. tarč.

Meritve morajo biti izvedene s tahimetrom. Meritve morajo omogočati določitev pomikov v absolutnem koordinatnem sistemu z minimalno natančnostjo  $\pm 1$  mm, pri največji absolutni napaki 2 mm.

Vgradnja vseh instrumentov in naprav mora biti izvršena čim bližje čela izkopa in čim hitreje po izvedenem izkopnem koraku

Vgradnjo vseh z načrtom predora določenih instrumentov mora voditi izvajalec spremljanja in nadzorovati izvajalec geotehnične spremljave. Izvajalec geotehnične spremljave je dolžan po končani vgradnji obvestiti inženirja o poteku vgradnje in morebitnih težavah, ki so bile prisotne pri izvedbi.

Po vgradnji se izdela zapisnik z vsemi pomembnimi podatki o vgrajevanju; zapisnik potrdi inženir geotehničnih meritev, ki je kontroliral vgradnjo. Izvajalec spremljanja dostavi zapisnik inženirju in po potrebi tudi projektantu.

Vsi instrumenti morajo biti zavarovani pred poškodbami zaradi razstreljevanja, izkopa in prometa v predoru. Izvedena mora biti zaščita s pokrovi ali cevmi, ki ščiti opremo pred poškodbami.

Merilno opremo, ali dele merilne opreme, ki jih poškoduje izvajalec gradnje zaradi izvajanja gradbenih del v predoru, mora le-ta takoj nadomestiti brez dodatnega plačila stroškov, ki so nastali pri takšnem posegu, in o tem obvestiti izvajalca geotehnične spremljave in inženirja.

Rezervni deli in rezervne enote (oprema in material) morajo biti skladiščeni na gradbišču, tako, da je zagotovljena takojšnja dostopnost.

Vgrajena merska oprema, merske točke in potreben prostor za izvajanje meritev morajo biti prosti in dostopni do začetka vgrajevanja hidroizolacijske folije.

Vsi rezultati meritev, geološki popisi, kartiranja itd., ki so uporabljeni in zahtevani v okviru izvajanja geotehničnih meritev in geološke ter hidrogeološke spremljave, morajo biti med gradnjo vedno na voljo nadzorniku in inženirju.

Izvajalec geotehnične spremljave mora priskrbeti in vzdrževati opremo, ki je potrebna za vgradnjo in nadziranje merskih profilov, ves čas gradnje predora.

Dnevno posodobljeni geološki podatki v elektronski obliki morajo biti dostopni in na razpolago vsem pooblaščenim udeležencem v projektu.

Popisi čela se izvajajo skladno s priporočili ISRM.

Geolog mora biti prisoten na gradbišču:

- dnevno ob vsakem izkopnem koraku pri napredovanju gradnje na vseh predorskih objektih, vključno pri izdelavi predvkopov in gradbenih jam v sklopu zadevnega predorskega kompleksa, da se kakovostno in pravočasno izvedejo geološki in hidrogeološki popisi odprtih izkopnih ploskev oz. izkopnih čel.
- na vseh čelih v času predvrtavanja in/ali raziskovalnega vrtanja ter izdelati geološki popis iznosa jedra, in registrirati ter odvzeti vzorce plinov in vode ter napisati strokovno poročilo o rezultatih vrtanja.

Geotehnična in geološka spremljava se lahko spremeni, če to zahtevajo dejanske geološke ali geotehnične razmere. S spremembami v načinu dela in časovnem prilagajanju dejanskim razmeram v predoru morata soglašati nadzornik in inženir. V primeru njenega nestrinjanja s predlogom izvajalca spremljanja mora o tem odločiti naročnik na osnovi neodvisnega strokovnega mnjenja.

Izvajalec sanacije mora priskrbeti in vzdrževati primerno razsvetljavo, prezračevanje, dvižno ploščad vključno s strojnikom, ki ima ustrezne kompetence za izvajanje tovrstnih del. Omogočati mora nemoten dostop do vseh merskih točk in instrumentov osebju, ki izvaja meritve. Enake zahteve veljajo za osebje inženirja, projektanta in izvajalca geotehnične spremljave.

Izvajalec sanacije je dolžan po vnaprej dogovorjenih sredstvih komuniciranja obvestiti inženirja in izvajalca spremljanja o nameravanem izkopu, vrtanju, reprofiliranju itd. vsaj 2 uri pred začetkom aktivnosti.

### 2.8.2 Pogostost meritev

Po oddaljenosti od čela izkopa:

- do 50 m: dnevno,
- 50–100 m: vsak drugi dan,
- 100–200 m: tedensko,
- >200 m: mesečno,

**Vizualni pregled umirjanja deformacij v zahodni cevi se izvaja tedensko.**

V **vzhodni cevi**: geotehnične meritve z **avtomatskim intervalom ~30 min** v celotnem času gradnje; geodetske, vizualne kontrole **na 2 meseca**. Ob odstopanjih po GVN se frekvenca **poveča** oziroma lahko **zmanjša**, če so deformacije manjše od pričakovanih.

### 2.8.3 Odčitavanje, obdelava in interpretacija

Odčitavanje in posredovanje merskih rezultatov mora biti izvedeno strokovno s **pooblaščenimi osebami** izvajalca geotehnične spremljave, ki imajo ustrezne reference s tega področja.

Za obdelavo meritev geodetskega monitoringa mora biti uporabljena programska oprema, ki omogoča direktno shranjevanje podatkov. Izbrana programska oprema mora:

- Obdelavo merskih vrednosti z upoštevanjem meteoroloških popravkov ter geometrijskih in projekcijskih redukcij.
- Izravnavo geodetske mreže z možnostjo nadzora nad uporabo grobo pogrešenih meritev dolžin in/ali kotov.
- Ločeno izravnavo mreže 1D in 2D.
- Vodenje rezultatov izravnav merskih točk v enotni bazi z enotnim poimenovanjem točke glede na stacionažo.
- Transformacijo dela ali celotne baze merskih točk po izvedenih kontrolnih meritvah geodetske mreže.
- Možnost izvoza rezultatov v univerzalnih formatih.
- Predstavitev rezultatov z Načrtom predpisanimi grafi.

Numerični podatki in prezentacija morata biti shranjeni v ASCII kodi na način, da je možen izvoz v programske baze podatkov. Ustreznost formata preveri in potrdi geotehnični nadzornik, ki vrši vrednotenje in interpretacijo ob soglasju in odobritvi inženirja

Vrednotenje in interpretacijo rezultatov geodetskih meritev vrši geotehnični nadzornik, prikaz in osnovno vrednotenje ostalih meritev izvaja izvajalec posameznega sklopa meritev. Skupno vrednotenje in interpretacijo vseh meritev izvaja geotehnični nadzornik.

Prikaz in vrednotenje 3D meritev pomikov merskih točk je treba izvajati z izbranim programskim paketom za spremljanje gradnje predorov in mora omogočati obdelavo naslednjih parametrov:

- Diagram stanja merjenega parametra vzdolž predorske cevi (vplivnice) in trendnih krivulj. Programska oprema za takšen prikaz mora omogočati tudi upoštevanje vrednosti neizmerjenih deformacij
- Diagrami časovnega razvoja merjenih parametrov za posamezno mersko točko
- Diagram deformacij v prerezu (vektorski diagram)
- Prikaze časovnega razvoja merjenih parametrov v merskem profilu v odvisnosti od oddaljenosti od izkopa kalote
- Prikaze časovnih razvojev merjenih parametrov v odvisnosti od oddaljenosti merskega profila od izkopa čela
- Prikaze časovnih razvojev merjenih parametrov v odvisnosti od oddaljenosti merskega profila glede na različne faze del v predoru

- Za uporabo izbrane programske opreme mora izvajalec spremljanja pridobiti soglasje inženirja in v primeru, da je soglasje pridobljeno, eno licenco predati v uporabo geotehničnemu inženirju. Prav tako mora izvajalec spremljanja obvestiti projektanta o izbrani programski opremi.

Uporabljena programska oprema mora omogočati (samo za geodetske meritve) glajenje oz. prilagajanje grafičnih krivulj zaradi izvedbe kontrolnih meritev ali ponovne vgradnje merskih točk. –

Geotehnični nadzornik mora izvesti vrednotenje:

- simultano za vse izvedene meritve, na posameznem objektu ali v vplivnem območju gradnje upoštevajoč rezultate geološke spremljave in ugotovitve o dejanski zgradbi tal,
- po najnovejših znanjih in spoznanjih stroke,
- s pomočjo grafičnih prikazov merjenih količin v tlorisu, prečnih in vzdolžnih prerezih ter z diagrami časovne odvisnosti merjenih veličin ali medsebojne odvisnosti različnih merjenih veličin s ciljem pridobiti realno oceno obnašanja sistema hribina – podporje,
- po objektivnih metodah in s pomočjo simulacij na numeričnih modelih,,
- tako, da se jasno vnaprej razmeji pričakovano, dopustno, mejno in nedopustno stanje in dnevno ovrednoti dejansko stanje na vseh čelih. – Prve meritve (ničelni odčitki) morajo biti izvedene za vsako mersko mesto takoj po vgradnji. Če to ni možno, morajo biti meritve izvedene takrat, ko so za to izpolnjeni pogoji. Kompleksni merski profili (ekstenzometri, merska sidra) se vgradijo največ 24 ur po izkopu.

V zgoraj navedenih diagramih morajo biti predstavljeni naslednji parametri:

- Relativne deformacije med katerima koli merskima točkama
- komponenta oz. katera koli izpeljana komponenta parametra (vertikalna, horizontalna komponenta pomikov)

Koordinate merskih točk morajo biti navedena v relativnem koordinatnem sistemu, ki ga tvorijo: vzdolžna koordinata osi predora, prečni odmik od osi predora in višinska razlika od osi predora.

Format zapisa datoteke predlaga izvajalec spremljanja in odobri geotehnični inženir.

Geotehnični inženir je dolžan elektronsko razposlati ali kako drugače posredovati, inženirju, izvajalcu gradnje in ostalim pooblaščenim udeležencem v gradnji, dnevno vrednotenje in interpretacijo rezultatov meritev, če ni določeno drugače.

#### 2.8.4 Geološka in hidrogeološka spremljava

- **Geološka spremljava in kartiranje:** digitalni in ročni popisi čel, fotogrametrični zajem (3D modeli z visoko ločljivostjo), dopolnjevanje geološkega modela, mesečne interpretacije/prognoze, vzorčenja in laboratorij (tudi sulfatni/sulfidni minerali). Vzpostavi se **enoten sistem** (splet/oblak) za **skladiščenje–obdelavo–komunikacijo–poročanje**.
- **Hidrogeološka spremljava:** tlaki in iztoki v obeh ceveh (prerazporeditve po dograditvi vzhodne cevi), meritve vzdolž drenaž, portalni iztoki, stanje vodnih zajetij (količinsko/kemijsko), vplivi na Savo – koordinacija z **okoljskim monitoringom**.

#### 2.8.5 Kontrola vibracij in plinov

- **Vibracije:** pri razstreljevanjih in drugih virih je obvezno spremljanje; izvajalec pripravi in revidira **Rudarski projekt (RP)**; meritve in analiza po **DIN 4150-3 / ÖNORM S 9020**, z razvrstitvijo objektov in mejami dopustnih hitrosti vibracij; merilna mesta se določijo na kraju z dokumentiranjem.
- **Nevarni plini:** spremljanje je obravnavano v ločenem elaboratu **E-13** (plini) in **E-12** (prezračevanje); izvajalec upošteva navodila teh elaboratov.

### 2.8.6 Ukrepanje med gradnjo (GVN – varnostni nivoji)

Uporablja se **geotehnični varnostni načrt (GVN)** z nivoji **0, 1, 2a, 2b**, vezanimi na **določene meje pomikov/obremenitev** in pripadajoče **ukrepe** (zgostitve meritev, hidravlične razpore, krajšanje koraka, zasutja, krizno vodenje itd.). Mejne vrednosti in ukrepi so podani v E-11 (vključno s **preglednico nivojev** in **dopustnimi pomiki** v glavni cevi/niši).

## 2.9 Končno poročilo

Po dokončanih sanacijskih delih mora izvajalec tehnične spremljave izdelati končno poročilo, ki bo vsebovalo v pisni, preglednični in grafični obliki:

- opis in prikaz geoloških razmer v vplivnem območju predora z vsemi posebnostmi in geološko pogojenimi pojavi
- opis in prikaz hidrogeoloških razmer
- ovrednotene rezultate vseh meritev.

Kot priloge h končnemu poročilu bodo dodani dnevni oz. obdobni rezultati izvedenih meritev in geološke spremljave.

Končno poročilo bo predstavljalo del projekta izvedenih del.

Poročila pripravi izvajalec tehnične spremljave. Potrdi ga inženir.

## 2.10 Arhiviranje in dostop

Vse meritve se **arhivirajo** (numerično in grafično) v centralnem sistemu; vzpostavljen je **oddaljen vpogled** po pooblastilih; izvoz podatkov je omogočen za projektantske analize in vsa uradna poročila (vključno s prilogami in tehničnimi prikazi).

## 2.11 Izmere

Vgradnja opazovalnih naprav in instrumentov se meri po dejansko vgrajenih količinah, ki so podane v popisu del s količinami.

## 2.12 Plačilo

Storitve izvajalca spremljave so plačane po posebni pogodbi.

Vgradnja geotehničnih merskih naprav in instrumentov se plača po dejansko vgrajenih količinah, ki so podane v popisu del s količinami.

Izvedba meritev, odčitavanje, vnos podatkov, grafični prikaz se plača po ceni na enoto za vsak mesec (inž./dan). Cena na enoto merjenja mora vključevati vsa zgoraj naštetá dela, opremo (tahimeter), materiale (merske tarče za geodetske meritve) in ustrezno programsko opremo, ki je potrebna za izvedbo storitve za celotni čas gradnje.

Rezultati opazovanj, ki niso pravočasno predani ali niso izvedeni v skladu z določili Tehničnih specifikacij ali načrtov ali pravil stroke, se ne plačajo (1/30 za dan).

Cena na enoto za vgradnjo merskega profila mora vključevati vso potrebno opremo za ustrezno vgradnjo. Vrtanje in druga tehnična pomoč je zajeta v pogodbi z izvajalcem sanacije.

Geološko kartiranje čela se obračuna skladno z napredovanjem sanacijskih del predora (inž./dan).