Bosna i Hercegovina

DIREKCIJA CESTA FEDERACIJE BiH
Sarajevo

Javno preduzeće
"PUTEVI REPUBLIKE SRPSKE"
Banja Luka

SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA PUTEVIMA

KNJIGA I: PROJEKTOVANJE

DIO 4: TUNELI

Sarajevo/Banja Luka

2005

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

DDC Consulting & Engineering Ltd.
DDC svetovanje inženiring,
Družba za svetovanje in inženiring, d.o.o.

1.4.1 PREDMET SMJERNICA 7
1.4.2 DEFINICIJE – RIJEČNIK POJMOVA 7
1.4.3 PRINCIPI PROJEKTOVANJA TUNELA 17
1.4.4 OPŠTI KRITERIJI PROJEKTOVANJA 19
1.4.4.1 BROJ TUNELSKIH CIJEVI I SAOBRAĆAJNIH TRAKA 19
1.4.4.2 PRESJEK TUNELA 19
1.4.4.3 TRASA 21
1.4.4.3.1. HORIZONTALNA TRASA 21
1.4.4.3.2. VERTIKALNA TRASA 22
1.4.4.4 TOLERANCIJE 22
1.4.4.4.1. OPĆENITO 22
1.4.4.4.2. TOLERANCIJE ZA INICIJALNE OBLOGE (PRIMARNE PODGRADE) 23
1.4.4.4.3. TOLERANCIJE FINALNOG OBLOGA 23
1.4.4.4.4. OSTALE TOLERANCIJE 24
1.4.5 ISPITIVANJE TLA 25
1.4.5.1 UVOD 25
1.4.5.1.1. SVRHA 25
1.4.5.1.2. KORACI I METODE ISTRAŽIVANJA 25
1.4.5.2 PRELIMINARNA STUDIJA 25
1.4.5.2.1. UREDSKA STUDIJA 25
1.4.5.2.1.1 PREGLED LITERATURE 25
1.4.5.2.1.2 INTERPRETACIJA AERO-FOTO SNIMAKA 25
1.4.5.2.2. TERENSKA STUDIJA 26
1.4.5.2.2.1 GEOLOŠKO KARTIRANJE I STUDIJE POVRŠINSKIH STIJENA 26
1.4.5.2.2.2 ISTRAŽIVAČKI ISKOPI 26
1.4.5.2.3. PRIVREMENI GEOLOŠKI IZVJEŠTAJI 26
1.4.5.3 DETALJNA STUDIJA 27
1.4.5.3.1. GEOFIZIČKO ISTRAŽIVANJE 27
1.4.5.3.1.1 OPĆENITO 27
1.4.5.3.1.2 GEOFIZIČKE METODE 27
1.4.5.3.1.2.A) SEIZMIČKA ISTRAŽIVANJA 27
1.4.5.3.1.2.B) GEOELEKTRIČNO ISTRAŽIVANJE 28
1.4.5.3.1.2.C) ELEKTROMAGNETSKO ISTRAŽIVANJE 28
1.4.5.3.1.2.D) GEOFIZIČKO SNIMANJE BUŠOTINA 28
1.4.5.3.2. ISTRAŽIVAČKO BUŠENJE 28
1.4.5.3.2.1 OPĆENITO 28
1.4.5.3.2.2 BUŠENJE U ZEMLJANOM TLU 29
1.4.5.3.2.3 BUŠENJE U STIJENAMA 29
1.4.5.3.3. ISTRAŽIVAČKI PRILAZI, ŠAHTOVI I TUNELI 29
1.4.5.3.4. UZORKOVANJE 30
1.4.5.3.4.1 POREMEĆENI UZORCI 30
1.4.5.3.4.2 NEPOREMEĆENI UZORCI 30
1.4.5.3.5. IN-SITU ISPITIVANJA 30
1.4.5.3.5.1 ISPITIVANJE STANDARDNOM PENETRACIJOM (SPT) 31
1.4.5.3.5.2 ISPITIVANJE SMIČNE ČVRSTOĆE KRILNOM SONDOM 31
1.4.5.3.5.3 ISPITIVANJE OPTERETNOM PLOČOM 31
1.4.5.3.5.4 PRESIOMETARSKA I DILATOMETARSKA TESTIRANJA 31
1.4.5.3.5.5 TESTIRANJA VAZDUŠNIM JASTUKOM 31
1.4.5.3.5.6 OSTALA TESTIRANJA NAPETOSTI I NAPREZANJA U STIJENSKIM MASIVIMA 31
1.4.5.3.5.7 TESTIRANJA PROPUSTLJIVOSTI (UGLAVNOM ZEMLJANOG TLA) 32
1.4.5.3.5.8 TESTIRANJA PUMPANJEM (UGLAVNOM TLA) 32
1.4.5.3.5.9 TESTIRANJA VODOM POD PRITISKOM U BUŠOTINAMA (UGLAVNOM U KAMENIM MASIVIMA) 33
1.4.5.3.6. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA 33
1.4.5.3.6.1 LABORATORIJSKO ISPITIVANJE TLA 33
1.4.5.3.6.2 LABORATORIJSKA TESTIRANJA STIJENA 33

1.4.5.3.7. FINALNI GEOLOŠKI I GEOTEHNIČKI IZVJEŠTAJ 34
1.4.6 PRINCIPI PROJEKTOVANJA I SISTEMI KLASIFIKACIJE STIJENA 35
1.4.6.1 OPĆENITO 35
1.4.6.2 EMPIRIJSKI METODI PROJEKTOVANJA 35
1.4.6.3 ANALITIČKA I NUMERIČKA ANALIZA 35
1.4.6.3.1. OPĆENITO 35
1.4.6.3.2. ANALITIČKA RJEŠENJA 36
1.4.6.3.3. ANALIZE GRANIČNOG STANJA 36
1.4.6.3.4. NUMERIČKI METODI 36
1.4.6.3.4.1 METOD KONAČNIH ELEMENATA (FEM) 36
1.4.6.3.4.2 METOD GRANIČNIH ELEMENATA (BEM) 37
1.4.6.3.4.3 METOD KONAČNE RAZLIKE ZA MODEL KONTINUUMA 37
1.4.6.3.4.4 METOD KONAČNE RAZLIKE ZA MODEL DISKONTINUUMA 37
1.4.6.4 SISTEMI KLASIFIKACIJE STIJENA 37
1.4.6.4.1. PREGLED SISTEMA 37
1.4.6.4.1.1 TERZAGIJEVA KLASIFIKACIJA 37
1.4.6.4.1.2 DEEREOVO OZNAČAVANJE KVALITETA STIJENA (RQD) 38
1.4.6.4.1.3 BIENIAWSKIJEVA KLASIFIKACIJA 38
1.4.6.4.1.4 INDEKS GEOLOŠKE ČVRSTOĆE (GSI) 39
1.4.6.4.1.5 BARTONOVA KLASIFIKACIJA 39
1.4.6.4.1.6 AUSTRIJSKA KLASIFIKACIJA 40
1.4.6.5 PRINCIPI NOVOG AUSTRIJSKOG METODA IZGRADNJE TUNELA 41
1.4.7 PROJEKAT ISKOPAVANJA 44
1.4.7.1 GEOTEHNIČKI MODEL 44
1.4.7.1.1. ISKOP TUNELA U STIJENAMA 44
1.4.7.1.2. ISKOP TUNELA U TLU 45
1.4.7.2 PRAĆENJE GASOVA 45
1.4.7.2.1. I. 46
1.4.7.2.2. EKSPLOZIVNI GASOVI U STIJENSKOJ MASI 46
1.4.7.3 VENTILACIJA GRADILIŠTA 46
1.4.7.4 GEODETSKI RADOVI 46
1.4.7.4.1. GEODETSKA KOORDINATNA OSNOVA 46
1.4.7.4.1.1 USPOSTAVLJANJE KOORDINATNE OSNOVE TERESTRIČKIM METODAMA .. 47
1.4.7.4.1.2 USPOSTAVLJANJE KOORDINATNE OSNOVE POMOĆU GPS TEHNOLOGIJE. 47
1.4.7.4.1.3 PRECIZNOST KOORDINATNE OSNOVE 47
1.4.7.5 POTPORNI ELEMENTI 48
1.4.7.5.1. OPĆENITO 48
1.4.7.5.2. MLAZNI BETON 49
1.4.7.5.3. ŽIČANA MREŽA 49
1.4.7.5.4. MLAZNI BETON POJAČAN VLAKNIMA 50
1.4.7.5.5. ČELIČNI LUKOVI 50
1.4.7.5.6. STIJENSKA SIDRA 50
1.4.7.5.6.1 TRENJSKA SIDRA 50
1.4.7.5.6.1.A) SIDRA SA RASCIJEPLJENIM KLINOM 51
1.4.7.5.6.1.B) SWELLEX SIDRA 51
1.4.7.5.6.2 ZALIJEVNA SIDRA 51
1.4.7.5.6.2.A) SN-SIDRO 51
1.4.7.5.6.2.B) IBO INJEKCIONO SIDRO (INJECTION-BORE-BOLT) 51
1.4.7.5.6.2.C) INJEKCIONO SIDRO: 51
1.4.7.5.7. KABELSKA SIDRA 52
1.4.7.5.8. PODUPIRAČKE CIJEVI I KOPLJA 52
1.4.7.5.9. CIJEVNI ŠTIT 52
1.4.7.5.9.1 ČELIČNE CIJEVI VELIKOGA PREČNIKA 52
1.4.7.5.9.2 ČELIČNE CIJEVI MALOGA PREČNIKA 52
1.4.7.6 METODI ISKOPAVANJA 53
1.4.7.6.1. MBT – MAŠINE ZA BUŠENJE TUNELA 53

1.4.7.6.2. BUŠILICE I BAGERI ... 55
1.4.7.6.2.1 POKRETNA BUŠILICA ... 55
1.4.7.6.2.2 BAGER ... 55
1.4.7.6.2.3 METODA BUŠENJA I MINIRANJA ... 55
1.4.7.7 PROJEKAT POSTUPAKA ISKOPAVANJA ... 56
1.4.7.7.1. MJERE ZA POVEĆANJE STABILNOSTI ... 56
1.4.7.7.1.1 PODJELA NA SEKTORE ISKOPAVANJA ... 56
1.4.7.7.1.2 POTPORNO TIJELO ... 56
1.4.7.7.1.3 PRIVREMENI PODNOŽNI SVOD ... 56
1.4.7.7.1.4 DRENAŽA ... 56
1.4.7.7.2. DOPUNSKE MJERE U IZGRADNJI TUNELA ... 56
1.4.7.7.2.1 KOMPRIMIRANI VAZDUH ... 57
1.4.7.7.2.2 MLAZNO CEMENTIRANJE – JET GROUTING ... 57
1.4.7.7.2.3 INJEKTOVANJE CEMENTOM ILI KEMIKALIJAMA ... 57
1.4.7.7.2.4 ZAMRZAVANJE TERENA (TLA) ... 58
1.4.7.7.2.5 SPUŠTANJE NIVOA PODZEMNIH VODA ... 58
1.4.7.7.2.6 RASŠIRENA STOPA KALOTE - „SLONOVA STOPA" ... 58
1.4.7.7.3. REDOSLJED ISKOPAVANJA ... 58
1.4.7.7.3.1 DOBRI (STABILNI) USLOVI STIJENA ... 59
1.4.7.7.3.2 SLABA ILI JAKO RASPUCALA STIJENA ... 59
1.4.8 PROJEKAT OBLOGE TUNELA ... 61
1.4.8.1 FINALNA UNUTARNJA BETONSKA OBLOGA ... 61
1.4.8.1.1. OPĆENITO ... 61
1.4.8.1.2. PROJEKAT ... 61
1.4.8.1.3. MINIMALNI PROJEKTNI ZAHTJEVI ZA UNUTARNJU OBLOGU ... 63
1.4.8.1.4. VODONEPROPUSNA UNUTARNJA BETONSKA OBLOGA ... 64
1.4.8.1.5. STRUKTURALNA ANALIZA UNUTARNJEG OBLOGA ... 64
1.4.8.2 MEMBRANSKA OBLOGA ... 65
1.4.8.3 DRENAŽNI SISTEM ... 65
1.4.8.4 INSPEKCIONI ŠAHTOVI ZA DRENAŽU STIJENSKIH VODA ... 66
1.4.8.5 PORTAL TUNELA ... 66
1.4.8.5.1. OSNOVNA FILOZOFIJA PROJEKTOVANJA ... 66
1.4.8.5.2. PROJEKAT PRIJELAZA ... 66
1.4.8.5.3. TUNELI «CUT AND COVER» - POKRIVENI USJECI ... 66
1.4.8.5.4. PODUPIRUĆE KONSTRUKCIJE ... 66
1.4.8.6 KABELSKI KANALI ... 67
1.4.9 INSTRUMENTACIJA I PRAĆENJE ... 69
1.4.9.1 UVOD ... 69
1.4.9.2 PARAMETRI ZA PRAĆENJE ... 69
1.4.9.3 SEKCIJE PRAĆENJA ... 70
1.4.9.4 MJERNA OPREMA ... 70
1.4.9.4.1. OTKLONI OBLOGA ... 71
1.4.9.4.1.1 MJERENJE KONVERGENCIJE S POMOĆU TRAČNOG EKSTENZOMETRA ... 71
1.4.9.4.1.2 OPTIČKO 3-D PRAĆENJE DEFORMACIJA S POMOĆU TRIGONOMETRIJSKE OPREME ... 71
1.4.9.4.1.3 MJERENJA SLIJEGANJA OBLOGA ... 71
1.4.9.4.2. MJERENJA NAPREZANJA U OBLOZI TUNELA ... 72
1.4.9.4.2.1 HIDRAULIČNA TLAČNA ĆELIJA ... 72
1.4.9.4.2.2 MJERAČI NAPREZANJA MLAZNOG BETONA ... 72
1.4.9.4.2.3 MJERENJA NAPETOSTI NA ČELIČNIM LUKOVIMA ... 73
1.4.9.4.3. SILE U SIDRIMA ... 73
1.4.9.4.3.1 MJERNO SIDRO ... 73
1.4.9.4.3.2 ĆELIJA OPTEREĆENJA ... 73
1.4.9.4.4. DEFORMACIJA TLA ... 74
1.4.9.4.4.1 EKSTENZOMETAR ... 74
1.4.9.4.4.2 INKLINOMETAR ... 74

1.4.9.4.5. PODZEMNE VODE ... 75
1.4.9.4.5.1 MJERENJA PODZEMNIH VODA TIJEKOM OPERACIJA BUŠENJA ... 75
1.4.9.4.5.2 BUŠOTINSKE INSTALACIJA ZA MJERENJE PODZEMNIH VODA ... 75
1.4.9.4.5.2.A) USPRAVNE CIJEVI/PIEZOMETRI ... 75
1.4.9.4.6. POMJERANJA GRAĐEVINA I KONSTRUKCIJA ... 77
1.4.9.4.6.1 MJERENJA SLIJEGANJA ... 77
1.4.9.4.6.2 MJERAČ NAGIBA - TILTMETAR ... 77
1.4.9.4.7. VIBRACIJE ZBOG MINIRANJA ... 77
1.4.9.4.7.1 SEIZMOGRAF ... 77
1.4.9.5 UNOS PODATAKA ... 79
1.4.9.5.1. OPĆENITO ... 79
1.4.9.5.2. RUČNI UNOS PODATAKA ... 79
1.4.9.5.3. KOMPJUTORIZOVANI UNOS PODATAKA ... 79
1.4.9.6 INTERPRETACIJA MJERNIH PODATAKA ... 80
1.4.9.6.1. OPĆENITO ... 80
1.4.9.6.2. RELEVANTNOST METODA PRAĆENJA ... 80
1.4.9.6.2.1 BESKONTAKTNO PRAĆENJE DEFORMACIJE ... 80
1.4.9.6.2.2 KONVERGENCIJE ... 80
1.4.9.6.2.3 NIVELISANJE ... 80
1.4.9.6.2.4 BUŠOTINSKI EKSTENZOMETRI ... 80
1.4.9.6.2.5 MJERNA SIDRA ... 80
1.4.9.6.2.6 MJERENJA NAPETOSTI ... 80
1.4.9.6.3. ISCRTAVANJE PODATAKA ... 81
1.4.9.6.4. MJERENJA ZA VRIJEME RADOVA ... 81
1.4.10 VENTILACIJA TUNELA ... 83
1.4.10.1 MINIMALNI KRITERIJI ZA PLANIRANJE VENTILACIJE ... 84
1.4.10.2 KONTROLA KVALITETA VAZDUHA U TUNELIMA ... 85
1.4.11 TUNELSKA RASVJETA ... 87
1.4.11.1 ZONE TUNELA ... 87
1.4.11.1.1. ULAZNA ZONA TUNELA – INICIJALNA ... 87
1.4.11.1.2. ZONA ULAZA U TUNEL - PRIJELAZNA ... 87
1.4.11.1.3. UNUTRAŠNJOST TUNELA ... 87
1.4.11.2 SISTEMI TUNELSKE RASVJETE ... 88
1.4.11.3 PODEŠAVANJE TUNELSKE RASVJETE ... 88
1.4.11.3.1. ULAZ: INICIJALNA I PRIJELAZNA ZONA ... 88
1.4.11.3.2. UNUTRAŠNJA ZONA ... 88
1.4.11.4 MEHANIČKA KONSTRUKCIJA RASVJETNIH TIJELA ... 88
1.4.12 UPRAVLJANJE TUNELOM ... 89
1.4.12.1 OSNOVNI ZAHTJEVI ... 89
1.4.12.2 FUNKCIJE SISTEMA UPRAVLJANJA TUNELOM ... 89
1.4.12.3 PODACI PRIKUPLJENI MJERENJIMA ... 89
1.4.12.4 UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM UNUTAR TUNELA ... 90
1.4.12.5 UPRAVLJANJE U VANDREDNIM OKOLNOSTIMA ... 91
1.4.12.5.1. SISTEMI NADZIRANJA TUNELA ... 91
1.4.12.5.1.1 SOS POZIVNI SISTEM ... 91
1.4.12.5.1.2 VIDEO NADZOR (CCTV- TELEVIZIJA ZATVORENOG KRUGA) ... 91
1.4.12.5.1.3 AUTOMATSKA DETEKCIJA VANREDNIH DOGAĐAJA ... 91
1.4.12.5.1.4 TUNELSKI RADIO UREĐAJI ... 91
1.4.12.5.1.5 ZVUČNI SISTEM ... 91
1.4.12.5.1.6 SAOBRAĆAJNI ZNAKOVI I SIGNALI ... 91
1.4.12.5.1.7 TRANSPORT OPASNIH MATERIJA ... 92
1.4.12.5.1.8 RASTOJANJE MEĐU VOZILIMA ... 92
1.4.12.5.2. POSTROJENJA ZA BEZBJEDNOST TUNELA ... 92
1.4.12.5.2.1 IZLAZI I PUTEVI ZA SLUČAJ NUŽDE ... 92
1.4.12.5.2.2 ZONE SKLANJANJA ... 92
1.4.12.5.2.3 POPREČNI PJEŠAČKI PRIJELAZI U TUNELIMA ... 95

1.4.12.5.2.4 POPREČNI PRIJELAZI ZA VOZILA 95
1.4.12.5.2.5 NIŠE ZA SOS POZIVE 96
1.4.12.5.2.6 ELEKTRIČNO NAPAJANJE 97
1.4.12.6 PROTUPOŽARNA BEZBJEDNOST U TUNELIMA 97
1.4.12.6.1. HIDRANTNA MREŽA 97
1.4.12.6.2. PRENOSIVI RUČNI APARATI ZA GAŠENJE 99
1.4.12.6.3. VATRODOJAVNI SISTEMI 99
1.4.13 ORGANIZACIJA RADA TUNELA 101
1.4.13.1 PLAN RADA TUNELA 101
1.4.13.2 ULOGE POJEDINIH SERVISA 101
1.4.13.2.1. ADMINISTRATIVNA TIJELA 101
1.4.13.2.2. UPRAVNIK TUNELA 102
1.4.13.2.3. INŽENJER ZA BEZBJEDNOST 102
1.4.13.2.4. INSPEKCIONI SERVISI 102
1.4.13.3 DOKUMENTACIJA, PUŠTANJE TUNELA U RAD I PLANIRANO VJEŽBANJE 102
1.4.13.3.1. BEZBJEDNOSNA DOKUMENTACIJA 102
1.4.13.3.2. PLANIRANE VJEŽBE 103
1.4.13.4 VANREDNI DOGAĐAJI U TUNELU 104
1.4.13.4.1. RADOVI U TUNELU 104
1.4.13.4.2. UPRAVLJANJE U SLUČAJU NESREĆE 104
1.4.13.4.3. BLOKADA TUNELA 104

1.4.1 PREDMET SMJERNICA

Izrada tunela predstavlja zahtijevan interdisciplinaran rad. Radovi se izvode u geološkoj sredini koja nikada nije u potpunosti poznata. Brojni radovi koji se izvode tokom izgradnje tunela sprovode se u sličnom obliku i tokom izgradnje puteva na površini, pa je, zbog izvedbe u ograničenom i specifičnom prostoru, u tom slučaju izvedba otežana. Zbog specifičnosti radnog okruženja, tokom rada ispod površine izvode se i radovi koji se na površini ne sprovode. Kao posledica širokog raspona mogućih uslova, u oblasti tunelogradnje razvijena su brojna tehnološka rješenja.

Smjernice daju preporuke za različite radove koji se izvode tokom izgradnje putnih tunela.

- Principi projektiranja tunela: dati su osnovni principi koje je potrebno slijediti prilikom izgradnje tunela
- Osnovni projektni kriterijumi: dati su osnovni projektni kriterijumi koji se odnose na broj tunelskih cijevi, gabarite tunelskog profila, uspona i nagiba tunela, kao i tolerancija.
- Ispitivanja stjenovitog područja predstavljene su faze ispitivanja po određivanju toka trase, koje služe kao temelj projektiranja
- Metode planiranja i sistemi klasifikacije stijena: predstavljene su metode planiranja potpornog sistema tunela i klasifikacije stijenskih masa, koje u izgradnji tunela imaju značajnu ulogu.
- Projekat tunelskog iskopa predstavljene su aktivnosti koje su neposredno povezane sa fazom izvedbe iskopa i uspostavljanja osnovne tunelske podgrade (geotehnički model, praćenje i mjerenja kvaliteta vazduha u tunelu, ventilacija, metode iskopa i osnovne podgrade)
- Planiranje tunelskog obloga predstavljeni su planiranje i izvedba unutrašnjeg betonskog obloga, portala, hidroizolacije, odvodnjavanja i instalacijskih kineta.
- Instrumenti i mjerenja Predstavljena je tehnička oprema namijenjena mjerenju, i u cjelini predstavljeni svrha i način izvođenja mjerenja.
- Ventilacija tunela: Date su osnovne smjernice za izvedbu ventilacionog sistema tunela u fazi eksploatacije.,
- Tunelska rasvjeta: Date su osnovne smjernice za izvedbu tunelske rasvjete.,
- Upravljanje tunelima: Date su osnovne smjernice za optimalno upravljanje tunelima., i
- Organizacija eksploatacije tunela.

1.4.2 DEFINICIJE – RIJEČNIK POJMOVA

ADITIV	Materijal koji se dodaje mješavini betona ili mlaznog betona, i mijenja svojstva mješavine ili finalnog proizvoda.
AKVIFER, VODONOSNIK	Vodonoseći sloj propustne stijene/tla.
BETON OJAČAN VLAKNIMA / MIKROARNIRANI MLAZNI BETON	Beton ili mlazni (prskani) beton koji sadrži proizvoljno raspoređena vlakna dodata prilikom miješanja.
BINA, KORPA, RADNA PLATFORMA	Ograđena platforma nalik kabini lifta, koristi se za transport radnika i različitog materijala uz i niz okno.
BLOKOVITA STIJENA	Stijena sa sraslinama ili pukotinama raspoređenim i usmjerenim tako da u uslovima iskopa omogućavaju pucanje stijene na rastresite blokove.
BUBRENJE	Povećanje zapremine pod uticajem vode.
BUŠEĆA KOLA	U izgradnji tunela metodom bušenja i miniranja, označava pokretni ram, na točkovima ili šinama, sa platformama na kojima stoje radnici ili mašine za bušenje.

BUŠENJE	U smislu građevinskih radova, predstavlja stvaranje relativno malog kružnog otvora u tlu ili stijenskoj masi pomoću reznog alata, dok se isječeni materijal uklanja pomoću kružeće tečnosti.
BUŠENJE I MINIRANJE	Metoda razaranja stijenske mase bušenjem otvora malog prečnika po unaprijed isplaniranom rasporedu, njihovo punjenje eksplozivom i aktiviranje po utvrđenom programu u cilju rastresanja stijene u skladu sa željenom konturom.
BUŠIVOST	Konkretna vrijednost koja označava karakteristike procesa bušenja stijene u smislu stepena penetracije koji se postiže upotrebom određenog tipa dlijeta i potiska.
ĆELIJA ZA MERENJE NAPONA, MJERAČ NAPONA	Uređaj za mjerenje osnog opterećenja pomoću klinova pričvršćenih za elastični konstrukcijski element, za koji je utvrđena kalibraciona krivulja koja odražava primjenjeno opterećenje i očitane vrijednosti.
ČELO	Vertikalni zid na kraju iskopa u tunelu.
ČEP	Inertni materijal koji se ubacuje u minsku bušotinu, iznad eksplozivnog punjenja. Za cilj ima ograničavanje siline ekplozije u stijenskoj masi.
ČESTICE	Sitni fizički djelići bilo koje vrste koji se nalaze u vazduhu, npr. prašina. Visoka zastupljenost predstavlja vid zagađenja vazduha.
CIJEV	Tunelski otvor za putni i željeznički saobraćaj i smještanje instalacija često se nazivaju cijevima.
CO, CO_2	Ugljen monoksid, ugljen dioksid. Uobičajeni zagađivači čije se prisustvo prati u urbanim područjima.
ČVRSTA NEPOREMEĆENA STIJENA	Masivna stijena koja ne sadrži izrazitih diskontinuiteta.
ČVRSTA STIJENSKA MASA	U građevinarstvu označava čvrsto vezanu stijensku masu za čiji iskop je neophodno miniranje ili specijalno ojačani sjekači; generalno uključuje magmatske i metamorfne stijene, kao i čvršće povezane sedimentne stijene.
DEFORMACIJA	Promjena oblika konstrukcije, dijela konstrukcije ili tla. Obično se odnosi na promjenu oblika kada je riječ o opterećenju unutrašnjeg tunelskog profila.
DIM IZ DIZEL AGREGATA	Lebdeće čestice ugljenika, glavni zagađujući element dizel motora.
DONOSILAC ODLUKA, ODGOVORNO LICE	Lice koje donosi odluke. Ovaj termin obično se odnosi na lica koja donose odluke u ime preduzeća ili vodstva.
EKSPANZIONA SIDRA	Šipke opremljene ekspanzionim elementom na jednom, i maticom sa podloškom na drugom kraju. Postavljaju se u bušotine kako bi održavali stijensku masu.
EKSTENZOMETAR	Uređaj za precizno mjerenje konvergencije i divergencije referentnih tačaka duž zajedničke ose.
ELASTIČAN	Označava materijal ili stanje materijala gdje su napetosti ili deformacije reverzibilne, nominalno trenutno a u praksi unutar odredenih tolerancija i proizvolnog vrijemena.
ELEKTROFILTARSKI PEPEO	Fini talog koji je proizvod sagorijevanja uglja, odvojen iz dimnih gasova pomuću elektrofiltrom.
EMISIJA	Količina supstanci ispuštene u vazduh.
FILTARSKA PATRONA	Filtarski elementi koji služe za uklanjanje čestica prašine u motorima i vozilima.
FINALNA OBLOGA	Trajna potporna konstrukcija okna ili tunela postavljena zbog stabilnosti ili drugih zahtjeva korisnika; često uključuje elemente primarne podgrade, naziva se i trajnom oblogom / podgradom.
FOLIJACIJA	Opšti pojam za označavanje planarnog rasporeda teksturnih ili strukturnih svojstava bilo kog tipa stijena, naročito planarne strukture koja je rezultat gnječenja zrnastih materijala koji čine metamorfne stijene.
GALERIJA	Jedan od niza tunela probijenih jedan za drugim ili usporedo. Postepeno se povezuju jedan sa drugim kako bi formirali jedan tunel većeg poprečnog presjeka. Mogu se nazivati i potkopima.

GLATKO MINIRANJE; «SMOOTH LASTING»	Tehnika u kojoj se primjenjuju precizno, kontrolisano bušenje i posebno pripremljena punjenja za periferne minske bušotine radi smanjivanja prekoprofilskog iskopa. Vidi takođe pod «predminiranje kontura iskopa (prespliting)»
GNJEČENJE TLA	Plastičnost slabog materijala, obično glinastog tla, pod težinom zemljišta koje se nalazi iznad njega; ovakvo tlo teži postepenom zaprečavanju otvora tunela, sporo ulazeći u njega bez očiglednog uvećanja zapremine.
GORSKI UDAR	Spontano i nasilno odvajanje jedne ili više ploča prenapregnute stijene.
INICIJALNA (PRIMARNA) PODGRADA	Podgrada potrebna za osiguranje stabilnosti tunelskog otvora, ugrađena je neposredno iza iskopnog čela i uobičajeno sastoji iz remenata čeličnih lukova ili rešetkastih nosača, mlaznog betona, elemenata za ojačavanje ili različitih kombinacija navedenog.
INJEKCIONA MASA	Pumpabilna suspenzija od čistog cementa, ili mješavine čistog cementa i sitnog pijeska, koja se uliva u bušotine radi ojačavanja nekonzistentog zemljišta/stijenske mase, ili sprečavanja prodora podzemnih voda u iskop.
INJEKCIONE HEMIKALIJE	Skup hemikalija koje formiraju polučvrstu masu nakon injektiranja u bušotine radi učvršćivanja nekoherentnog tla (obično zemlje) ili sprečavanja prodiranja vode u iskop.
INJEKTIRANJE	Ubacivanje injekcione mase kroz bušotine, pod pritiskom, radi popune pukotina ili sraslina i onemogućavanja prodora vode, ili radi konsolidacije stijenskih pukotina.
INJEKTIRANJE POD NISKIM PRITISKOM	Injekciona masa upumpana pod niskim pritiskom kroz betonsku oblogu, radi popune šupljina koje mogu postojati između betonske obloge i površine tunela, ili između čelične tunelske oplate i betonskog zasipa.
INJEKTIRANJE POD VISOKIM PRITISKOM	Konsolidaciono injektiranje u cilju ojačavanja stijenske mase ili sprečavanja prodiranja vode.
INKLINOMETAR	Uređaj za precizno mjerenje otklon od vertikale zacijevljene bušotine ili konstrukcije na koju je postavljen inklinometar.
ISKOP U PUNOM PROFILU	Iskop tunela u punom poprečnom profilu prilikom svakog miniranja ili otkopa. Razlikuje se od pojmova kalota, stepenica i višestruki potkop.
ISKOP U PUNOM PROFILU	Iskop čitavog profila prilikom jednog otkopa.
ISKOPANI MATERIJAL	Iskopano zemljište ili stijenska masa koja se mora ukloniti iz tunela ili okna kako bi bilo nastavljeno napredovanje. Postupak uklanjanja naziva se izvoz iskopanog materijala.
ISPARAVANJE	Dim koji nastaje na gradilištu.
ISPITIVANJE JEZGRA	Test stišljivosti sproveden na uzorku stvrdnutog ili mlaznog betona uzetog pomoću bušilice za jezgrovanje.
IVIČNJAK	Obično predfabricirani element, na kojeg se sa jedne strane oslanja kabelska kineta a sa druge strane konstrukcija kolnika.
IZBOJ	Fragmentacija čvrste stijene uslijed detonacije eksplozivne smjese u bušotinama na čelu iskopa.
IZDIZANJE TLA	Pomjeranje tla unutar tunela u vidu izvijanja podnožnog svoda nagore.
IZDUV	Gasovi motora, emisija štetnih supstanci.
IZGRADNJA METODOM KALOTE	Metoda izbijanja tunela u kojoj se najprije u potpunosti izvrši iskop kalote a zatim slijedi iskop stepenice.
IZMENJENI USLOVI	Fizički uslovi na lokaciji za koje je tokom iskopa utvrđeno da se značajno razlikuju od uslova koji su se opravdano mogli očekivati na osnovu podataka u ugovornoj dokumentaciji. Predstavlja uobičajen osnov parnica pokretanih od strane izvođača radova, ponekad za ishod ima isplatu dodatnog iznosa od strane vlasnika.

IZMJENE UGOVORA	Izmjene u ugovoru o izvođenju građevinskih radova kojima se smanjuje ili povećava obim radova, količina materijala ili vremena prvobitno predviđenog za izvedbu radova.
KABELSKI KANAL, KINETA	Termin koji se upotrebljava za označavanje «ćelije» namijenjene prvenstveno odvodnoj i dovodnoj ventilaciji, kao i smještanju instalacija.
KALOTA	Gornji dio tunela koji se često proteže od linije oslonca do krune, prethodno iskopan radi postavljanja potpornih lukova prije iskopa tunela u punim dimenzijama.
KOHEZIJA	Mjera čvrstoće na smicanje materijala uzduž plohe koja nije opterećena normalnim naponom.
KOMORA	Otvor relativno male dužine, nalik podzemnoj prostoriji velikog poprečnog presjeka, obično namijenjen smještanju specijalnih konstrukcija kao što su hidrocentrale, ojačani objekti u sektoru odbrane, ili objekti za odlaganje otpada.
KOMPENZACIONO INJEKTIRANJE	Sistem kojim se injekciona masa uliva u tlo iznad tunela i ispod vještački stvorenih karakteristika površine tla. Za svrhu ima smanjenje efekata površinskog slijeganja tla izazvanog radovima na probijanju tunela.
KONSOLIDACIJA	(1) U klasičnoj geologiji označava bilo koji proces kojim rastresito, meko ili tečno tlo postaje čvrsto i koherentno. (2) U mehanici tla, prilagođavanje zasićenog tla kao reakcija na povećano opterećenje, što uključuje istiskivanje vode iz pora i smanjenje koeficijenta poroznosti.
KONSOLIDOVANI MATERIJAL	Tlo, obično sedimentnog porijekla, čvrsto zbijeno ili pretvoreno u stijenu sabijanjem, nanošenjem cementa u otvore pora i/ili putem fizičkih i hemijskih promjena u sastojcima.
KONTROLIRANO MINIRANJE	Upotreba šablonskog bušenja i optimalne količine eksploziva i paljenja u svrhu kontrole učinka miniranja.
KONVENCIONALNI ISKOP	Tradicionalni, radno intenzivni iskop, poput metode ručnog iskopa u mekom tlu i metode bušenja i miniranja stijena. Razlikuje se od metoda iskopa koje se odlikuju višim stepenom mehaniziranog rada.
KONVERGENCIJA	Promjene udaljenosti između fiksnih tačaka (poprečnog presjeka) obloga tunele, kao rezultat opterećenja obloge.
KONZISTENTNA STIJENSKA MASA/TLO	Stijenska masa/tlo koje se tokom iskopa tunela drži stabilno bez podgrađivanja ili uz minimalnu upotrebu podgrada.
KONZISTENTOST STIJENSKE MASE/TLA	Mjera otpora deformacijama koja izazivaju opterećenja.
KOREKTIVNE MJERE	Niz mjera usvojenih u cilju eliminacije ekološke štete izazvane građevinskim radovima.
KROV	Konfiguracija gornjeg dijela poprečnog presjeka tunela iznad linije oslonca - kruna tunela.
KRUNA, DLIJETO	Šiljak krstastog ili bradavičastog oblika, fiksiran ili montiran za kraj bušaće šipke.
KRUNA, TIJEME	Najviša točka poprečnog presjeka tunelske primarne podgrade ili sekundarne obloge.
KRUŽNI TUNEL	Tunel kružnog poprečnog presjeka, obično izgrađen pomoću kružnog štita za iskop u punom profilu ili mašine za iskop bez štita.
LINIJA OBRAČUNA I PLAĆANJA	Linija ili tunelska sekcija koja predstavlja granicu za obračun i plaćanje izvedenog iskopa i betonske obloge. Prekoprofilski iskop predstavlja bilo kakav iskop van linije obračuna i plaćanja.
LINIJA OSLONCA	Tačka u kojoj zakrivljeni dio tunelskog krova dotiče vrh zida. Kod kružnih tunela linije oslonca su na suprotnim krajevima horizontalne središnje linije.
LJUŠTENJE, KAVANJE	Uklanjanje rastresitih dijelova stijenske mase sa čvrste površine tunela poslije miniranja.
LUK, SVOD	Geometrijski oblik gornjeg dijela poprečnog presjeka tunela iznad linije oslonca (kruna, sljeme).

MAKSIMALNA DOZVOLJENA KONCENTRACIJA CO	Dozvoljena granica zagađenja izazvanog ugljen monoksidom.
MAŠINA ZA BUŠENJE TUNELA (TBM)	Mašina za iskop kružnog tunela rezanjem i/ili abrazijom punog profila čela iskopa u jednom otkopu. Takođe se naziva krticom. Ovaj termin je toliko učestalo dovođen u vezu sa iskopom u stijenskoj masi da se, kada se mašina koristi za iskop u zemlji, često navodi da je riječ o «mekom tlu».
MAŠINA ZA PROBIJANJE TUNELA BEZ ŠTITA	Mašina za probijanje tunela u stijenama, kao rezni alat obično koristi diskove na pokretnoj glavi; naprijed se kreće potiskom dobijenim odgurivanjem od zidova tunela pomoću sistema hidrauličkih razupirača
MAŠINA ZA PROBIJANJE TUNELA POTISKIVANJEM, TBM SA ŠTITOM	Mašina za iskop tunela u tvrdom tlu ili stijenskoj masi, opremljena štitom, koja se kreće naprijed potiskom dobijenim odgurivanjem od zidova tunela pomoću sistema hidrauličkih razupirača.
(MAŠINSKI) ISKOP	U smislu građevinskih radova, predstavlja stvaranje relativno velikog otvora u tlu ili stijenju pomoću mašine za iskop, dok se iskopani materijal uklanja mehaničkim putem ili uz pomoć gravitacije. Razlikuje se od bušenja.
MASIV	U geologiji označava homogenu strukturu stijenske mase bez organizovanih teksturnih ili strukturnih karakteristika u ravni ili u smislu pravca prostiranja.
MATERIJAL ZA ISPUNU	Bilo koja vrsta materijala koji se koristi za popunjavanje praznog prostora između potpornih elemenata i stijenske površine.
MEHANIČKI ISKOP	Uklanjanje zemljišta ili stijenske mase upotrebom teškog (ne ručnog) reznog alata ili opreme za iskop. Razlikuje se od ručnog iskopa ili iskopa bušenjem i miniranjem.
METAN	CH_4, takođe poznat kao eksplozivni ili močvarni gas. Sreće se u područjima nalazišta uglja; njegovo prisustvo često je povezano sa škriljcima; javlja se u blizini naftonosnih polja ili nalazišta kamene soli.
METODA ISKOPA	Stvaranje podzemnog prostora bušenjem, miniranjem ili upotrebom mašina za probijanje tunela – TBM-a.
MIKRO SILIKA	Izuzetno fin nusproizvod proizvodnje silicijum metala; nastaje emisijom gasova iz eletrolučne peći. Koristi se za poboljšanje svojstava betona i mlaznog betona. Kod mlaznog betona povećava debljinu sloja nanijetog jednim prelazom, poboljšavajući svojstva stvrdnutog betona.
MJERAČ NAGIBA	Uređaj za precizno mjerenje relativne rotacije susjednih linijskih segmenata duž zajedničke ose.
MJEŠAVINA	Mješavina materijala kao što su cement, agregati, aditivi i, eventualno, vlakna, koji se koriste u pravljenju betona ili mlaznog (prskanog) betona).
MLAZNI BETON	Mješavina cementa, agregata i vode koja se velikom brzinom pneumatskim putem nanosi iz mlaznice na površinu kako bi obrazovala jedan ili više slojeva betona. Mlazni beton obično sadrži aditive, naročito ubrzivače, a može da sadrži i vlakna (takođe se naziva prskanim betonom).
MLAZNI BETON IZRAĐEN MOKRIM POSTUPKOM	Mlazni (prskani) beton čiji se svi sastojci, uključujući vodu i vlakna, mješaju i zatim dopremaju crevima, pneumatski ili potiskivanjem, i zatim velikom brzinom nanošeni na ciljmu površinu.
MLAZNI BETON IZRAĐEN SUVIM POSTUPKOM	Mlazni beton kojem se voda dodaje na samoj mlaznici/brizgaljci.
MLAZNICA, BRIZGALJKA	Priključak na kraju crijeva pomoću kojeg se velikom brzinom izliva mlazni beton.

NABUBRELO TLO	Materijal čija se zapremina širi uslijed adsorpscije ili apsorpcije vode, zbog čega teži kretanju kao otvoru tunela, ili vrši povećan pritisak na potporne elemente.
NADKRIVKA, NADSLOJ	Materijal koji uključuje zemlju/ili stijensku masu, duž vertikalne linije od krune tunela do površine tla.
NAPREDAK (SMIJENSKI; DNEVNI)	Napredovanje iskopa tokom datog vremenskog perioda (smjene ili dana) kod probijanje tunela, potkopa ili okana.
NATM	Nova austrijska tunelska metoda
NEEKSPLODIRANA MINA, ĆORAK, MINA - ZATAJAC	Bušotina u kojoj u potpunosti ili djelimično nije došlo do detonacije eksplozivnog punjenja.
NEKONZISTENTNO TLO	Tlo kod kojeg je radi iskopa potrebno izvesti podgrađivanje. Suštinski, predstavlja suprotnost konzistentnom ili čvrstom tlu.
NO, NO_2, NO_X	Azotni oksidi. Uobičajeni zagađivači čije se prisustvo prati u urbanim područjima.
NOSEĆI SVOD	Stijenska masa koja se nalazi neposredno iznad tunela, prenoseći teret nadsloja na stijensku masu duž obje strane tunela. Visina zone svoda obično je 1,5 puta veća od prečnika tunela. Tlo ili stijenska masa nadsloja iznad rasteretnog svoda nije pod uticajem radova izgradnje tunela.
OBLOGA	Zatvaranje tunelskog profila slojem od cigle, betona, mlaznog betona, gvožđa, čelika ili drveta, postavljena u tunelu ili oknu kao trajna noseća konstrukcija podzemnog prostora.
ODRŽAVANJE	Vođenje brige o objektu ili sistemu radi očuvanja njegove funkcionalnosti, izgleda ili vrijednosti.
OKNO, ŠAHT	Vertikalan ili gotovo vertikalan iskop ili otvor koji pruža pristup podzemnim instalacijama ili radovima na izgradnji.
OPLATA	Drvena ili metalna površine koja svježi, nevezani beton održava u željenom obliku.
OTPADNE VODE	Zagađena voda koja mora biti eliminisana pomoću drenažnog sistema.
OTVORENI ŠTIT	Štit koji se obično koristi za probijanje tunela u mekom tlu.
OZNAČAVANJE KVALITETA STIJENA (RQD)	Modifikovani procenat izvađenih neoštećenih uzoraka stijenske mase, od kojih se jedino neoštećena jezgra dužine 100 mm ili više smatraju zadovoljavajućim. RQD važi za precizniji način određivanja građevinskog kvaliteta i konzistentnosti stijena od pukog procenta izvađenih uzoraka. Navodi se kao kumulativni procenat uzoraka dužine preko 100mm izvađenih tokom cijele operacije uzorkovanja.
PILOT HODNIK	Mali tunel iskopan duž većeg tunela, ili duž jednog njegovog dijela, u cilju ispitivanja geoloških uslova i/ili unaprijeđivanja finalne faze iskopa. Naziva se i pilotnim potkopom.
PIRAMIDALNI ZALOM	Metod miniranja u probijanju tunela ili dubljenju okana u kojem otvori centralnog prstena bušotina obrazuju konture piramida čija su podnožja međusobno bliže postavljena od vrhova.
PLASTIČAN	Označava materijal ili stanje materijala u kojem naprezanja preuzrukuju stalne, kontinuirne deformacije bez sloma.
PLOČNIK, TROTOAR	Rubna zona ulice predviđena za kretanje pješaka.
POČETNA ČVRSTOĆA	Čvrstoća mlaznog betona postignuta tokom prvih nekoliko sati nakon nanošenja betona.
POD	Dio bilo kakvog podzemnog otvora po kojem se hoda.
PODNOŽNI SVOD	Najniži dio tunela, tj. pod. Kod kružne konfiguracije, približno predstavlja donjih 90 stepeni luka tunela. Kod konfiguracije sa sandučastim dnom, predstavlja dno tunela.
PODPORNO KOPLJE; (STIJENSKA) IGLA	Ojačanje za stijensku masu, obično u vidu neprednapregnute šipke usađene u bušotinu i potpuno zalivene.
PODZEMAN	Ispod površine zemlje
PODZEMNE VODE	Voda koja se nalazi u zemljištu, ispod gornjeg nivoa (ogledala) voda pod površinom zemlje.
PODZEMNI	Pod zemljom, ispod površinskog nivoa.

PODZEMNI PROSTOR	Prostor stvoren / korišten pod zemljom.
PODZEMNO KARTIRANJE	Kartiranje podzemnih prostora (nastalih usled aktivnosti ljudi) sa različitih tačaka gledišta (lokacije, dimenzija, geoloških uslova, uticaja na životnu sredinu, realno tehničko stanje, mogućnosti ponovne upotrebe, itd.)
POKRIVENI USJEK	Tunel izgrađen iskopom zasjeka sa površine, podizanjem konstrukcije unutar zasjeka, i zatim zasipanjem do nivoa površine.
POKRIVENI USJEK, «CUT AND COVER»	Postopni niz gradnje u kojem se najprije izradi usjek. U usjelu se izgradi tunel ili kanal koji se naposljetku pokriva zasipom.
POLUPOPREČNA VENTILACIJA	Sistem u kojem se za dovod svježeg vazduha koristi zaseban ventilacioni kanal, posredstvom niza otvora duž tunela. Zagađeni vazduh izbacuje se na kraju tunela. Termin se takođe koristi za označavanje sistema u kojem se svježi vazduh dovodi sa jednog kraja tunela, dok se zagađeni izbacuje na drugom kraju pomoću ventilatora.
POPREČNA VENTILACIJA	Sistem u kojem se koriste zasebni sistemi kanala za dovod i odvod vazduha, tako da se svjež vazduh dovodi, a zagađen odvodi duž čitavog tunela, za šta se koriste usisni i izduvni ventilatori.
POPREČNI PROLAZ, PREČNIK	Tunel koji tehničkom osoblju i hitnim službama omogućuje prelazak iz jedne u drugu tunelsku cijev.
POPUŠTANJE (STIJENSKE MASE)	Nereverzibilne promjene koje stijenska masa trpi kao rezultat rasterećenja u blizini šupljine koja se nalazi ispod površine zemlje.
PORTAL	Konstrukcija ili krajnji dio konstrukcija na oba kraja tunela, na mjestu spajanja tunelske i otvorene sekcije puta.
POTKOP	Iskopani prolaz ili dio tunela. U potonjem smislu, u zavisnosti od položaja u konačnom tunelskom poprečnom presjeku, može se svrstati u krunske potkope, bočne potkope, potkope u podnožnom svodu, itd.
POTKOVIČASTI TUNEL	Tunel sa poprečnim presjekom čiji oblik nalikuje potkovici postavljenoj poput obrnutog slova U. Moguće su mnogobrojne varijacije osnovne konfiguracije.
PREDMINIRANJE KONTURA ISKOPA; «PRESPLITING»	Tehnika izazivanja pukotina duž kontura stijenske mase prije glavnog miniranja, pomoću blisko pozicioniranih minskih bušotina i redukovanog ekplozivnog punjenja; riječ je o jednoj vrsti glatkog miniranja.
PREDUSJEK (PORTALA)	Zasjek iskopan sa površine koji ostaje nepokriven do završetka radova u njemu.
PREKOPROFILSKI ISKOP	Iskop koji seže van linije tunela zbog nepravilne konture loma stijenske mase.
PREVENTIVNE MJERE	Mjere koje se preduzimaju u cilju izbjegavanja uticaja na životnu sredinu.
PRIMARNA OBLOGA	Tunelska obloga postavljena radi podupiranja tla tokom napredovanja iskopa.
PRISTUPNI TUNEL	Prolaz koji sa površine vodi do prostora u kojima se vrši podzemni iskop. Vidi pod «potkop»
PRIVREMENA PODGRADA	Suštinski, isto što i inicijalna podgrada, osim što elementi mogu (a ponekad i moraju) biti uklonjeni zbog toga što ne spadaju u finalnu oblogu, ili nisu kompatibilni sa njom.
PRIVREMENI BALAST	Materijal koji se tokom faza izvođenja koristi za privremeno povećanje efektivne težine tunela ili nekog njegovog elementa, do zamjene zasipom ili trajnim balastom. Materijal može biti u čvrstom ili tečnom stanju.
PROČIŠĆIVAČ IZDUVNIH GASOVA, FILTER	Oprema instalirana na svim vozilima sa dizel motorima koja učestvuju u podzemnim radovima. Pročišćava izduvne gasove koji potiču iz motora.
PROJEKT	Podaci neophodni za izvedbu inžinjerskih radova.
PRSKANJE	Postupak nanošenja mlaznog (prskanog betona) iz mlaznice/brizgaljke na ciljnu površinu.

PUKOTINA	Prirodnim putem izazvani prekid u stijenskoj masi, linijom duž koje nije bilo vidljivog pomjeranja paralelno sa pukotinskom površinom.
RADNI CIKLUS	Ciklus iskopa stijenske mase koji se sastoji od pravljenja minskih bušotina, njihovog punjenja eksplozivom, aktiviranja eksploziva i zatim izvlačenja iskopanog materijala.
RADNI CIKLUS IZRADE METODOM MINIRANJA	Kod probijanja tunela u stijenskoj masi, ciklus iskopa čini 6 faza: bušenje otvora za eksploziv, punjenje, aktiviranje eksploziva, ventilacija, izvlačenje iskopanog materijala i podgrađivanje.
RASJED	Razlomna zona u stijenskoj masi između čije dve strane je došlo do nejednakog pomicanja.
RASPON	Dio strukture između dva potporna elementa
RASTRESITO TLO	Nedovoljno konsolidovan ili cementiran materijal koji održava stabilnost nekoliko minuta do nekoliko časova od trenutka iskopa, da bi zatim počeo da se urušava, isušuje ili ljušti.
RAZUPIRAČI	Potporni elementi opterečeni na pritisak smješteni između čeličnih tunelskih lukova.
REŠETKAŠTI NOSAČ	Čelični lukovi (rešetkasti nosači) koji se obično podižu na jednakom osovinskom rastojanju tokom probijanja tunela. Jedni za drugim, podižu se uz upotrebu komponenti tokom postepenog formiranja obloge, i oblažu mlaznim betonom. Obično se koriste u dijelu u kom se nalazi kruna tunela, kako bi kopačima pružio privremenu zaštitu od urušavanja. Nosači mogu biti smješteni na samom obodu.
REZNA GLAVA	Rotacioni prednji kraj mašine za iskop koji sječe stijenje ili meko tlo.
SABIRNI BAZEN	Sabirni bazeni (rezervoari) smješteni su kod portala i na najnižim tačkama radi zadržavanja vode koja otiče ili curi, u skladu sa kapacitetima pumpi koje se koriste u ove svrhe. Obično su neophodni separatori za razvajanje ulja iz vode, a voda iz sabirnih bazena unutar tunela obično otiče u portalne bazene.
SEKUNDARNA OBLOGA	Trajna betonska obloga tunela koja se obično postavlja po završenom postupku iskopa.
SIDRO	Šipka, obično izrađena od čelika, koja služi za stabilizaciju stijena. Smješta se u bušotinu i utvrđuje u stijenu, krajem ili cijelom svojom dužinom (zalijevno sidro). Vidljivi kraj često se oprema sidrenom pločom.
SILIKOZA	Plućna bolest izazvana dugotrajnim udisanjem prašine nastale bušenjem stijenske mase. Najopasnije su stijene sa visokim sadržajem silicijum-dioksida.
SISTEM ZA IZDUVAVANJE PRAŠINE	Oprema konstruisana da omogući uklanjanje prašine iz vazduha.
SLABONOSIVO TLO	Veoma nekonzistentna stijenska masa, obično u rasjedima ili zonama smicanja; izrazito trošan i razgrađen materijal, sa tendencijom pomjeranja ka prostoru unutar tunela.
SLOJ	Termin koji se koristi za pojedinačne nanose mlaznog (prskanog) betona, formirane nizom uzastopnih prelaza brizgaljkom, koji nakon toga bivaju ostavljeni da se slegnu.
SLOJEVITA STIJENA	Stijena ispresjecana tankim paralelnim sraslinama ili pukotinskim površinama, zbog čega se prilikom iskopa raspada na ploče.
«SLONOVE STOPE», RASŠIRENA PETA (KALOTE)	Uvećani noseći elementi u dnu djelimično konstruisanih obloga, obično sekcije kojoj pripada kruna.
STEPENICA	Berma ili blok stijene koji se nalazi unutar konačne konture tunela i ostaje nakon iskopa kalote.
ŠTETNA ISPARENJA	Zagađivači i štetni dim koji nastaju na gradilištu.
STIJENSKO SIDRO	(1) Napregnut element ojačanja stijenske mase koji sastoji iz štapa, mehaničkog ili injekcionog utvrđivanja te ploče i navrtke.

ŠTIT	Pokretna čelična cijev, okvir ili baldahin u obliku konture tunelskog iskopa koja pruža direktnu potporu u tunelu i služi kao zaštita radnicima angažovanim na iskopu, omogućujući dugotrajno podupiranje. Može biti opremljen reznim alatom za iskop.
ŠTIT KOD KOJEG ISKOPANA ZEMLJA SLUŽI ZA STABILIZACIJU ČELA ISKOPA	Zatvoreni štit za probijanje tunela u finom zrnastom tlu prihvatom iskopanog materijala sa čela, i njegovim sporim uklanjanjem kako bi bila održana protivteža pritisku zemlje, stabilizovano čelo iskopa i sprečeno prodiranje vode.
ŠTIT KOD KOJEG SE ČELO ISKOPA STABILIZUJE BENTONITNOM SUSPENZIJOM	Zatvoren štit konstruisan za probijanje tunela u veoma mekom, vlažnom tlu, ili području koje karakteriše tečenje tla. Koristi kružeču glinenu isplaku pod pritiskom radi stvaranja protivteže pritisku zemljišta, sprječavanja prodora vode, ali i uklanjanja iskopanog materijala.
ŠTIT ZA ISKOP U MEKOM TLU	Bilo koji štit koji se naprijed pomjera potiskom dobijenim odgurivanjem o oblogu tunela i obično koristi rezni alat poput dubinskih kašika koje se mogu montirati na rotirajući točak, oscilujuću ruku ili otpozadi.
STUBOVI, STOJKE	Vertikalni elementi čeličnog rebra ili drvenog potpornog sistema.
TEČENJE TLA	Pomjeranje tla poput viskozne tečnosti.
TEKTONSKA GLINA	Fino abradirane ili praškaste čestice potekle od stijena, i glinasta alterirana stijenska masa koja se može nalaziti između zidova, pukotina rasjeda ili zone smicanja, kao rezultat pomjeranja uslijed kojeg dolazi do drobljenja stijene.
TEKTONSKO OGLEDALO	Glatke i ponekad izbrazdane površine na zidovima rasjeda i zona smicanja, nastale uslijed trenja prilikom pomjeranja zemljišta.
TIBINGI	Sekcije gvozdenih, čeličnih elemenata ili prefabrikovanog betona koje se mogu spojiti kako bi obrazovali podgradni prsten ili oblogu. Gvozdeni ili čelični segmenti generalno se nazivaju pločama, dok se betonski segmenti mogu nazivati panelima.
TILTMETAR	Uređaj za precizno mjerenje rotacije ili promjene smjera na pojedinim lokacijama konstrukcije, ili na površini tla.
TRAJNOST	Otpornost betona ili mlaznog betona na trošenje, dejstvo hemijskih supstanci, abraziju i druge uslove eksploatacije.
TROŠENJE	Proces razaranja stijena na Zemljinoj površini ili plitko pod površinom zbog erozije, djelovanja atmosferilija, vode, leda, klimatskih i temperaturnih promjena, insolacije i životne djelatnosti organizma.
TUNEL	Tunel, u strogom smislu riječi, predstavlja podzemni prolaz čije su obje strane otvorene. Često se koristi kao sinonim za potkop ili galeriju.
TUNEL U MEKOM TLU	Isto što i tunel u zemlji. Tlo može biti tvrdo ili meko – pridjev «meki» razlikuje ga samo od tunela u tvrdoj stijenskoj masi.
TUNEL U STIJENSKOJ MASI	Tunel probijen u konsolidovanom prirodnom materijalu (stijenskoj masi) koji zahtijeva metode kao što su miniranje, primjenu klinastog zaloma, šipki, mašina za probijanje tunela sa specijalno ojačanim reznim alatom ili mehanički iskop.
TUNEL U ZEMLJI (TLU)	Tunel probijen relativno lakim iskopom u zemlji ili tlu – ne u stijenskoj masi. Često se naziva i tunelom u mekom tlu.
TUNELSKI UTOVARIVAČ	Mašina za utovar iskopanog materijala u dampere za njegovo otpremanje.
UBRZIVAČ	Aditiv u obliku praha ili tečnosti koji ubrzava reakciju cementa, naročito u cilju skraćivanja vremena potrebnog za vezivanje i pospješivanja početne čvrstoće mlaznog betona. U svrhu regulisanja ove reakcije mogu se koristiti različite formule i količine – kod mlaznog betona početno vezivanje postiže se za nekoliko minuta ili manje.
UZDUŽNA VENTILACIJA	Sistem u kojem se dovod svježeg vazduha vrši na jednom kraju tunela, dok se zagađen vazduh izbacuje na drugom.

VENTILACIJA	Omogućavanje cirkulacije vazduha (dotoka) svježeg vazduha u zatvoren prostor. Kod upoređivanja podzemnih i površinskih građevinskih rješenja, ovo može podrazumijevati veće troškove.
VENTILACIONA CIJEV	Cijev velikog prečnika za dovod svježeg ili odvod zagađenog vazduha iz podzemnog otvora.
VENTILACIONI KANAL	Cijev za ventilaciju tunela i izbacivanje zagađenog vazduha.
VLAKNA	Vlakna za ojačavanje betona ili mlaznog (prskanog) betona, definisana su kao odvojeni komadići čelika, stakla, ugljenika ili sintetičkih materijala različitih poprečnih presjeka. Dovoljno su malih dimenzija da bi mogla biti proizvoljno razasuta u nestvrdnuti beton.
VODONEPROPUSNOST	Mjera otpornosti tunela na prodor (curenje) vode.
VRIJEME STABILNOSTI	Vrijeme koje protekne do trenutka kada iznad dijela tunelskog krova počinje primjetno, ničim izazvano pomjeranje tla prema unutrašnjosti tunela.
ZAGAĐENJE VODA	Stvaranje tečnog otpada koji zahtijeva pročiščavanje prije odlaganja.
ZALOM	Raspored bušotina u čelu tunela kojim se obezbjeđuju otvori za smještanje eksplozivnog punjenja.
ZASIP	Bilo koji materijal koji se uportebljava za popunjavanje praznog prostora između potpornog sistema i iskopane stijene/tla.
ZEMLJIŠTE	Bilo koja prirodno obrazovana meka ili rastresita naslaga nastala uslijed trošenja ili loma formacija stijena, ili raspadanja organskih materija.
ZONA ELASTIČNE STIJENE	Zona izvan relaksirane stijenske zone gdje je iskop promjenio zatećeno naponsko stanje. Stijena u elastičnoj zoni podvrgnuta je reverzibilnim elastičnim deformacijama.
ZONA SMICANJA	Lokalna geološka struktura nastala uslijed popuštanja naprezanja u zemljištu formiranjem niza sitnih, međusobno blizu raspoređenih pukotina duž kojih se javlja blago smicanje ili rasjedanje.

1.4.3 PRINCIPI PROJEKTOVANJA TUNELA

Projektovanje podzemnih struktura općenito, tj. konkretno tunela, mora da bude usklađeno sa raznim zahtjevima i ograničenjima koja proistječu iz preduslova za moderno struktuisanje tunela:

- Tunel mora da udovolji osnovnim funkcionalnim preduslovima, npr. da omogući određen kvantitet saobraćaja, da prođe kroz njega uz određenu brzinu poštujući sva pravila koja se odnose na drumsko bezbjednost
- Projektovanje podzemne strukture mora da uzme u obzir uslove zemljišta, uključujući hidrologiju i lokalnu tektoniku. Uslovi zemljišta mogu da uslovljavaju vertikalnu i horizontalnu trasu, oblik, poprečni presjek pa čak i veličinu tunela.
- Projekat tunela mora da razmotri izvodljive metode konstrukcije i načine iskopavanja. Konstrukcija tunela mora da bude moguća u ekonomičnom, efikasnom i bezbjednosnom vidu. Projekat takođe mora da udovoljava drugim preduslovima za građevinske radove kao npr. privremeni prilazi, pristup gradilištu, smještaj gradilišta i odlaganje iskopanoga materijala.
- Projekat tunela mora voditi računa o bezbjednosti korisnika i radnika na održavanju tokom standardnih operacija kao i u slučajevima nužde.
- Projekat tunela mora da osigura mogućnost adekvatnog održavanja svih tunelskih instalacija
- Projekat mora da osigura izgradnju tunela i upotrebu sa minimalnim uticajem na okolinu.
- Sve gore navedeno mora da bude u skladu sa odgovarajućim nacionalnim i/ili internacionalnim standardima i radnim kodeksima.

Ove su «Smjernice i kriteriji projektovanja» ustanovljeni su kako bi omogućili uniformnu osnovicu za projektovanje drumskih tunela u Bosni i Hercegovini.

1.4.4 OPŠTI KRITERIJI PROJEKTOVANJA

1.4.4.1 BROJ TUNELSKIH CIJEVI I SAOBRAĆAJNIH TRAKA

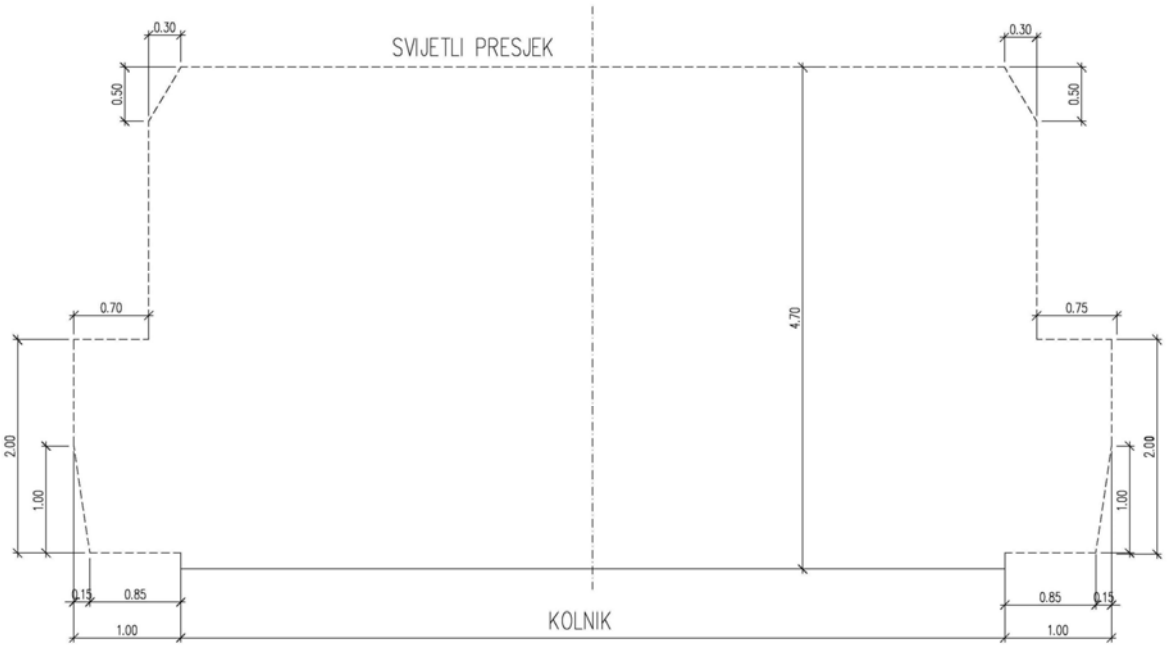
Glavni kriterijumi za donošenje odluke o tome da li je potrebno izgraditi jednocjevni ili dvocjevni tunel biće projektovani obim saobraćaja i bezbednost, a u obzir će biti uzeti i aspekti kao što su procenat teških teretnih vozila, nagib i dužina.

U svakom slučaju u kojem za tunel u projektnoj fazi prognoza za sledećih 15 godina ukazuje na to da će dnevni obim saobraćaja premašiti broj od 10.000 vozila po traci, u trenutku kada ta vrijednost bude premašena na lokaciji će se nalaziti dvocjevni tunel predviđen za jednosmjerni saobraćaj.

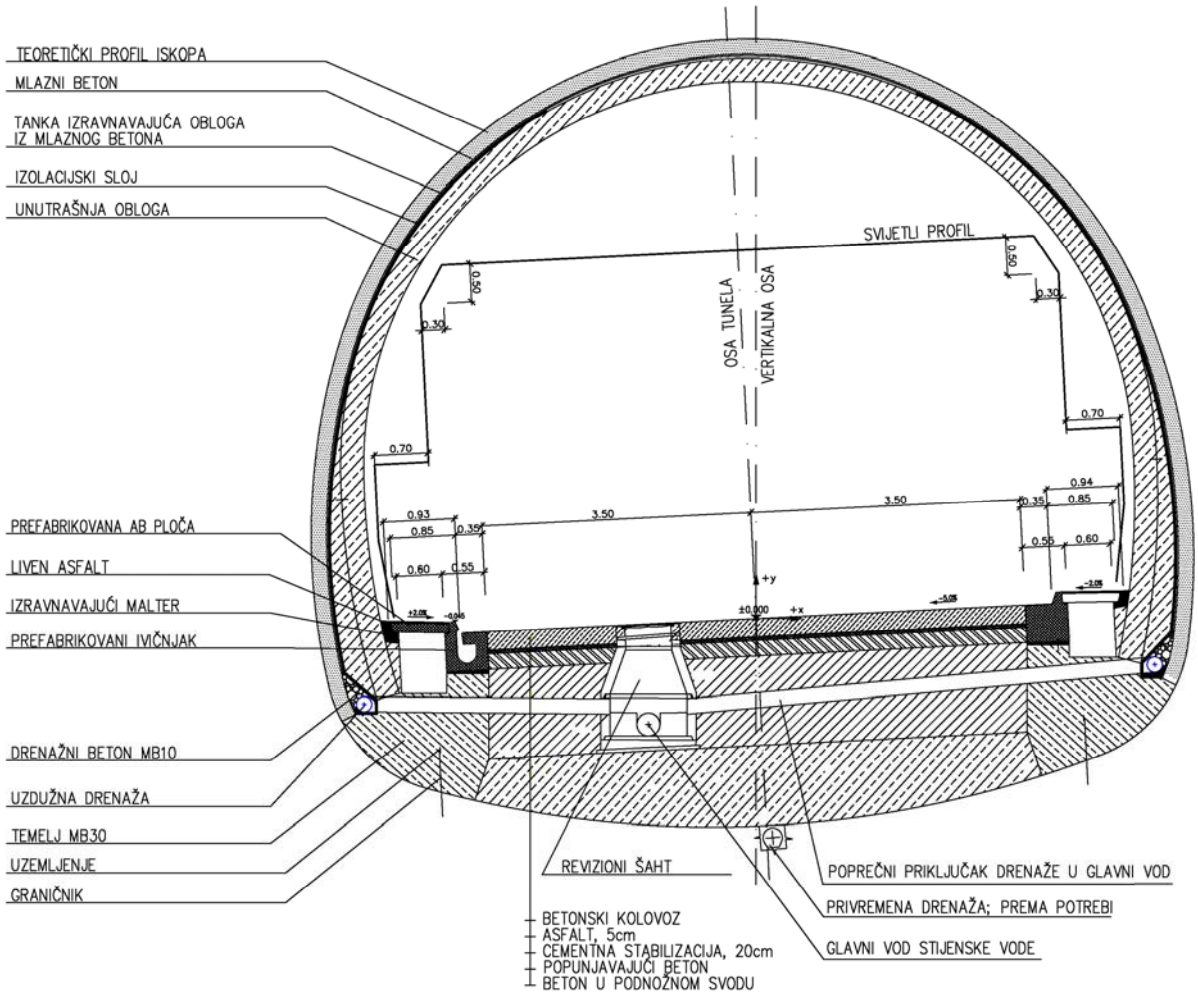
Izuzimajući zaustavnu traku, u tunelu i van njega biće zastupljen isti broj traka. Bilo kakva promjena u broju traka trebalo bi da se dogodi na dovoljnoj udaljenosti od tunelskog portala; ta udaljenost treba da bude barem jednaka onoj koju za 10 sekundi prelazi vozilo koje se kreće maksimalnom dozvoljenom brzinom. Ukoliko ovo onemogućuju geografski uslovi, biće preduzete dodatne i/ili pojačane mjere radi postizanja većeg stepena bezbjednosti.

1.4.4.2 PRESJEK TUNELA

Veličina presjeka je esencijalno određena zadanim svijetlim profilom. Širina kolnika treba da bude izrađena u skladu sa ovima vodiljama ili kao što je prikazano u donjoj tabeli. Vertikalna visina ovojnice rastojanja iznad kolnika je zadana na 4,70 metara.



Sl. 1: Svijetli profil



Sl. 2: Poprečni presjek tunela

Prema Austrijanskim vodiljama, RVS 9.23, sljedeće širine kolnika moraju da se primjenjuju (za dvotračne tunele):

		Projektovana brzina	
Broj kamiona i autobusa na sat	ispod 50 km/h	50 do 80 km/h	80 do 100 km/h
ispod 50	5,50 m	6,00 m	6,50 m
50 to 150	6,00 m	6,50 m	7,00 m
ispod 150	6,50 m	7,00 m	7,50 m 7,00 m *

* vrijedi za dvotračne tunele sa jednosmjernim saobraćajem

Dodatno, bankine od minimalno 25 cm moraju da se uzmu u obzir na obje strane kolnika.

Na obje strane kolnika predviđeni su nogostupi za slučajeve nužde i za potrebe održavanja. Regularni pješački saobraćaj nije dozvoljen u tunelima. Nogostupi su nešto izdignuti; oni su smješteni 0,15 metara iznad nivoa kolnika uz minimalno poprečno nadvišenje od 2 odsto. Područje rastojanja nogostupa je definisano na 0,85 metara minimalne širine i 2,0 metara visine. S druge strane, praktična širina može da bude veća zbog prostornih preduslova za vodove kabela koji su

smješteni ispod nogostupa. Minimalne dimenzije vodova kabela određuju praktičnu širinu nogostupa.

Minimalno nadvišenje nogostupe je zadano na 2,5 %. Nadvišenje može da bude održavano u jednom smjeru zbog reverznih krivulja sa radijusom većim od 2.500 metara.

Pored zadanoga svijetlog profila može da ima uticaj na dimenzije presjeka tunela i odabrani sistem ventilacije. Kod transverznih i polutransverznih ventilacionih sistema presjek tunela mora da bude povećan u predjelu krova.

1.4.4.3 TRASA

1.4.4.3.1. Horizontalna trasa

Horizontalna trasa kratkih tunela treba da bude ravna ako je to moguće. U dugačkim tunelima duljina tangentnih sekcija (ravna trasa) ne smije da prijeđe 4,0 kilometara. Horizontalni zavoji moraju da budu projektovani na izlaznim portalima dugačkih tunela da bi eliminisali psihološki utisak «svjetlosne tačke na kraju tunela».

Radijus autoputa mora da bude što je veći da bi se ostvarili sljedeći ciljevi:

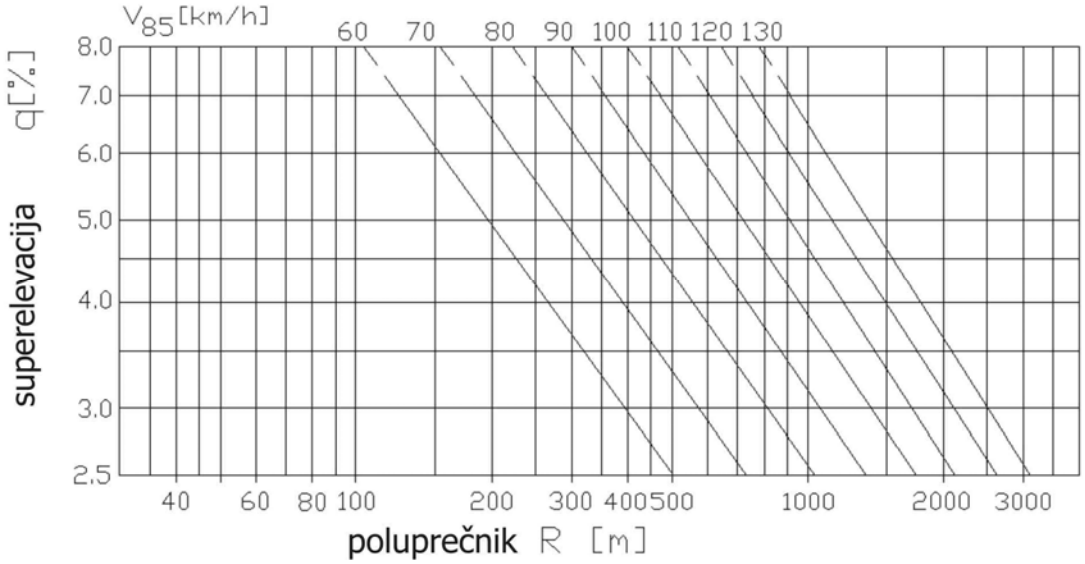
- kratka dužina konstrukcije
- dovoljna dužina pregleda za manevre preticanja i kočenja (pregled zaustavnog puta)
- kontinuirana vožnja kod koje nema potrebe za naglim skretanjem

Njemačke smjernice, RAS-L-1, dozvoljavaju sljedeći minimalni poluprečnik, ovisno o brzini i nadvišenju autoputa.

Prema RAS-L-1, minimalni radijus za projektovanu brzinu od 100 km/h je 500 m sa pripradajućim maksimalnim nadvišenjem od 7 %. No, ovaj iznos vrijedi za opšte projektovanje autoputa. U tunelima minimalni radijus za projektovanu brzinu od 100 km/h treba da bude 1000 m uz preporučljivo pripadajuće nadvišenje od 4 %. Nadvišenje na tunelskom autoputu ili autoputu treba da bude na maksimalno 4 %.

Ako su potrebni zavoji, minimalni radijus određuje se pomoću pregleda zaustavnog puta i nadvišenja u relaciji sa projektovanom brzinom. Uticaj dugačkih nizbrdica na pregled zaustavnog puta treba da bude posebno naznačen u dijelovima tunela gdje viši položaj vozača kamiona nije od velike pomoći pa brzine kamiona mogu dostići ili prestići one putničkih automobila.

Izlazne rampe treba da budu smještene minimalno 350 metara od izlaznog portala tunela da bi omogućile dovoljnu udaljenost za znakove i promjene traka kretanja vozila. Horizontalni i vertikalni razmaci obično nisu dovoljni za smještanje znakova unutar odjeljka tunela.



Gornja slika 3, vrijedi za otvorene autoputeve kao i za tunele.

Geološki i geotehnički uslovi treba da budu uzeti u razmatranje također za projektovanje razmaka između paralelnih tunela. Pravilo je da razmak od centralne linije jednog do centralne linije drugog paralenog tunela ne bi trebao da bude manji od tri iznosa prečnika tunela. U tom slučaju ne bi trebalo da bude smetnji iz jednog tunela u drugi. U blizini tunelskih portala moglo bi da bude mnogo ekonomičnije navedenu razdaljinu smanjiti (s obzirom na troškove otkupa zemljišta, pravo prolaza strukture ulaza/izlaza, susjedne strukture otvorene autopute, topografija itd.) kako bi se smanjilo to rastojanje.

Tuneli ne bi trebali da prate kosine dolina sa bliskom udaljenosti od površine. Kad god je moguće, moraju se izbjeći tunelske trase ispod zgrada ako je debljina nadsloja manja od 4 do 5 prečnika tunela. U područjima tunelskih portala, treba da se izbjegavaju velike kosine i iskopi, ali stijenski pokrov će da se poveća prilično brzo u nekoliko početnih metara tunela kako bi se olakšalo započinjanje tunela

1.4.4.3.2. Vertikalni elementi trase

Vertikalni elementi trase, ili uspon, određen je troškovima konstrukcije i troškovima rada i održavanja. Uspon tunela, dužina tunela, strmina tunela, brzina vozila i opseg saobraćaja imaju vrlo važan uticaj na zahtjeve ventilacije tunela. Generalno gledano, maksimalni uspon od 3,0 odsto poželjan je za održanje razumne brzine kamiona i praktičnih ventilacijskih zahtjeva.

Ovi kriteriji, preporučljivi za maksimalni uspon u relaciji sa dužinom tunela, mogu se primijeniti tokom studije izvodljivosti ili ranih faza projekta kako bi omogućili osnovne smjernice u svrhu održanja ekonomske ravnoteže troškova konstrukcije, troškova ulaganja u elektromehaničke instalacije te operativnih i troškova održavanja.

Maksimalni uspon kod tunela dugačkih 3500 metara ili više, ne bi trebao da prijeđe 1,5 odsto. Za tunele kraće od 3500 metara maksimalni uspon ne bi smio da bude veći od 3 odsto; dakle, što je dužina tunela bliža iznosu 3500, to bi uspon trebao da bude niži. Maksimalni uspon može da bude povećan i do 4 odsto za tunele koji su dugački 1000 metara ili kraći, ako je potrebno, a za vrlo kratke tunele (200 metara ili kraći) maksimalni uspon može doseći iznos maksimalnog uspona preporučljivog za autoput. Minimalni uspon tunela smije da bude manji od 0,5 odsto.

Sljedeći minimalni radijusi zadani su u Austrijanskim smjernicama (RVS 3.23) za vrhove i doline:

	Vrh	Dolina
brzina u km/h	minimalni radijus u m	minimalni radijus u m
100	12500	5000
120	20000	8000
140	35000	12000

Uz gore navedene kriterije, koje određuju uslovi za glatki i siguran protok saobraćaja, trasu tunela određuje i topografija. Moraju da se izbjegavaju izuzetno visoki stijenski nadsloji (više od 1000 m) i vrlo mali nadsloji (manje od jednog dijametra tunela).

1.4.4.4 TOLERANCIJE

1.4.4.4.1. Općenito

Prilikom praktične konstrukcije tunela, neizbježan je određen stepen nepreciznosti. Projekat tunela treba da uzme u obzir te nepreciznosti predviđanjem adekvatnih geometrijskih tolerancija za inicijalne i finalne obloge tunela.

Moderna projektna praksa ima tendenciju da uključi tolerancije u sve nacrte, a naročito za finalne obloge.
Druga je mogućnost da se tolerancije izostave iz nacrta pa se njihovo definisanje ostavlja izvođaču

ili terenskim predstavnicima vlasnika. U svakom slučaju, nacrti moraju bez dileme pokazati uključuju li njihove dimenzije tolerancije ili ne.

1.4.4.4.2. Tolerancije za inicijalne obloge (primarne podgrade)

Konstrukcija inicijalnih obloga je operacija kojoj se pripisuje nekoliko izvora nepreciznosti. Kako je navedeno dolje, mnogi od njih mnogo su povezani sa uslovima na gradilištu pa tako i promjenama tokom konstrukcije. Stoga ponekad može da bude bolje ne uključivati tolerancije u nacrte za inicijalne obloge pa ih definisati na gradilištu. S druge strane, već gotovi dijelovi, kao što su čelični lukovi i rešetkasti nosači, trebaju da budu izrađeni uključujući odgovarajuće tolerancije.

Tolerancije za inicijalne obloge možemo da podijelimo u četiri kategorije:

- geodetske tolerancije i
- tolerancije izvođenja
- tolerancije zbog deformacija
- neizbježni natprofil

Geodetske tolerancije:

Na tolerancije istraživanja najviše djeluje opća topografska karta. Preciznosti istraživanja raste značajno ako su geodetske mreže zatvorene, npr. ako postoji pilotni potkop. Geodetska tolerancija također ovisi od kvaliteta instrumenata , vidljivosti u tunelu, mogućnostima iznalaženja dobrih stajališta i vidnih linija te od općih operativnih uslova merenja. Dakle, geodetske tolerancije su snažno povezane sa uslovima na gradilištu. Projektant će možda trebati da modifikuje geodetske tolerancije ako izvođač izvede mjerenja značajno bolje ili lošije od očekivanog u fazi projektovanja.

Konstrukcijske tolerancije:

Tolerancije konstrukcije uključuju sve teškoće povezane sa geometrijski točnim iskopavanjem i potpornim instalacijama. Tolerancija konstrukcije su jako uslovljene uslovima zemljišta, oblikom i veličinom tunela, složenošću trenutnih faza izvođenja, konstrukcijskom opremom i kvalitetom prerađenih dijelova (npr. čelični lukovi. Veoma nepovoljni uslovi zemljišta, kao što je jako ulaženje vode, mogu da štetno utječu na tolerancije . Konstrukcijske tolerancije su veoma povezane sa uslovima na gradilištu te će ih možda trebati prilagođavati pojedinim uslovima na gradilištu.

Deformacijske tolerancije:

Projekant mora da napravi razumnu procjenu očekivanih deformacija tla/stijene te ih mora uključiti u svoj projekt. Iznos očekivanih deformacija povećava se sa klasom stijene. U nepovoljnim uslovima tla/stijene, deformacije mogu da budu veoma velike i mogu da zahtijevaju izmjene u tolerancijama projekta tokom izgradnje.

Neizbježni prekoprofilski iskop:

Neizbježni prekoprofilski iskop nije tolerancija u striktnom smislu riječi. No, ima vrlo važne učinke na projekt, pa mora da bude uključeno u projektovanje. Neizbježno lomljenje ne povećava se nužno sa pogoršanjem uslova stijene, upotreba čeličnih lukova i podupiračkih elemenata u takvom kamenim uslovima smanjuje količinu lomljenja.

1.4.4.4.3. Tolerancije finalnog obloga

Izgradnja finalnih obloga zahtijeva uže tolerancije nego što zahtjeva izgradnja inicijalnih obloga. S obzirom da se konstrukcija finalnih obloga vrši pod manje stisnutim i teškim operativnim uslovima, takve se tolerancije obično mogu održati.

Tri su glavna izvora nepreciznosti u izgradnji finalnih obloga:

- geodetske tolerancije
- tolerancije kalupa
- učinak zavoja

Geodetske tolerancije:

Izvori nepreciznosti istraživanja za izgradnju finalnih obloga slični su onima kod izgradnje inicijalnih obloga. Mogu se definisati dvije klase tolerancija: Zatvorena geodetska mreža i otvorena (ili «leteća») geodetska mreža. Na preciznost leteće istraživačke mreže veoma veoma utiče dužina tunela.

Tolerancije kalupa:

Na ovaj razred tolerancija utiču tri glavna faktora:

- proizvodna tolerancija kalupa
- nepreciznosti tokom smještanja kalupa
- deformacija kalupa tokom betoniranja

Uticaj zavoja:

S obzirom da je kalup tunela ravan, zavijen tunel zapravo ima oblik poligona. Stoga će da dođe do devijacije od teoretskog oblika uz maksimum na centru betoniranog bloka. Ova tolerancija zavisi od duljine bloka "L", širine područja odmaka "B" i radijusa "R" tunelske trase. "Toleracnija zavoja C" se može izračunati prema ovoj formuli:

$$C = \frac{R}{\frac{B}{2} - \sqrt{\left(\frac{R}{B/2}\right)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}} \text{ [u mm)}$$

1.4.4.4.4. Ostale tolerancije

Niše, okna za održavanje i ostale instalacije treba da budu pozicionirane uz preciznost od +/- 5 cm. Veličina niša treba da bude precizna do +/- 1 cm.

Prerađeni dijelovi, rovovi kabela i ostale instalacije treba da butu smještene uz preciznost od +/- 1 cm.

1.4.5 ISPITIVANJE TLA

1.4.5.1 UVOD

Studije o trasama već su napravljene, a odluka o lokaciji tunela već je skoro pa definitivna. Poglavlje o ispitivanju zemljišta stoga neće pokrivati radove na geološkim ispitivanjima tokom izvođenja, te studije odbira trase.

1.4.5.1.1. Svrha

Cilj geoloških istraživanja gradilišta jest određivanje distribucije raznih tipova tla i stijena u području gdje su predviđeni radovi na izgradnji tunela, i njihove relevantne fizičke i hemijske osobine. Nije dovoljno samo prepoznati slojeve po njihovoj stratigrafičkoj terminologiji, nego tla i stijene trebaju da budu opisani po svojim mehaničkim osobinama te njihovom očekivanom kratkoročnom i dugoročnom ponašanju povezanom sa konstrukcijom.

Glavni ciljevi istraživanja zemljišta za tunele su:

- Razviti trodimenzionalni geološki model područja kroz koje će se iskapati tunel, uključujući i sve relevantne detalje o hidrogeološkoj situaciji.
- Definisati fizičke karatkeristike geoloških materijala kroz koje će se probušiti tunel, te tako ustanoviti geotehnički model uključujući pribavljanje određenih konstrukcijskih parametara stijena i tla.

1.4.5.1.2. Koraci i metode istraživanja

Odvisno od tipa, veličine i stanja projekta, moraju da se provedu specifična istraživanja. Tipični koraci kompletnog programa istraživanja za projekt izgradnje tunela jesu redom:

- Proučavanje i procjena raspoložive literature i dokumenata
- Aerofotografska interpretacija područja
- Geološko i hidrogeološko kartiranje
- Iskapanje i bilježenje istraživačkih rovova
- Privremeni geološki izvještaj uz privremeni geološki model
- Geofizičko istraživanje
- Istraživačko bušenje
- Istraživački rovovi, okna i tuneli
- Uzorkovanje i ispitivanje «in-situ»
- Laboratorijsko ispitivanje
- Finalni geološki i geotehnički izvještaj

1.4.5.2 PRELIMINARNA STUDIJA

1.4.5.2.1. Uredska studija

1.4.5.2.1.1 Pregled literature

Prije terenskog rada, treba da se uradi opsežan pregled informacija o geologiji, podzemnim vodama, seizmičkoj prošlosti, postojanju geoloških struktura u području projektovanja. U urbanim područjima važna i detaljna spoznaja o povijesti lokacije s obzirom da tako možemo da otkrijemo stara odlagališta otpada ili promjene u predloščima drenaže a koji bi mogli da utiču na projekt. Od posebne koristi mogu da budu geološke karte i karte zemljišta.

1.4.5.2.1.2 Interpretacija aero-foto snimaka

Razne tehnike mogu da se koriste prilikom zračnog izviđanja terena, kao što su vertikalna, oštrokutna, fotografija u boji i infracrvena fotografija, ali i bočni radar. Detaljna interpretacija aerofotografija zahtjeva usluge specijaliste. Mnoge relevantne pojave mogu se čitljivo prepoznati,

poput: topografije, predloška drenaže, vegetacije, upotrebe zemljišta, potencijalne sirovine za građevne materijale, klizišta i područja rasjeda.

Kako bi zračne snimke mogle da budu korištene, moraju se znati mjerilo, orijentacija sjene, geografska orijentacija (koMps) te datum fotografisanja; fotografije je najbolje proučavati kao vertikalne stereoskopske parove gledano u reflektovanom svjetlu pomoću stereoskopa.

1.4.5.2.2. Terenska studija

1.4.5.2.2.1 Geološko kartiranje i studije površinskih stijena

Geološko kartiranje jest najvažniji korak istraživanja zemljišta koji će kasnije da dovede do ekonomičnog korištenja skupljih istraživačkih metoda kao što su geofizičke studije i istraživačko bušenje. Geološko kartiranje (mjerilo 1:5.000, 1:2.000 ili čak 1:1.000) fokusira se najviše na geološke potreba gradnje. Ono treba da pokriva relevantna geološka, petrografska, hidrogeološka i građevinska geološka obilježja, kao što su:

- Distribucija tipova tla i stijena uz jasnu identifikaciju površinskih stijena
- Naznaka presjeka i dubine uležištenja, škriljavost, glavne spojne točke i klizanja, strukturni detalji u skladu sa ISRM klasifikacijom
- Indikacija područja sa intenzivnim naborima i/ili pukotinama
- Indikacija rasjeda i rasjednih područja
- Indikacija područja sa intezivnim utjecajem vremenskih prilika na kemijske i mehaničke procese stijena
- Hidrogeološka obilježja kao što su izvori sa indikacijom temperature vode, kvantitet, električna vodljivost, lokacija prokopa, močvara, odvodnih jama, itd.
- Geološke opasnosti, kao što su nestabilni obronci, područja sa značajnim uleknućima, emanacija plinova, vruće/minerazlizirane (korozivne) vode, izbočine, karstični fenomen, seizmički aktivna područja rasjeda, itd.

Geološko kartiranje ne treba da bude vršeno samo uz blisko područje budućeg tunela, već treba da bude napravljeno u obimu dovoljno velikom da se spoznaju svi relevantni faktori. Treba da uključi detaljne studije područja ulaza, kao i geološki opasne zone kao što su velika pomicanja ili veliki rasjedi koji mogu da utiču na trasu budućeg tunela.

1.4.5.2.2.2 Istraživački iskopi

Iskopi i jame, napravljeni tokom terenskog kartiranja, najčešće su najjeftiniji i najbrži način ispitivanja mekanih prirodnih naslaga, zemljanih slojeva iznad vodenih bazena ili otkrivanja stjenovite osnove. Posebno su korisni kada je tlo promjenjivo ili ako nedostaje prirodnih površinskih stijena. Često su vrlo korisni kao izvor strukturalnih podataka (stupanj napuklosti, smjer i karakteristike diskontinuiteta, trajanje diskontiuiteta, itd.).

Oni mogu da budu iskopani pomoću mehaničkog kopača ako je omogućen pristup, ili pomoću lopate i ašova. Njihova veličina može da varira od jednog do pet metara u dubinu a širina može da im bude odabrana u skladu sa lokalnim uslovima. Geolog ih mora ubilježiti, a za vrijeme i poslije iskapanja treba da se nadgleda stabilnost njihovih zidova.

1.4.5.2.3. Privremeni geološki izvještaji

Potrebno je napraviti geološke uzdužne i poprečne presjeke, te horizontalne presjeke zasnovane na rezultatima kartiranja uključujući i studije istraživačkih iskopa te rezultatima uredskih studija. Takvi presjeci treba da uključuju sve relevantne strukturne podatke kao i litološke i tektonske granice i očekivane hidrogeološke uslove.

U tom trenutku ustanovljen je privremeni geološki model. On treba da prikaže sva područja od specifičnih sumnji u vezi geološke situacije kao što treba da omogući granice zona koje će da se tretiraju homogeno u pogledu strukturalne geologije, litologije, hidrogeologije, geoloških opasnosti itd...

Privremeni geološki model baza je za planiranje bilo kakvog budućeg istraživačkog rada. Sljedeći koraci u istraživanju (većinom geofizička istraživanja i bušotinska istraživanja, mogući probni iskopi, probni prilazni tuneli itd.) treba da budu navedeni u pogledu ciljeva istraživanja i predloženih metoda istraživanja. Program je dio privremenog geološkog izvještaja i treba da bude proslijeđen klijentu koji treba da ga odobri.

1.4.5.3 DETALJNA STUDIJA

1.4.5.3.1. Geofizičko istraživanje

1.4.5.3.1.1 Općenito

Geofizičke metode donose rezultate u vidu lokalne distribucije specifičnih fizičkih parametara (kao što su seizmičke brzine, magnetsko polje, gravitacija, električki otpor, električka prevodljivost, gama zračenje, protok topline itd.). Njihova primjena treba da bude pažljivo planirana zajednički sa inženjerskim geologom, a privremeni rezultati zajednički se tumače od strane geofizičara, geologa i hidrogeologa zajedno. U svakom slučaju, finalna geološka interpretacija geofizičkih podataka treba da bude provedena na kraju istraživanja kada su raspoloživi svi rezultati svih istraživačkih metoda (geološko kartiranje, površinske studije, kopanje istraživačkih iskopa, istraživačko bušenje, istraživačkih prilaza).

Tipične primjene geofizičkih istraživanja za ispitivanje zemljišta prilikom gradnje tunela jesu:

- pomoć pri izviđanju geoloških (tektonskih) struktura uključujući njihovu trodimenzionalnu konfiguraciju (uglavnom prema seizmičkim, geoelektričnim, [mikro]gravimetrijskim i/ili geotermalnim studijama kao i elektromagnetskom kartiranju)
- pomoć pri interpretaciji hidrogeoloških uslova
- seizmičke studije
- određivanje dinamičnih parametara stijenske mase
- studije o vibracijama i njihovo praćenje za vrijeme izgradnje tunela
- studije o izvorištima građevinskih materijala
- za izviđanje geoloških strukutra korisno je ispitivanje primjenom geofizičkih metoda
- litološke granice unutar materijala iznad tunela
- granice između pokrivnih zemljanih tla i stjenovite osnove
- litološke granice unutar stjenovite osnove
- tektonske pojave poput rasjeda i rasjednih područja
- dubina pužućih i kližućih masiva

Spoznaja od distribuciji brzina p-vala (longitudinalni valovi) važna je za utvrđivanje kvalitativnih dinamičnih karakteristika i može da pomogne u procjeni stepena frakturacije stijenske mase. Mjerenja brzine P- i S- (smični valovi) valova koriste se za određivanje dinamičnih parametara (Youngov modul elastičnosti, smični moduli, moduli kompresije i Poisonov omjer). Adekvatno planiran program seizmičkih istraživanja može da pomogne u izradi trodimenzionalnoga modela distribucije dinamičnih karakteristika tla.

1.4.5.3.1.2 Geofizičke metode

1.4.5.3.1.2.a) ***Seizmička istraživanja***

Seizmička istraživanja daju važne geofizičke podatke o kvalitetu zemljišta/tla i predstavljaju osnovne geofizičke metode za pomoć u rješavanju geotehničkih problema. Za inženjerske svrhe najčećše se koriste sljedeće seizmičke tehnike: istraživanje refrakcije, istraživanje površinske refleksije (površinske tehnike), seizmička ispitivanja niz bušotinu, uz bušotinu, između bušotina i seizmičku tomografiju, (mjerenje u buštinama i između njih). Uobičajena oprema koja se koristi za seizmička istraživanja sastoji se od: izvora seizmičkih valova (malj, slobodni pad mase ili ubrzanja mase, eksplozivi), detektora seizmičnih valova (geofon), uređaja za bilježenje (seizmografi), koja omogućavaju bilježenje seizmičkih signala u odabranim vremenskim intervalima. Najčešće korišteni

seizmografi imaju 24 registracijska kanala (postoje i oni sa 12 ili 48 kanala). Svaki od kanala predstavlja pojedinačnu mjernu točku (geofon), koje su smještene uzduž sizmičke linije (profila).

Nadalje, seizmička nam istraživanja daju podatke za procjenu dinamičkih karakteristika tla. Mjerenja refrakcije daju, uz poznatu geometriju i vrijeme/trajanje seizmičkih valova, podatke o odnosu dubine tla (seizmičke granice) i seizmičkih brzina. Mjerenja refrakcije mogu da budu ocijenjena ispravno u slučaju da se seizmička brzina povećava (raste) sa povećanjem dubine. U slučaju da se brzina povećava obrnuto proporcionalno (tj. seizmičke brzine nižih slojeva manje su od brzina slojeva iznad), računanje dubine vrlo vjerovatno će da bude netačno. Snimanje refleksije je korisno u strukturalno-tektonskim procjenama, no zahtijeva vrijeme za terenske radove i stoga se ne primjenjuje kao rutinsko mjerenje u inžinjerske svrhe.

1.4.5.3.1.2.b) ***Geoelektrično istraživanje***

Geoelektrična istraživanja obično daju dodatne informacije ka seizmičkim istraživanjima. Za inženjerske svrhe najčešće se koriste ove tehnike mjerenja otpornosti: geoelektrično dubinsko sondiranje, geoelektrično kartiranje i geoelektrična tomografija. Pomoću geoelektričnih metoda izvršavaju se definisanja slojeva s obzirom na njihovu električnu otpornost. Ovaj kvalitet uglavnom zavisi od postojanja i kvantitea glinovitih minerala i vode u tlu.

Rezultat geoelektričnog dubinskog ozvučenja jest lista pojedinačnih mjerenja koja predstavljaju vertikalnu sliku individualne električne otpornosti svakog sloja i stoga omogućuju određenje modela tla baziranog na otpornosti odnosno dubini.

Geolelektrično kartiranje daje informacije o kvalitativnim horizontalnim i vertikalnim promjenama električne otpornosti

Električna tomografija daje nam kontinuirane podatke kao kombinaciju geoelektričnog dubinskog sondiranja i kartiranja. Metoda je primjerena da se odredi orijentacija glavnih diskontinuiteta (rasjeda) kao granica između različitih litoloških slojeva, naročito za određivanje glinenih slojeva.

1.4.5.3.1.2.c) ***Elektromagnetsko istraživanje***

Elektromagnetska istraživanja daju nam podatke o električnoj vodljivosti tla. Osnovni dijelovi mjerne opreme su predajne i prijemne zavojnice. Oba ne moraju da budu u direktnom doticaju sa tlom za vrijeme mjerenja. Elektromagnetsko polje generira se pomoću predajne zavojnice, dok prijemna zavojnica mjeri sekundarno elektromagnetsko polje. Za inženjerske svrhe koriste se, s obzirom na frekvenciju elektromagnetskih valova, različite mjerne tehnike, a to mogu da budu georadar, mjerenje slabe elektromagnetske indukcije, itd.

Mjerenja mogu da se vrše brzo i jednostavno, obično su vrlo efikasna u određivanju relativno plitkih geometrijskih granica raznih geoloških materijala. Zbog nesigurnosti u interpretaciji, ne treba da se primjenjuju bez kombinovanja sa drugim istraživačkim mjerenjima.

1.4.5.3.1.2.d) ***Geofizičko snimanje bušotina***

Snimanje bušotina je izraz za geofizička mjerenja u bušotinama. Za inženjerske svrhe koriste se sljedeći najčešći metodi: gama-gama snimanje kod neprekidnih mjerenja gustoće materijala, neutron-neutron snimanje kod neprekidnih procjena poroziteta, mjerenja prečnika bušotine (da bi se dobila geomehanička informacija o konfiguraciji zida bušotine), mjerenje električnim snimanjem kao i snimanje prirodne radioaktivnosti (za određivanje litoloških granica) te mjerenje temperature u bušotini. Mjerenja temperature pomažu kod procjene podzemnog protoka voda i stepena napuklosti stijenskog masiva.

1.4.5.3.2. Istraživačko bušenje

1.4.5.3.2.1 Općenito

Istraživačko bušenje je glavni izvor direktnih informacija o uslovima koji vladaju na dubini tla većoj od 5 metara ispod površine, a to je obično i maksimalna dubina istraživačkim iskopa. Istraživačke bušotine daju nam podatke o tlu i njegovim varijacijama, o njegovim fizičkim karakteristikama i hidrogeološkim uslovima, kao što i omogućuju uzimanje uzoraka, poremećenih i neporemećenih za kasnije korištenje u laboratorijskim testovima.

Jednom kada je ustanovljen plan programa bušenja, mora da se pripreme tehnički uslovi za rad. Ti uslovi trebaju da uzmu u obzir razne namjene istraživačkih bušotina – geološku, hidrogeološku i/ili uzorkovanje plinova, bušotinska testiranja u tlima i stijenama kao i instalcije za praćenje stabilnosti, kao što su inklinometri, ekstenzometri te konačno oprema za praćenje podzemnih voda.

Svi izvađeni uzorci trebaju da budu pažljivo pospremljeni u odgovarajuće kutije (npr. drvene sanduke obložene plastikom kako bi se spriječilo sušenje uzorka) uz pravilno označavanje mjesta bušenja, bušotine, njene dubine, itd… Takvi sanduci sa uzorcima treba da budu pospremljeni na suho i čisto mjesto kako bi mogli da budu korišteni za inspekciju u bilo koje doba i tako sve dok izgradnja tunela ne bude završena. Upisivanje izbušenih uzoraka treba da se izvrši čim su oni izvađeni kako bi se mogli promotriti obilježja koja oni imaju dok su svježe izvađeni (originalna vlažnost, boja, čvrstoća, itd…). Nakon vađenja svakog uzorka bušotine, uzorci u sanduku treba da budu fotografisani filmom u boji, nazvani prema odgovarajućoj bušotini i dubinskim intervalima.

Uspjeh programa bušenja (uzorkovanje i terensko ispitivanje) zavisi od kvaliteta praćenja tokom operacije bušenja. Za tehničke aspekte programa bušenja treba da budu odgovorne iskusni i dobro obučeni stručnjaci.

1.4.5.3.2.2 Bušenje u zemljanom tlu

Koriste se različite metode - ovisno o vrsti tla, gledajući s aspekta veličina zrna, gustoće ili postojanosti, te stanja podzemnih voda.

Mokro i rotaciono bušenje uobičajeni su metodi koji se primjenjuju u uglavnom fino zrnatim tlima (glinastim, muljevitim, pjeskovitim). Stabilizacija bušotine, koja je obično potrebna ispod točke kondenzacije vodonosnika ili u nekohezivnom tlu, vrši se ili ispirućim medijem (muljevita smjesa tla i vode sa dodatkom gline) ili pomoću umetnute cijevi. Korištenje bušenja svrdlom, koje se koristi u slučaju bušenja stabilnih bušotina iznad razine podzemnih voda ili u visokoplastičnim tlima, često je ograničeno zadanom dužinom bušenja.

Perkusijsko bušenje uobičajen je metod bušenja u krupno zrnatim tlima. Glinena masa ili obložna cijev su obvezni.

Bušenje i uzorkovanje u tlima većih veličina zrna (krupan šljunak, obla i blokasta tla) može da bude prilično nespretno. Stoga može da se primijeni oprema za bušenje stijena pomoću cijevi ili oprema za bušenje velikoga prečnika sa izbušenim kalupom.

1.4.5.3.2.3 Bušenje u stijenama

Najčešća metoda bušenja u stijenama jest rotaciono bušenje. Ispirući medij obično je voda, ali tamo gdje mora da se izbjegne erozija, može da se primijeni vazdušni mlaz. Međutim, vazduh nije efikasan kao voda za hlađenje i vlaženje svrdla. U nestabilnim tlima, se obično koristi uložena cijev da se drži rupa otvorenom, a standardne dimenzije su utvrđene za ugnježđivanje rotirajućih šupljih svrdala unutar zaštitne cijevi. Kao alternativni ispirući medij, može se koristiti mulj koji će, ako je pravilnoga sastava, spriječiti rupu da se uruši.

Vertikalne bušotine su najčešće. No, u specijalnim su prilikama potrebne i horizontalne ili nakošene bušotine.

Destruktivno bušenje, tj. prkusijsko bušenje se koristi kao sredstvo geološkog istraživanja samo pod posebim uslovima. To mogu da budu potrebe za određenjem granica između mekanih i tvrdih materijala. Rezultati su samo kvalitativni, međutim izvedba je brza i jeftina.

1.4.5.3.3. Istraživački prilazi, šahtovi i tuneli

Istraživački prilazi i šahtovi omogućuju direktan pristup do materijala kroz iz kojeg će tunel biti iskopan. Poprečni presjeci istraživačkih prilaza i tunela, koji mogu prijeći kroz dijelove ili čak cijelu trasu budućeg tunela, ne bi trebali da budu manji od 2 puta 2 metra.

Takva detaljna građevinska geološka analiza i veliki opseg in-situ mehaničkih testova mogu se izvršiti kao i testovi efikasnosti raznih tipova sistema podupiranja, te metoda iskopavanja. Nadziranje podzemnih voda, uzorkovanje i drenaža mogu biti ciljevi kao i praćenje stanja plinova. Dalje se može izvršiti priprema dionica s problematičnim tlom. Takođe omogućava ponuđačima zapažanje stanja stijena na licu mjesta, kao podršku prilikom nuđenja.

1.4.5.3.4. Uzorkovanje

1.4.5.3.4.1 Poremećeni uzorci

Poremećeni uzorci služe prvenstveno za identifikaciju tla. Oni se uzimaju iz perkusijskih i rotacionih mokrih bušotina ili materijala izvađenih iz čahure i/ili svrdla. Kvalitet takvih uzoraka zavisi od metoda bušenja.

Ako je korišten metod vodenog mlaza, može biti da su izgubljeni fini oblici ili ako je mlaz neodgovarajući, krupniji materijal može otpasti natrag i biti «posađen» od strane svrdla u finiji materijal. Grubi uzorci sa površine ili iskopa se također smatraju poremećenim uzorcima.

Uzorci uzeti višedjelnom kašikom mogu da se koriste za klasifikacijske svrhe i utvrđivanje jedinične težine. Općenito, oni se primjenjuju za tla finija od šljunka.

Metod uzorkovanja mora da bude naveden u izvještaju. Uzorci se obično pospremaju u vakumizirane konzerve ili staklenke ili u torbe te se na određeni način označavaju.

Uzorci izvađeni iz jezgrene cijevi i kontinuirano poremećeni uzorci spremaju se pravilnim redoslijedom u drvene i metalne kutije za uzroke, gdje su gornje i donje dubine svakog bušenja jasno naznačene. Odabrani dijelovi uzorka mogu da se navošte kako bi se sačuvala vlažnost sadržine. Kod stijenskih uzoraka koji su podložni kvarenju, treba da se naprave kolor fotografije odabranih svježih uzoraka.

1.4.5.3.4.2 Neporemećeni uzorci

Korištenjem tankostijenih cijevnih samplera, neporemećeni uzorci mogu da se sačuvaju od mekanih do krutih kohezivnih uzoraka, u veličinama od 50 do 150 mm u prečniku odnosno 600 do 750 mm dužine. Veličina uzorka zavisi od primjerka koji će da bude testiran. Za uzorke sa manjim prečnikom, mora da se uzme u obzir veći odnos rubnih smetnji (promjena originalnih uslova u vidu čvrstoće itd., na vanjskom rubu uzorka). Na odabranim dubinama za vrijeme operacije bušenja ili sa dna testnih iskopa ili prilaza, cijeve za uzorkovanje pritišču se pomoću pneumatski ili hidraulički primijenjene sile. Nije prihvatljiva upotreba pogonske sile.

Uobičajeni tipovi semplera su Shelbijeva cijev i klipasti sempleri. Shelbijeva cijev jest otvoreni sempler koji se primijenjuje od čvrstih do krutih tla. Cijev klipastog semplera pokreće sadrži klip koji se pokreće motkom koja prolazi kroz unutrašnjost bušione motke. Napredniji klipasti sempleri (npr. Osterbergov tip) pokreću se pomoću hidraulike. Klip sprečava zemlju da uđe u cijev i kontaminira uzorak sve dok nije dosegnuta željena dubina uzorkovanja. Također stvara vakuum koji drži uzorak. Klipasti se sempleri koriste od vrlo mekanih do čvrstih tla.

U vrlo krutim i tvrdim tlima, neporemećeni uzorci mogu da se uzimaju slično kao u procesima koje u stijeni vrši dvocjevni (Denison) bubanj za uzorke. Sastoji se od rotirajućeg vanjskog bubnja i režućeg svrdla, koje sadrži fiksiran unutarnji bubanj pričvršćen na režući prsten. Zbog tvrdoće tla, režući prsten može se pokretati u nastavku za rezanje.

Neporemećeni uzorci stijena dobivaju se bušenjem tla sa rotacionom jezgrom. Uzorak tla skuplja se u bubanj koji je tik iza svrdla. Jednocjevni bubnjevi su primjenjivi samo u tvrdim homogenim stijenama. Općenito, dvocjevni i trocjevni bubnjevi daju mnogo bolje rezultate pa su zato i poželjniji. Takođe su na raspolaganju dvocjevni bubnjevi sa stacionarnim unutarnjim bubnjem, te orjentirajućim bubnjevima za uzorak. Potonji omogućuje orijentaciju izvađenog stijenskog uzorka.

Uzorci tla izvađeni iz bubnja i kontinuirani poremećeni uzorci se pospremaju u drvene ili metalne sanduke, sa jasno naznačenom gornjom i donjom dubinom svakoga iskopa. Odabrani dijelovi tla mogu da budu navošteni kako bi se sačuvao sadržaj vlage. Kod stijenskih uzoraka koji su podložni kvarenju, treba da se naprave kolor fotografije odabranih svježih uzoraka.

1.4.5.3.5. In-situ ispitivanja

In situ ispitivanja u stijeni se vrši kako bi se odredile karakteristike mase stijene. To će pomoći u pretvaranju rezultata dobivenih u laboratorijskim testovima na (malim) uzorcima stijena.

1.4.5.3.5.1 Ispitivanje standardnom penetracijom (SPT)

Primjena SPT-a je ograničena na tla kojima nedostaje šljunka i kamenja. Može da izvadi poremećene uzorke pomoću semplera sa višedjelnim bubnjem, koji se zabija u tlo pomoću čekića. Broj udaraca za penetraciju od 30 cm, indikator je krajnjega otpora i trenja proboja, a tako i tvrdoće ili gustoće tla. Ovo je vrlo uobičajen test, s obzirom na svoju široku primjenu i postojanje u raznoraznim empiričkim korelacijama sa drugim parametrima tla.

1.4.5.3.5.2 Ispitivanje smične čvrstoće krilnom sondom

Korisno u vrlo mekanom tlu, gdje je teško sačuvati dobar kvalitet neporemećenih uzoraka. Ne smije da se koristi u tvrdim glinastim ili tlima koji sadrže šljunak.

1.4.5.3.5.3 Ispitivanje opteretnom pločom

Mjeri karakteristike deformacije materijala in-situ te dozvoljava procjenu njegove čvrstoće i nosivosti.

1.4.5.3.5.4 Presiometarska i dilatometarska testiranja

Karakteristike deformacije materijala (tlo i mekana stijena) mogu da se istražuju in-situ koristeći presiometar. U ovom tipu instrumenta, deformacija tla mjeri se promjenom volumena tlačne ćelije uz promjenjiv pritisak gasa. Preciznost kojom se promjene volumena mogu da izmjere ograničava korisni opseg metode na materijale sa modulima deformacije (tangentni ili seknatni moduli) manjima od 3,5 GPa.

U slučaju anizotropnih uslova u tvrdom kamenu, preporučuje se upotreba sonde dilatometra umjesto presiometra.

1.4.5.3.5.5 Testiranja vazdušnim jastukom

Stanje napetosti koje postoji u zemljinoj kori promijeni se uslijed građevinske akcije koje stvaraju novu distribuciju induciranih napetosti unutar okružujuće stijenske mase. To novo stanje napetosti može da dovede do porasta koncentracije napetosti, što može da ima veliki uticaj na stabilnost podzemnog iskapanja.

Vazdušni jastuci jesu hidraulične ćelije pritiska koje se koriste da bi se mjerila napetost u kamenoj masi. Vazdušni jastuk se obično smješta unutar urezotine u kamenom zidu s ciljem da se stijenske masa na tom dijelu otpusti od napetosti iz svojeg ambijenta. Napetosti u dvoosnom polju mogu da se mjere urezivanjem dva usjeka pod pravim kutom. Napetost koja je prisutna tada će da se mjeri povezivanjem napetosti sa poznatim modulima deformacije ili tako da se vrši pritisak dok se stijena ne napregne nazad u svoj približno originalan oblik pri čemu se vrši pretpostavka da je pritisak potreban da se vrati stijena u svoj izvorni oblik ekvivalentan napetosti koja je oslobođena prilikom eliminisanja okružujućega medija. Ovakvi se testovi koriste samo u slučajevima kada se očekuje razvoj neobično visokih napetosti ili asimetričnih napetosti. Razlog zašto se ovi testovi ne primjenjuju kao rutinski jesu relativno visoki troškovi i relativno veliko vrijeme potrebno za njihovu pravilnu primjenu.

1.4.5.3.5.6 Ostala testiranja napetosti i naprezanja u stijenskim masivima

Svi uobičajeni metodi in-situ mjerenja napetosti u stijenskoj masi pretpostavljaju da je oslobađanje napetosti u stjenoviti masi elastično-reverzibilan proces.

Tehnika overcoringa mjeri oporavak od deformacije u stijenovitoj masi pomoću električnog ili fotoelastičnog instrumenta. Takav je mjerač napetosti postavljen u bušotini malog prečnika. On je izolovan od postojećeg polja napetosti tako što se oko njega buši rupa širokog prečnika.

CSIRO "door-stopper", deformaciona ćelija napetosti za bušotinu može da bude korištena u 60 milimetarskim bušotinama. Ona je opremljena tako da mjeri napetosti u vertikalnom, horizontalnom i smjerovima od 45 stepeni.

Testovi hidrauličkog loma funkcionišu kao mjerenja promjene napetosti. Testovi se provode tako da se sekcija bušotine izoluje pneumatskim pakerom, na određenoj dubini. Zatim se povećava pritisak fluida na odabranu sekciju i pritisak se povećava postepeno sve dok okružujuća stijenska

masa ne počne pucati. Taj proces pucanja na određenom nivou pritiska jest povezan sa in-situ stanjem napetosti u stijenskojj masi.

Međutim, kao što je i navedeno gore, ovakva mjerenja nisu neophodan dio rutinskih programa istraživanja tla.

1.4.5.3.5.7 Testiranja propustljivosti (uglavnom zemljanog tla)

Terenski testovi propustljivosti općenito se provode tokom izvođenja bušenja na određenim dubinskim intervalima u bušotini. Općenito je varijabilni pritisak poželjni je metod testiranja. To se izvodi ili kao padajući ili kao rastući pritisak.

Da bi se defninisalo područje ulaza, potrebna je cijev koja se tijesno ulaže uz stijenku bušotine. U najjednostavnijem obliku, dno je bušotine se očisti i test se provodi mjerenjem stepena protoka kroz otvoreni završetak cijevi (test otvorenog završetka). Taj test, koji može da se izvede prilično brzo, treba da bude korišten samo kao kvalitativni pokazatelj. Za tačnija mjerenja potrebno je da se izvrši test nad određenom dužinom (oko 1 metar). Zbog nestabilnosti testiranog područja treba da se instališe druga cijev sa sitom i pričvrsti nepropusno na cijev. Sito je okruženo granulacionim filterom kako bi se spriječila erozija tla. Bušotina iznad filtera treba da se zabrtvi.

Mjerenjem promjene vodene razine s vremenom može da se utvrdi ropustljivost. Graf promjene pritiska u vremenskom polulogaritamskom prikazu, predstavlja pravu liniju. Objavljene su brojne formule, dijelom empirijske. Ona sa najširom primjenom jest Hvorsleyjeva.

1.4.5.3.5.8 Testiranja pumpanjem (uglavnom tla)

Propustljivost je karakteristika tla koja se najviše mijenja. Posebna pažnja treba da se posveti minimiziranju pogrešaka tokom testova propustljivosti te u procjeni i ekstrapolaciji rezultata u odnosu na pravo stanje u tlu. Stoga u posebno osjetljivim slučajevima treba da se provede test pumpanjem.

Iz njega mogu da se spoznaju sljedeće informacije:

- prenosivost (i permabilitet)
- koeficijent skladištenja
- izdašnost izvora
- odnos postojeće vodene ploče u izvoru i brzine pumpanja
- poluprečnik uticaja
- nagib krivulje odtoka

Principijelno, test pumpanja podrazumijeva pumpanje na konstantnom protoku iz izvora i promatranje efekta odtoka na nivou podzemnih voda pomoću piezometra na određenoj udaljenosti od izvora.

Test pumpanja zahtjeva pravilno instalisanje izvora za pumpanje i nekoliko nizova piezometra. Ostala oprema koja je potrebna za test, jesu pumpa i njeno napajanje i otpusna slavina, vodeni rezervoar, aparat za mjerenje protoka, štoperica, sonde za mjerenje vodenih ploča u izvoru te piezometar. Za mjerenja slijeganja mogao bi da bude potreban instrument za nivelisanje.

Razmještaj na mjestu testiranja kao i sva oprema treba da budu bazirani na rezultatima preliminarnih testova. Prije testa treba da bude napravljeno ispitivanje kako bi se otkrio neki drugi evenutalni izvor uticaja na podzemne vode, npr. postojeća vađenja vode, rijeke, ribnjaci, plimni efekti, itd…

Puni program testa sastoji se od kratkoročnih testova pumpanja u nestacionarnim uslovima, etapni testovi pumpanja i dugoročni testovi pumpanja. Kao dodatak, treba da se prate i mogućnosti oporavka.

1.4.5.3.5.9 Testiranja vodom pod pritiskom u bušotinama (uglavnom u kamenim masivima)

Za mjerenje lokalne in-situ propustljivosti stijenske mase koriste se testovi sa jednim ili dvostrukim pakerom. Testovi sa jednim pakerom ograničavaju rizik od nekontrolisanih gubitaka vode. Razmještaj pakera zavisi od uslova u stijenskoj masi, o čemu se odlučuje pažljivim upisivanjem stanja uzoraka bušenja.

Na određenim dubinama uvodi se pneumatski paker bušotine, te se tada utiskuje voda u spomenuto područje bušotine poznatoga prečnika. Za vrijeme testa bilježi se potrošnja vode i pritisak vode u testnim sekcijama. Takva Lugeonova konfiguracija testiranja može da se primijeni obično u pet rastućih ili padajućih koraka pritisaka. Za svaki od tih koraka treba da se postigne konstantni nivo pritiska u trajanju od barem 5 minuta, uz stalno bilježenje potrošnje vode.

Interpretacija se bazira na formuli «stanja mirovanja»

$$K = 1.85 \times 10E\text{-}5 \times (Q/L) / p$$

gdje su:

K = propustljivost, u m/s

Q/l = protok po dužini jedinice bušotine, u L/min x m

p = pretlak u testnoj komori, u metrima vode

1.4.5.3.6. Laboratorijska ispitivanja

1.4.5.3.6.1 Laboratorijsko ispitivanje tla

Procjena parametara projekta i evaluacija ponašanja tla tokom tuneliziranja tla uvelike ovise od parametara tla koji će se dobiti laboratorijskim testovima. Potrebno je da se poznaju barem ovi parametri:

- Osnovne fizičke karakteristike, sadržaj vlage, jedinična težina, distribucija veličine zrna, specifična gravitacija i Atterbergove granice.
- Smična čvrstoća pod drenažnim i nedrenažnim uslovima, koja se određuje direktnim testovima smične čvrstoće, jednoosnim i troosnim testovima kompresije.
- Promjena volumena pod drenažnim i nedrenažnim uslovima koja se određuje jednoosnim i triosnim testovima te edometarskim testovima
- Konsolidacija koja se određuje edometarskim testovima.
- Propustljvost koja se određuje pomoću testova propustljivosti i edometarskim testovima.

1.4.5.3.6.2 Laboratorijska testiranja stijena

Mehanička laboratorijska testiranja koja se izvode obično na izbušenim uzorcima, trebaju da daju barem sljedeće parametre:

- suha gustoća
- prirodna gustoća
- jednoosna čvrstoća kompresije
- moduli deformacije
- sekantni moduli
- efektivna posmična čvrstoća
- rezidualna posmična čvrstoća
- vlačna čvrstoća

- Poissonov omjer

Ovisno o uslovima testiranoga tla naredni ciljevi laboratorijskog testiranja mogu da budu.:

- posmična čvrstoća uzduž izrazitih diskontinuiteta
- potencial bubrenja/pritisak bubrenja
- propustljivost
- poroznost
- otpornost na isušivanje
- otpornost na smrzavanje/otapanje (otpornost na smrzavanje)
- Los Angeles i/ili Deval ispitivanje

Mineološka i petrografska istraživanja tipičnih uzoraka stijena, tanki dijelovi za mikroskopsku analizu i rentgensku analizu kamenog praha uključujući i rasjedne iskopine, već su uvelike izvedena za vrijeme geološkog kartiranja terena. Takva studija treba da bude kompletirana u ovoj fazi. Poseban naglasak treba da bude stavljen na inženjersko geološke aspekte stijena, kao što su sposobnost bubrenja, higroskopnost, erozivnost, itd… Za abrazivnost i procjene mogućnosti bušenja potrebno je da se naprave kvantitativne mineološke analize i studije mikropukotina. Na određenim lokacijama mogu da budu potrebna paleontološka istraživanja za određivanje starosti i za moguću potrebu očuvanja istorijskih područja.

1.4.5.3.7. Finalni geološki i geotehnički izvještaj

Ovaj izvještaj treba da veoma detaljno prikaže sve faktičke podatke i da omogući jasno odvojenu interpretativnu analizu rezultata istraživanja.

On uključuje i finalni geološki model prikazan u obliku plana, longitudinalnih, horizontalnih i poprečnih presjeka, ali i pisani izvještaj koji naglašava sve inženjersko geološke i hidrogeološke aspekte za projekt izgradnje tunela. Ovaj je izvještaj baza za klasifikaciju stijenske mase i radove na geotehničkom projektu. Zato treba da nadalje pruži finalni geotehnički model uz pripisane parametre tla, stijena i stijenske mase koji su potrebni za projekat.

Naposljetku, treba da se navede potrebe za daljnja istraživanja, planove za nadziranje padina prema topografskim ispitivanjima, inklinometre, ekstenzometre, nadziranje podzemnih voda pomoću promatranja njihovoga nivoa, nadziranje pražnjenja vodenih količina, vodene hemije, itd…

1.4.6 PRINCIPI PROJEKTOVANJA I SISTEMI KLASIFIKACIJE STIJENA

1.4.6.1 OPĆENITO

U osnovi, postoje tri različite grupe metoda projektovanja:

- empirijski metodi
- posmatrački (opservacijski) metodi
- analitički i numerički metodi

U dubokim tunelima (sa debelim naslagama) što obično podrazumijeva da riječ o stjenovitim tunelima, projektovanje je uglavnom empirijsko i bazira se na iskustvu i korištenju sistema klasifikacije stijena.

Većinom analitički i numerički metodi projektovanja koriste za plitke tunele, gdje moraju da se uzmu u obzir površinske konstrukcije, zgrade i putevi. Ovi metodi projektovanja služe za projektovanje obloge i za predviđanje deformacija. Ako deformisanje prevaziđe dopuštene granice, moraju da se projektom predvide korektivne ili zaštitne mjere.

Posmatrački metodi zasnivaju se uglavnom na posmatranjima i rezultatima praćenja tokom izgradnje kako bi se provjerile ili prilagodile pretpostavke projekta.

1.4.6.2 EMPIRIJSKI METODI PROJEKTOVANJA

Empirijski metodi projektovanja dovode u vezu praktična iskustva stečena na prijašnjim projektima i uslove koji se predviđaju predloženom mjestu izgradnje.

Klasifikacija stijenskih masiva predstavlja nosivi stup pristupa empirijskog projektovanja i široko je zastupljeno u inženjeringu stijena.

U empirijskom projektovanju tlo/stijena s kojim će da se radi prvo se klasifikuje prema rezultatima istraživanja gradilišta i zasniva se na iskustvu projektanta. Vrsta stijena, čvrstoća stijena, stanje primarne napetosti, naslage, stepen atmosferskih uticaja i lomljivost, diskontinuiteti, lokalni tektonski i hidrološki uslovi treba da se uzmu u obzir kod klasifikacije. Projektovanje standardnih tipova podupirača za različite predviđene vrste tla, zasniva se na klasifikaciji stijenske mase i uzimanju u obzir faktora kao što su veličina tunela, metodi iskopavanja, te redoslijed kod izgradnje. Ovo projektovanje obično je praćeno specifikacijama i uputama o redosljedu kod izgradnje i redosljedu izvođenja podupiračkih konstrukcija. Kao dio projekta razvijen je i geomehanički instrumentacijski i mjerni program koji će se provoditi za vrijeme izgradnje.

Tokom izgradnje, stijena se klasificira u svakom koraku napredovanja na temelju originalne prognoze, aktualne geologije (mapirane od strane geologa na licu mjesta), opštega ponašanja tla za vrijeme iskopavanja posljednjih koraka napredovanja, prisutnosti vode i mjernih rezultata u recentnim područjima praćenja. Standard klase podupiranja stijena dodjeljuje se u narednom krugu, mjere podupiranja se modifikuju lokalno ako to zahtijevaju uslovi u stijenama.

1.4.6.3 ANALITIČKA I NUMERIČKA ANALIZA

1.4.6.3.1. Općenito

Materijali za izgradnju, «stijene» i «tlo» su prirodni, nehomogeni materijali. U najviše slučajeva, deformacije stijena su djelimice elastične a djelicime plastične. Matematičko modelisanje glavnih podupiračkih elemenata kao što su mlazni beton, stijenska sidra, itd. takođe je veoma složeno i još uvijek nezadovoljavajuće. Dobro je poznato da kamen i mlazni beton pokazuju vrlo prepoznatljivo reološko ponašanje, gledajući sa opšteg stajališta.

Stoga moraju da se provedu aproksimacije i pojednostavljenja u matematičkom modelu tunela, naročito za primjenu rješenja zatvorenih oblika. Rezultat takvih izračuna ne može sasvim da odgovara realnom stanju stvari.

Mnogo je analitičkih alata uvedeno u projektovanje tunela, od kojih svaki ima svoje prednosti i mane, koje se moraju izbalansirati već prema prirodi stvarnoga problema.

Analitički alati mogu da se podijele u pet osnovnih kategorija:

- analitička „zatvorena oblika" rješenja
- analiza graničnoga stanja
- analiza usađenoga okvira
- numerički modeli kontinuuma
- numerički modeli diskontinuuma

1.4.6.3.2. Analitička rješenja

Općenito, rješenja zatvorenih oblika baziraju se na elastičnom i elastično - plastičnom kontinuumu pod uslovima obične napetosti. Posebni metodi uključuju "Interaktivna analiza podupiranja stijene" od Hoeka and Browna, "Analiza podupiranja u tunelu" od Erdmanna i "Metoda ograničene konvergencije" od Gesta et al. Federov metod omogućuje sagledavanje određenih uticaja na diskontinuitet i raspad stijena.

Rješenja zatvorenih oblika imaju prednost što su lagane i brze za korištenje. No, često su ograničene na određene oblike tunela (obično kružne ili eliptične), jednostavne zakone materijala, pojednostavljene uslove napetosti ili uslove homogenog tla. Stoga su pogodne za preliminarne projekte i studije parametara. Za detaljno projektovanje obloga moraju se koristiti napredniji metodi.

1.4.6.3.3. Analize graničnog stanja

Analize ograničenja stanja uzimaju u obzir jednostavne modele kao šta su blokovi na nagnutim podlogama, posmični klinovi, itd. S obzirom da je za njih potrebno samo nekoliko jednostavnih mehaničkih zakona, može da ih na licu mjesta razvije projektni inženjer i da se primjene na brze parametarske studije ili istraživanja sasvim određenih situacija na licu mjesta. Najnapredniji metod ograničenja stanja jest Goodman - Shijeva teorija bloka.

Analiza usađenog okvira oblog tunela kao niz elastičnih i elastično-plastičnih nosača, a okružujuće zemljište kao opruge. Na raspolaganju su razni kompjutorski programi pa analiza može da se izvrši brzo i sa relativno malo uloženoga računskog napora. Ne postoje ograničenja u odnosu na oblik tunela i privremene konstrukcije obloge (npr. privremeni podnožni svod, bočni hodnici - galerije , itd.). S druge strane, modelovanje okružujućih stijena ili tla, nezadovoljavajuće je, čak i ako se koriste nelinearne opruge. Samo tlo nema sopstveno nosivo dejstvo pa deformacije obloge ne smanjuju opterećenje obloge, što se suprotstavlja nekim dijelovima NATM filozofije. Analiza usađenog okvira općenito daje konzervativne rezultate za opterećenja obloge.

1.4.6.3.4. Numerički metodi

Numerički metodi su najnapredniji alati analize poznati do danas. Tradicionalno se klasifikuju u pristupe kontinuuma i diskontinuuma. Međutim, mnogi suvremeni metodi i kompjutorski programi inkorporišu u svoje formule elemente kontinuuma kao i diskontinuuma. U graničnim je slučajevima dobra navika istražiti problem i sa mehaničkog stajališta kontinuuma kao i diskontinuuma.

Klasifikovani prema svojim matematičkim i mehaničkim formulacijama, postoje sljedeći glavni numerički metodi:

1.4.6.3.4.1 Metod konačnih elemenata (FEM)

FEM je napoznatiji numerički metod. Iako su originalno primjenjivi samo na mehaničke probleme kontinuuma, najmoderniji FE programi imaju mogućnost korištenja "linija klizanja" ili "elemenata raspuklina" za modelisanje velikih diskontinuiteta i rasjeda. Alternativno, posebni modeli materijala dozvoljavaju «zamuljavanje» spojeva ako su vrlo blizu razmješteni u poređenju sa tipičnim dimenzijama tunela. Većina FEM programa omogućuje široku raznolikost linearnih i nelinearnih materijalnih modela, različite tipove elemenata, modelisanje podzemnih voda, te mogućnost rješavanja termalnih problema. S obzirom da je većina FEM programa zasnovana na matricama, njihova upotreba zahtjeva snažne kompjutore.

1.4.6.3.4.2 Metod graničnih elemenata (BEM)

U BEM metodu, diskretizuju se samo površina ili granica konstrukcije. Metodi graničnih elemenata mogu da budu pogodni ako su dozvoljena neophodna pojednostavnjenja koje se tiču homogenosti tla.

1.4.6.3.4.3 Metod konačne razlike za model kontinuuma

Modeli konačne razlike razlikuju se od metoda konačnih elemenata po načinu na koji su izvedene osnovne jednačine. Kada koristi programe, korisnik će da primijeti vrlo malo razlike između dva metoda. FD programi također omogućuju različite nelinearne materijalne modele, linije klizanja, modelisanje podzemnih voda i termalni kapacitet. Međutim, većina prorgama konačne razlike može da usvoji komplikovane materijalne zakone i velike deformacija uz manje računanja nego FE programi. Takođe, oni mogu da se koriste na mnogo manjim kompjutorima – standardni PC je obično sasvim dovoljan. Međutim, programi konačne razlike mogu da zahtijevaju značajno više vremena da dođu do rješenja jednostavnih, linearno-elastičnih problema nego FE programi.

1.4.6.3.4.4 Metod konačne razlike za model diskontinuuma

Ovi su programi originalno, razvijeni da modelišu skupine grubih blokova. Ti blokovi mogu da se pomiču i rotiraju relativno jedan prema drugome, novi kontakti automatski se detektuju. Otada se metod razvio do mjere u kojoj dozvoljava deformaciju bloka, raspad bloka, u skladu sa materijalnim zakonima sličnim onima koji se primjenjuju u kontinuumskim pristupima. FD diskontinuumski modeli najprimjereniji su za modelisanje srednje do jako spojenih stijenskih masiva, onih blizu površine kao i onih na velikoj dubini.

1.4.6.4 SISTEMI KLASIFIKACIJE STIJENA

Podzemno iskapanje jest vrlo složena konstrukcija, teoretski alati koji pritom pomažu projektantu su skupina jako pojednostavljenih modela nekih procesa koji su interakciji sa kontrolom stabilnosti samog iskapanja. Čak je i teoretski mnogo puta nemoguće da se odredi interakcija tih procesa pa je projektant primoran donositi projektantske korake i odluke u kojima je od velikog značaja njegova inženjerska procjena i gdje iskustvo prakse igra veliku ulogu.

Iz želje da se u vezu dovedu vlastita iskustva sa uslovima koje su susretali drugi, kroz godine se razvio velik broj klasifikacijskih sistema. Baš kao i metodi projektovanja, tako ni raznorazni klasifikacijski sistemu ne znače da su «knjiga kuharica» za konstrukciju tunela nekom neiskusnom korisniku, a kad se primjenjuju treba da se to čini sa velikim oprezom. Ipak, većina sistema ima svoje prednosti i nesumnjivo te unapređuje razumijevanje uslova tla.

Dolje opisani razni sistemi klasifikacije razvijeni su sa različitim svrhama i iz raznih potreba, pa ih i treba razmatrati u skladu sa svojim originalnim namjerama.

Općenito postoje tri glavna tipa klasifikacijskih sistema:

- Geološki, geotehnički opisi, gdje su standardizirani jedan ili više parametara.
- Kvantitativni opisi značajnih parametara stijenske mase koji mogu da se direktno ili indirektno koriste kao ulazni podatak za projektovanje.
- Opisi kvalitativnog ponašanja stijenske mase za vrijeme i nakon iskopavanja, ukjučujući i uticaj podupiranja.

Zapravo, ono što čini klasifikaciju stijenskih masiva tako teškom jest red važnosti značajnih parametara i njihovi međusobni uticaji kao i teškoća da se dobiju objektivni umjesto subjektivnih ulaznih parametara.

1.4.6.4.1. Pregled sistema

1.4.6.4.1.1 Terzagijeva klasifikacija

Terzaghi je 1946 predložio sistem jednostavne klasifikacije stijena kako bi se procijenilo opterećenje koje moraju podnijeti čelični lukovi u tunelima. Opisao je razne tipove tla i razradio razrede opterećenja stijenovite mase za različite uslove tla, na osnovi svog iskustva u čelično poduprtim željezničkim tunelima u Alpama.

Mora se naglasiti da ova klasifikacija odgovarajuća za svrhu zbog koje je i razvijena, dakle za procjenjivanje opterećenja kamene mase na tunele za čeličnim potpornjima, nije odgovarajuća za modernu gradnju tunela gdje se koristi mlazni beton, vijci za kamen, segmentne obloge, itd. Sistem uzima u obzir loše navike gradnje tunela koje omogućuju formiranje područja otpuštanja i zanemaruje zahtjeve za pravilnu interakciju stijenske mase i potpornog sistema te puni kontakt stijena i potpornja. U slučaju pravilnih tehnika gradnje tunela, dana opterećenja stijenske mase previše su konzervativna, dok se u slučaju debelih naslaga zanemaruje uticaj napetosti.

1.4.6.4.1.2 Deereovo označavanje kvaliteta stijena (RQD)

Deere je predložio kvantitativan indeks kvaliteta stijenske mase zasnovan na vađenju uzorka tla nakon dijamantskog bušenja. Ovo označavanje kvaliteta stijena (RQD) vrlo je široko korišteno naročito u zemljama engleskog govornog područja.

RQD se definiše kao postotak izvađenih neoštećenih uzoraka tla većih od 100 mm po dužini tokom cijelog vađenja uzoraka.

Općeprihvaćeno je da se RQD određuje na uzorku koji je veličine barem 50 mm (NX) u prečniku i koji je izbušen/izvađen pomoću opreme za dijamantsko bušenje koja ima dvostruki bubanj. Vrijednost RQD bi obično trebala da se određuje za hod bušenja od recimo, 2 metra. Ovo određivanje jest jednostavno i brzo i ako se izvodi u sprezi sa normalnim geološkim bilježenjem uzoraka, a doprinosi veoma malo troškovima istraživanja gradilišta.

Deere je predložio sljedeću povezasnot između numeričkog iznosa RQD-a i građevinskog kvaliteta stijenske mase:

RQD	Kvalitet stijene
<25 %	vrlo loš
25 - 50 %	loš
50 - 75 %	solidan
75 - 90 %	dobar
90 - 100 %	vrlo dobar

Prilično je jasno kako proizvoljno odabrana dužina dijela uzorka sama ne može da pravilno opiše uslove stijenske mase. Stoga, bez umanjivanja vrijednosti RQD-a kao brzog i jeftinog praktičnog indeksa, njime se ipak ne dobija adekvatna indikacija opsega predložaka ponašanja koji mogu da se susretnu prilikom podzemnih iskopavanja.

1.4.6.4.1.3 Bieniawskijeva klasifikacija

Geomehaničku klasifikaciju ili Sistem ocjenjivanje stijenskog masiva (RMR). (RMR) razvio je 1973. Bienawski. Ova građevinarska klasifikacija stijenskog masiva koristi sljedećih šest parametara:

- jednoosna tlačna čvrstoća netaknutog stijenskog materijala
- označavanje kvalitete stijenske mase (RQD)
- razmještaj diskontinuiteta
- stanje diskontinuiteta
- stanje podzemnih voda
- orijentacija diskontinuiteta (dip and strike)

Kako bi se primijenila geomehanička klasifikacija, stijenska masa duž tunela podijeljenja je u brojna strukturalna područja, npr. zone u kojima su određena geološka obilježja manje-više uniformna. Gore navedenih šest klasifikacijskih parametara određuju se za svaku strukturalnu zonu iz terenskih mjerenja te se unose u standardni obrazac za unos podataka.

Pet prvih parametara podijeljeno je u grupe od pet područja vrijednosti. Kako različiti parametri nisu jednakovrijedni za cjelokupnu klasifikaciju stijenske mase, stepeni važnosti dodijeljeni su

različitim područjima vrijednosti parametara, gdje veći stepen znači bolje uslove stijene. Ovi stepeni određeni su na osnovi istorije 49 slučajeva (Bieniawski, 1976).

Nakon što su ocjene klasifikacijskih parametara ustanovljene, ocjene pet parametara sumiraju se i rezultiraju bazičnom ocjenom stijenske mase za strukturalno područje koje se promatra.

U ovoj se fazi uključuje i utjecaj orijentacije diskontinuiteta prilagođavanjem osnovne procjene stijenske mase. Ovaj se korak vrši odvojeno zbog toga što uticaj orijentacije diskontinuiteta zavisi od građevinske primjene, npr. tunel (rudnik), kosina ili temelj. Treba da se zabilježi kako «vrijednost» parametra «orijentacije diskontinuiteta» nije dana u kvantitativnom obliku nego pomoću kvalitativnog opisa.

Nakon prilagodbe sa osnova orijentacije diskontinuiteta, stijenska se masa klasifikuje dodjelom finalnih (prilagođenih) ocjena stijenskog masiva (RMR) jednom od pet razreda stijenske mase.

1.4.6.4.1.4 Indeks geološke čvrstoće (GSI)

Za projekte podzemnih iskopavanja, potrebne su pouzdane procjene karatkeristika čvrstoće i deformacije stijenske mase. Hoek i Brown su 1980. predložili metod, koji se zasniva na procjeni međusobnih veza među kamenim blokovima i uslova površina između tih blokova. Važan doprinos spomenuta dva autora je u povezivanju jednadžbe sa geološkim opažanjima u obliku Bienawskijevog RMR-a.

Metod je ponešto modifikovan tokom godina, sa posebnim naglaskom na stijenske masive lošega kvaliteta. Primjena metoda zahtjevala je razvijanje nove klasifikacije nazvane Indeks geološke čvrstoće – GSI, kao zamjena za Bienawskijev RMR. Posljednja faza tog razvoja reflektuje se u novoj GSI tabeli heterogenih slabih stijenskih masiva. Osim toga, razvijen je i besplatan program za Windows nazvan "Rocklab" koji omogućava računanja kohezivne snage, frikcionog kuta i povrh svega modul deformacije stijenske mase. Program se bazira na vezi između Hoek-Brownovoga i Mohr-Coulombovoga kriterija.

1.4.6.4.1.5 Bartonova klasifikacija

Q-sistem klasifikacije stijenskih masiva razvili su u Norveškoj 1974. godine Barton, Lien i Lunde sa Norveškog geotehničkog instituta. Njegovo je razvijanje značio ogroman doprinos problemu klasifikovanja stijenskih masiva iz nekoliko razloga: sistem je predložen na osnovu analize nekih 200 slučajeva izgradnje tunela u Skandinaviji, to je kvantitativni sistem klasifikacije, a to je i građevinski sistem koji omogućuje projektovanje potpornih sistema u tunelima.

Q-sistem se zasniva na numeričkoj (kvantitativnoj) procjeni kvaliteta stijenskih masa pomoću ovih šest parametara::

- RQD
- broj nizova raspuklina
- gruboća najnepovoljnije raspukline ili diskontinuiteta
- stepen promjene ili punjenja uzduž najslabije raspukline
- pritok vode
- stanje napetosti.

Gore navedenih šest parametara grupirani su u tri razlomka kako bi dobili kvalitet ukupne stijenske mase Q, na ovaj način:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

gdje je:

RQD = oznaka kvaliteta stijene;
J_n = broj o nizovima raspuklina;
J_r = broj o izraženosti gruboće raspukline;
J_a = broj promjenjivosti raspukline;
J_w = redukcioni broj raspukline zbog vode;
SRF = faktor redukcije zbog napetosti.

Svaki od numeričkih iznosa gore navedenih parametara tumači se na sljedeće načine:

Prva dva parametra predstavljaju ukupnu strukturu stijenske mase, a njihov je omjer relativne mjera veličine bloka. Omjer trećeg i četvrtog parametra trebao bi da bude indikator čvrstoće međublokovskog posmika (raspuklina). Peti je parametar mjera vodenog pritiska, dok je šesti parametar mjera za:

- popuštanje opterećenja u slučaju zona s pukotinama i glinene nosive stijene,
- napetost stijene u kompetentnoj stijeni, i
- opterećenja vezana na gniječenje i bubrenje u plastičnim, nekompetentnim stijenama.

Šesti parametri su znani još i kao parametri «ukupne napetosti». Omjer petog i šestog parametra opisuje ono što je znano pod imenom «aktivna napetost».

Bartonova klasifikacija (1974) smatra da parametri J_n, J_r, i J_a igraju važniju ulogu nego orijentacija raspukline, a kada bi orijentacija raspuklina bila uključena, klasifikacija bi bila manje općenita. Međutim, orijentacija je implicitna u parametrima J_r i J_a zato što se primjenjuju na najnepovoljnije raspukline.

Utvrđena je korelacija između RMR-a i Q-vrijednosti (Bieniawski 1976). S obzirom da Q sistem i RMR sistem uključuju ponešto drugačije parametre, oni ne mogu da budu striktno dovedeni u vezu. Približna povezanost koju je predložio Bieniawski bazira se na studiji velikog broja istorijskih slučajeva (standardna devijacija = 9.4).

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

Poredba vremena bez podupiranja i maksimalnog nepoduprtog rastojanja otkriva da je RMR klasifikacija konzervativnija od Q-sistema, što je posljedica prakse izgradnje tunela u Skandinaviji koja se bazira na izvrsnim stijenama i dugotrajnom iskustvu gradnje tunela.

1.4.6.4.1.6 Austrijska klasifikacija

Ovaj je klasifikacijski sistem razvio Rabcewicz-Pacher kako bi zadovoljio zahtjeve i principe "Nove austrijske metode izgradnje tunela". Njezine su ciljeve definisali sami autori na sljedeći način:

- Prikaz informacija o distribuciji stijenske mase uzduž tunela kako bi se omogućile procjene troškova i vremenskog planiranja u ranim fazama projektovanja
- Stvaranje osnove za izradu konkursne dokumentacije, omogućujući izradu realnih procjena cijena troškova izgradnje izvođačima, te smjernice o naplati i plaćanju.
- Omogućavanje poduzimanja mjera za vrijeme izgradnje kojima se mogu prilagoditi iskopavanja i zahtjevi za podupiranjem
- Smanjivanje razlika u stajalištima između ugovornih strana i izbjegavanje prigovora.

Ovi ciljevi odvajaju ovaj sistem od drugih. Kao mana svakako može da se nadvede nedostatak kvantitativnih ulaznih podataka pa je za provedbu sistema u praksi potrebno osoblje sa iskustvom. Sa druge strane superiororan je kvantitativnih sistemima s obzirom da polazi od sljedećih glavnih kriterija::

- Stvarno ponašanje okružujućeg stijenskog sistema tokom i nakon iskopavanja
- Uslovi u stijenama i diskontinuiteti izvan poprečnog presjeka tunela
- Primarni uslovi napetosti
- Veličina i oblik tunela

Detaljni opis te navođenje tipova klasa stijena u projektnim i ponudbenim dokumentima moraju da sadrže ove informacije i podatke:

- Kvalitet i struktura stijenskih formacija
- Uticaj vode i učinak koji ima vazduh u kontaktu sa novoizloženim površinama s obzirom na čvrstoću i ponašanje stijenske mase

- Prosječna očekivana količina potpornih elemenata za svaki tip razreda stijena (nabavka standardnih podupirača)
- Redosljed postavljanja podupiračkih elemenata
- Mogući metodi bušenja tunela: puni presjek odjednom ili dio po dio poprečnoga presjeka, zajedno sa očekivanom dužinom etape bušenja.
- Očekivane deformacije
- Detalji o mogućim komplikacijama koji mogu da utiču na troškove izgradnje, npr. očekivani unutarnji pritok vode, gas itd.

U novom Austrijskom standardu ÖNORM B 2203 «tipovi stijenske mase» su navedeni na sljedeći način .

Tip stijenske mase A1: uslovi stabilne stijene

Tip stijenske mase A2: naprsnuta stijena sa lokalnim ispadanjem

Tip stijenske mase B1: uslovi drobive stijene

Tip stijenske mase B2: uslovi veoma drobive stijene

Tip stijenske mase B3: uslovi nekohezivnog tla

Tip stijenske mase C1: fenomen pucanja stijene

Tip stijenske mase C2: uslovi naprezanja stijene zbog pritiska

Tip s stijenske mase C3:uslovi naprezanja stijene zbog velikog pritiska, uslovi gnječenja stijene

Tip stijenske e mase C4: uslovi tekučeg tla

Tip stijenske mase C5: uslovi bubrenja stijene

1.4.6.5 PRINCIPI NOVOG AUSTRIJSKOG METODA IZGRADNJE TUNELA

Novi austrijski metod izgradnje tunela (NATM) je istovremeno i filozofija projektovanja i opšti ali praktični pristup izgradnji tunela. Namjena joj je postizanje tehnički čvrstog, sigurnog i ekonomičnog projektovanja.

To je koncept koji razmatra geološku formaciju koja okružuje tunelski iskop dvojako, kao opterećenje i kao prsten koji podnosi opterećenje. Taj aspekt odvaja NATM od mnogih drugih filozofija projektovanja tunela, u kojima se pretpostavlja da masa tla prenosti svu ili dio težine na oblogu.

Kad je tunel iskopan, tada se in-situ stanje napetosti u okružujućem tlu pretvara, kroz nekoliko posrednih koraka redistribucije napetosti, sve dok se ne dosegne novo stanje ravnoteže. Uspješna primjena NATM-a zahtjeva pridržavanje ovih principa:

- Odabir odgovarajućeg oblika tunela treba da je u skladu sa postojećim uslovima napetosti i čvrstoće mase tla. Kao rezultat toga, pravilni oblik tunela smanjuje koncentracije napetosti i značajno doprinosi stabilnosti.
- Redosljed iskopavanja i postavljanja potpornog sistema, treba da bude takav da deformacije okolnog materijala ostanu dovoljno male, kako ne bi došlo do smanjenja čvrstoće sistema
- Metodi i procedure iskapanja trebaju da budu pažljive kako bi smanjile narušavanje stanja tla izvan granica iskopavanja.
- Trebaju da se uzmu u obzir i hidrogeološki uslovi. Voda, naročito kada je pod visokim pritiskom, treba da otječe, kako bi se spriječio njezin negativan uticaj na čvrstoću stijenske mase i kako bi se smanjio njezin pritisak.
- Obloge treba da budu relativno tanke i fleksibilne te u punom kontaktu sa okružujućim tlom kako bi se smanjili momenti savijanja koje apsorbira obloga. Komponente obloge tunela, kao što su mlazni beton i lagani čelični lukovi moraju da se odaberu i dimenzionišu na način, koji će da pomogne tlu u zadržavanju svoje inherentne čvrstoće.

- Potporni elementi trebaju da se odaberu prema svojoj prilagodljivost promjenama u geološkim uslovima uzduž tunelske trase zbog minimiziranja drastičnih promjena u opštem sistemu podupiranja kako izgradnja tunela odmiče.
- Mjerenja deformacija je sastavni dio NATM-a i nije neophodan samo za postizanje bezbjednosti tunela već i za provjeravanje pretpostavki projektovanja prije postavljanja finalne obloge. Uobičajeno korištena oprema sastoji se od konvergentnih igala i reflektora za trodimenzionalno optičko praćenje kako bi se utvrdile deformacije u inicijalnoj oblozi tunela, ekstenzometri za procjenu ponašanja tla oko iskopa, tlačne ćelije, mjerači napetosti, inklinometri, nivelacioni mjerači, itd.

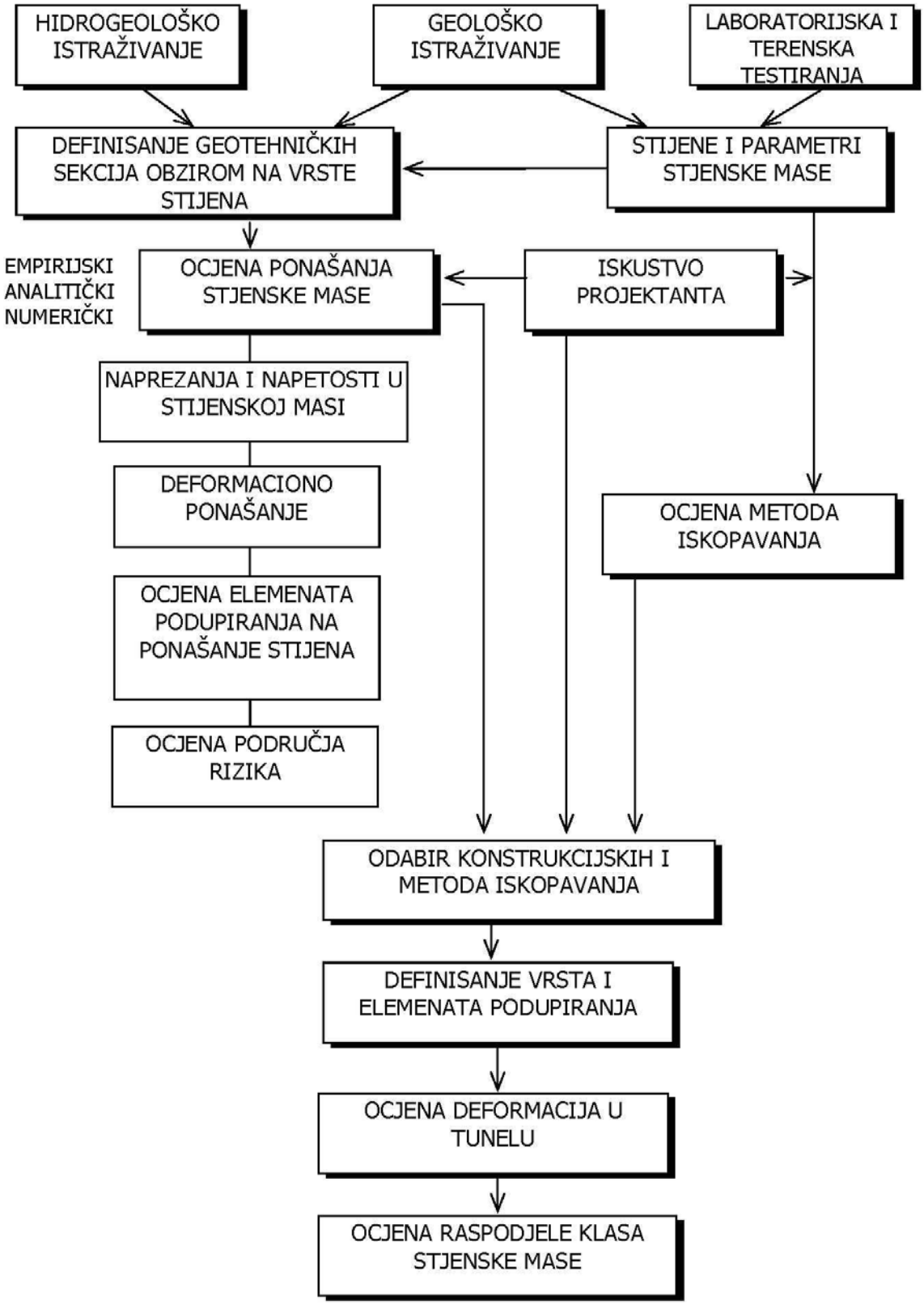
Ovi osnovni principi nisu u vezi sa bilo kojom posebnom tehnikom podupiranja i iskopavanja. Istorijsko iskustvo je pokazalo da mlazni beton i stijenska sidra najekonomičnije zadovoljavaju tehničke zahtjeve NATM-a. Međutim, kao komponente obloge još se koriste i lagani čelični lukovi i varene žičane mreže, uz ostale dodatne potporne elemente.

Primjena NATM predviđa dvije odvojene operacije postavljanja obloge. Inicijalna obloga, postavlja se odmah ili vrlo kratko nakon iskopavanja. Kao dodatak stabilnosti tokom izgradnje, inicijalna obloga postaje dio cjelokupnog sistema obloge. Inicijalna obloga treba da bude dovoljna da stabilizuje deformacije tla. Finalna obloga povećava bezbjednost sistema tunelskih obloga i omogućuje jednoličnu unutrašnju površinu te poboljšava vodenu nepropusnost tunela. Glatka, finalna obloga služi za protok vazduha u tunelu i zadovoljava estetske zahtjeve i zahtjeve za održavanjem. Radi potpune vodene nepropusnosti između inicijalne i finalne obloge postavlja se membranska obloga.

NATM podrazumijeva aktivni pristup projektovanju koji zahtijeva bliski kontakt između projektanta i gradilišta jednom kad je završen početni projektni paket. NATM projekat nije gotov nakon projekta tendera za izvođenje radova, finalno projekat se razvija tokom iskopavanja kroz pristup «projektovanje in situ». Sam projektant treba da rastumači rezultate praćenja, verifikuje pretpostavke projekta i da održava povratnu sprega sa projektom za vrijeme izgradnje tunela.

Veliki dio uspjeha, koji je NATM postigao tokom protekla tri decenija, treba da se pripiše njegovoj prilagodljivost zamalo svim tipovima uslova tla, ali i maksimalnoj fleksibilnosti u odabiru metoda izgradnje oblaganja tunela. Takođe, NATM može da se primijeni na tunele svih veličina i različitih oblika i da istodobno vrši promptne ekonomske prilagodbe promjenjivim uslovima u tlu čime poboljšava izvodljivost projekata izgradnje tunela čak i u područjima gdje su uslovi u stijenama vrlo osjetljivi.

NATM pristup projektovanju je ilustrovan na Sl. 4.



Sl. 4: NATM pristup projektovanju

1.4.7 PROJEKAT ISKOPAVANJA

1.4.7.1 GEOTEHNIČKI MODEL

1.4.7.1.1. Iskop tunela u stijenama

Ustanovljenje geološkoga modela ima zadatak da definiše, koje će geotehničke karakteristike stijenske mase da se koriste kao parametri projektovanja u nadolazećim koracima projekta. Iznosi dobiveni u terenskim i laboratorijskim istraživanjima ne daju nam direktnu osnovicu za daljnja izračunavanja. Parametri stijenske mase (npr. iz laboratorijskih testova) maksimalne su vrijednosti, koje treba da se procijene prije nego mogu da budu korištene kao kriteriji za projektovanje ili kao parametar geotehničkog projektovanja.

Cijela stijenska masa pod uticajem je raznih veličina, koje obično loše utiču na fizičke i mehaničke karakteristike stijena, a to su:

- atmosferski uticaj
- tektonski procesi
- uticaji dubinskih i podzemnih voda
- nestabilnost padina
- promjene u stanjima napetosti
- dinamička opterećenja
- promjene u temperaturi

Trebaju da se ustanove geotehničke karakteristike stijenske mase na temelju geološkog modela i uzimanja u obzir laboratorijskih testova i rezultata in-situ testova.

Empirijski (kvalitativni ili kvantitativni), analitički ili numerički postupci projektovanja ili njihovo kombinovanje mogu da se koriste za izvođenje geotehničkog projekta tunela.

S ozbirom da geološki uslovi (hidrogeološki, tektonski itd.) široko variraju od gradilišta do gradilišta, kao što variraju i individualni sa geologijom povezani parametri podzemne strukture, mora da se izvrši ispitivanje njihovih uticaja na projekat, kako bi se dobio sistem ocjenjivanja ili klasifikacije kojeg korisnik može da kroji prema svakom pojedinom projektu.

Za svaki projekat tunela, važnost (uticaj) svakoga parametra povezanog sa geologijom treba, da se vrednuje pojedinačno, zato što uticaj zavisi od

- veličine otvora
- primijenjenog metoda izgradnje i metoda iskopavanja
- tipu potpornog sistema
- orijentacija podzemnih otvora prema diskontinuitetima
- uslovi primarnih napetosti

Za projekat tendera za izvođenje radova, mora da se pripremi geotehnički longitudinalni profil. Sada mogu da se prepoznaju elementi tunela sa sličnim geotehničkim ponašanjem, u tom longitudinalnom profilu kao i dionice u kojima će se sresti. To nam saznanje služi kao baza za procjenu parametara projekta i klasifikaciju u fazi projekta.

Taj zadatak zahtjeva blisku suradnju inženjerskih geologa i geotehničkih inženjera. Klasifikacija se koncentriše na geotehničkom ponašanju stijenske mase koja okružuje iskop te na režim i redosljed iskopavanja kao i redosljed i predmete stabilisanja.

Koristeći se empiričkim, kvalitativnim metodom projektovanja, kao rezultat dobivamo koncept klasifikacije koji se odnosi na ponašanje stijenske mase i koji ima opseg od stabilnih uslova preko drobivih, pa sve do uslova gnječenja. Ovi uslovi treba da se podijele u nekoliko klasa tipova stijena za koje treba da se definišu osnovni geološki uslovi i očekivano ponašanje tla, kao što mora da se definišu i zahtjevi za podupiranjem i njihova projektovana funkcija.

1.4.7.1.2. Iskop tunela u tlu

Pouzdani alat kod projektovanja tunela u tlu su analitički ili numerički metodi, naročito ako se tuneli nalaze ispod plitkih naslaga ili ispod zgrada i nekih drugih građevina (npr. mostovi, plinovodi, itd.). U takvim slučajevima treba da se obavi projektovanje metoda iskopavanja (korak napredovanja, podjela profila iskopa u sekcije, potrebne pomočne mjere ...) i postavljanja obloga tunela ili barem treba da budu izvedene strukturalne analize.

Kod definisanja različitih slučajeva opterećenja, treba da se uzmu u obzir kratkoročni i dugoročni uslovi kao i mogući opseg parametara projekta (npr. drenažni ili nedrenažni uslovi, visoka i niska razina podzemnih voda).

Za bezbjedno bušenje tunela mogu da se usvoje i neki pomoćni metodi poboljšavanja tla, kao što su isušivanje, instalacija probojne podgrade, postavljanje cijevnog štita, injektovanje, rad pod vazdušnim natpritiskom i vještačko smrzavanje tla.

1.4.7.2 PRAĆENJE GASOVA

Tabela data ispod prikazuje pregled najčešćih vidova zagađenja vazduha koja nastaju kod podzemnih radova:

Supst.	svojstva	dejstvo	MDK
prah	lebdeće čestice u prahu; > 5μ brzo padajuće, < 5 μ sporo padajuće, prodiru u pluća	silikoza; silicijum dioksid i određeni silikati škodljivi	za čestice u prahu < 5 μ ovisno o procentu silicijum dioksida; pri 70 % silicijum dioksida ispod 1 mg/m^3
ugljen dioksid ($C0_2$)	većinom u velikim količinama u produktima eksplozija i izduvnih gasova dizel agregata	bezmirisan; u velikim koncentracijama (> 4 vol.‰) glavobolja, koja trenutno vodi gubitku svijesti.	5000 ppm
Ugljen monoksid (CO)	produkt nepotpunog sagorijevanja, u znatnim količinama u produktima eksplozija	bezmirisan; u koncentracijama iznad > 1 vol.‰ (1000 ppm) škodljiv, malaksalost prelazi u gubitak svijesti a zatim u smrt	50 ppm
azotni gasovi	mješavina $NO+NO_2$ i ostalih viših azotnih oksida; nastaju u produktima eksplozija i izduvnih gasova dizel agregata	U koncentracijama preko 10 – 50 ppm nadražujući (kašalj), koji zatim prelazi u plućni edem i smrt	NO 25 ppm NO_2 5 ppm
aldehidi	formaldehid (H_2CO) i viši aldehidi i akrolein (CH_2:CH·CHO); produkti izduvnih gasova dizel agregata	nadražujući (kašalj, oči i ždrijelo)	formaldehid 5 ppm akrolein 0,1 ppm
sumpor dioksid ($S0_2$)	nastaje od sumpora iz dizel ulja	oštrog mirisa, izaziva kašalj, u većim koncentracijama uzrokuje plućni edem	5 ppm
metan CH_4	nastaje izvirući iz stijenske mase	zapaljiv, stvara eksplozivne mješavine	do 0,5 vol % na gradilištu

1.4.7.2.1. Izduvni gasovi iz mašina I.

Moraju da se preduzmu sljedeće mjere verifikovanja ventilacionog sistema za vrijeme izgradnje, naročito ako unutar njega rade mašine sa dizel-motorima.:

- Mjerenje zagađenja (gasovi, prašina)
- Klimatski uslovi (temperatura i brzina vazdušnih struja te vazdušni pritisak)
- Funkcionisanje ventilacionog sistema i njegovog napajanja
- Ugljični monoksid (CO) u izduvnim gasovima

1.4.7.2.2. Eksplozivni gasovi u stijenskoj masi

Tokom ispitivanja gradilišta, moguće je da se kombinuju geotehnička ispitivanja sa preliminarnim studijama i procjenama rizika zbog opasnih gasova. Detekcija i uzorkovanje može da se izvrši za vrijeme bušenja bušotina, a instalisanje jednostavnih piezometara sa stojećom cijevi može da omogući dugotrajno praćenje područja koja su označena kao posebno rizična zbog prisutnosti gasova.

Za vrijeme miniranja tunela, potreban je neki oblik konstantnog praćenja gasova u određenim sektorima gdje se očekuje pojavljivanje tih gasova. To može da bude u obliku jednostavnih elektroničkih detektora više gasova, ili u situacijama povišenoga rizika to mogu da budu sofisticiranije detektorske glave povezane na način da isključe svu opremu kada zabilježe pojavu gasova.

Sondiranje unaprijed, običnim bušenjem ispred radne površine, mora da se primijeni u dijelovima tunela gdje može, da se očekuje pojava gasa. Ta praksa osigurava iskopavanja u tlu koje je istraženo do određenog stepena. Sondiranje može da se izvrši do, pa čak i preko 50 metara ispred čeone radne površine.

Sva mjerenja metana i ostala mjerenja u tunelima treba da budu izvedena sukladno lokalnim pravilima i «programom bezbjednosti» koje je zadao ugovaratelj.

1.4.7.3 VENTILACIJA GRADILIŠTA

Ventilacioni sistem treba da bude prijektovan i korišten sukladno lokalnim zakonskim propisima.

Ventilacioni sistem treba da bude projektovan tako da odgovara dužini tunela, metodu iskopavanja, korištenoj opremi i broju radnika koji rade unutar tunela. Toksični gasovi, dim i čestice prašine koji su zabilježeni mjerenjima na gradilištu, ne smiju da prevaziđu dopuštene koncentracije.

U tunelima u kojima postoje eksplozivni gasovi (npr. metan), ventilacioni sistem treba da bude projektovan i korišten tako da se postigne adekvatno razrjeđenje opasnih gasova. Mjerenja koncentracije gasova treba da se vrše pomoću prenosivih i fiksno instalisanih mjernih naprava.

U tunelima u kojima mogu da se pojavljuju gasovi, može da radi samo za to dobro osposobljeno osoblje. Pušenje unutar tunela je zabranjeno.

1.4.7.4 GEODETSKI RADOVI

U ovom poglavlju definisani su osnovni zahtjevi za uspostavljanje geodetske koordinatne osnove (koordinatnog sistema) za sve geodetsko-tehničke radove tokom izgradnje tunela, i izloženi zahtjevi kvaliteta koordinatne osnove.

1.4.7.4.1. Geodetska koordinatna osnova

Koordinatnu osnovu predstavlja trodimenzionalni koordinatni sistem, odnosno trodimenzionalni položaji tačaka koje određuju taj koordinatni sistem. Položaji tačaka mogu biti određeni na osnovu klasičnih – terestričkih metoda određivanja položaja tačaka, ali i metodama satelitske geodezije, npr. GPS tehnologijom (Global Positioning System).

Geodetsku koordinatnu osnovu predstavljaju položaji (koordinate) tačaka. Osim samih metoda mjerenja i obrade podataka, koji omogućavaju postizanje potrebne preciznosti položaja tačaka koordinatne osnove, potrebno je obezbijediti stabilnost tačaka koordinatne osnove. U tom smislu je potrebno postarati se za izbor odgovarajućih lokacija i adekvatnu stabilizaciju tačaka. Stabilnost

tačaka koordinatne osnove obezbjeđuje se periodičnim mjerenjima. Ako se ustanovi da neka od tačaka nije stabilna, neophodno je pouzdano utvrditi njeno pomjeranje.

Koordinatna osnova mora biti takvog kvaliteta (preciznosti) da omogućava izvedbu geodetskih radova prije, tokom i nakon izgradnje tunela i drugih objekata na predmetnoj putnoj dionici:

- Ucrtavanje portala i konstrukcija u području portala
- usmjeravanje ose tunela
- praćenje pomjeranja (deformacija) u uticajnom području tunela
- praćenje konvergencija u tunelu
- praćenje pomjeranja nakon izgradnje tunela.

U izboru položaja tačaka mora učestvovati i geolog, odnosno geotehničar, ocjenom globalne i lokalne stabilnosti područja u kojem je predviđeno postavljanje tačaka primarne koordinatne osnove.

1.4.7.4.1.1 Uspostavljanje koordinatne osnove terestričkim metodama

Terestrička metoda, koja omogućava dobijanje horizontalnih položaja tačaka adekvatnog kvaliteta predstavlja triangulaciju zajedno sa trilateracijom. Horizontalni dio koordinatne osnove mora biti uspostavljen kao državna trigonometrijska mreža najvišeg reda. Posmatranja moraju biti izvedena baždarenim i servisiranim instrumentima najvišeg kvaliteta, korektno obrađena i ujednačena.

Visinski dio koordinatne osnove mora biti uspostavljen pomoću instrumenata, procedurom i obradom osmatranja kao u nivelmanu visoke preciznosti.

Uspostavljanje koordinatne osnove u slučaju terestričkih metoda mora biti izvedeno uz ispunjavanje međunarodnog standarda ISO 4463.

Rezultat su koordinate tačaka u državnoj kartografskoj projekciji i visine tačaka u državnom vertikalnom referentnom sistemu.

1.4.7.4.1.2 Uspostavljanje koordinatne osnove pomoću GPS tehnologije

Kod uspostavljanja koordinatne osnove na temelju GPS posmatranja, posmatranja je potrebno izvesti pomoću GPS prijemnika adekvatnog kvaliteta (geodetski GPS prijemnici), uz adekvatnu dužinu trajanja posmatranja i njihovu korektnu obradu. Pritom je potrebno izvršiti povezivanje posmatranja sa globalnim terestričkim koordinatnim sistemom visoke preciznosti, npr. ETRS 89 i upotrebiti precizne efemeride GPS satelita, npr. CODE ili IGS efemeride.

Kod određivanja položaja metodom satelitske geodezije, koordinatnu osnovu predstavlja prostorni položaj tačaka, određen u globalnom terestričkom referentnom koordinatnom sistemu. Za upotrebu tih položaja u koordinatnom sistemu u kojem je objekat projektovan, prije svega zbog povezivanja s terestričkim mjernim postupcima, potrebno je uspostaviti vezu između sistema.

Kod uspostavljanja koordinatne osnove metodama satelitske geodezije, ona mora biti izrađena svrsishodnim ispunjavanjem međunarodnog standarda ISO 4463. Takođe preporučujemo poštovanje pravila geodetskih mjerenja GPS tehnologijom.

Federal Geodetic Control Comitee, 1988. Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for Using GPS Relative Positioning Techniques, Ver. 5.0, Federal Geodetic Control Comittee, SAD.

Rezultat su koordinate tačaka u državnoj kartografskoj projekciji i visine tačaka u državnom vertikalnom referentnom sistemu.

1.4.7.4.1.3 Preciznost koordinatne osnove

Uspostavljanje geodetske koordinatne osnove mora biti izvedeno preciznošću koju zahtijevaju pojedinačni zadaci čije izvršenje geodetska osnova treba da omogući i obezbijedi. To su:

- zahtijevana preciznost ucrtavanja ose tunela i drugih objekata
- zahtijevana preciznost praćenja eventualnih pomjeranja u uticajnom području izgradnje,

- zahtijevana preciznost praćenja konvergencija
- zahtijevana preciznost određivanja pomjeranja tačaka nakon izgradnje tunela

Potrebnu preciznost ucrtavanja objekta, kao i očekivanu veličinu pomjeranja (i konvergencija) daje projektant tunela.

1.4.7.5 POTPORNI ELEMENTI

1.4.7.5.1. Općenito

Bilo u stijeni ili u zemlji, projekat inicijalne (primarne) podgrade kombinuje razne potporne elemente u «tipične potporne tipove». Inicijalna obloga se smatra dijelom kompletnog sistema obloga tunela.

Za odluku o projektovanju «krute» ili «fleksibilne» inicijalne podgrade, moraju da se sagledaju uslovi zemljišta i geometrijski uslovi (npr. debljina nadsloja, građevine, infrastruktura ili druge strukture iznad ili blizu tunela, itd.). Tuneli sa plitkim nadslojem i oni koji su smješteni ispod zgrada ili drugih građevina, u osnovi zahtijevaju krutu podgradu (tanka, kruta podgrada, brzo zatvaranje podgradnog prstena, ponekad rana ugradnja unutrašnje (sekundarne) obloge) kako bi se ograničile ili smanjile deformacije tla i slijeganja na površini. Kod tunela sa srednjim do visokim nasdslojem, dopuštanje deformacija primjenom fleksibilnih potpornih tipova (koristeći tanke fleksibilne obloge, stijenska sidra, odgođeno zatvaranje podnožnog svoda, itd.) vodi do ekonomičnoga projekta.

Svaki od, geološkim modelom, predviđenih tipova stijena ili tla se pripisuju određenoj klasi podupiranja. Klase podupiranja mogu da se razlikuju u debljini mlaznoga betona, broju slojeva žičane mreže, položaju i razmještaju čeličnih lukova, vrsti i dužini stijenskih sidara, drugih potpornih mjera, dužini koraka iskopavanja, redosljedu iskopavanja i tipu raspodjele iskopnog profila. Kasnije se ove klase podupiranja primjenjuju sukladno klasifikaciji tokom iskopavanja i mogu da se prema potrebi, modifikuju ili prilagođavaju prema stvarnom ponašanju tla ili da se određuju prema rezultatima praćenja.

U projektu tendera za izvođenje radova treba da se pripreme nacrti sa tipičnim potpornim elementima za svaki navedeni tip stijene. U tim se nacrtima takođe prikazuju moguće dužine koraka napredovanja, redosljed iskopavanja i instalacija potpornog sistema.

Tokom izgradnje potrebni će da budu i radionički nacrti potpornih elemenata koji trebaju da se proizvedu za pojedinačni tunel, kao što su čelični lukovi i rešetkasti nosači.

Glavni potporni elementi u modernoj izgradnji tunela su:

- mlazni beton, obični ili armiran žičanom mrežom, čeličnih ili kompozitnih vlakana. Armiranje žičanom mrežom vrši se kako bi pojačalo smičnu i vlačnu čvrstoću mlaznoga betona. U specijalnim slučajevima dodaju se čelična ili kompozitna vlakna uglavnom radi pojačavanja žilavosti i poboljšanja ponašanja nakon pucanja.
    - stijenska sidra, dostupna u raznim oblicima, kao što su:
    - ekspanziona sidra
    - zalijevna sidra, kod kojih se koriste smolu ili mort kao vezni medij između čelika i stijene bušotine
    - injekcijska sidra (izrađeni od čeličnih šipki ili cijevi)
    - sidra mogu da se podijele i na neprednapregnute i prednapregnute stijenska sidra. U specijalnim slučajevima, kao što su vrlo veliki otvori, mogu da se koriste i prednapregnuta kabelska sidra
- čelični lukovi, obično male težine, koriste se u nekoliko oblika:
    - građevinski čelik savijen u obliku slova H
    - specijalni profili za tunele u obliku slova U („TH" profili)
    - rešetkasti nosači

Pomoćni potporni elementi su:

- čelične platice, izrađene su od 3 - 6 mm debelih čeličnih ploča, a upotrebljavaju se u nekohezionim materijalima kao privremena potpora instališu se ispred čela radi prevencije istjecanja materijala tokom iskopavanja
- Podupiračke cijevi ili koplja koje imaju sličnu svrhu kao i čelične platice, ali se koriste u nešto kohezivnijim i blokovitijim materijalima kako bi se izbjeglo pucanje.

1.4.7.5.2. Mlazni beton

Mlazni beton se primjenjuje kako bi se izbjeglo popuštanje okružujuće stijenske mase ali i kao nosivi element. Obloga mlaznog betona pokriva i zatvara pukotine u kamenu i sprečava otpadanje i pucanje. Održavanje početne čvrstoče stijene je presudno za formiranje stijenskog svoda okolo profila iskopa.

U osnovi, obloga mlaznog betona u običnim tunelima može da se smatra nearmiranim betonom. Praktično iskustvo pokazuje da obloga tunela ne popušta pred savijanjem, nego pod pretjeranim tlačnim napetostima što ima za posljedicu smična puknuća. Pretjerani momenti savijanja redukuju se puzanjem i njihova se preraspodjela vrši formiranjem pukotina tako stvarajući zglobni sistem. Takav višestruki zglobni sistem tunelske obloge je stabilan u odnosu na kinematičke principe pod uslovom da je «potpuno ugniježđen» u okružujuće stijene ili zemlju i da je obloga tunela pravilno oblikovana, sa glatkim, zavijenim stropom i zidovima.

Minimalna tlačna čvrstoća (kubična čvrstoća) 25 MPa poslije 28 dana, kakva se navodi u mnogim projektima, može da se postigne korištenjem suhe mješavine 350 do 400 kilograma portland cementa po kubnom metru.

Konvencionalne dodatne mješavine za ubrzavanje sa visokim sadržajem alkaloida za brže vezanje i veću tlačnu čvrstoću na početku, utiču na smanjenje finalne tlačne čvrstoće. Stoga su one prikladne samo za mlazni beton koji nema konstrukcijsku funkciju (npr. izolacioni slojevi, zapunjavanje prekomjernih lomova itd.). Alkalni ubrzivači ugrožavaju zdravlje radnika i predstavljaju dugoročnu prijetnju okolini.

Nealkalni i niskoalkalni ubrzivači nude značajne prednosti u radnim uslovima, kompatibilnost sa okolinom i tehnološkim karakteristikama. Oni uzrokuju tek lagano smanjenje finalne tlačne čvrstoće mlaznog betona.

Najnovija dostignuća primjenjuju mlazni beton sa brzovežućim cementima bez ikakvog ubrzivača. Pritom nema nikakve redukcije finalne tlačne čvrstoće.

S obzirom na pitanja zaštite okoline, zdravlja radnika i održavanja (npr. odvodne cijevi) smiju da se koriste samo nealkalni ubrzivači ili brzovežući cementi.

1.4.7.5.3. Žičana mreža

Žičana mreža se primjenjuje kao kao konstrukcijsko pojačanje obloga mlaznog betona. Uz to ima i sljedeće funkcije:

- poboljšanje adhezije slojeva mlaznog betona
- stabilisanje i ojačavanje nanešenog sloja mlaznog betona dok se ne veže i ne stvrdne
- ojačanje smične čvrstoće
- ojačanje konstrukcijskih spojeva
- smanjenje i ograničenje pukotina zbog puzanja i prenaprezanja
- korištenje pojačanja obloga tunela u longitudinalnom smjeru na granicama faza izgradnje (npr. nadvoji / klupe)
- sprečavanja otpadanja komada mlaznog betona poslije naprslina ili pucanja obloga
- zaštita radnika i opreme prije betoniranja mlaznim betonom.

Samo ako je mlazni beton nanesen kao lokalna potpora (npr. u izvrsnim stabilnim uslovima) ili kao zaptivajući sloj, žičana mreža može da se izostavi za tanke slojeve (manje od 5 cm).

Kako bi se minimizovao odboj i postigao dobar kvalitet mlaznog betona, razmak između žica zavarenih u mrežu ne bi smio da bude manji od 100/100 mm, a poželjan je razmak od

150/150 mm. Radi učinkovitosti, prečnik žica ne bi smio da bude manji od 5 mm. Za praktičnu upotrebu, savijanje, popravljanje itd. prečnik žica ne bi smio da bude veći od 8 mm.

1.4.7.5.4. Mlazni beton pojačan vlaknima

Za specijalne primjene mlaznog betona, može da se traži dodavanje čeličnih ili kompozitnih vlakana. Dodavanjem vlakana mlaznom betonu pojačava se znatno čvrstoća savitljivosti, posmična čvrstoća, udarna čvrstoća, direktna vlačna čvrstoća, otpornost na udarce, žilavost otpornost na lom. Kada je mlazni beton armiran vlaknima, žičana mreža može da se izostavi. Komparativne prednosti su: - brža izvedba osnovne podgrade – veći učinak i bezbjednija izvedba – tunelski radnici nisu izloženi opasnosti na radu pod samo djelimično zaštićenim otvorenim prostorom, čemu bi inače bili izloženi prilikom montiranja armaturne mreže.

1.4.7.5.5. Čelični lukovi

U modernoj izgradnji tunela, funkcija čeličnih lukova je ograničena na ulogu armature i elementa distribucije tereta u oblozi mlaznoga betona te na momentalnu potporu onih područja koja se nalaze direktno pored mjesta iskopa, gdje mlazni beton još nije nanesen ili gdje nije još razvijena dovoljno velika nosivost.

Stoga čelični lukovi uglavnom služe kao privremeni potporni elementi koji osiguravaju radno područje dok mlazni beton nije nanesen i dok još nije očvrsnuo. Tamo gdje je potrebno korištenje podupiračkih cijevi, čelični lukovi mogu da se koriste za usmjeravanje bušenja i za podupiranje cijevi nakon sljedećeg koraka iskopavanja.

Postoji nekoliko tipova čeličnih rebara:

- U obliku slova H
- U obliku slova U („TH" profili)
- Rešetkasti nosači

H-nosači mogu da se proizvedu kao zavareni ili valjani profili. Povezivanje različitih segmenata u oblik prstena postiže se pritezanjem završnih ploča. Lukovi u obliku slova H dozvoljavaju tek relativno male deformacije. U slučaju velikih deformacija, H-lukovi su opterećena na izvijanje.

U-profili omogućavaju klizne spojeve, koje su neophodne u tunelima sa očekivanim velikim deformacijama. Takođe, u tunelima gdje su bočne galerije unaprijed izgrađene, ovi profili moraju se odabrati za dijelove gornjega nadvoja radi lakše ugradnje i povezivanja u krunu.

Zbog svoje manje težine, rešetkasti nosači mogu se lagano složiti i postaviti. Vitkija konstrukcija, je međutim, sklonija mehaničkom oštećivanju tokom transporta, skladištenja i podizanja. U slučajevima velikih deformacija, rešetkasti nosači su pod utjecajem naprezanja na izvijanje svijanja – baš kao i H-lukovi.

1.4.7.5.6. Stijenska sidra

Stijenska sidra su jedni od glavnih potpornih elemenata u modernoj izgradnji tunela u stijenama, bez obzira na okružujuće stijenske mase same po sebi. Oni mogu da se postave lokalno da podupiru pojedine blokove ili da smanje razmak između tankih stjenovitih slojeva, ili se primjenjuju sistematski kao dio standardnog potpornog sistema.

Stijenska sidra pojačavaju kvalitet stijena povećavajući posmičnu čvrstoću i, ako su prednapregnuti, stvaraju kvazitrodimenzionalne uslove napetosti koristeći se unutrašnjim pritiskom.

Projekat sidrenih ploča od naročitog je značaja. Ne smiju da budu ni premale ni prevelike. Sidrena ploča treba da rasporedi sidrenu snagu na podgradu ili stijenu i mora da upozori kada su sidra preopterećena. U vezi s tim, sidrena ploča treba da se deformiše plastično, bez lomljenja u situacijama kad napetost dolazi do granice loma.

1.4.7.5.6.1 Trenjska sidra

Ova se sidra u stijeni drže pomoću trenja, bilo lokalnog ili svojom cijelom dužinom. Oni nisu usađeni u žbuku, pa im je otpornost na koroziju smanjena. S druge strane, vrše svoju podupiračku ulogu odmah nakon postavljanja i ne smetaju ih problemi sa žbukom u slučaju velikog dotoka vode.

1.4.7.5.6.1.a) ***Sidra sa rascijepljenim klinom***

Ovaj tip sidara ima rascijepljeni klin ili neki sličan dio zato da usmjeri sile vezanja u stijenu.

sidrai koji se šire trebaju da budu odabrani tako da odgovaraju pojedinom tipu stijene. Sidro može da bude podvrgnuto teretu i može da bude prenapregnuto odmah nakon ugradnje.

Dužina slobodnog produljenja odgovara dužini sidra. Konstanta elastičnosti je značajno manja nego u slučaju potpuno ugniježđenog sidra, što smanjuje njegovu efikasnost.

S obzirom da ta sidra ne leže u potpunosti u cementu ili smoli, mogu da dejstvuju samo kao privremeni potporni elementi koji nisu zaštićeni od korozije.

1.4.7.5.6.1.b) ***Swellex sidra***

Swellex sidro sastoji se od mehanički naborane čelične cijevi, koja se širi u bušotini usljed djelovanja vode pod visokim pritiskom. Za vrijeme procesa bubrenja, swellex sidro prilagođava svoj oblik kako bi popunio sve nepravilnosti u izbušenoj rupi, čime povećava snagu stijene dajući potpuni frikcioni i mehanički međuspoj duž cijele svoje duljine. Njegova jedinstvena fleksibilnost je ono što ga čini prikladnim za razne uslove u tlu, od srednjih pa sve to čvrstih stijena.

Glavna prednost swellex sidra nad zaljevnim je činjenica da mogu da budu ugrađeni vrlo brzo nakon iskopavanja i da dejstvuju tako da odmah mogu da podnesu teret. Glavno polje njihove primjene je lokalna zaštita nestabilnih sekcija ili blokova na mjestu iskopavanja.

1.4.7.5.6.2 Zalijevna sidra

S obzirom na svoju dejstvo ova se sidra mogu podijeliti u neprednapregnuta i prenapregnuta sidra. Kod prednapregnutih sidara u područjima povezivanja trebaju da se koriste ubrzivačke patrone ili smola. U današnje doba, stijenska sidra su prednapregnuta samo kada se koriste u uslovima stijena koji variraju od izvrsnih do dobrih. Sile prednaprezanja iznose i do 100 kN ili čak 150 kN. U uslovima koji variraju od osrednjih do slabih, prednaprezanje nije potrebno s obzirom da se sidra napregnu radijalnim deformacijama podgrade.

1.4.7.5.6.2.a) ***SN-sidro***

Sidro najšire primjene je onaj SN vrste. (SN zbog toga što je ovaj tip sidara prvi put upotrijebljen u projektu hidroelektrane Store Norfors, u Švedskoj). SN sidra su oni koji, kada se smjeste, se povezuju sa stijenom/kamenom duž cijele svoje dužine pomoću odgovarajuće žbuke. Cijela bušotina se prije ugradnje sidra napuni žbukom. Sidro može da bude prednapregnuto ili neprednapregnuto.

Proporcionalni odnos između prečnika SN sidra i prečnika bušotina okvirno iznosi 1 : 1,5-2.

1.4.7.5.6.2.b) ***IBO injekciono sidro (injection-bore-bolt)***

IBO sidra predstavljaju kombinovani sistem sidra za stijene i šipke za bušenje. Za vrijeme bušenja, šuplje IBO sidro se koristi kao šipka za bušenje. Na kraj sidra zavari se dlijeto koje može biti različitih presjeka. Šipka i dlijeto ostaju u bušotini kao stijensko sidro. Rupa širokog dijametra unutar IBO vijka omogućava lagano i djelotvorno cementiranje. To se za vrijeme bušenja koristi kao vod za ispiranje, a kasnije i kao cijev za injektovanje. Ovaj sistem pokazuje sve svoje prednosti u slučaju urušavanja bušotine, s obzirom da ne treba da se vadi šipka za bušenje i umeće novo stijensko sidro.

1.4.7.5.6.2.c) ***Injekciono sidro:***

Injekciona sidra su ona sidrai koja, kada su na mjestu, su sa stijenom povezani cijelom svojom dužinom uz pomoć cementne žbuke, slično SN sidrima, ali je žbuka injektovana u bušotinu nakon namještanja sidra. Ovi tipovi stijenskih sidara se uspješno primjenjuju u područjima sa značajnim unutarnjim dotokom vode, koji se obično pojavljuje u zonama jako naprsnulih stijena, drobljenih stijena i u mekom tlu. Zbog činjenice da ubrzavajuće patrone ne mogu da budu korištene skupa sa injekcionim sidrima, na njih mora da se računa kao na neprednapregnuta stijenska sidra.

U naprsnutim, zdrobljenim stijenama sa podzemnom vodom, efikasnost uspješno i dobro cementiranih injekcionih sidara dokazano je veća od običnih, prednapregnutih SN sidara, koji teško da se mogu pravilno cementirati u ovim uslovima. Cementna masa injektovana pod malim

pritiskom penetrira i ispunjava pukotine, raspkuline i praznine oko stijenskog sidra i tako povećava čvrstoću stijenske mase što je kompenzacija nedostatka prednaprezanja.

Razlika injekcionog od IBO sidra je uglavnom u tome da je injekciono sidro potpuna čelična motka koja ima plastičnu cijev spojenu na čeličnu motku koja djeluje kao crijevo za cementiranje, dok su IBO sidra šuplja, a taj otvor služi kao crijevo za cementiranje.

Proporcionalni odnos između prečnika sidra i prečnika bušotina okvirno iznosi 1 : 2.

1.4.7.5.7. Kabelska sidra

U izgradnji tunela kabelska sidra se uglavnom primijenjuju u velikim tunelima i sjecištima u mekom tlu ili stijeni. Oni mogu da budu privremena ili trajna potpora. Kod trajnih kabelskih sidara psebna pažnja treba da se posveti zaštiti od korozije strukova užadi u veznoj dužini, slobodnoj dužini, kod područja glave sidra koa i za za samu sidrenu glavu.

1.4.7.5.8. Podupiračke cijevi i koplja

Podupiračke cijevi i koplja su privremeni podupirački elementi koji se postavljaju u longitudinalnom smjeru tunela prije iskopavanja. Ti elementi smanjuju slobodan raspon nepoduprte površine iskopavanja. Podupiračke cijevi i koplja jedina je potporna pomoć kod iskopavanja i nema gotovo nikakvu funkciju nakon postavljanja inicijalne obloge (mlazni beton, žičana mreža, stijenska sidra).

Uglavnom se koriste čelične potporne cijevi, potporne šipke i potporne ploče. Mogu da se zabiju u tlo ili, kod motki, da se umetnu u prije izbušene rupe. Ako su postavljene u prije izbušene rupe, prostor između potpornih cijevi (ili šipki) i stijene bušotine treba da se zacementitra.

Razmak između potpornih motki i ploča zavisi uglavnom od dužine koraka napredovanja, stijenskog opterečenja (nadslojem) i geoloških uslova.

Dužina podupiračkih cijevi i koplja mora biti bar 2 do 2 1/2 puta dužina koraka iskopa..

1.4.7.5.9. Cijevni štit

Cijevni štit, koji se sastoji od čeličnih cijevi, postavlja se u slučaju malog stijenskog pokrova (do 2-3 prečnika tunela) ispod kuća i građevina, kako bi se smanjilo slijeganje i povećala stabilnost iskopne površine. Obično se cijevni štiti koriste u tlu i vrlo slabim stijenama (raspadnute ili potpuno pod uticajem atmosferilija, potpuno odlomljene, naprsnute ili stijene u obliku milonita).

Cijevni štit nije prikladan za kontrolu podzemnih voda u formacijama koje sadrže vodu. U takvim uslovima, cijevni štitovi trebaju da budu kombinovani sa dodatnim mjerama kontrole podzemnih voda (npr. bunari za snižavanje razine podzemnih voda, vukuumske cijevi, itd.)

U principu postoje dvije metode:

1.4.7.5.9.1 Čelične cijevi velikoga prečnika

Krov od cijevi postavlja se kao kišobran u krov na gornji nadvoj, ispred iskopne plohe tunela. Čelične se cijevi postavljaju pomoću metoda mikro izgradnje tunela i kasnije se pune betonom.

1.4.7.5.9.2 Čelične cijevi maloga prečnika

Krov od cijevi postavlja se kao kišobran u krov na gornji nadvoj, ispred iskopne plohe tunela. Čelične se cijevi buše i kasnije pune cementnom masom. U mekanom terenu ili zemljištu, čelične cijevi mogu da se koriste kao «manšetne cijevi» za cementiranje (cementiranje pod pritiskom) zemlje između i okolo cijevi.

Općenito se razmaci čeličnih cijevi malog prečnika kreću između 20 i 40 cm, ovisno o kohezivnosti tla ili stijenske mase.

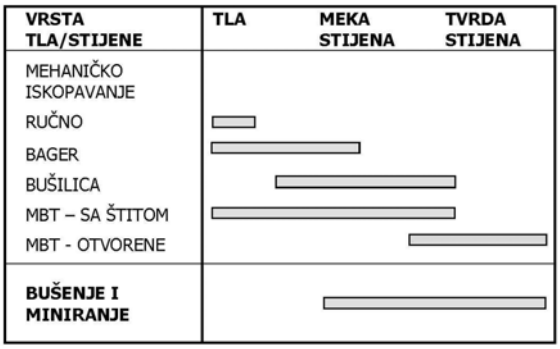
Cementirani se cijevni štit uglavnom postavlja u dužinama od 12 do 20 m. Preklapanje može da bude 3 do 4 metra.

Prazan prostor između zida bušotine i čeličnih cijevi treba da se ispuni cementnom masom.

1.4.7.6 METODE ISKOPAVANJA

Ovo se poglavlje bavi metodima iskopavanja drumskih tunela u kamenu i zemlji.

U donjoj tablici su prikazani metodi iskopavanja, koji se opisuju u sljedećim poglavljima, i koji mogu da se primjene u raznim geološkim uslovima.



1.4.7.6.1. MBT – Mašine za bušenje tunela

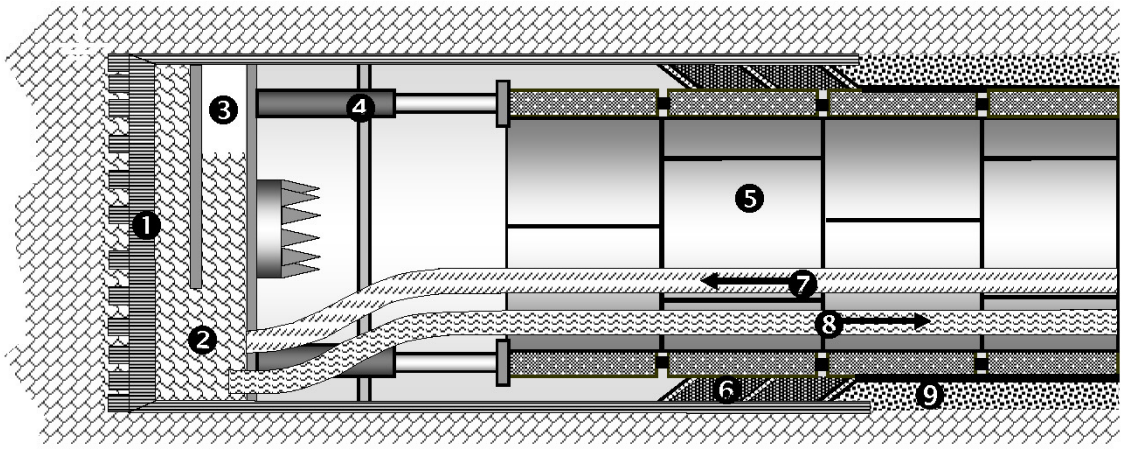
Uglavnom postoje dva tipa mašina za bušenje tunela:

- otvoreni tip (neoklopljene) MBT
- uaštićene MBT

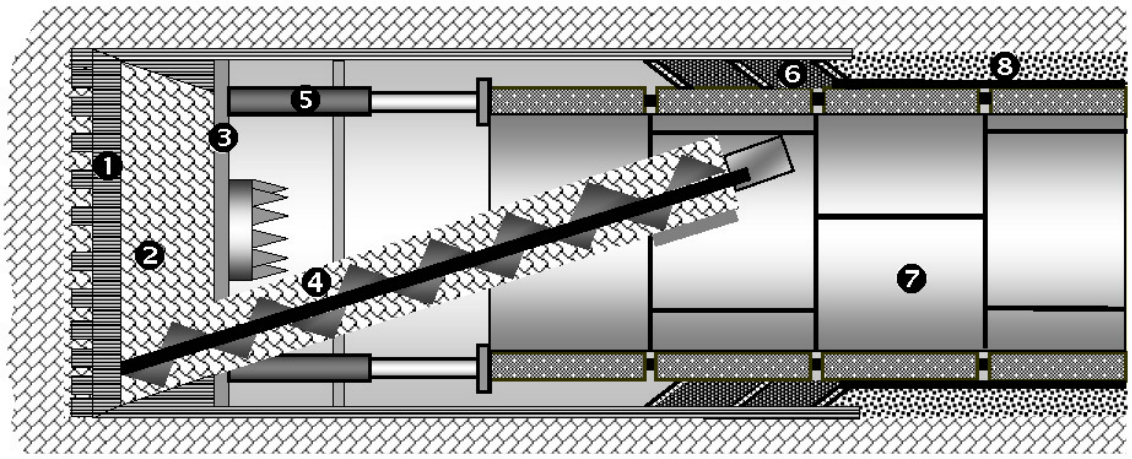
U slučaju da se koristi otvoreni tip MBT, podupiranje stijenske mase se postiže pomoću stijenskih sidara, čeličnih lukova, žičane mreže i mlaznog betona. Moguće je da se podešava sistem podupiranja stijenske mase s obzirom na varirajuće uslove u stijenskoj masi. Kada prevladaju uslovi visoke drobivosti stijena, ovaj metod ima svoja tehnička i ekonomska ograničenja.

Tuneli iskopani pomoću zaštićenih MBT-a poduprti su segmentisanom oblogom. Prednost ovog metoda je u tome što može da se primijeni u tunelima sa relativno niskim stijenskim pokrovom. Preduslov za primjenu zaštićenih MBT-a je da prevladavaju uslovi homogenih tla (npr. zemljište ili tlo sa stijenama potpuno pod potpunim atmosferskim utjecajem). Glavni nedostatak je što tip i debljina potpore ne mogu da se prilagođavaju promjenjivim uslovima u tlu i uvijek treba da bude projektovan za najnepovoljnije kombinacije opterećenja.

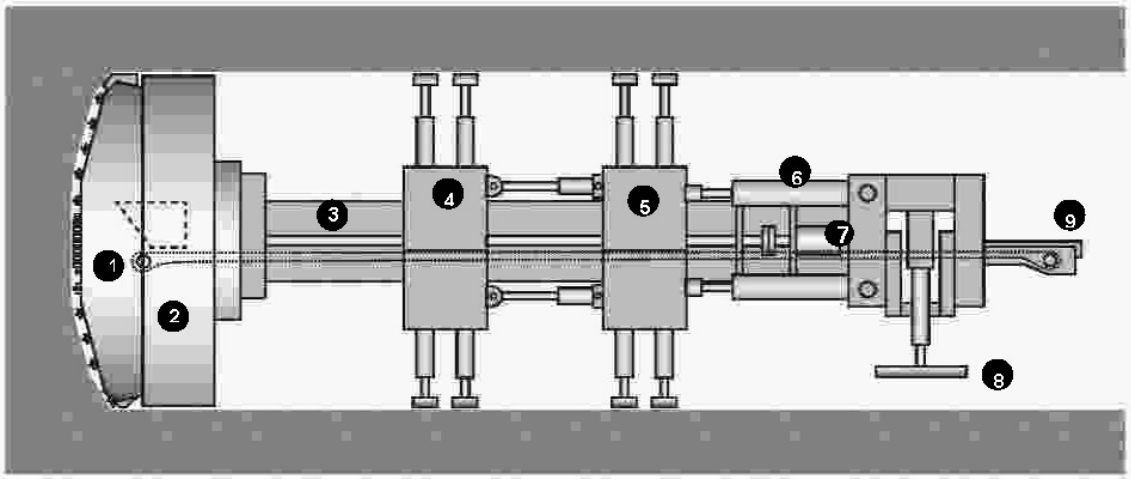
Uz postojeće tehnologije, tuneli koji se izbuše pomoću TBM mogu da se izgrade do prečnika od 12 metara, ali treba da se pomno istraži rentabilnost s obzirom visoke investicijske troškove.



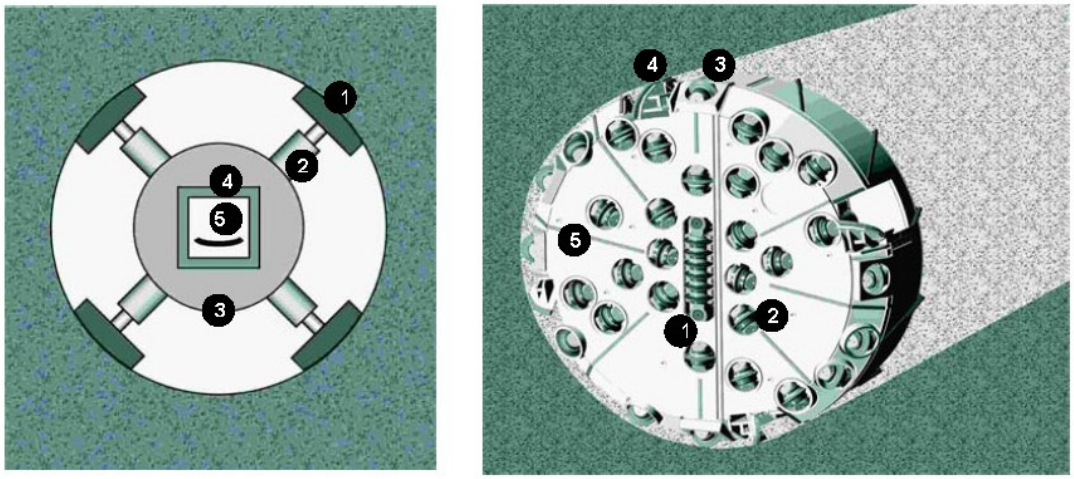
Slika 5: Šematski prikaz mašine za izbijanje tunela kod koje se čelo iskopa stabilizuje bentonitnom suspenzijom: 1. rezna glava, 2. bentonitska suspenzija/zemljište, 3. vazdušni mjehur, 4. hidrauličke ruke, 5. segmenti, 6. repni zaptivač, 7. dovod bentonitne suspenzije, 8. odvod bentonitne suspenzije/zemljišta i 9. injekcioni prsten.



Slika 6: Šematski prikaz mašine za izbijanje tunela kod koje se čelo iskopa stabilizuje iskopanim zemljištem: 1. rezna glava, 2. radna komora, 3. kompresioni zid, 4. pužni transporter, 5. hidrauličke ruke, 6. repni zaptivač, 7. segmenti 8. injekcioni prsten



Slika 7: Bočni prikaz mašine za probijanje tunela u čvrstoj stijenskoj masi: 1. rezna glava, 2. oplata rezne glave, 3. unutrašnji stub, 4. prednji sklop razupirača, 5. zadnji sklop razupirača, 6. potisni cilindar, 7. pogonski motori, 8. zadnji oslonac, 9. transporter iskopanog materijala



Slika 8: a) sklop razupirača: 1. šapa razupirača, 2. cilindar, 3. spoljašnji stub, 4. unutrašnji stub, 5. transporter iskopanog materijala; b) Rezna glava, pogled spreda: 1. središnji sjekač, 2. čeoni sjekač, 3. dubinski sjekač, 4. strugač, 5. pločice

1.4.7.6.2. Bušilice i bageri

1.4.7.6.2.1 Pokretna bušilica

U mekanoj i osrednje tvrdoj stijeni, iskopavanja može da se vrši pomoću pokretne bušilice. Ova mašina može da se montira na gusjenice. Rotirajući rezna glava, opremljena zubima ili utorima za rezanje, montirana je na tešku pokretnu «ruku». Utovar iskopine i punjenje se vrši pomoćnim alatima za utovar iskopine na pokretnoj traci. Iskopani materijal se odlaže u vagone za iskopinu (kamione) koji su smješteni iza pokretne bušilice.

S obzirom na smjer rotacijske osi rezača, pokretne se bušilice dijele u dvije kategorije:

- pokretne bušilice sa uzdužnom reznom glavom
- pokretne bušilice sa poprečnom reznom glavom

Efikasnost pokretne bušilice uglavnom zavisi od sljedećih faktora:

- količina kvarcnog sadržaja i ostalih tvrdih minerala
- veličina čestica tvrdih minerala
- deformacijsko ponašanje stijene
- petrografska struktura
- vlačna čvrstoća stijene
- žilavost kamene mase
- mehanizam naprezanja i loma stijene

1.4.7.6.2.2 Bager

Bageri mogu da se koriste u mekanom tlu i mekanim stijenama. Uglavnom mogu da se koriste svi tipovi bagera sa hidrauličnom stražnjom «rukom». Ovisno o iskopavanom materijalu, montirat će se različite kašike. Teleskopski bageri se koriste obično u malim, uskim prokopima. Grana treba da bude teleskopska i da može da se okreće za 360 stepeni.

1.4.7.6.2.3 Metoda bušenja i miniranja

Izvršavanje miniranja je jedan od najkrucijalnijih elemenata bitnih za postizanje visokih brzina napredovanja i uspješnog izvršenja radova na izgradnji tunela. Slabo izvođenje radova dovodi do sljedećih neprikladnosti:

- Miniranje premalog profila: u ovom je slučaju neophodno ponovno miniranje, što dovodi do gubitka vremena i novca. Profil je nakon ponovljenoga miniranja u pravilu prevelik.
- Miniranje prevelikog profila: znači gubitak vremena i novca zbog betoniranja ili dodatnih količina unutrašnjog betonskog obloga. Na kvalitet obloga mlaznog betona utiče radnik koji ga nanosi i koji mora da načini tanki sloj, koji treba da se smjesti, i tako izbjegne šupljine između stijene i nanesenoga betona. Moguće su u neželjene deformacije okružujuće stijenske mase. Ako je minirani profil nepravilan, problematično bi moglo da bude postavljanje žičane mreže blizu kamene površine, što ponovo dovodi do šupljina iza obloge.

Glatko miniranje (smooth blasting) je najraširenija tehnika koja se koristi: konturne rupe bliže su razmještene i lagano napunjene dobro razmještenim punjenjima. Za vrijeme izgradnje, plan miniranja treba da se kontinuirano prilagođava postojećim uslovima i rezultatima koji se primijete na terenu.

Kao oprema za bušenje, koriste se hidraulični čekići. Moderni hidraulički čekići za bušenje montiraju se na hidrauličke, pokretne grane takozvanih divovskih bušilica. Obično čekići koriste perkusijsko rotacione tehnike bušenja. Moderni divovi su električki napajani za rad i pokretani dizelom motorima za bušenje. Imaju dvije ili više bušačkih grana, koje su automatski kontrolirane za paralelno bušenje i većina njih je opremljena dodatnom granom koja nosi košaru za punjenje eksplozivom.

1.4.7.7 PROJEKAT POSTUPAKA ISKOPAVANJA

1.4.7.7.1. Mjere za povećanje stabilnosti

1.4.7.7.1.1 Podjela na sektore iskopavanja

U uslovima lošega tla može da bude neophodno raspodijeliti sektore iskopavanja (npr. –kalota - stepenica) u manje dijelove s obzirom na zatečene uslovu u stijenama.

1.4.7.7.1.2 Potporno tijelo

U slučaju slabih geoloških uslova i nepogodnih diskontinuiteta zona iskopavanja može da postane nestabilna pa će zahtijevati privremenu podupiranje.

Prilikom iskopavanja tunela pomoću bušenja i eksploziva ili koristeći pokretne bušilice ili stražnje ruke, jedna je mogućnost privremenog podupiranja zone iskopavanja ostavljanje potpornog tijela. Izbjegaviti je potrebno gubljenje potpornog tijela. Olabavljeno ili samo popunjeno potporno tijelo imat će samo ograničenu funkciju. Treba da se posveti pažnja dovoljno radnom prostoru iznad i pored potpornoga tijela. Pravilan razmak za ispravno nanošenje mlaznog betona jest 2 metra.

Druga mogućnost podupiranja radne zone je primjena zaptivanja mlaznim betonom. Treba uzeti u obzir da se zaptivni sloj radne zone treba ponovo uništiti za vrijeme iskopavanja u narednom koraku iskopa.

Efikasno sredstvo potpore u gnječećim uslovima stijena su horizontalna stijenska sidra postavljena paralelno sa osom tunela. Ona mogu da se kombinuju sa zaptivanjem mlaznim betonom. S obzirom da se sidra režu nakon svakog koraka iskopavanja pa se ploča mora ponovo postavljati, poželjno je korištenje IBO sidara.

Prilikom bušenja tunela pomoću TBM-a, stabilnost zone iskopavanja može da se obezbijedi bilo korištenjem «zatvorene» rezne glave, bilo korištenjem «emulzijskoga» štita ili štita «izbalansiranoga pritiskom zemlje». Tip mašine koja će da se koristi zavisi uglavnom od uslova tla i postojećeg vodenog pritiska u zoni iskopavanja. Za kontrolu podzemnih voda, oklopljene mašine mogu da budu opremljene i sa vazduhom pod pritiskom.

1.4.7.7.1.3 Privremeni podnožni svod

Privremeni luk od mlaznog betona u podnožnom svodu neophodan je u nestabilnim tunelima sa višestrukim iskopima (kalota, stepenica, podnožni svod) kako bi se postiglo ranije (privremeno) zatvaranje nosećeg prstena zbog stabilnosti (npr. ispod građevina). Obično se privremeni podnožni svod sastoji od žičane mreže i mlaznog betona. Ako je vrijeme za ugradnju prekratko, zbog prevelikih deformacija, oni mogu da se brzo postave kao izvrnute pruge (trake) sa prekidima u longitudinalnom smjeru.

1.4.7.7.1.4 Drenaža

Dotok vode u tunelima komplikuje i utiče na procese izgradnje. Betoniranje na mokroj (kapanje) površini je moguće jedino povećanjem doza ubrzivača, što pak znači smanjenje finalne čvrstoće mlaznog betona. Općenito bi voda koja kaplje trebala da bude prikupljena pomoću cijevi ili crijeva i preusmjerena u korita prije betoniranja.

Dotok vode takođe može da utiče na stabilnost iskopavajuće površine i da komplikuje ugradnju stijenskih sidara. Kao mjere za rješenje mogu da se izbuše velike odvodne rupe u radnoj zoni iskopavanja. Kako bi se spriječilo urušavanje rupa zbog zdrobljenog kamena/stijene ili miniranja, treba da se umetnu PVC cijevi.

1.4.7.7.2. Dopunske mjere u izgradnji tunela

Razvijene su specijalne tehnologije za dopunsko bušenje tunela pod ekstremno nepogodnim podzemnim i/ili uslovima podzemnih voda. Takve dopunske mjere obuhvaćaju:

- komprimirani vazduh
- mlazno cementiranje
- umjetno zamrzavanje tla

- cementiranje (koristeći cement i/ili kemikalije)
- spuštanje razine podzemnih voda.

Izbor i projektovanje dopunskih mjera zavisi uglavnom od podzemnih uslova, uslova podzemnih voda, tipa i veličine tunela, visine zemljanog pokrivača, uslovima u okolini i površinskim ograničenjima.

1.4.7.7.2.1 Komprimirani vazduh

Komprimiran vazduh u kombinaciji sa NATM je dopunska mjera izgradnje tunela u tlu i ispod razine podzemnih voda koja ima najširu primjenu. Tokom proteklih godina kombinovanje NATM-a i komprimiranog vazduha pokazalo se kao ekonomični i efikasni metod zadržavanja uslova podzemnih voda, stabilisanja radne zone iskopavanja i minimizacije površinskih slijeganja.

Primjena komprimiranoga vazduha za tunele potpopljene podzemnim vodama ima nekoliko prednosti:

- pritisak vazduha može da se podesi tačno prema hidrostatskom pritisku
- komprimirani vazduh može da se kombinuje sa drugim dopunskim mjerama
- nema uticaja nivoa podzemnih voda i kemijskih spojeva
- smanjenje površinskih uleknuća
- komprimirani vazduh ponaša se kao potpora izloženom tlu u radnoj zoni iskopavanja

No, primjena komprimiranog vazduha u izgradnji tunela sadrži i neke rizike koji trebaju da se minimizuju sistematskim kontrolnim mjerama i oprezom. Takvi rizici su:

- iznenadan pad pritiska vazduha (opasan po zdravlje)
- isticanje komprimiranog vazduha
- opasnost od urušavanja i dotoka vode u slučaju nekontrolisanog pada vazdušnog pritiska

Ako je to moguće, vazdušni pritisak ne bi smio da prevaziđe iznos od 1,2 bara. Viši vazdušni pritisak zahtjeva duže vrijeme za početak i završetak rada radnika i smanjuje efektivno radno vrijeme svake smjene. Kombinovanje izgradnje tunela pod komprimiranim vazduhom uz djelimično snižavanje nivoa podzemnih voda, bio je uspješan metod smanjivanja vazdušnog pritiska na nekoliko gradilišta.

1.4.7.7.2.2 Mlazno cementiranje – Jet Grouting

Mlazno cementiranje može da se koristi kao tip podupiranja kako bi se održala ili tek postigla stabilnost radne zone iskopa i kako bi se omogućila privremena potpora novoiskopanog iskopnog koraka dok inicijalna podgrada (mlazni beton) ne razvije dovoljnu čvrstoći. U tu se svrhu cementna žbuka injektira se pod visokim pritiskom kroz horizontalne ili malo nakošene cijevi (zapravo, bušeće šipke) koje su izbušene malo izvan profila tunela.

1.4.7.7.2.3 Injektovanje cementom ili kemikalijama

Injektovanje bi moglo da bude potrebno u ekstremno mekanim ili nekohezivnim tlima kako bi se poboljšao kvalitet tla do te mjere da se omogući njegovo iskopavanje, da se poveća vrijeme bez podupiranja u odnosu na iskopavanje tunela, te da se poveća nosiva sposobnost. Redukcija permeabiliteta kako bi se spriječio pretjerani dotok vode u zonu tunela je drugo područje primjene injektovanja. No, treba imati na umu da injektovanje može da trajno utiče na protok podzemnih voda i njihov kvalitet. Tamo gdje se podzemne vode koriste za javnu opskrbu vodom, kemijsko je injektovanje zabranjeno.

Uspješnost metoda injektovanja u mnogome zavisi od odabranoga materijala za injektovanje i preciznosti bušenja. Važan za uspjeh ili neuspjeh ove skupe mjere može da bude smještaj i razdaljine rupe, odabir materijala za injektovanje, te pritisak injektovanja.

Za odabir odgovarajućeg materijala za injektovanje trebaju da se uzmu u obzir sljedeće karakteristike tla (zemljišta):

- tip zemljišta ili tla

- granice i debljina slojeva
- kemijsko-mineološki sastav
- distribucija veličina čestica
- kompaktnost
- omjer praznina
- vodopropustnost
- uslovi podzemnih voda: kao što su nivo podzemnih voda, promjenjivost, smjer i brzina toka, kemijske odrednice
- temperatura

1.4.7.7.2.4 Zamrzavanje terena (tla)

Umjetno zamrzavanje terena kombinuje oba željena učinka – poboljšanje tla i upravljanje podzemnim vodama – u jednom. Zamrznuti prsten tla daje značajnu čvrstoću i više je ili manje nepropustan. Kao rashladni medij mogu da se koriste tekući dušik ili natrijev rasol. Korištenje natrijevog rasola je jeftinije ali zahtjeva dulje vremena za stvaranja neprekinutog prstena. Hladilo cirkulira kroz brojne čelične cijevi, koje su smještene uzduž vanjskog ruba profila tunela. Cijevi su spojene sa pogonom za zamrzavanje gdje se pohranjuju i generiraju rashladni mediji.

Takav zamrznut prsten može da preuzme povećani pritisak zbog nadsloja tla i podzemnih voda. Obloga tunela unutar prstena zamrznutog tla je opterećena u vremenski ovisnom načinu, s obzirom da reološko (puzajuće) ponašanje zamrznutog tla uzrokuje sporo, neprekidno deformisanje što ima za posljedicu neprekinuti prijenos opterećenja. Sve dok uokolo tunela postoji zatvoreni ledeni prsten, postoji i funkcija zaustavljanja dotoka vode.

Posebna pozornost treba da se posveti uzdizanju tla. Proces zamrzavanja treba da se procjeni pažljivo kako bi se smanjilo uzdizanje tla. Korištenje natrijevog rasola kao hladila omogućuje isprekidano hlađenje nakon izgradnje zamrznutog prstena oko tunela. Održavanje ledenog prstena treba da se kontroliše i navodi pomoću termalnih senzora koji kontrolišu temperaturu i smješteni su u specijalne čelične cijevi. Svaka zamrzavajuća cijev može da se napuni zasebno, čime se omogućuje mogućnost reagovanja na uzdizanje tla i nejednako otapanje.

Zbog visokih troškova, primjena zamrzavanja je ograničena na iznimno teške uslove na terenu. Takođe treba da se spomene kako sve više mjesto zauzimaju moderni metodi izgradnje tunela, čine umjetno zamrzavanje postaje sve manje privlačno u odnosu na prije nekoliko godina.

1.4.7.7.2.5 Spuštanje nivoa podzemnih voda

Radi smanjivanja uticaja podzemnih voda na stabilnost tunela za vrijeme iskopavanja ili radi smanjivanja potrebnoga pritiska komprimiranog vazduha, treba da se razmotri mogućnost djelimičnog i potpunog spuštanja nivoa podzemnih voda. No, treba da se pažljivo procjeni površinsko slijeganje, utjecaji na zgrade i samo tijelo podzemne vode.

1.4.7.7.2.6 Raširena stopa kalote - „Slonova stopa"

Širenje osnove gornjega dijela vanjske obloge (ljuska od mlaznoga betona) preporučuje se u određenim slučajevima kako bi se smanjila reakcija podloge na kamenu masu koja okružuje otvor tunela. Na taj način sprečava se proboj mlazno betonske ljuske u stijensku masu. Ovaj metod koristi se u uslovima tla sa malom nosivosti.

1.4.7.7.3. Redosljed iskopavanja

Odabir i projektovanje pravilnoga redosljeda iskopavanja zavisi od nekoliko parametara, prije svega od uslova zemljišta i veličine tunela. Glavni parametri dolje su navedeni:

- veličina tunela
- vrsta stijene ili tla
- deformaciona ograničenja
- vibracijska ograničenja (miniranja)

- tipovi opreme i kapaciteti
- iskustvo izvođača radova

1.4.7.7.3.1 Dobri (stabilni) uslovi stijena

Maleni tuneli (površina poprečnog presjeka do 25 m^2)

Maleni se tuneli obično iskopavaju odjednom cio presjek pomoću metoda bušenja i miniranja. Vibraciona ograničenja u okolini zgrada i u urbanim područjima mogu da zahtijevaju korištenje kamenolomaca ili raspodjelu radne zone na nekoliko zona miniranja kako bi se ograničila punjenja po kašnjenjima.

Tuneli srednje veličine (površina poprečnog presjeka: 25 - 60 m^2)

U uslovima dobrih stijena, tuneli ove veličine mogu da se iskopavaju odjednom cio presjek, no zbog odabira opreme već može da dođe do podjele iskopavanja na kalotu i stepenicu. Podupirački sistem će da bude ograničen na lokalno podupiranje vijcima za kamen i tankim slojevima mlaznoga betona.

Veliki i vrlo veliki tuneli (površina poprečnog presjeka > 60 m^2)

Kod velikih tunela neophodna je raspodjela iskopavanja čak i u dobrim uslovima stijena, uglavnom zbog operativnih razloga. Bušenje, brtvljenje, postavljanje potpore će zahtjevati specijalnu opremu za velike tunele.

Za tunele sa autoputem u dvije ili tri trake, kao i za željezničke tunele sa dva kolosijeka, obično je dovoljna podjela na kalotu i stepenicu, dok se kod iskopa kaverna preporuča korištenje više stepenica, a često i raspodjela na pojedinačne nivoe iskopavanja.

U dobrim uslovima stijena odluka o odabiru kratke ili duge kalote _donosi se gotovo isključivo u skladu sa operativnim razlozima, i obično u korist duge kalote (min. 100 m razmaka između radne zone kalote i stepenice).

1.4.7.7.3.2 Slaba ili jako raspucala stijena

Mali tuneli

Kod tunela čija visina doseže do 4-5 metara će da se iskopava odjednom cio presjek, ali sa smanjenim etapama iskopavanja. Potpora se postavlja blizu radne zone i uglavnom se sastoji od kombinacije stijenskih sidara, mlaznog betona kako bi ojačala kamena masa i spriječilo odlamanje.

Tuneli srednje veličine

U slabim uslovima stijena, iskopavanje cijeloga presjeka tunela odjednom srednje veličine nije isplativo zbog problema sa stabilnosti. U svim slučajevima treba da se primjeni metod iskopavanja sa kalotom i stepenicom, uz postavljanje inicijalne podgrade u svakom koraku napredovanja.

Veliki i vrlo veliki tuneli

Slabi uslovi stijena zahtjevaju vrlo oprezna iskopavanja u malenim koracima i postavljanje potpore prije iskopavanja sljedećeg dijela. Koraci iskopavanja trebaju da se podese dopuštenom vremenu bez podupiranja stijena, te na taj način da omoguće sigurno postavljanje podgrade unutar ove vremenske margine. S povećavanjem razmaka i visine tunela, stijenska sidra postaju vrlo važna, dok je funkcija mlaznog betona ograničena na sprječavanje otpuštanja kamene mase i na krpanje pukotina i ostalih diskontinuiteta.

Postranične se galerije koriste često kao i raspodijele površine na manje dijelove.

Kod kraćih se tunela preporuča dovršenje postraničnih galerija prije početka glavne kalote, dok će za dulje dijelove simultano iskopavanje biti neizbježno zbog vremenskog ograničenja. Iskopavanje u različitim radnim zonama treba da bude na prikladnom razmaka kako bi se minimizovalo ometanje među iskopima (minimalna je udaljenost oko 30 m).

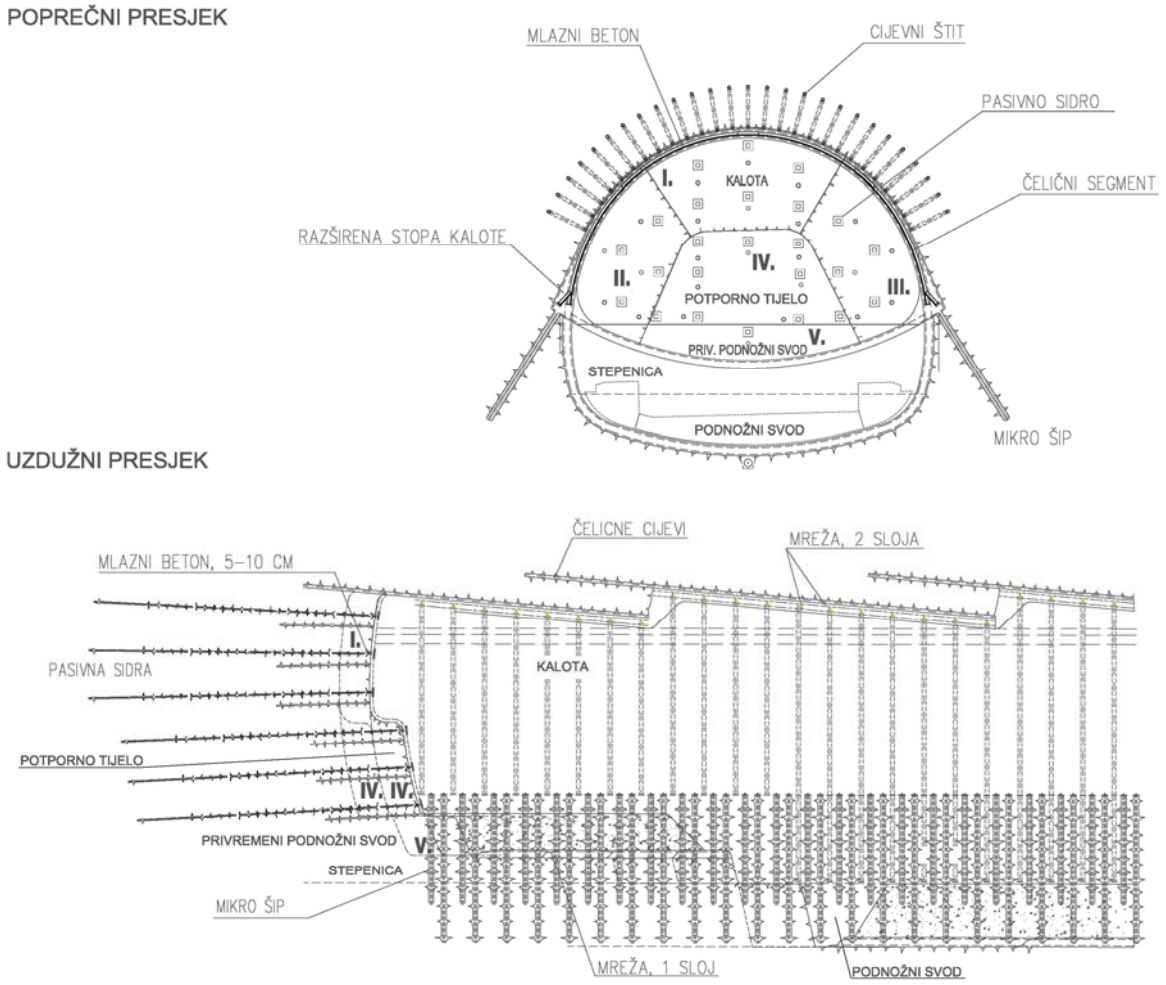
Podnožni svod

U slaboj i jako raspucaloj stijeni potrebno je iskopati podnožni svod i zatvoriti noseći prsten postavljanjem betonskoga podnožnog svoda. U osrednjim uslovima podnožni svod treba iskopati

na određenoj udaljenosti iza iskopa stepenice, a u većini slučajeva ulit će se beton a da se prije ne formira zatvoreni betonski prsten.

U vrlo lošim geološkim uslovima, može da bude neophodno postaviti prsten odmah iza iskopa stepenice. U tom će se slučaju prvo oblikovati zatvoreni prsten od mlaznog betona. Beton za podnožni svod može da se ulijeva nezavisno od zahtjeva za zatvaranjem prstena.

Odluka hoće li se koristiti mlazni beton ili in-situ beton za podnožni svod takođe zavisi od veličine poprečnog presjeka tunela, odabranoga redosljeda izgradnje i metoda iskopavanja.



Slika 9: Projekat postupaka iskopa – primjer iskopa u stijeni slabe nosivosti, gdje je cjelokupni iskopni profil podijeljen u iskopne faze kalote, stepenice i podnožnog svoda, i upotrebe cijevnog štita, faznog iskopa kalote, usidrenog potpornog tijela, privremenog podnožnog svoda, mikro šipova , raširene stope kalote.

1.4.8 PROJEKAT OBLOGE TUNELA

1.4.8.1 FINALNA UNUTARNJA BETONSKA OBLOGA

1.4.8.1.1. Općenito

Iako se stabilnost tunela postiže inicijalnom ili primarnom podgradom, obično se projektuje i sekundarna tj. finalna obloga. Unutarnja obloga povećava sigurnost sistema obloga tunela i rezultira u jednolikoj i glatkoj unutarnjoj površini. Nadalje, on omogućava ugrađivanje membranskog sistema obloga kako bi se ostvarila nepropusnost tunela. Glatka unutrašnja površina je važna za ventilacioni sistem tunela kao i za održavanje (pranje tunela), ali i iz estetskih razloga.

Unutarnja obloga može da se izvede od armiranoga ili nearmiranoga betona. Obloga tunela može da se postavi da bude vodonepropusna (opterećenje vodnog pritiska) cijev ili da bude odvodna (nema opterećenja vodnog pritiska) cijev. Odluka o principima izgradnje zavisi od sljedećih faktora:

- mogućnost slobodnog, ograničenog ili pumpajućeg pražnjenja podzemnih voda u površinski odvod
- očekivana količina vode
- zatečeni pritisci vode
- utjecaji hidrološke okoline, kao što je uticaj bunara, javne i privatne vodoopskrbne mreže, izvedbe drenaže podzemnih i površinskih voda
- troškovi postupka pumpanja, ako je potrebno

Tuneli koji nisu opterećeni vodenim pritiskom općenito su opremljeni nearmiranom unutarnjom oblogom. Tuneli koji su opterećeni vodemim pritiskom, obično su opremljeni armiranom unutarnjom oblogom. Unutranja obloga tunela u urbanim područjima natopljenima podzemnim vodama, mora da se projektuje kao nepropusna betonska obloga.

U područjima portala, gdje su cijevi tunela produljene i konstruisane kao »cut and cover» tuneli, nominalna debljina obloga obično treba da bude povećana. Stoga će se obloga u tim područjima armirati, bez obzira na stanje pritiska vode. Debljina i armatura moraju da zadovoljavaju strukturalne zahtjeve prema projektovanom oblaganju (visina, simetrično ili asimetrično punjenje, građevinska oprema za oblaganje).

Ako je za stabilnost tunela potreban podnožni svod, postavlja se betonski luk. U dvotračnim drumskim tunelima minimalna debljina podnožnog svoda od livenog betona ne smije da bude manja od 50 cm. Longitudinalni građevinski spojevi glavne obloge moraju da se podudaraju sa građevinskim spojevima podnožnog svoda, međutim, podnožni svod može biti nadalje podijeljen.

U tunelima sa visokim nadslojem, unutarnja se obloga lijeva nakon što nestanu deformacije. Deformacije sa brzinom manjom od 4 mm/mjesecu općenito se tretiraju kao «one koje će nestati». Ovo ne vrijedi za bubreća i puzajuća tla. U slučaju deformacija koje su toku, može da se preduzme jedna od sljedećih mjera:

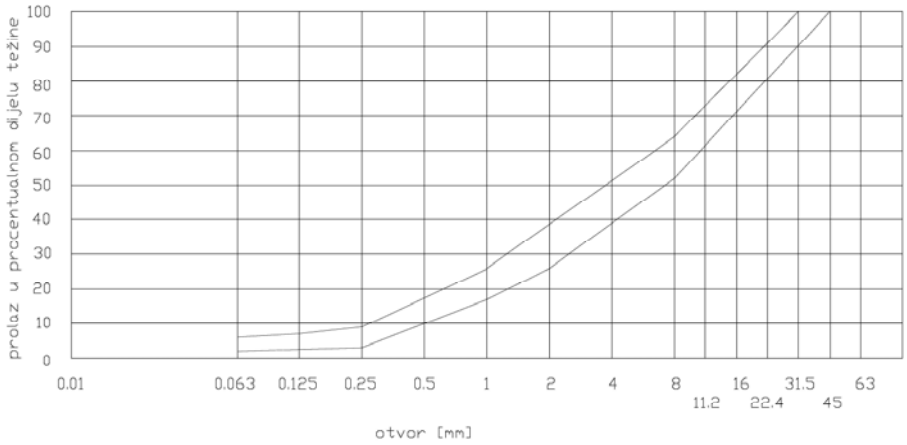
- dodatno podupiranje kamene mase da bi se usporilo napredovanje deformacija
- postavljanje «kvrgave» membrane ili drugih deformacionih elemenata između vanjske i unutarnje obloge kako bi se dopustile deformacije za vrijeme namještanja i otvrdnjavanja unutarnje betonske obloge, međutim, treba uzeti u obzir dopuštene tolerancije i uslove razmaka
- mjere sadržane u projektu (pojačana čvrstoća betona, žilavost armature)

U plitkim tunelima unutarnja obloga mora se lijevati čim je to moguće da se smanje slijeganja.

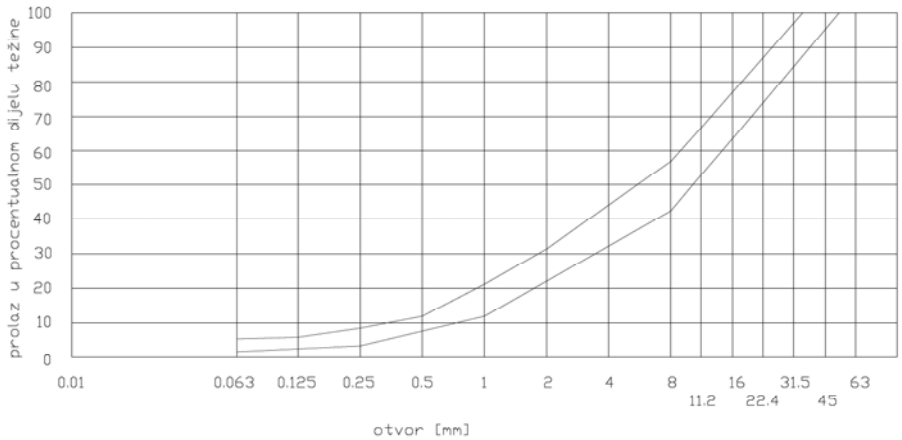
1.4.8.1.2. Projekat

Zavisno od debljine unutarnje obloge, mora se izvršiti odabir distribucije veličine zrna i maksimalne veličine zrna. Kod armiranih unutarnjih obloga, preporučljiva maksimalna veličina zrna je 32 mm a kod nepojačanih unutarnjih obloga ona iznosi 45 mm.

Preporučuju se ove distribucije veličine zrna:



Sl. 10: Distribucija veličine zrna kod armiranih unutarnjih betonskih obloga



Sl. 11: Distribucija veličine zrna kod nearmiranih unutarnjih betonskih obloga

Mora da se koristi Portland Cement, sa prosječnom specifičnom površinom (nakon BLAINE) od 3500 do 5000 cm^2/g.

Za unutarnji oblog tuneka treba da se koristi elektrofiltarski (EF) pepeo. Kod nearmiranih unutarnjih obloga, EF pepeo treba da bude 15% to 25% ukupne količine smjese cementa i EF pepela. Kod armiranih unutarnjih obloga udio EF pepela može da se poveća za 10 %.

Trebaju da se koriste aditivi kako bi se smanjila ukupna količina vode u za betoniranje unutarnje obloge (maksimalno 170 l/m^3 vode). Uz sve, koriste se i plastifikatori i aeranti.

Iz strukturalnih razloga za unutarnje obloge treba da se koristi beton marke MB 30.

Ako klimatski uslovi to traže, moraju da se izrade segmenti otporne unutarnjeg betonskog obloga na portalima. Dužina obloga određuje se s obzirom na mikroklimatske uslove.

1.4.8.1.3. Minimalni projektni zahtjevi za unutarnju oblogu

Sljedeća je tabela prenesena iz austrijskih «Uputstava za beton unutarnje obloge» od Austrijskog betonskog društva. Dolje prikazani iznosi vrijede za površine poprečnih presjeka iskopa od 30 do 120 četvornih metara.

Kriterij	**Nearmirana obloga**		**Armirana obloga**		**Vodonepropusni beton**
Membrana	**bez**	**sa**	**bez**	**sa**	**--**
Min. debljina	20 cm	25 cm	30 cm	30 cm	30 do 40 cm
Maks. dužina bloka	12 m	12 m	12 m	12 m	10 m
Min. Trajanje lijevanja	8 h	8 h	8 h	8 h	8 h
normalno trajanje lijevanja	10 h	10 h	10 h	10 h	12 h
Kontrola loma a) separacijski sloj b) armatura	 preporuč. na području ulaza -	 preko membrane -	 preporuč. Min. armatura ili prema potrebi (Eurocode 2)	 preko membrane Min. pojačanje ili prema potrebi (Eurocode 2)	 potrebno min. 0,1% poprečnog presjeka betona u obim smjerovima i na obim stranama Širina raspukline: < 0,2 mm
Građevinski spojevi	kontakt	kontakt	kontakt	kontakt	Radna brtvila i spojevi blokova
Betonski pokrov	-	-	40 mm Obje strane	40 mm "vazdušna strana" 30 mm "kamena strana "	40 mm obje strane

1.4.8.1.4. Vodonepropusna unutarnja betonska obloga

Vodonepropusna unutarnja obloga je sistem obloge koji treba da bude nepropusan bez korištenja membranske obloge. Vodonepropusan beton mora da ispuni zahtjeve projekta iz gornje tabele uz dodatne zahtjeve koji se tiču tehnologije betoniranja i metoda izvršenja, koji se nalaze u primjenjivim standarnima. Dodatni zahtjevi navedeni su dolje.

Unutarnje se obloge smatraju vodonepropusnim samo ako se mogu opaziti lokalna područja vlažnost na unutrašnjosti obloga. Jaka curenja vode trebaju da se riješe injektovanjem.

Armaturna mreža sa minimalnom veličinom od 100 mm, treba da se postavi na «kamenu» i «vazdušnu stranu» obloge. Armatura koja prelazi minimalnu, treba da bude oblika pojedinačnih rebara sa prečnikom manjim od 20 mm. Ako postojeći betonski pokrov na kamenoj/stijenskoj strani prelazi 100 mm, mora da se preduzme jedna od sljedećih mjera:

- dodatni sloj armature
- projektovana armatura prilagođava se položaju i području poprečnog presjeka
- treba nanijeti dodatni sloj mlaznog betona prije postavljanja unutarnje obloge

1.4.8.1.5. Strukturalna analiza unutarnjeg obloga

U dubokim tunelima, kao što definisano u prijašnjem poglavlju, unutarnja obloga treba da bude projektovana za sljedeća opterećenja:

- težina same obloge (mrtvi teret)
- vodeni pritisak, zavisan od sistema drenaže
- opterećenje stijene, zavisan od reološkog ponašanja okružujuće stijenske mase
- skupljanje i puzanje betona
- instalacije kao što su mlazni venitlatori i ventilacijski vodovi
- opterećenja uzrokovana korištenjem tunela (saobraćajna opterećenja, sile kočenja)
- opterećenje vatrom

U plitkim tunelima sva navedena opterećenja mogu da se primijene, no takođe se pretpostavlja da će inicijalna obloga izgubiti dio čvrstoće i proslijediti dio opterećenja na unutarnju oblogu. Ostala opterećenja u plitkim tunelima su:

- opterećenje površinskog saobraćaja
- opterećenja zbog nove izgradnje
- promjene naprezanju tla i ležišta uzrokovana dubokim iskopavanjem blizu tunela
- opterećenja od zemljotresa.

Opterečenja od zemljotresa obično nisu problematična u tunelima, ali mogu da budu važna ako:

- je tunel smješten u sedimentarnom sloju
- ako trasa tunel prolazi iz vrlo čvrstog i vrlo meki sloj
- ako je tunel smješten na razmeđi čvrstog i mekog sloja

Opterećenja koja se javljaju nakon završetka unutarnje obloge dijele se između inicijalne podgrade i unutarnje obloge u skladu sa postojećom tvrdoćom i bilo kojom pretpostavkom napravljenom u skladu sa gubitkom čvrstoće inicijalne podgrade.

Strukturalne analize obloga u plitkim tunelima u izgrađenim područjima treba da se vrše u skladu sa Austrijskim uputama za projektovanje RVS 9.32 (Geschlossene Bauweise im Lokergestein unter Bebauung). Strukturalna analiza unutarnje obloge može da se izvrši pomoću analize uzidanog okvira, analitičke ili numeričke analize. Analiza uzidanog okvira može da se izvrši prema rezultatima numeričke analize koristeći se kontaktnim silama između tla i inicijalne obloge kao opterećenja na unutrašnji oblog, obično uz redukcioni faktor.

Napredno matematičko modelisanje tla ili stijenske mase primjenjuje se samo ako se očekuju

značajne promjene u stanju okružujućeg tla nakon smještanja unutarnje obloge. To može da bude zbog puzanja, opterećenja zbog zemljotresa, promjena u nivou podzemnih voda ili izgradnje drugih građevina u blizini.

Kod armirane unutarnje betonske obloge, računanje potrebne čelične armature će da se izvrši u skladu sa lokalnim pravilima.

1.4.8.2 MEMBRANSKA OBLOGA

Za sve podzemne strukture treba da se projektuje vodonepropusni sistem kako bi se spriječilo utjecanje podzemnih voda u tunele i kako bi se unutarnji betonski oblog zaštito od štetnog kemijskog uticaja. Površina primarne podgrade treba da se pojača finalnim mlazom drenažnog betona. Tamo gdje su protoci vode vidljivi postavlja se zaptivajuća folija, koja se protežedo visine sloja drenažnog betona koji okružuje postraničnu drenažnu cijev. Vodonepropusni sistem sastoji se od dva sloja, vanjskoga koji je pokriven netkanom geotekstilnom vunom i unutrašnji koji je vodonepropusna membrana. Vuna štiti membranu od oštećenja prilikom kontakta sa površinom mlaznog betona te za odvođenje stijenske vode. Membrana smještena između vanjske obloge (incijalna podgrada tunela ili segmentalni oblog) i in-situ betonske obloge, sprečava curenje u tunele.

1.4.8.3 DRENAŽNI SISTEM

Općenito drenažni sistem tunela treba da sakuplja i preusmjerava podzemne vode iz okružujućeg stijene baš kao i vodu i druge tekućine iz kolnika kroz tunele do ulaza/izlaza i do svakog pojedinog kolektora. Podzemne se vode iz okružujućeg kamena skupljaju drenažnim cijevima smještenim na obim stranama poprečnog presjeka tunela a ako je potrebno i u podnožnom svodu

Voda s kolnika sastoji se od kišnice, koju su u tunel donijela vozila, od vode od postupaka pranja tunela ili od vode zaostale zbog gašenja požara. Dodatne tekućine, npr. ulje ili slični fluidi iz normalnog djelovanja tunela ili nakon nesreća u njima (npr. cureći tankovi), moraju da se prikupe otvorima i da se preusmjere na portal tunela pomoću glavne kolektorske cijevi koja je smještena ispod kolnika.

Zbog ekoloških razloga nije dozvoljeno miješati podzemne vode i vodu s kolnika u jedan sistem, nego moraju da se instališu dva odvojena sistema: jedan za podzemne vode i drugi za vode s kolnika.

Drenirana stijenska voda preusmjerava se direktno prema rijekama.

Odvodnja kolnika se vrši pomoću šupljih ivičnjaka koji su smješteni na nižoj strani kolnika ili na obje strane tamo gdje to zahtijeva trasa tunela. Drenažni sistem ide preko cijele dužine tunel do šahta ispred vrata tunela. Šahtovi za čišćenje i za vatrenu zaštitu trebaju da budu smješteni na svakih 65 m. Ti šahtovi imaju ulogu spriječiti eskalaciju mogućeg gorenja tekućina prosutih na kolniku i da odvoje ulje i pijesak od drumske vode. Iz posljednjih šahtova na portalima tunela PVC-cijevi sa dijametrom od barem 250 mm postavljene su prema spremniku za otpadne vode iz tunela. Cijevi moraju da budu otporne na derivate ulja, kiseline i lužine.

Od posebnog su značaja na ekološku zaštitu vode iz postupaka pranja tunela i tekućine zaostale nakon nesreća u tunelu (ulja i druge kemikalije). Vode za ispiranje tunela, koje se pojavljuju u pravilnim intervalima, vrlo su kontaminisane i stoga na okolinu utiču negativno. Iz toga razloga u današnje vrijeme trebaju se postaviti skupljajući bazeni koji će sakupljati takve vode na posebnu obradu prije nego što su preusmjerene u kolektore. Pokretna postrojenja za obradu omogućuju fizičku i kemijsku obradu za vrijeme pranja tunela. Nakon što je obrađena, voda može da bude ispuštena u rijeke, ali visoko kontaminisano blato zahtijeva posebni način odlaganja. U slučaju nesreća zbog ističučih tekućina koje se pojavljuju u tunelu, sakupljajući bazen sakuplja te ističuće tekućine. Odgovarajuće odlaganje tekućine je moguće tek nakon njene identifikacije.

Za vrijeme izgradnje, ugovaratelj treba proizvesti, održavati i koristiti zadana postrojenja i naprave za obradu i čišćenje kontaminisane vode koja je ispuštena na portalima tunela za vrijeme njegove izgradnje. Takve naprave i postrojenja uključuju dva sedimentacijska bazena, filter za ulje, neutralizacijsko postrojenje i neophodne kontrolne stanice. Neutralizacija postrojenja treba da se projektuje i vrši kako bi se PH vrijednost obrađivane vode držala između 6,5 i 8,5 prije njenog ispuštanja.

1.4.8.4 INSPEKCIONI ŠAHTOVI ZA DRENAŽU STIJENSKIH VODA

Inspekcioni šahtovi postavljani su na obje strane svakog kolnika u tunelima. Oni služe održavanju drenaže podzemnih voda u bočnom zidu. Moraju da budu razdvojeni približno kako bi zadovoljili zahtjeve za primjenu u odnosu na lokalno raspoloživu tehnologiju. Takvi su šahtovi potrebni u svim tunelima sa longitudinalnom drenažom postraničnih zidova.

Longitudinalne bočne drenaže su preko svake druge odvodne niše povezane u sabirnu cijev za drenažne vode, koja se nalazi ispod trake za preticanje. Spajanje sabirne cijevi i poprečne veze izvedeno je u vidu šahta za otpadne vode.

1.4.8.5 PORTAL TUNELA

1.4.8.5.1. Osnovna filozofija projektovanja

Trasa kolnika pa stoga i trasa tunela treba da se usavrši tokom rane faze i da bude utemeljena na rezultatima istraživanja terena i topografskih uslova. S obzirom da većina portala tunela zahtijeva usjeke ispred portala i usjeke za portale moraju da se pažljivo istraže geološki i hidrogeološki uslovi u tim područjima. Pažnja treba da se posveti lokalnim tektonskim strukturama (rasjedi, zone smika), puzanju ili pomičućim obroncima, aktivno ili umrtvljeno pomicanje tla itd.

Glavni principi koji se primijenjuju za projektovanje portala su:

- oblik lateralnih usjeka kosina treba da se nastavi u neposrednim područjima iza portala.
- maksimalno moguće smanjenje trajnih otvorenih usjeka, osobito u nestabilnim područjima portala (ruševine kosina, odlomci stijena, puzajuće kosine). Produživanje cijevi tunela sistemom ”cut and cover”.
- veličina privremenih rezova treba da se smanji koristeći se primjerenim potpornim kombinacijama.

Za vrijeme projektovanja tendera za izvođenje radova na portalu tunela, različiti geometrijski oblici vrata tunela trebaju da se uzimaju u obzir analiziraju s obzirom na lokalne geološke uslove zatečene u područjima portala. U slučaju da su stvarni uslovi zatečeni tokom iskopavanja ulaza različiti od parametara pretpostavljenih u fazi projektovanja ponude za izvođenje radova, u skladu s tim treba da se prilagodi projekat mjera stabilisanja kosina.

Kosine rezova na portalima moraju da se uključe u program praćenja. Ako je moguće, mjerni rezultati moraju da se koriste za finalni projekat kosina usjeka i podupirućih struktura.

1.4.8.5.2. Projekat prijelaza

Općenito linije poklapanja između projekta tunela i projekta puta moraju da budu smještene ispred usjeka portala, što znači da rezovi vrata trebaju da budu dio Projekta tunela. Zbog produženih tunela, stepenovanih portala i kompleksnih pristupa projektovanju područja portala, linije poklapanja trebaju da budu dogovorene zasebice za svaka vrata.

1.4.8.5.3. Tuneli «cut and cover» - pokriveni usjeci

Preporuča se produžiti tunele kratkim dijelovima »cut and cover» tamo gdje je to potrebno za poboljšanje uslova stabilnosti kosina.

Ako je moguće, dijelovi »cut and cover» trebali bi da imaju iste poprečne presjeke kao i unutarnji oblozi cijevi tunela.

U slučaju da tunel nije «cut and cover», prvi segment unutarnje betonske obloge (približne dužine 10 do 12 m) mora da se izradi od armiranoga betona.

Betonske strukture »cut and cover» trebaju da budu pokrivene sa vodonepropusnim membranama koje su istog kvaliteta kao i u tunelu. Prije stavljanja nadslova , membrana treba da se pokrije zaštitnim geotekstilom i slabim betonom.

1.4.8.5.4. Podupiruće konstrukcije

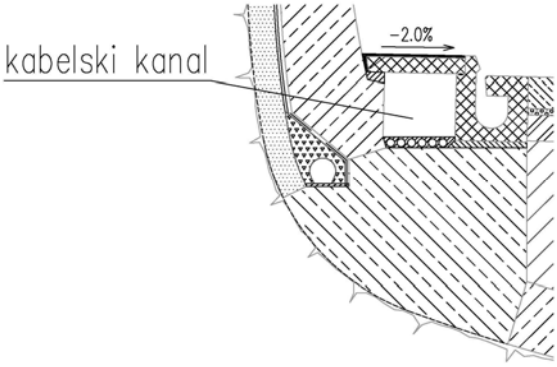
Potrebno je izraditi posebne konstrukcije da se zaštite privremene i trajne kosine usjeka portala. U principu, trebaju da se u obzir uzmu sljedeći elementi:

- stijenska sidra
- sdra
- mlazni beton sa žičanom mrežom
- injektovanje
- potporni zidovi (konstrukcije od armiranoga betona)
- armirano tlo

Sve potporne konstrukcije moraju da budu proračunate u konstrukcijskim i analizama stabilnosti, odgovarajućim računskim i kompjutorskim metodima.

1.4.8.6 KABELSKI KANALI

U drumskim tunelima pločnici se obično koriste za smještaj kabelskih vodova. U dugačkim tunelima možda će da bude potrebno povećati minimalnu širini pločnika (0,85 m) kako bi se omogućilo dovoljno mjesta za kablove (visoki napon, niski napon, komunikacije, kontrola saobraćaja i ventilacije itd.) i druge instalacije (npr. vodena mreža protupožarnog sistema). Sl. 6 prikazuje tipičnu shemu kabelskog kanala ispod pločnika.



Sl. 12: Tipična shema kabelskog kanala

1.4.9 INSTRUMENTACIJA I PRAĆENJE

1.4.9.1 UVOD

Programi instrumentacije i praćenja su integralni dio moderne izgradnje tunela, posebice one sa NATM.

Ciljevi mjerenja sastoje se od sljedećeg:

- verifikacija projektnih pretpostavki uključujući parametre modela i projekta
- prilagodba graditeljskih metoda, potporni sistemi i dodatne mjere za postojeće zahtjeve i uslove u tlu
- verifikacija stabilnosti iskopanih konstrukcija
- minimizacija opasnosti kod izgradnje
- sprečavanje štetnog uticaja na okolinu

1.4.9.2 PARAMETRI ZA PRAĆENJE

S obzirom na specifične zahtjeve i faze izgradnje, trebaju da se uzmu u razmatranje sljedeći parametri:

- podzemne vode:
  - praćenje nivoa podzemnih voda, vodnog pritiska, hemije podzemnih voda i temperatura prije i za vrijeme izgradnje
  - praćenje infiltracije vode kroz oblogu tunela i radnu zonu iskopa
  - bilježenje volumena i ispusta vode ako se vrši isušivanje
- deformacije tla:
  - površinska i ispod površinska slijeganja
  - deformacije i naprezanja tla uokolo tunela
  - pomicanje kosina na vratima tunela (inklinometri, ekstenzometri, itd.)
- interakcija tla i konstrukcije:
  - opterećenja sidra
  - distorzija obloga tunela
  - moguće izdizanje podnožnog svoda
  - proširenje opuštene zone uokolo tunela
  - mjerenje radijalnih i tangencijalnih naprezanja obloge
  - vodni pritisak na oblogu
- praćenje okoline (susjedne građevine i konstrukcije), uglavnom u blizini ulaznih područja i u slučaju plitkih tunela:
  - istraživanje uslova za izgradnu prije njenog početka
  - mjerenje uleknuća i izdignuća
  - mjerenja nagiba
  - vibracioni poremećaji zbog miniranja
- praćenje napredovanja

Radi pravilne intepretacije raznih podataka praćenja, potrebna je informacija o relevantnim fazama izgradnje. Treba pratiti i bilježiti sljedeće informacije za vrijeme izgradnje:

- predviđeni i zatečeni uslovi u tlu
- navedena klasa tipa stijena
- metoda bušenja i brzina napredovanja
- potporni elementi za svaku etapu iskopavanja
- mjere privremene potpore i bilo kakvo dodatno pojačanje tla
- smještaj različitih radnih zona iskopa
- izvanredni događaji

1.4.9.3 SEKCIJE PRAĆENJA

Smještaj sekcija praćenja mora da se odabere tako da omogući optimiranu interpretaciju podataka. To se najbolje vrši razmještanjem nekoliko različitih sredstava za praćenje u jednom poprečnom presjeku praćenja. Treba da bude dva do tri razreda (tipova) sekcija praćenja, koji se rangiraju u vezi s brojem postavljenih sredstava i promatranih parametara (npr. A: obična, B: umjerena, C: glavna sekcija praćenja).

U običnoj sekciji praćenja, bilježe se samo deformacije obloga. To može da se vrši pomoću:

- mjerenja konvergencije koristeći se konvergentnim trakama i sidrima (šiljcima), koji su fiksirani u oblogu tunela. Očitanja konvergencije obično se kombinuju sa poravnanjem tjemena krune.
- optičko 3-D praćenje deformacija, koje se provodi trigonometrijskim metodom i korištenjem reflektora smještenim na sidra sličnim konvergentnim šiljcima.

Poželjno je optičke 3-D praćenje deformacije, s obzirom da daje apsolutne vrijednosti deformacije za svaku tačku i koje su stoga geotehnički vjerodostojnije.

Kod plitkih se tunela ova mjerenja kombinuju sa mjerenjima slijeganja na površini tla. Informacije koje daju ta mjerenja vrlo su značajna za procjenu cjelokupne performanse metoda izgradnje. Obične sekcije praćenja moraju da budu razmještene pravilno uzduž trase.

U glavnoj sekciji praćenja trebaju da se prate svi parametri. U kamenim tunelima, uz instrumente običnih sekcija, to znači korištenje i ekstenzometara, ćelija za mjerenje cirkularnih i radijalnih napona, mjerenja napetosti u oblogu, mjernih sidara i piezometara (ako je potrebno). Tlačne ćelije se postavljaju u pravilnom rasporedu po obodu tunela.

Glavna sekcija praćenja će da se postavi na početak bušenja tunela kako bi se procijenio odabrani metod bušenja i potporni sistem; a smjestit će se i na lokacije posebnog značaja zbog uslova u tlu, zbog razmještaja konstrukcije ili zbog izgradnje na površini.

U plitkim će se tunelima s površine i ispred bušenja tunela postaviti i ekstenzometri ili ekvivalentni instrumenti zajedno sa inklinometrima i piezometrima.

U slučaju pilot tunela, pristupnih šahtova, prilaza ili dvaju stranskih galerija, moguće je i postaviti određene instrumente u bušotine, ispred glavne tunelske cijevi.

1.4.9.4 MJERNA OPREMA

Razvijeni su mnogi instrumenti i sistemi bilježenja, od jednostavnih metoda istraživanja, do vrlo naprednih naprava za mjerenje pritiska i deformacija. Osnovni preduslovi za svaki instrument jesu pouzdanost, jednostavnost, brzo i lagano postavljanje, funkcionisanje i kalibrisanje. Instrumenti treba da budu izdržljivi i da nisu skloni oštećenjima za vrijeme i poslije njihova postavljanja.

Neki od posebnih mjernih instrumenata navedeni su dolje. S obzirom na gore navedene mjerne parametre, očito je da je moguće koristiti nekoliko instrumenata za promatranje raznih parametara.

1.4.9.4.1. Otkloni obloga

1.4.9.4.1.1 Mjerenje konvergencije s pomoću tračnog ekstenzometra

Primjena:

Mjerenje konvergencije daje uvid u relativne dislokacije tačaka na oblozi tunela. Nisu prikladni za procjenu stvarnog kretanja tačke, ali su vrlo osjetljiv alat za analizu stabilnosti.

Princip dejstva:

Prenosivi instrument mjeri dislokaciju između parova referentnih sidara zalivenih u plitke bušotine ili zabetoniranih zajedno sa oblogom.

Prednosti i ograničenja:

- Jednostavni, pouzdani i lagani za očitanje uz pozitivno naprezanje trake.
- U mnogi slučajevima može da ga koristi samo jedna operater i može da se očita samo s jedne strane.
- Mjerenja od 1 m do 20 m.
- Namjena je samo za relativna mjerenja. Na preciznost utiče promjena temperature.
- Za vrijeme mjerenja ometa se sama izgradnja.
- Nulto očitanje može biti ometeno osnovom potpore u radnoj zoni iskopa. Mlazni beton i pin-mort moraju da se stvrdnu prije nego može da nastupi nulto očitanje.

Karakteristike u radu:

Ukupna mjerna preciznost je 0,1 mm kod iskusnog operatera. Tračni ekstenziometar je robustan i otporan na mehaničko oštećenje pod razumnim uslovima na terenu. Prosječno očitanje traje tek 2 - 3 minuta od strane jednog korisnika.

1.4.9.4.1.2 Optičko 3-D praćenje deformacija s pomoću trigonometrijske opreme

Primjena:

Optičko praćenje deformacija pokazuje apsolutne pomake odabranih tačaka na oblogu u tri koordinatna smjera (u poprečnom presjeku i longitudinalno).

Princip dejstva:

Reflektivne mete su smještene na oblog ili kamen preko konvergentnih sidara. Njihove apsolutne pozicije se odrede preciznim teodolitom koji je u stanju mjeriti koaksijalna rastojanja – totalnom stanicom. Ciljevi su obično birefleksnog (bireflex) tipa, gdje su obje strane cilja pokrivene reflektivnom površinom. Kod vrlo kratkih ili vrlo dugačkih udaljenosti promatranja, koriste se prizmični ciljevi. Može da se postigne preciznost od +/- 1 mm.

Prednosti i ograničenja:

- mjere se apsolutne deformacije. To omogućuje točnu geotehnički interpretaciju uzroka pokretanja. U skladu s tim može da se prilagodi i plan podupiranja.
- s obzirom da se velik broj ciljeva može promatrati brzo i sa samo nekoliko pozicija, bez dodatnog truda mogu da se smjeste dodatni odjeljci za praćenje.
- postupci praćenja utiču na terenske radove.
- nulto očitanje može da se izvrši odmah nakon što je cilj postavljen u poziciju.
- rezultati očitanja mogu da se koriste i za kontrolu profila.

1.4.9.4.1.3 Mjerenja slijeganja obloga

Obično se vrše zajedno sa geodetskim mjerenjima tunela kao mjerenja u nivou visoke preciznosti.

U najviše se slučajeva nadgledaju tačke tjemena i dna kalote, no ponekad se uključuju i razine podnožnog svoda.

1.4.9.4.2. Mjerenja naprezanja u oblozi tunela

1.4.9.4.2.1 Hidraulična tlačna ćelija

Primjena:

Za mjerenje raspodjele naprezanja u oblozi tunela koriste se dvije kombinacije; jedna za određivanje pritisaka između stijene i betonske obloge koji djeluju u radijalnom smjeru, drugi za mjerenje pritiska u betonskoj oblozi koji djeluju u cikularnom smjeru.

Princip dejstva:

Hidraulična ćelija se sastoji od vazdušnog jastuka, koji se smješta u površinu stijene ili u mlazni beton, tako da povećana naprezanja betona mogu da djeluju na vazdušni jastuk. Čest tip je „Glötzlova ćelija", koja se sastoji od plosnate ćelije spojene na tlačnu komoru. Dijafragma odvaja hidraulični sistem ćelije od onog mjerne naprave. Pritisak u ćeliji se određuje njegovim balansiranjem sa pritiskom ulja na drugoj strani dijafragme. Zatim se taj pritisak može očitati na preciznom manometru.

1.4.9.4.2.2 Mjerači naprezanja mlaznog betona

Primjena:

Mjerenje naprezanja mlaznog betona koje dejstvuje u tangencijalnom smjeru. Napetosti mogu da se izračunaju iz naprezanja u odnosu na istoriju opterećenja, debljinu obloga, puzanje i starost mlaznog betona. Naprave takođe mogu da se koriste za mjerenja napetosti u betonskim oblozima.

Mjerači napetosti mlaznog betona (npr. SSM-1) su projektovani kako bi odgovarali na specijalne zahtjeve materijalnih karakteristika mladog mlaznog betona i postupka opterećenja unutar betonskog obloga tokom izgradnje tunela.

Princip dejstva SSM-1:

SSM-1 mjerač napetosti mlaznog betona sastoji se od dvaju paralelnih rebara koja su, nakon postavljanja, potpuno uronjena u beton, i od središnje cijevi sa slabom ekstenzionom krutošću. Deformacija mlaznog betona uzrokuje relativno pomicanje dvaju rebara uz odgovarajuću deformaciju središnje cijevi. Ova se deformacija mjeri pomoću mjerača napetosti koju su zalijepljeni na središnju cijev u konfiguraciji punoga temperaturno kompenziranoga mosta.

Kablovi za očitavanje nekoliko insturmenata spojeni su na središnju distribucionu kutiju koja je smještena u drvenoj kutiji. Da bi se smanjile odgode u procesu izgradnje, finalno se postavljanje kablova za očitavanje može izvršiti kao posebna operacija.

Nulto očitanje može da se izvrši odmah nakon što se nanese mlazni beton ili nakon uklanjanja kalupa.

Nova očitanja mogu da se izvode toliko često koliko je to potrebno, bez da se ometaju radni procesi.

Vrednovanje:

Očitanja se bilježe na odgovarajuće (specijalne) formulare. Tako se razlike prijašnjih očitanja kao i kumulativni rezultati mogu odmah identifikovati. Bilježenje tih rezultata pomoću dijagrama vrijeme-deformacija omogućava brzu procjenu postojećeg stanja napetosti u promatranoj konstrukciji. To uključuje trenutačno prepoznavanje sljedećih elemenata:

- tip i veličina napetosti (tlak, kompresija, savijanje)
- raspodjela napetosti uzduž obodnice tunela

Izračunavanje napetosti iz izmjerenih napetosti takođe zahtijeva dodatne laboratorijske testove, posebice kada se radi o mlaznom betonu. Pomoću tih se testova može primijetiti specifična veza napetosti i naprezanja u mlaznom betonu nanesenom na gradilištu. Testovi takođe uzimaju u obzir otpušanje i puzanje.

Dostupan je specijalni softver za računanje napetosti iz istorije napetosti, u vezi sa rezultatima testova. Softver takođe uključuje i računanje momenata savijanja i normalnih sila.

Prednosti i ograničenja:

Mjerač napetosti mlaznog betona je izvrstan alat za bilježenje ponašanja opterećenja mlaznog betona u vremenskom intervalu. Ima brojne prednosti:

- brzo očitanje
- nulto očitanje slijedi odmah poslije nanošenja mlaznog betona ili ulijevanja betona
- veća preciznost i pouzdanost mjernih rezultata

Instrument može da bilježi i rastezljive i kompresivne sile napetosti. Stoga je vrijedan alat za procjenu stanja stresa u oblozi tunela, posebice zato što je takođe moguće da se mjere napetosti savijanja korištenjem prikladnih smještaja mjerača napetosti (dvostruka instalacija).

Kao što je gore spomenuto, značajno računanje napetosti obloga moguće je samo u kombinovanju sa laboratorijskim puznim testovima.

1.4.9.4.2.3 Mjerenja napetosti na čeličnim lukovima

Primjena:

Mjerači napetosti koji su spojeni direktno na čelične lukove i mjerenja napetosti mogu da se koriste za izračunavanje napetosti, momenata savijanja i normalnih sila u čeličnim lukovima.

Postoji nekolicina načina postavljanja mjerača napetosti što zavisi od tipa čeličnih rebara koja se koriste.

Mjerenja napetosti na čeličnim setovima uglavnom se koriste kada se primjenjuje „Metod američke čelične podgrade".

1.4.9.4.3. Sile u sidrima

1.4.9.4.3.1 Mjerno sidro

Primjena:

Instrumetisano sidro je kombinacija sidra i ekstenzometra. Njegov je zadatak odrediti opsege dubine, na kojima se preuzima opterećenje zbog otpuštajućeg efekta stijena. Stoga je prikladan za određivanje najprikladnijih dužina sidra.

Princip dejstva:

Mehaničko mjerno sidro sastoji se od šupljega sidrenog tijela, sekcionog područja i materijala koji je sukladan odgovarajućoj vrsti sistema sidrenja. U unutrašnjosti ovog tijela mjerne šipke mogu da se postave na sidreno tijelo na četiri moguće tačke. Minijaturne mjerne šipke vode do glave sidra. Pomoću mehaničkog mjerača s kazaljkom, mogu da se odrede promjene u dužini zbog produživanja ili sabijanja između pojednih tačaka sidrišta.

Konstrukciona dužina treba da odgovara dužini sistemskih sidara. Moguć je bilo koji ugao između horizontalnog i vertikalnog postavljanja. Mjerno sidro je zaliveno uzduž cijele dužine na isti način kao i sistemska sidra.

Tačnost očitavanja mjerača sa kazaljkom je 0,01 mm.

Prednosti:

- zamjenjuje sistemsko sidro
- nije potrebna posebna bušotina, može da se koristi standardna oprema za bušenje
- jednostavno mehaničko očitavanje

1.4.9.4.3.2 Ćelija opterećenja

Primjene:

Mjerenje i kontrola opterećenja stijenskim sidrima i napetosti u kabelskim sidrima.

Princip dejstva:

Ćelije sa rupom u sredini imaju robustno čelično tijelo napunjeno bilo uljem (hidraulične ćelije) ili

sa čeličnim oprugama (mehaničke ćelije). Sile se računaju iz mjerenja deformacije ćelije opterećenja. Svaka ćelija opterećenja treba da se kalibriše prije korištenja.

Prednosti i ograničenja:

- jednostavna, robustna i pouzdana
- idealna za daljinsko očitavanje, skeniranje i bilježenje podataka.

Izvedba:

Na raspolaganju su ćelije za teška opterećenja koje mjere fi do nekoliko tisuća KN.

1.4.9.4.4. Deformacija tla

1.4.9.4.4.1 Ekstenzometar

Primjena:

- određivanje pomaka kako bi se odredilo izvorište i stvarna količina kretanja tačke obloge tunela (za kombinovanje sa očitavanjima konvergencija).
- procjena napetosti u okolini tunela uključujući fenomen puzanja i otpuštanja.

Princip dejstva:

Ekstenzometri sa jednom šipkom imaju šipku, usidrenu na jednom kraju bušotine, koja prolazi u referentnu cijev smještenu u centralnoj manšeti rupe. Relativna pomicanja između glave sidra i referentne cijevi, mjere se bilo sa mjeračem sa kazaljkom, bilo sa električnim pretvaračem umetnutim kroz referentnu cijev i koji zapisuje na slobodnom kraju šipke.

Ekstenzometri sa više šipki se postavljaju da nadgledaju pomicanja na raznim dijelovima u istoj rupi. Svaka je šipka posebno izolovana usko postavljenim plastičnim rukavcem.

Ekstenzometri su pouzdani, tačni, jednostavni za postavljanje i očitavanje. Preciznost očitavanja je 0,01 mm.

Računanje napetosti tla:

Napetosti se računaju iz razlike u pomicanju pojedinog odjeljka u koji je postavljen ekstenzometar uzduž svakog odjeljka.

1.4.9.4.4.2 Inklinometar

Primjena:

Mjerenje laterlanih pomjeranja uzduž osi bušotine.

Princip dejstva:

Pristupna cijev sa četiri unutrašnja utora zalivena je u bušotinu. Sonda inklinometra, koja je potpuno vodootporna, putuje uzduž cijevi sa svojim točkićima smještenim u jednom paru utora zavisno od potrebnog smjera mjerenja. Senzor koji je unutar sonde reaguje na promjene u položaju cijevi. Očitanja pomjeranja mogu da se izvrše u intervalima od 0,5 m ili 1 m uzduž cijevi i da se prikažu na prenosnom digitalnom zaslonu.

Prednosti i ograničenja:

- pouzdan, jednostavan za postavljanje i očitavanje.
- kalibracija sonde može da se provjeri u bilo koje doba.
- jedna sonda očitava na mnogo lokacija; samo su pristupne cijevi trajno postavljene u tlo.
- daje profil pomjeranja uzduž cijele dužine pristupne cijevi, pokreti se otkrivaju gdje god da se pojave.
- mjeri u dva ortogonalna smjera
- dijelovi pristupne cijevi mogu da se uklone ili dodaju za vrijeme izgradnje
- nije prikladan za neprekidna ili daljinska očitavanja.

Karakteristike:

Pristupna cijev treba da je vertikalno +/- 30° ili horizontalno +/- 30°. Mogu da se koriste dužine do 200 m. Osjetljivost: 0,01^{o} = 0,175 mm/m.

1.4.9.4.5. Podzemne vode

1.4.9.4.5.1 Mjerenja podzemnih voda tijekom operacija bušenja

Mjerenja podzemnih voda treba da se vrše svakog radnog dana prije početka radova bušenja. Nakon instalacije trebaju da se naprave istraživanja uspravnih cijevi i piezometara (koordinate, izdignutost). Mjerenja podzemnih voda kasnije trebaju da se vrše barem godinu dana (bolje je dvije ili tri godine) u sedmičnim intervalima kako bi se istražio režim prirodnih podzemnih voda u sušnim i kišovitim razdobljima.

1.4.9.4.5.2 Bušotinske instalacija za mjerenje podzemnih voda

1.4.9.4.5.2.a) ***Uspravne cijevi/Piezometri***

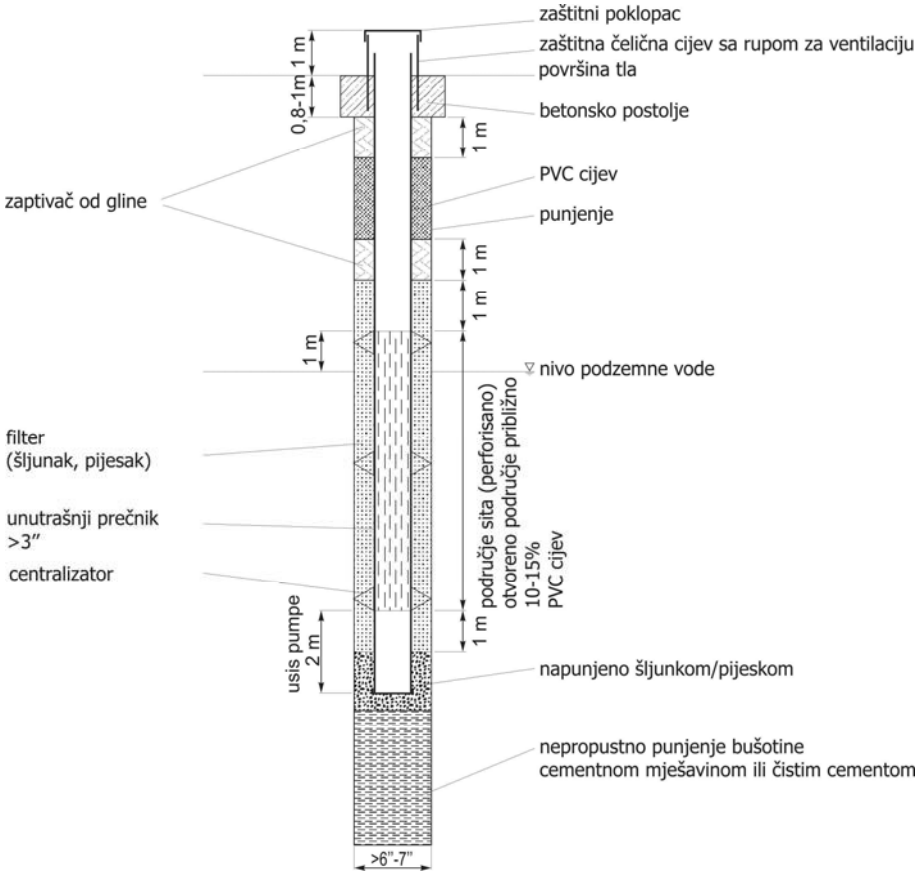
Općenito

Uspravne cijevi ili piezometri će da se postavljaju za mjerenje nivoa vode ili pritiska, zavisno od permeabiliteta vodonosnika. Tip i detalji instalacije, kao što su dubina i dužina perforisane cijevi (sito), distribucija veličine zrna filtera, primjena glinenih brtvi između raznih vodonosnika itd., trebaju da budu preporučeni od strane terenskog geologa nakon što je iskopana bušotina. Nakon instalacije, uspravne cijevi i piezometri će da se puste u rad uklanjanjem pročiščivaća, npr. pumpanjem ili primjenjivanjem vazduha pod pritiskom. Kasnije se funkcionisanje treba kontrolisati testovima propuštanja kao što je gore opisano.

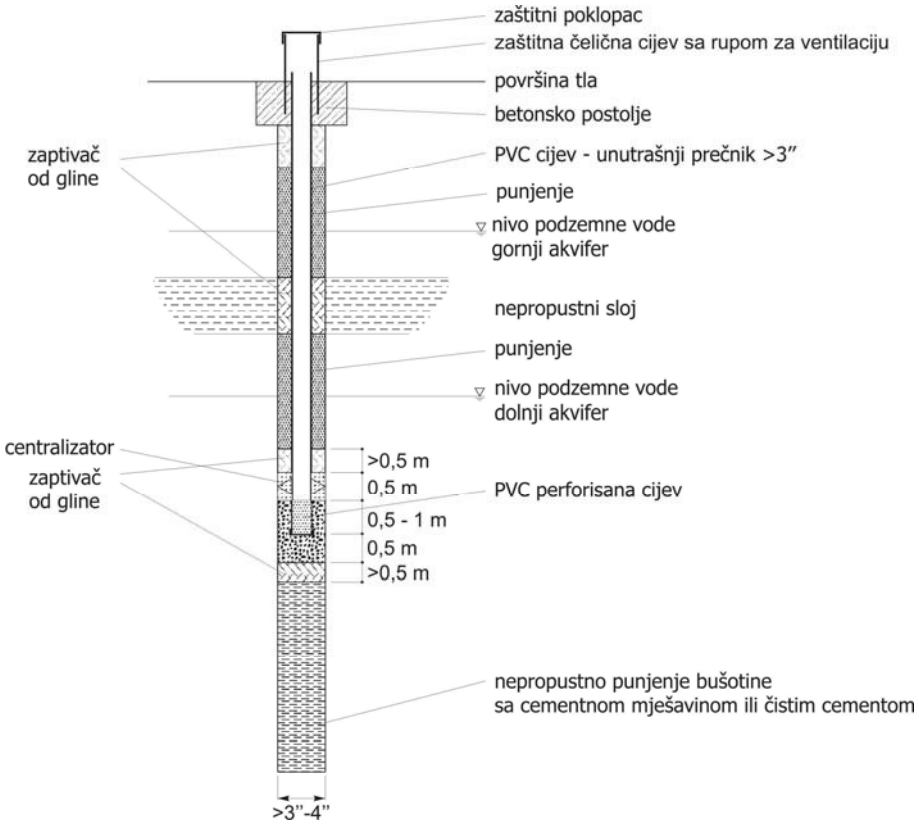
Ako se za vrijeme bušenja uoče različiti vodonosnici (razdvojeni slojevima slabog permeabiliteta), u donji vodonosnik mora da se postavi piezometar i treba da se razmotri mogućnost dodatne bušotine za postavljanje u gornjem vodonosniku.

Uspravne cijevi

U tlima visokog ili osrednjeg permeabiliteta (npr. zamuljeni šljunak ili pijesak) uspravne cijevi se postavljaju kao što je prikazano na slici 7. Uspravna cijev se uglavnom sastoji od perforisane cijevi (sito), koja je okružena šljunkovitim ili pjeskovitim paketom filtera. Unutarnji prečnik cijevi treba da bude minimalno 76,2 mm (da bi se omogućili kratkoročni testovi pumpanja, ako su potrebni). Stoga je potreban prečnik od 152,4 do 177,8 mm. Gornji kraj sita treba da bude oko 1 metra iznad najvišeg očekivanog nivoa podzemnih voda. Dužina sita treba da se prilagodi očekivanim fluktuacijama podzemnih voda, a odredit će ga terenski geolog.



Sl. 13: Uspravna cijev



Sl. 14: Piezometar

Piezometri

U slabo propusnom tlu (npr. mulj u glinastom mulju) i u čvrstim stijenama, piezometri sa otvorenom hidraulikom treba da se postave u skladu sa slikom 8. Piezometar se sastoji od urezane cijevi nutarnjeg prečnika od 25,4 mm do 38,1 mm, stoga prečnik bušotine mora da bude minimalno 76,2 do 101,6 mm. Dužina sita treba da bude 0,5 - 1 m. Sito je okruženo paketom filter pijeska, koji je ograničen gornjim i donjim bentonitskim brtvilom minimalne visine od 0,5 m.

1.4.9.4.6. Pomjeranja građevina i konstrukcija

1.4.9.4.6.1 Mjerenja slijeganja

Primjena:

Mjerenja slijeganja zgrada, konstrukcija i građevina, obično se vrše nivelisanjem visinskih tačaka - repera pomoću optičkih instrumenata. Za referencu trebaju da se instališu referentne tačke na određenom rastojanju od zone praćenja.

Princip dejstva:

Regularna mjerenja svih stanica trebaju da se vrše prije, za vrijeme i nakon izgradnje. Intervali mogu da budu od jedne sedmice do jednog mjeseca, što zavisi od faze izgradnje. Češća mjerenja, jednom ili dvaput na dan, trebaju da se vrše u kritičnim fazama izgradnje, npr. kad je radna zona tunela unutar rastojanja od 10 metara od mjerne stanice ili konstrukcije.

Nivelisanje pomoću standardnih instrumenata može da se izvrši brzo i bez specijalne vještine. Lako je postići preciznost od manje od 5 mm; iskusan geometar će biti u mogućnost mjeriti i sa preciznošću od 1 - 2 mm. Sa instrumentima visoke preciznosti moguće je mjeriti i do preciznosti od 0,1 mm.

Mjerne stanice:

Mjerne stanice su visinske tačke - reperi, koji su pričvrščeni na čvrstu površinu. Oni moraju da budu instalisani tako da ne bude promjena u izdizanju zbog lošeg postavljanja ili pomjeranja zbog nečeg drugog osim izgradnje. Važan je i slobodan pogled i lagan pristup. S obzirom da se smještanje obično vrši prije izgradnje, trebaju da se uzmu u obzir promjene u okolini, koje mogu da se dogode tijekom izgradnje ili zbog mogućeg skretanja saobraćaja.

Broj postavljenih mjernih postaja zavisi od dimenzija i konstrukcionoga sistema građevine. Kako su oštećenja građevina posljedice diferencija slijeganja, četiri mjerne stanice (po jedna na svakom uglu) se smatraju minimalnim brojem. Za detaljniju procjenu diferencijalnih slijeganja barem su tri stanice potrebne u jednom smjeru.

1.4.9.4.6.2 Mjerač nagiba - tiltmetar

Primjena:

Mjerači nagiba, koji mjere nagib (rotaciju) konstrukcije, su dodatni alat za procjenu diferencijalnih uleknuća građevine ili konstrukcije. Oni se postavljaju na zid ili ploču na jednom ili više spratova u zgradi.

Princip dejstva:

Oprema uključuje nagibni tanjir (keramički ili mesingani), koji je ubetonisan u površinu, te prenosivi senzor mjerača nagiba i indikator. Tanjir sadrži klinove koji su referentne tačke za smještanje senzora koji detektuje promjenu u nagibu (ugaona defleksija) tanjira. Mjerač nagiba mora biti sposban da izvodi dvoosna mjerenja. Kod dugotrajnih neprestanih posmatranja, senzor može da se trajno instališe.

1.4.9.4.7. Vibracije zbog miniranja

1.4.9.4.7.1 Seizmograf

Primjena:

Najčešći tip oštećenja zbog miniranja su uzrokovana vibracijama u tlu. Kad eksploziv eksplodira u rupi, tada on generiše intenzivno kretanje udarnih talasa u stijeni. Vibracije zbog miniranja i učinci

takvih vibracija mogu da postanu opasni ako tunel prolazi kroz naseljeno područje ili je blizu građevina ili građevinskih konstrukcija. Intenzitet seizmičkog kretanja koji može da se toleriše raznim tipovima konstrukcija mora da bude ustanovljen kako bi se odredili prihvatljive količine punjenja na raznim udaljenostima od konstrukcije (ili objekta). Izračuni vibracionih uticaja mogu samo da budu teoretski i stoga vrlo upitni kada se iznose kao tvrdnje. U takvim se slučajevima za vrijeme izgradnje trebaju izvršiti in-situ mjerenja vibracija. Oni takođe mogu da budu korišteni radi poboljšanja sistema miniranja i iskopavanja.

Zavisno od stvarnih uslova, postavlja se nekoliko stanica instalacije za praćenje. Neke će da budu smještene direktno na građevini ili konstrukciji na kojoj se mjeri efekat, a neke bliže tački miniranja. Uglavnom će stanice za bilježenje biti smještene unutar razdaljine od 500 m. Radi izmjena u sistemu iskopavanja i miniranja, blizu tačke miniranja u nišama tunela mogu da se postave i seizmografi.

Princip dejstva:

Kretanje čestica zbog seizmičkih talasa mogu da se mjere pomoću seizmografa. U principu instrument čini uvećani zapis o pomjeranju baze na kojoj stoji, koji je vezan uz inercioni član ili veliku masu koja se, u osnovi ne miče. Seizmograf bilježi pomjeranja u tri smjera, dva horizontalna na desnim uglovima i jedan vertikalni.

Seizmografi brzine, koji mjere promjenu amplitude talasa u jedinici vremena, najšire se koriste za mjerenje pokretanja tla zbog miniranja. Ostali tipovi su pomjerajući seizmografi i ubrzavajući seizmografi

Važno je da je aparat za praćenje u punom kontaktu sa svojom bazom. Svi povezni kablovi treba da su instalisani vodootporno.

Dopuštena brzina vibracija:

Nivo pomjeranja potreban da se ošteti građevina zavisi od njene konstrukcije. U nastavku slijede podaci o standardnima dopuštene vibracione brzine koja ne čini nikakva oštećenja na građevinama.

Zapadnonjemački standard (DIN 4150): Frekvencija je 50-100 Hz:

40 - 50	mm/sec	za industrijske zgrade
15 - 20	mm/sec	za stambene zgrade
8 - 10	mm/sec	za građevine koje su klasifikovane kao spomenici

Švicarski standard (SN 640 312): Frekvencija je 60 - 90 Hz

30 - 40	mm/sec	za industrijske zgrade (betonske) i tunele sa ili bez betonskog unutarnjeg obloga
18 - 25	mm/sec	za ciglene zgrade sa betonskim podovima
12 - 18	mm/sec	za ciglene zgrade sa drvenim podovima
8 - 12	mm/sec	za građevine koje su klasifikovane kao spomenici

Austrijski standard (ÖNORM S 9020): je (za c=500-3000 m/sec):

30 - 39	mm/sec	za industrijske zgrade
20 - 26	mm/sec	za stambene zgrade
10 - 13	mm/sec	za stambene zgrade (niske krutosti)
5 - 7	mm /sec	za građevine koje su klasifikovane kao spomenici

1.4.9.5 UNOS PODATAKA

1.4.9.5.1. Općenito

Geotehnička i geodetska mjerenja rezultiraju velikom količinom podataka. Dok obrada tih podataka u malim projektima može da bude ručna, veliki projekti zahtijevaju kompjutoriziranu obradu podataka.

Unos mjernih podataka i obrada uključuju sljedeće zadatke:

- unos «sirovih» podataka jasnim redoslijedom
- izračunavanje rezultata potrebnih za interpretaciju
- grafička prezentacija rezultata

1.4.9.5.2. Ručni unos podataka

Tamo gdje se podaci o praćenju ne bilježe automatski, uglavnom ih upisuje mjerni tehničar kako vrši očitavanja. Dobra je navika imati zapise od prijašnjih očitanja u ruci dok se rade nova, tako da se izbjegnu uobičajene greške u fazi očitavanja.

Sirovi se podaci zatim prebacuju u standardizovane obrasce za podatke. Obrasci su na raspologanju za svaki tip instrumenta. Primjerne obrasce obično daju poizvođači instrumenta. Numerički podaci iz obrazaca se zatim unose u grafikon zavisan o vremenu. U današnje vrijeme teško je koristiti samo ručne postupke unosa podataka. «Ručni» unosi tako obično koriste kompjutorske obrasce za unos, izračun i iscrtavanje.

1.4.9.5.3. Kompjutorizovani unos podataka

U velikim projektima kompjutorizovani je unos podataka jedini način za postizanje dobrog pregleda nad rezultatima praćenja. Pa čak je i u malim projektima kompjutorizovan unos u prednosti, s obzirom da rezultati odmah mogu da se unesu u grafikon i to u različitim rasponima i kombinacijama. To štedi vrijeme i olakšava zadatak interpretacije.

Rezultati praćenja izmjereni ručno unose se u bazu podataka, a elektronički sakupljeni podaci obično mogu da se prenesu direktno iz instrumenta ili putem medija za pospremanje. U slučaju beskontaktnog praćenja deformacija, što je praktični standard za mjerenja otklona obloga, podaci se prenose direktno iz teodolita u kompjutor, gdje evaluacioni program izvodi potrebne matematičke kalkulacije i tada prenosi podatke o deformacijama u bazu podataka.

Kompjutorski program za unos i prikaz rezultata praćenja treba da ima barem sljedeće funkcije:

- organizovanje baze podataka prema terenskoj, podterenskoj i sekciji praćenja
- mogućnost pohranjivanja podataka iz svih instrumenata korištenih na terenu, kao šta su ekstenzometri, piezometri, inklinometri, mjerači konvergencije beskontaktno praćenje, itd.
- mogućnost pohranjivanja događaja vezanih uz izgradnju, kao što je brzina izgradnje, stanke u radovima, posebne pojave.
- procjena najsirovijih rezultata (izračunavanje napetosti kamena iz očitavanja pomoću ekstenzometra, primjena temperaturne korekcije na očitavanja konvergencije, uključujući kalibracione vrijednosti.
- ako je potrebna produžena obrada sirovih rezultata od strane drugog programa, softver za unos treba da ima direktni interfejs na izlazu tog programa ili u najmanju ruku neutralni interfejs, koji mogu da koriste oba programa.
- iscrtavanje podataka na ekranu, na svim uobičajenim izlaznim uređajima (ploteri i printeri) i u datoteku radi umetanja u izvještaje.
- iscrtavanje podataka u zavisnosti od vremena, unutar poprečnog presjeka i uzduž longitudinalnih sekcija tunela.

1.4.9.6 INTERPRETACIJA MJERNIH PODATAKA

1.4.9.6.1. Općenito

Interpretacija mjernih podataka povezanih s tunelom ima sljedeće zadatke:

- analiza stabilnosti kompletne konstrukcije tunela
- analiza mehaničkog fenomena stijene zajedno sa redistribucijom napetosti i popuštanjem tla
- analiza opterećenja potpornih elemenata, npr. stijenskih sidara, mlaznog betona, čeličnih lukova, itd.
- procjena rizika za svaku građevinu ili konstrukciju u blizini tunela

1.4.9.6.2. Relevantnost metoda praćenja

Prikladnost raznih metoda praćenja varira među pojedinim zadacima. Iz različitih mjerenja stvara se baza za interpretaciju:

1.4.9.6.2.1 Beskontaktno praćenje deformacije

Spoznaja o apsolutnim pomjeranjima nekoliko tačaka na obodu obloga tunela najbolja je baza za temeljitu interpretaciju. Ovaj je metod veoma informativan s obzirom da se specifični geološki uslovi reflektuju na mjerenjima pa može da se izvede vrlo osjetljiva prilagodba podgrade.

1.4.9.6.2.2 Konvergencije

Čitači konvergencija su vrlo osjetljiv alat za procjenu opšte stabilnosti. Konvergencije ne daju podatke o apsolutnim pomjeranjima zato što utvrđuju samo relativna pomjeranja. No, s obzirom da su svi doprinoseći elementi konstrukcije tunela sumarizirani u rezultat konvergencije, stabilisanje konvergencija znači i stabilisanje cijele strukture.

Zbog vremenski zavisnih karakteristika stijene i podgrade, može da postoji privremena stabilnost, no značajne deformacije mogu da se pojave u koracima bez očitog uticaja aktivnosti gradnje tunela.

1.4.9.6.2.3 Nivelisanje

Nivelisanje iskazuje neophodne informacije zajedno sa konvergencijama. U nekim uslovima (npr. plitki tunel u slabom tlu), gdje je najkritičnije slijeganje kalote, niveliranje krune i niveliranje primarne podgrade jest prvi izbor pri analizi stabilnosti. Relativno slijeganje krune i podgrade jest indikacija za tip mehaničkog fenomena stijena, (prijenos tereta, područja otpuštanja i plastifikacije).

1.4.9.6.2.4 Bušotinski ekstenzometri

Bušotinski ekstenzometri daju informacije o deformacijama unutar tla/stijene. Količina i distribucija tih deformacija uzduž ekstenzometra omogućuju kvalitativnu procjenu stanja opterećenja zemljišta. Rezultat te procjene zavisi od brojna sidara unutar bušotine. Što je kraća relativna udaljenost sidara to su rezultati precizniji. Bušotinski ekstenzometri često omogućavaju određivanje dubine područja plastifikacije uokolo tunela. To je važno za odluku o dužini stijenskih sidara, s obzirom da su oni obično projektovani da prijeđu zonu plastifikacije.

1.4.9.6.2.5 Mjerna sidra

Očitanja daju relativno pomjeranje fiksnih tačaka uzduž sijenskog sidra. U elastičnim uslovima prosječna sila može da se izračuna iz prosječnih napetosti. Katkad napetost prelazi danu čvrstoću. U tom slučaju Hookeov zakon više ne vrijedi. Sila tada odgovara korisnoj sili. Deformacija potpuno zalivenoga stijenskog sidra u bušenju tunela od stijene je vrlo varijabilna uzduž njegove dužine. U tom slučaju izračunata sila je samo grubo pojednostavljenje.

1.4.9.6.2.6 Mjerenja napetosti

Opterećivanje betonske obloge uglavnom se uvodi unutar prvih nekoliko dana ili čak sati nakon njegovog nanošenja. Tokom tog perioda obično se dosegne najkritičniji stepen primjene betonske

obloge. Zato je utvrđivanje ranog opterećenja od najveće važnosti za procjenu lokalne i cjelokupne stabilnosti i privremene podgrade.

Određivanje napetosti u betonu pomoću ćelija za pritisak nije zadovoljavajući metoda zbog toga što relativno kruta ćelija ometa slabi mlazni beton i zbog slabog ugniježđenja uzrokovanog promjenama u temperaturi. Mjerač napetosti u mlaznom betonu razvijen je radi omogućavanja bolje procjene opterećenja tijekom prvih nekoliko dana. Ako su mjerenja napetosti kombinuju sa interpretacijom deformacija obloga, ekstenzometarskih očitavanja itd., može da se dosegne gotovo potpuno razumijevanja strukturalnog ponašanja kombinovanog sistema tla i potpornog sistema.

1.4.9.6.3. Iscrtavanje podataka

Grafički je prikaz podataka od posebne važnosti za interpretaciju. U dodatku grafikona sa podacima, u odnosu sa vremenom treba da se prikaže i lokacija iskopavanih pročelja (kalota stepenica i podnožni svod). Procjena predeformacije prije nultog očitanja od važnosti je da bi se vrednovalo cjelokupno pomjeranje.

Za podatke o pomjeranjima korisni su sljedeći grafikoni:

- mjerenja u zavisnosti od vremena
- mjerenja u zavisnosti od tunelskog poprečnog presjeka i vremena
- mjerenja u zavisnosti od dionice i vremena
- Mjerenja u zavisnosti od rastojanja do iskopne plohe
- prikaz geotehničkih tendencija (npr.: očitanja 15 m iza radne plohe iskopa)

Za glavno praćenje, poprečni presjek koji sadrži mjerna sidra, bušotinske ekstenzometre i ostale uređaje, podaci mjerenja obično se takođe, iscrtavaju u poprečnome presjeku tunela.

1.4.9.6.4. Mjerenja za vrijeme radova

U posebnim područjima (zone velikih rasjeda, područja sa bubrenjem, itd.) u pravilnim intervalima trebaju da se preduzimaju sljedeća mjerenja:

- napetost u unutarnjoj oblozi
- deformacija obloge (npr. izdizanje podnožnog svoda)

1.4.10 VENTILACIJA TUNELA

Ventilacija tunela mora da se dimenzioniše za sve tunele tako da se u tunelu obezbijede propisani nivoi zagađenosti ugljen monoksidom (CO), azotnim monoksidom (NO), aldehidima i ostalim nezapaljivim hidrokarbonatima (CH), te zadovoljavajuća vidljivost.

Nekoliko faktora treba da bude uzeto u obzir kod računanja potrebnih količina za svjež vazduh i kod odabira odgovarajućega ventilacionog sistema u tunelima: vertikalni plan tunela, broj cijevi tunela i saobraćajnih traka u smjeru vožnje, projektovana kompozicija protoka saobraćaja, računska brzina i gustoća protoka saobraćaja, ali i nivo i dužina tunela. Svi ti faktori utiču na koncentraciju štetnih supstanci u tunelu.

Tabela 1: Područja upotrebe različitih ventilacionih sistema:

VENTILACIONI SISTEMI U ODNOSU NA DUŽINU TUNELA		
	Dužina tunela u m	
	Dvosmjerni saobraćaj (jedna tunelska cijev)	Jednosmjerni saobraćaj (dve tunelske cijevi)
Prirodna longitudinalna ventilacija	do 400	do 600
Mehanička longitudinalna ventilacija	400 - 600	600 - 3000
U pogledu ocjene ugroženosti: a) s osnim ventilatorima b) isisavanje kroz šaht c) isisavanje preko krova uz upravljanje otvorima za odvod	600 - 1200	/
isisavanje preko krova uz upravljanje otvorima za odvod	iznad 1200	/
Longitudinalna ventilacija sa isisavanjem na određenim tačkama < 2000 m ili isisavanje preko krova uz upravljanje otvorima za odvod	/	iznad 3000

Odabrani ventilacioni sistem (longitudinalni, polutransverzalni, transverzalni ili kombinovani) u slučaju požara treba da omoguće usmjeravanje dima, vrućine i gasova.

Treba da se koriste osnovni iznosi emisionih plinova (koji su navedeni u PIARC uputstvima), ako ne postoje pravila koja se tiču emisije plinova iz vozila i podaci o mjerenjima postojećih emisija.

Za projektovanje tunela, moraju da se koriste podaci o vrijednostima emisije izduvnih gasova koji su navedeni u tabeli 2.

Tabela 2: Vrijednosti emisije izduvnih gasova vozila koji služe za planiranje ventilacije tunela

Godina	2000		2005		2010		2015		2020	
	CO $m^3/h \times voz$	Čestice $m^3/h \times voz$	CO $m^3/h \times voz$	Čestice $m^3/h \times voz$	CO $m^3/h \times voz$	Čestice $m^3/h \times voz$	CO $m^3/h \times voz$	Čestice $m^3/h \times voz$	CO $m^3/h \times voz$	Čestice $m^3/h \times voz$
Lična vozila – benzin	0.075	0	0.043	0	0.033	0	0.029	0	0.028	0
Lična vozila – dizel	0.014	20.6	0.010	13.9	0.009	9.53	0.009	7.30	0.008	6.49
Teretna vozila – dizel	0.063	71.1	0.037	36.3	0.024	16.9	0.019	8.88	0.018	6.91

Tabela 3: Iznosi dozvoljenih koncentracija CO i vidljivosti za pojedina stanja u saobraćaju

Stanje u saobraćaju	Koncentracija CO PPM	Vidljivost m^{-1}
Normalan saobraćaj (50 – 100 km/h)	70	0.005
Dnevno gusti saobraćaj sa mogućim saobraćajnim čepovima	70	0.007
Iznimno gusti saobraćaj sa mogućim saobraćajnim čepovima	100	0.009
Radovi na održavanju tunela, uz smanjeni saobraćaj	20	0.003
Začepljenje saobraćaja u tunelu	200	0.012

* takođe se primjenjuje na tunele namijenjene pješacima i biciklistima, u dodatku motornim vozilima.

U svakom projektu moraju se vrednovati iznosi emisija s obzirom na godinu projektovanja, projektovanog obujma saobraćaja, starosti vozila, količine prijeđenih kilometara, smještaj tunela i nivo suvremenih tehnoloških dostignuća koja se tiču mašina i vozila.

Kriteriji saobraćaja, koji se tiču dimenzionisanja ventilacionog sistema, uključuju koncetraciju CO, koncentraciju NO_X, smanjenje vidljivosti i brzinu protoka vazduha u normalnim uslovima rada i u slučaju požara. Udovoljavanjem zahtjevima koji se tiču količine CO, NO_X i čestica prašine (iz izduvnih plinova vozila i druge čestice prašine) treba da se udovolji i drugim standardnima emisija, npr. nezapaljivih CH.

1.4.10.1 MINIMALNI KRITERIJI ZA PLANIRANJE VENTILACIJE

PIARC preporuke dozvoljavaju razne standarde kvaliteta vazduha u tunelima zavisno od stanja u saobraćaju. Ventilacioni sistem treba da bude dimenzionisan tako da mogu da se zadovolje sljedeći kriteriji u uslovima normalnog rada:

Normalan saobraćaj (brzina između 100 km/h i 30 km/h)

- Granica koncetracije CO: c = 100 ppm
- Granica koncetracije NO_X: n = 25 ppm
- Koeficijent graničnog stanja smanjene osvjetljenosti: k=0,007 m^{-1}

Kod tunela između velikih gradova, kontrola saobraćaja i sistem upravljanja treba da u normalnim uslovima saobraćaja spriječi saobraćajne čepove. U takvim tunelima brzina vozila uvijek treba da bude veća od 30 km/h.

U slučaju bilo kakve promjene treba da se primjene najnovije primjenjive PIARC preporuke.

1.4.10.2 KONTROLA KVALITETA VAZDUHA U TUNELIMA

Za svaki ventilacioni sektor u svakoj cijevi tunela gdje je instalisan mehanički ventilacioni sistem, treba da se planira sljedeće: dva mjerna sistema - jedan za mjerenje CO i čestica prašine u vazduhu, te drugi za mjerenje brzine i smjera vazduha u tunelu.

Signali trebaju da se prenose jedinicama kontrole ventilacije, kontrole saobraćaja i komandnom centru.

U longitudinalnim ventilacionim sistemima brzina vazduha u normalnim uslovima funkcionisanja ne smije da bude veća od 8 m/s. U svaki ventilacioni odjeljak treba da se postave mjerne naprave radi kontrolisanja brzine vazduha i praćenja rada ventilacionog sistema.

Iako su požari u tunelima rijetki, njihova mogućnost mora da se uzme u obzir kada se dimenzioniše ventilacioni sistem i priprema plan za implementaciju ventilacije. Kada kontrolni sistem tunela otkrije požar, treba da se iz normalnog radnog režima prebaci u režim dejstva za vrijeme požara. U skladu sa PIARC preporukama, donja polovina saobraćajnog područja treba da bude čista od dima i vrućih gasova koliko god je to moguće, čime se omogućava bezbjedno područje i dovoljna vidljivost za evakuisanje ljudi iz tunela. U tunelima sa jednosmjernim saobraćajom i longitudinalnom ventilacijom, ventilacioni sistem treba da funkcioniše na taj način da brzina vazduha u cijevi u slučaju požara ne prelazi 1,5 m/s. Kod dvosmjernog saobraćaja, longitudinalni protok vazduha treba da se zaustavi.

U tunelima dužine 2000 m ili vše sa dvosmjernim saobraćajom, treba da se planira transverzalna ili polutransverzalna ventilacija, jer omogućuje neprekidno usisavanje dima i vrućih plinova kroz ventilacione vodove u ranim fazama požara kada je dim skoncentrisan samo ispod stropa cijevi tunela. Preporuča se kapacitet usisavanja od 80 m^3/s/km, prema PIARC-u.

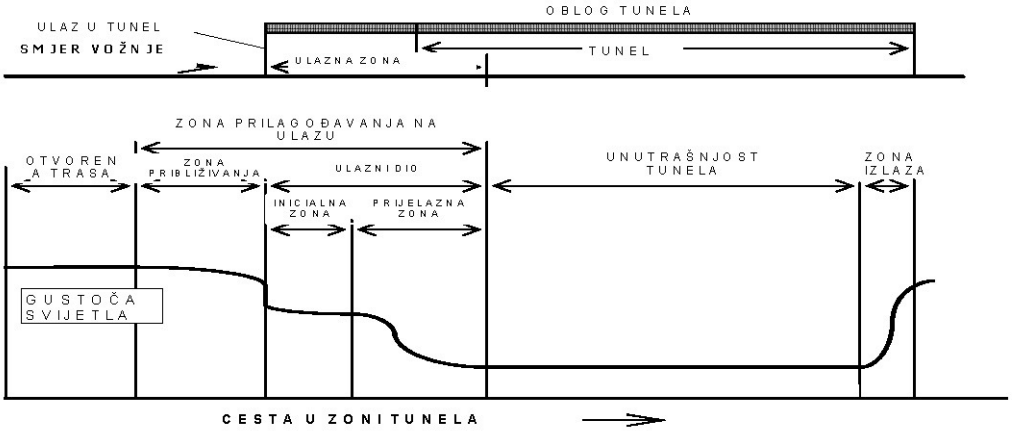
Sistem upravljanja ventilacijom mora da se isplanira tako da se mjeri brzina vazduha, čestice prašine i koncentracija CO u tunelu , a izmjereni iznosi da se upoređuju sa ranije zadanim graničnim vrijednostima prilikom rada ventilacionih naprava. U slučaju da vrijednosti prelaze granice, sistem kontrole i upravljanja treba da reaguje sukladno.

U tunelima koji nisu namijenjeni za saobraćaj motornih vozila nije potrebna ni ventilacija.

1.4.11 TUNELSKA RASVJETA

Tunelska rasvjeta mora da se planira prema sektorima uzduž tunela tako, da je prikladna za prilagodbu očiju vozača na promjene u intenzitetu svijetla od dnevnoga svjetla na ulazu u tunel, do tame u unutrašnjosti tunela (slika 15). Za tunele sa dvosmjernim saobraćajem potrebno je u obzir uzeti prelaze u intenzitetu svjetlosti – ulaz u tunel – na oba portala. Za svaki pojedinačni tunel potrebno je izračunati potrebnu osvjetljenost u skladu sa preporukama CIE (Međunarodna komisija za rasvjetu).

S obzirom da uslovi koji se tiču svjetla u tunelu značajno utiču na rasvjetu, a posljedično i na električne energije, zidovi tunela se uglavnom boje svijetlom bojom (RAL 9001) do 4 m visine.



Sl. 15: Shematski prikaz toka jakosti rasvjete za vrijeme vožnje tunelom tokom dana

1.4.11.1 ZONE TUNELA

1.4.11.1.1. Ulazna zona tunela – inicijalna

Ulazna zona je najkritičnija s obzirom na rasvjetu, jer zahtjeva najveći njen nivo tako da se spriječe pojave sjena i efekata crne rupe kod vozača koji prilazi tunelu. Na temelju preporuka od CIE predviđaju se vrijednosti između 3000 cd/m^2 i 5000 cd/m^2 (u slučajevima kada na raspolaganju nisu izmjerene vrijednosti). Omjer osvjetljenja ulazne zone i prilaznog područja tunelu zavisi od zaustavnog puta i rasvjete u prilaznom području.

1.4.11.1.2. Zona ulaza u tunel - prijelazna

U prijelaznoj zoni nivo osvjetljenja postepeno se smanjuje između ulazne zone i unutrašnjosti tunela. Dužina prijelazne zone zavisi od brzine vozila i vremenu koje je potrebno da se vozačevo oko prilagodi promjeni u osvjetljenju između vanjskog područja i unutrašnjosti tunela.

1.4.11.1.3. Unutrašnjost tunela

U tunelima sa jednosmjernim saobraćajem, unutrašnjost je dio puta između prijelaznog područja i izlaznih vrata, dio područja u kojem prilagodba oka na promijenjeno osvjetljenje nema uticaja na vizualnu percepciju.

U tunelima sa dvosmjernim saobraćajem unutrašnjost je dio puta između dvaju prijelaznih područja. Osvjetljenje unutrašnjosti treba da bude barem 4,00 cd/m^2.

U području izlaznih vrata preporuča se pojačano osvjetljenje u slučajevima kada je tunel u zoni izlaza pozicioniran direktno prema sunčevoj svjetlosti, što može da rezultira uslovima teške vidljivosti.

Ako je potrebno može da se primijeni i rasvjeta prije i poslije tunela, što se postiže upravljanjem iz kontrolnog centra tunela.

1.4.11.2 SISTEMI TUNELSKE RASVJETE

Rasvjeta ulaznih i izlaznih područja tunela mora biti opremljena CBL rasvjetom (indirektnom) uz ugrađene visokotlačne natrijeve žarulje. Natrijske svjetiljke visokog pritiska koji daju simetričnu rasvjetu, koriste se u unutrašnjosti tunela.

U postraničnim područjima koriste se halogene svjetiljke sa bijelim svijetlom.

Rasvjetna tijela nužne rasvjete napajaju se UPS sistemom preko vatrootpornih kablova.

1.4.11.3 PODEŠAVANJE TUNELSKE RASVJETE

1.4.11.3.1. Ulaz: inicijalna i prijelazna zona

Rasvjeta ulazne zone – inicijalna i prijelazna – treba da se podešava u odnosu na razliku u osvjetljenju između vanjštine i unutrašnjosti tunela. Osvjetljenje izvan i unutar tunela treba da se mjeri napravama za mjerenje drumskog osvjetljenja i osvjetljenja u ulaznog područja. Neprekidno se vrše fotometarska mjerenja unutar i izvan tunela, a kontrolne naprave neprestano upoređuju izmjerene veličine pa se prema njima podešava rasvjeta. Treba da se omogući ručno i automatsko podešavanja rasvjete tunela.

Podešavanje rasvjete u inicijalnim i prijelaznim područjima treba da ima pet nivoa (100%, 75%, 50%, 25%, 0%) ili nekoliko nivoa. U tu svrhu rasvjetna tijela treba da budu opremljeni odgovarajućim regulatorima osvjetljenja pomoću kojih se svijetlosni tok može smanjiti do 50%.

1.4.11.3.2. Unutrašnja zona

Rasvjeta unutrašnje zone treba da se reguliše prema gustoći sabraćaja i dobu dana. Podešavanje rasvjete u unutrašnjoj zoni treba da bude omogućenu na tri nivoa (100%, 50%, 25%). Rasvjetna tijela treba da budu opremljena odgovarajućim reugulatorima osvjetljenja pomoću koji svjetlosni tok može da se smanjiti do 50%.

Tuneli u kojima nije dozvoljen saobraćaj motornih vozila (tuneli za pješake i bicikliste) takođe trebaju da budu opremljeni rasvjetom koja omogućuje dovoljnu vidljivost potrebnu za normalno korištenje tunela.

1.4.11.4 MEHANIČKA KONSTRUKCIJA RASVJETNIH TIJELA

Rasvjetna tijela treba da imaju jednako kućište za sve tri zone rasvjete (ulaz, prijelaz, unutrašnjost), ako je to moguće. Rasvjetna tijela moraju biti smještena iznad puta, paralelno sa područjem saobraćaja i tako da se njihovo servisiranje može izvršiti zatvaranjem samo jedne saobraćajne trake.

Sve naprave, instalacija i oprema moraju se finalno obraditi na odgovarajući način za predviđene uslove okoline i upotrebe.

Kućište rasvjetnih tijela treba da je otporno na atmosferske uslove unutar tunela i treba da ima najmanje stepen zaštitni IP 65.

Nekorodirajući čelični lim i profili moraju biti iz litine Cr-Ni-Mo-Ti, kvalitet materijala br. 1.4571 po DIN 17440.

Nekorodirajući materijal za spajanje i ugrađivanje mora biti iz litine Cr-Ni-Mo kvalitet materijala, br. 1.4401 po DIN 17440 ili iz epoksidnih materijala odgovarajuće mehaničke nosivosti koji u pogledu odpornosti na požar odgovaraju standardu DIN 4102.

Aluminijeva litina, se upotrebljava ako je odobrena sa strane investitora kao konstrukcijski materijal i mora biti Al.Mg-Si 05 po DIN 1725 s čvrstoćom F25 i H14 po DIN 1748 za profile i Al.Mg3 po DIN 1725 za aluminijumski lim.

Aluminijeva litina je uvijek »peskarena«, kao što je u nastavku navedeno osim, ako nije isključivo drugačije navedeno.

Pocinkovani čelik se upotrebljava, ako je to isključivo određeno. Pocinkovani čelik se uvijek zaštićuje sa prevlakom iz cinka po vrućem postupku.

1.4.12 UPRAVLJANJE TUNELOM

1.4.12.1 OSNOVNI ZAHTJEVI

Sistem upravljanja tunelom treba da je zamišljen tako da je moguće ostvariti optimalne saobraćajne uslove na dijelovima puta gdje se nalaze tuneli, uz zadane postojeće i planirane uslove na tim dijelovima.

Upravljanje tunelom treba da planira postupke koji se tiču:

- Normalnih uslova rada;
- Održavanja ili predvidljivih vanrednih situacija (npr. vanredni transport);
- Nepredviđeni vanredni događaji (nesreće, vožnja u suprotnom smjeru, zaustavljena vozila…);
- Požar u tunelu;
- U sljedeće svrhe:
- Bolja bezbjednost saobraćaja;
- Povećani komfor i ekonomičnost prijevoza ljudi i dobara; i
- Direktno smanjenje štetnog uticaja na okolinu.

1.4.12.2 FUNKCIJE SISTEMA UPRAVLJANJA TUNELOM

Glavne funkcije sistema upravljanja tunelom, koje su i interaktivno povezane, jesu redom:

- Sakupljanje (zamjećivanje) podataka o saobraćaju i okolini koji se tiču vanrednih događaja ispred i unutar tunela (saobraćajne nesreće, požari, rad na održavanju, kvalitet vazduha unutar tunela…);
- Upravljanje za vrijeme vanrednih događaja;
- Kontrola trenutačnog stanja saobraćaja ispred i unutar tunela korištenjem komunikacionih naprava (trobojni semafori, jednobojni semafori – bljeskalice, promjenjivi znakovi obavještenja o saobraćaju – CTIS, radio, SOS, video nadzor, zvučni sistem…);
- Upravljanje ventilacijom (ako postoji);
- Upravljanje rasvjetom (danju, noću, u slučaju nužde …);
- Osiguranje električnoga napajanja (iz mreže ili nužnih izvora);
- Upravljanje protokom saobraćaja i informisanje korisnika drumske mreže izvan i unutar tunela.

U slučaju da je sistem upravljanja tunelom dio nekog šireg sistema (npr. sistem za kontrolu i upravljanje autoputeva ili drugih puteva), treba da bude u komunikaciji i povezan sa drugim sistemima.

Sistem će pružati kontrolu i upravljanje saobraćajem kada:

Saobraćajne karatkeristike dosegnu kritične nivoe (unutar tunela ili u zoni gdje se tunel nalazi);

Uslovi u okolini ugrožavaju bezbjednost korisnika puta (slaba vidljjivost, prevelika koncentracija CO …);

Kad se predviđeni i nepredviđeni događaji pojave na putu (radovi na cesti, saobraćajne nesreće, požari …).

1.4.12.3 PODACI PRIKUPLJENI MJERENJIMA

Mjerne naprave za prikupljanje podataka o saobraćaju i okolini treba da budu postavljene na mjestima koja omogućavaju pregled stvarne situacije u saobraćaju uzduž cijeloga tunela. Posebna pažnja treba da se posveti ulaznim i izlaznim zonama tunela:

- Mjerne naprave za sakupljanje podataka o saobraćaju (u stvarnom vremenu) trebaju dati: podatke o broju (brojanje), podatke o brzini vozila, struktura saobraćaja za svaku saobraćajnu traku;
- Mjerne naprave za skupljanje podataka o okolini: prijavljivanje požara, mjerenje CO i vidljivost, longitudinalna brzina vazduha u tunelskoj cijevi, informacije o vremenskim uslovima izvan tunela, u mjeri u kojoj oni mogu da utiču na saobraćajne uslove unutar tunela.

Mjerne naprave za sakupljanje podataka o okolini treba da budu smještene unutar cijevi tunela i nišama (udubine u zidu) kao i u energetskim stanicama te u području od uticaja izvan tunela.

1.4.12.4 UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM UNUTAR TUNELA

Sistem upravljanja saobraćajem unutar tunela sastoji se od:

- Znakova obavijesti o saobraćaju;
- Trobojnih semafora, jednobojnih semafora – bljeskalica;
- Promjenjivih znakova obavijesti o saobraćaju (CTIS) (višenamjenskih);
- Promjenjivih saobraćajnih znakova (CTS); (višenamjenskih)
- Kontrolnog sistema upravljanja (CMS);
- Mreže za prijenos podataka;
- Centra za upravljanje tunelom (TMC).

Znakovi obavijesti o saobraćaju trebaju imati prikaz sadržaja, koji je prilagođen trenutnoj situaciji na cesti; moraju i omogućavati upravljanje protokom saobraćaja i informisati korisnike ispred i unutar tunela.

Veličina, osvjetljenost i položaj obavjesnih saobraćajnih znakova u vezi sa njihovom lokacijom (vrata tunela, rub tunelske cijevi) omogućit će najveću moguću vidljivost znakova pri najvišim dozvoljenim brzinama vozila u svim uslovima okoline.

Kontrolori kontrolnog sistema upravljanja treba da na odgovarajući način obrade podatke sakupljene pomoću mjernih naprava za saobraćaj i okolinu, da saobraćaju sa ostalim naprava u sistemu upravljanja, da upravljaju obavjesnim saobraćajnim znakovima, rasvjetom i ventilacijom.

Mreža za prijenos podataka mora da omogući sljedeće:

- Prijenos skupljenih podataka o saobraćaju i okolini (u stvarnom vremenu) iz mjernih naprava do centra za upravljanje tunelom;
- Prijenos tih podataka iz cent(a)ra upravljanja tunelom do obavjesnih saobraćajnih znakova, koji tada prikazuju određene saobraćajne sadržaje u slučaju ručnog ili automatskog dejstva sistema;
- Povezivanje sa višim nivoima kontrole i upravljanja saobraćajem na autocestama (regionalna kontrola saobraćaja i upravljački centar na cesti);
- Povezivanje sa ostalim informacionim sistemima (glavna kontrola saobraćaja i upravljački centar na cesti).

Mrežni i pojedini elementi sistema moraju da koriste uniformni protokol za komunikaciju, koji takođe omogućava nadogradnju sistema novim napravama.

Centri upravljanja tunelom (TMC) treba da budu prilagođeni lokalnim okolnostima i zahtjevima u odnosu na tunele kojima se upravlja. Moraju neprekidno da primaju, analiziraju, pohranjuju i prikazuju podatke iz mjernih naprava i ostalih informacionih sistema; ti podaci mogu da budu u tekstualnom, digitalnom audio ili video formatu. TMC mora da posjeduje sistem za mjerenje vremena i upozoravanje u slučaju kritičnih situacija u saobraćaju, sisteme predviđanja simulacije saobraćaja i vanrednih događaja, te sistem za alarmisanje hitnih službi (policijskih spasilačkih službi, vatrogasaca, medija …).

1.4.12.5 UPRAVLJANJE U VANDREDNIM OKOLNOSTIMA

U tunelima mogu da se očekuju i predviđeni vanredni događaji (npr. radovi na održavanju, vanredni transport) i nepredviđeni vanredni događaji (nesreće, vožnja u suprotnom smjeru, zaustavljena vozila, požari…).

U slučaju da dođe do vanrednog događaja u tunelu, sistem, uz automatsko (ako je instalisan), mora da omogući i ručno preduzimanje odgovarajućih mjera upravljanja tunelom i informisanja korisnika (saobraćajne nesreće, radovi na održavanju).

U slučaju zatvaranja tunela (jednocjevnog tunela, dvosmjerni saobraćaj), na ulaznom platou treba da je predviđeno posebno područje za spašavanje sudionika u vanrednom događaju, te takođe područje za slijetanje helikoptera kod tunela za koje je posebna studija predvidila tu potrebu.

1.4.12.5.1. Sistemi nadziranja tunela

Sistemi kontrole tunela i sigurnosne naprave treba da se planiraju u skladu sa Direktivnom EU (tabela opreme je navedena u dodatku 2).

1.4.12.5.1.1 SOS pozivni sistem

SOS telefoni moraju da se postave ispred ulaza i u tunelu na međusobnom rastojanju od 150 m uzduž jedne strane cijele cijevi tunela.

SOS telefoni u tunelu moraju da se postave u niše i da se zatvore pomoću vrata. SOS telefoni blizu ulaza trebaju biti na stupovima udzuž ceste van tunela ili u specijalnim kabinama.

SOS sistem treba da bude povezan sa komandnim centrom.

1.4.12.5.1.2 Video nadzor (CCTV- televizija zatvorenog kruga)

Sistem video nadzora mora da bude postavljen u tunele duže od 500 m.

Video praćenje omogućava operaterima u komandnom centru da konstantno prate situaciju u cijelom tunelu i u područjima obih ulaza. Kamere u tunelu trebaju da budu statične, dok u područjima vrata moraju da budu okretljive i opremljene objektivom za zumiranje. Kamere unutar tunela trebaju da se pozicionišu tako da omogućavaju optimalni pregled situacije u tunelu te na takvim udaljenostima koje omogućavaju nadogradnju sistema video praćenja sistemom za automatsku detekciju vanrednih događaja.

U vanrednim događajima, SOS pozivima ili požarnim alarmima, slika na ekranu u kontrolnom centru treba da se automatski prebaci na kameru na dotičnoj lokaciji.

1.4.12.5.1.3 Automatska detekcija vanrednih događaja

Postavljanje opreme za automatsko otkrivanje izvanrednih događaja preporuča se u tunelima dužim od 1000 m na cestama iz tehničke grupe A.

1.4.12.5.1.4 Tunelski radio uređaji

U tunelima dužim od 500 m treba da se postavi radio sistem koji omogućava komunikaciju na odvojenim frekvencijama za hitne službe (policiju, vatrogasce, spasilačku službu) i službu održavanja, te za nacionalnu radijsku stanicu sa mogućnošću komunikacije direktno u njen program iz komandnog centra.

1.4.12.5.1.5 Zvučni sistem

Tunelima dužim od 1000 m sa cestama iz tehničke grupe A preporuča se instalacija zvučnika postavljenih na lokacijama koje omogućavaju dobar prijem u slučajevima izvanrednih događaja (npr. na ulaznom/izlaznom i u zonama sklanjanja).

1.4.12.5.1.6 Saobraćajni znakovi i signali

Saobraćajni znakovi moraju biti postavljeni u skladu sa zahtjevima koje je navela Direktiva EU. Deskripcija i zahtijevani oblici ispisani su na dodatku 3.

Veličina saobraćajnih znakova mora biti ograničena prostorom između zida tunela i kolnika, općenito do 50 cm.

1.4.12.5.1.7 Transport opasnih materija

S obzirom na transport štetnih materija moraju se da se preduzeti sljedeće mjere:

- Znakovi koji opisuju dozvoljene i zabranjene tvari moraju da se postave ispred zadnjeg izlaza prije tunela;
- Mora se napraviti analiza rizika gdje su navedene mjere kod transporta štetnih materija (potvrda o dozvoli za ulazak u tunel, stvaranje konvoja vozila, istovremeni transporti…);
- Prilagođeno upravljanje tunelom za transport štetnih materija.

1.4.12.5.1.8 Rastojanje među vozilima

Minimalno bezbjedonosno rastojanje od prednjeg vozila, koje se primjenjuje za cestovne korisnike pri maksimaloj dozvoljenoj brzini jest 50 metara za lična vozila i 100 metara za teške kamione, a sve pod normalnim uslovima vožnje i u slučajevima defekta, gustog saobraćaja, nesreća ili vatre u tunelu.

U slučajevima kada saobraćaj unutar tunela stane, primjenjivo bezbjedno rastojanje treba da bude ekvivalentno barem polovičnom rastojanju koje je gore navedeno.

1.4.12.5.2. Postrojenja za bezbjednost tunela

1.4.12.5.2.1 Izlazi i putevi za slučaj nužde

Treba da se omogući mogućnost evakuacije korisnika tunela u slučajevima nesreća ili požara.

Tada putnicima treba da se omogući napuštanje tunela bez njihovih vozila kroz:

- Izlaze iz tunela prema van;
- Transverzalne veze sa drugom cijevi tunela;
- Izlaze za sigurnost (opcionalno i do ispitnoga ili istraživačkog iskopa druge cijevi tunela);
- Skloništa sa spasonosnim putevima koji su odvojeni od tunelskih cijevi.

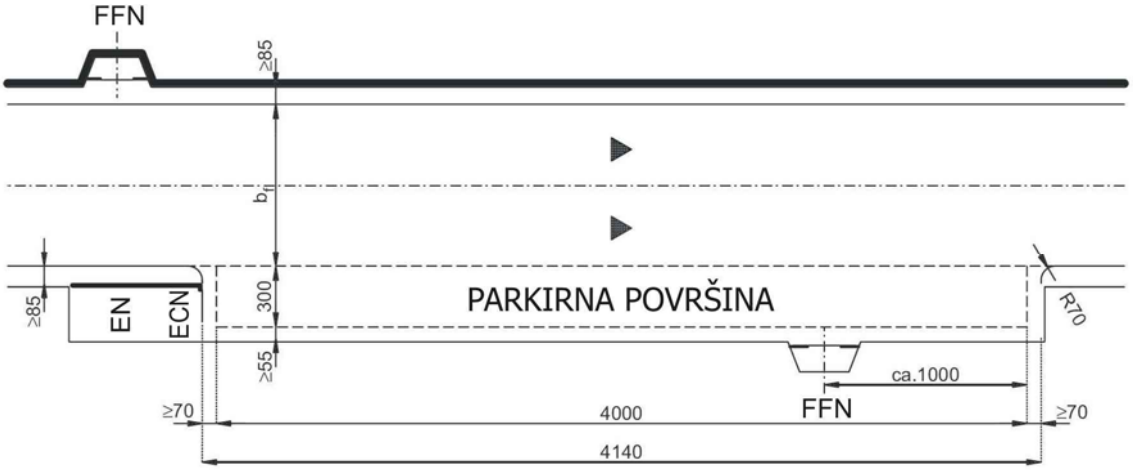
Skloništa bez izlaza do evakuacionih poteva koji vode do otvorenoga prostora, ne smiju se graditi.

Mjere na ulazima u nužne izlaze (vrata) moraju spriječiti širenje dima i topline prema izlazima za nuždu, kako bi korisnici tunela mogli da se bezbjedno sklone, a spasilački timovi sigurno da uđu u tunel.

1.4.12.5.2.2 Zone sklanjanja

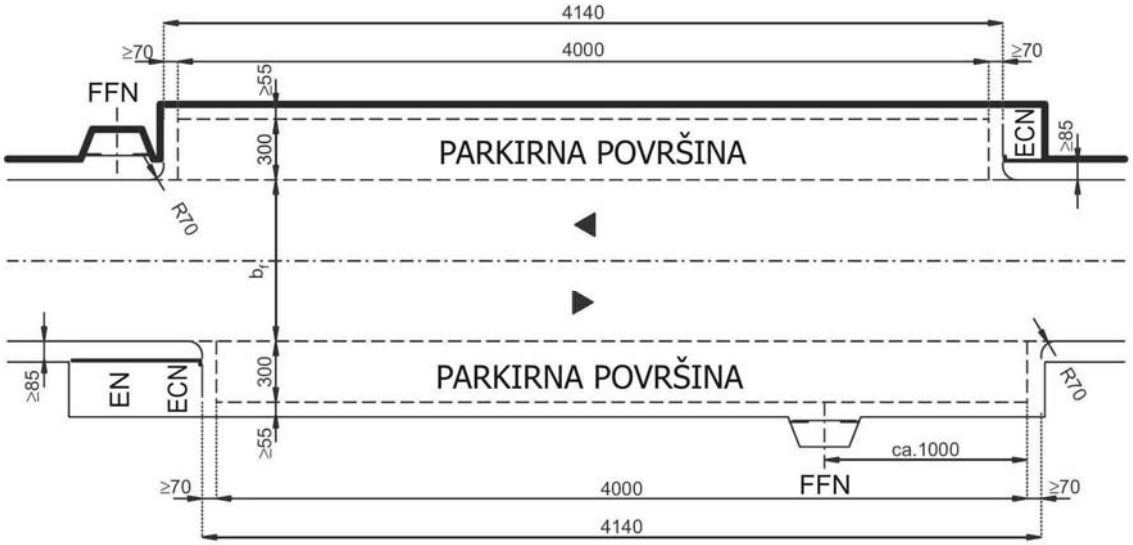
U tunelima dužim od 1000 m treba da se implementiraju zone sklanjanja, za svrhu zaustavljanja u slučajevima nužde ili radi održavanja. Zona sklanjanja treba da ugrubo bude dugačka 40 m i barem 2,5 m široka (Slike 16-21). Udaljenost između zona sklanjanja u dugim tunelima ne smije da pređe 1000 m.

Niše za SOS pozive takođe trebaju da budu uključene u zone sklanjanja.



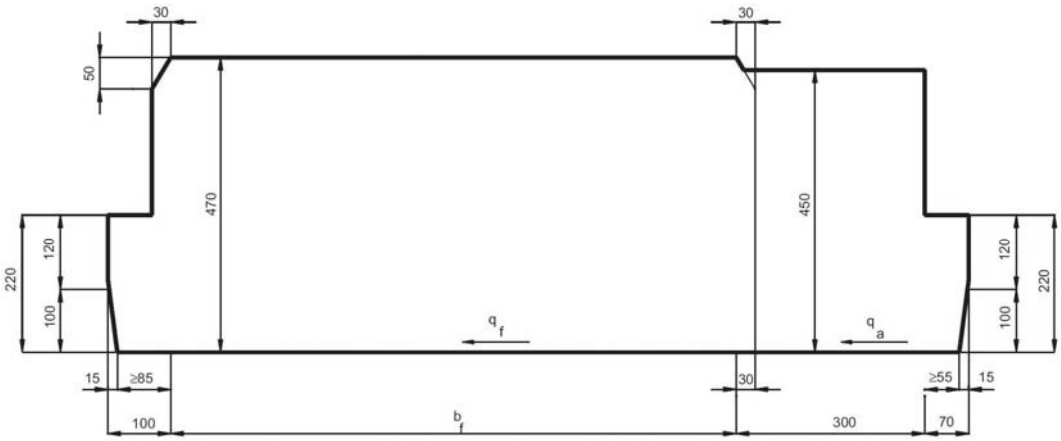
(FFN - protupožarna niša, EN - električna niša, ECN - niša za pozive u nuždi)

Slika 16: Parkirna niša u jednosmjernom tunelu – tlocrt

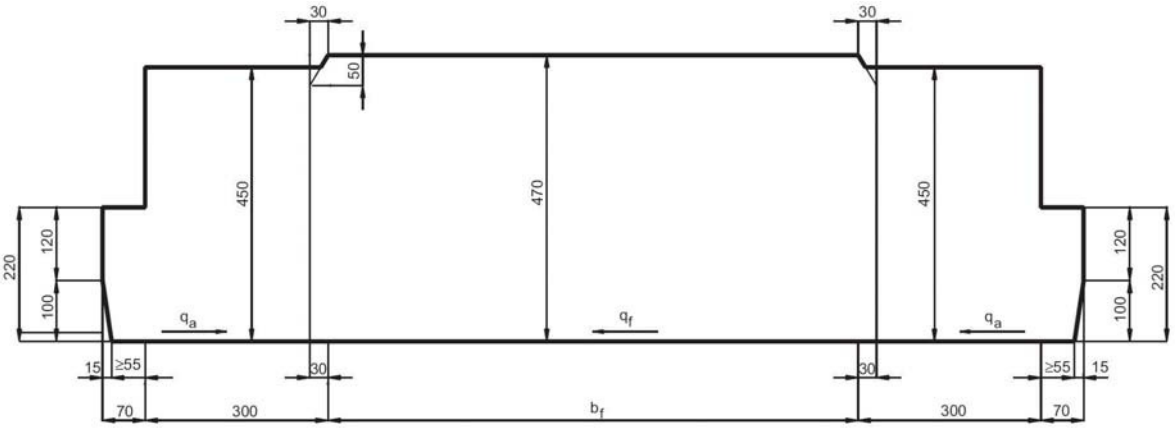


(FFN - protupožarna niša, EN - električna niša, ECN - niša za pozive u nuždi)

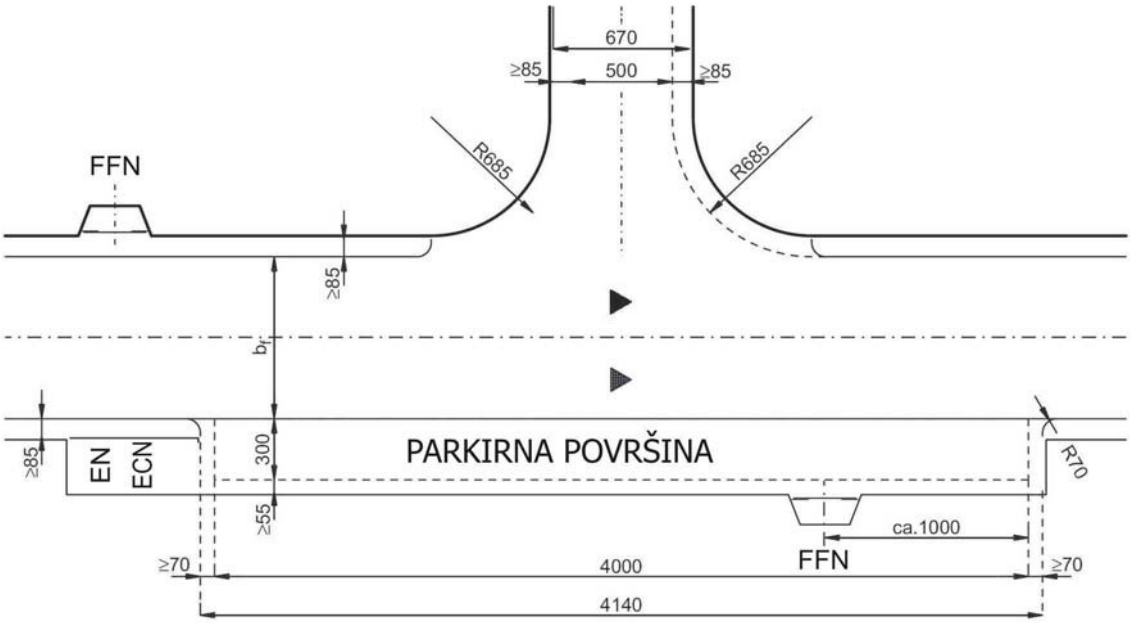
Slika 17: Parkirna niša u dvosmjernom tunelu – tlocrt



Slika 18: Profil razmaka područja parkirne niše pri jednosmjernom saobraćaju

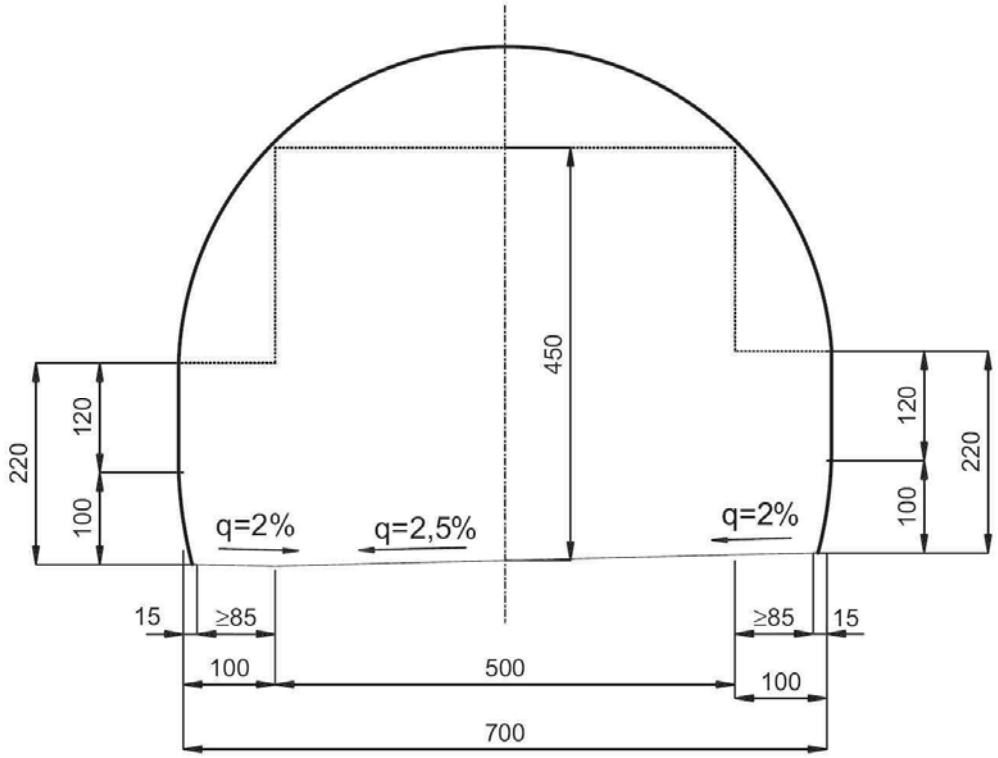


Slika 19: Profil razmaka područja parkirne niše pri dvosmjernom saobraćaju



(FFN - protupožarna niša, EN - električna niša, ECN - niša za pozive u nuždi)

Slika 20: Veza poprečnih prolaza za vozila – tlocrt



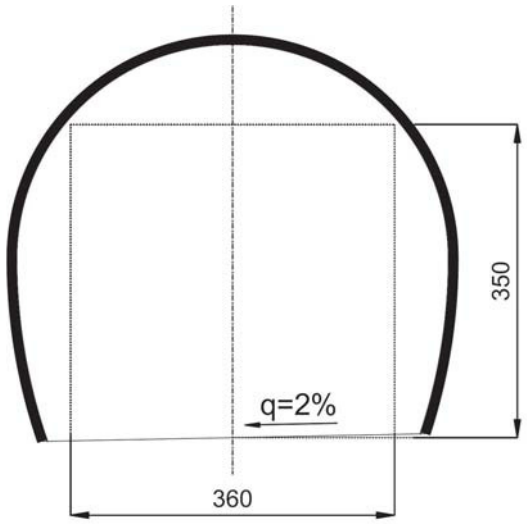
Slika 21: Povezanost poprečnih prolaza za vozila u slučaju nužde – tlocrt

1.4.12.5.2.3 Poprečni pješački prijelazi u tunelima

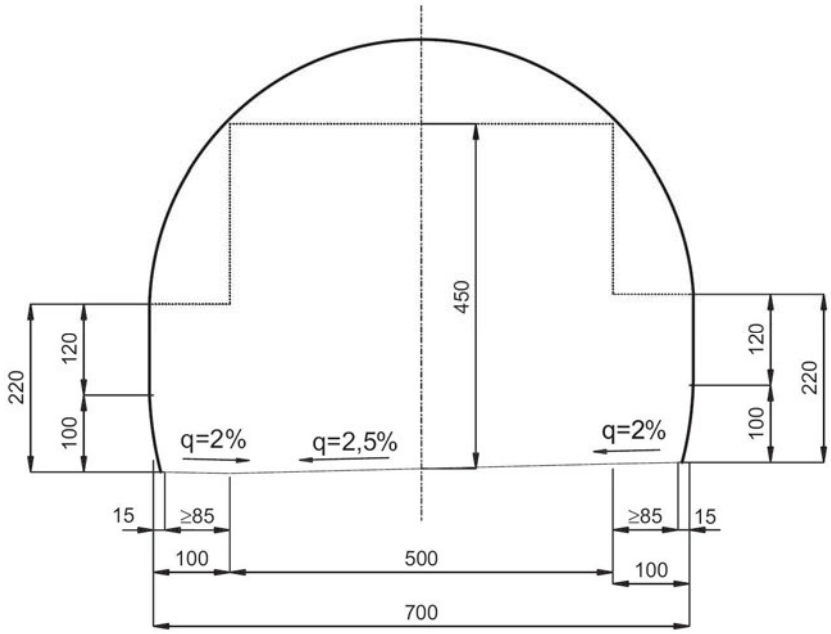
Poprečni pješački prelazi u tunelima moraju moraju da budu predviđeni kod svih tunela dužih od 1000 m, i to zbog moguće nužde i za svrhe održavanja. Udaljenost između poprečnih pješačkih prijelaza ne smije da pređe 500 m.

1.4.12.5.2.4 Poprečni prijelazi za vozila

Poprečni prelazi za vozila trebaju da budu predviđeni za sve tunele duže od 2000 m. Obično su takvi prelazi postavljeni na svakoj drugoj zoni sklanjanja ili na svakom trećem transverzalnom nosivom stupu (maks. 1500 m). Ovi prelazi omogućavaju da sva vozila napuste područje tunela kroz drugu tunelsku cijev u slučaju nužde.



Slika 22: Poprečni prijelazi za vozila u slučaju nužde – poprečni presjek



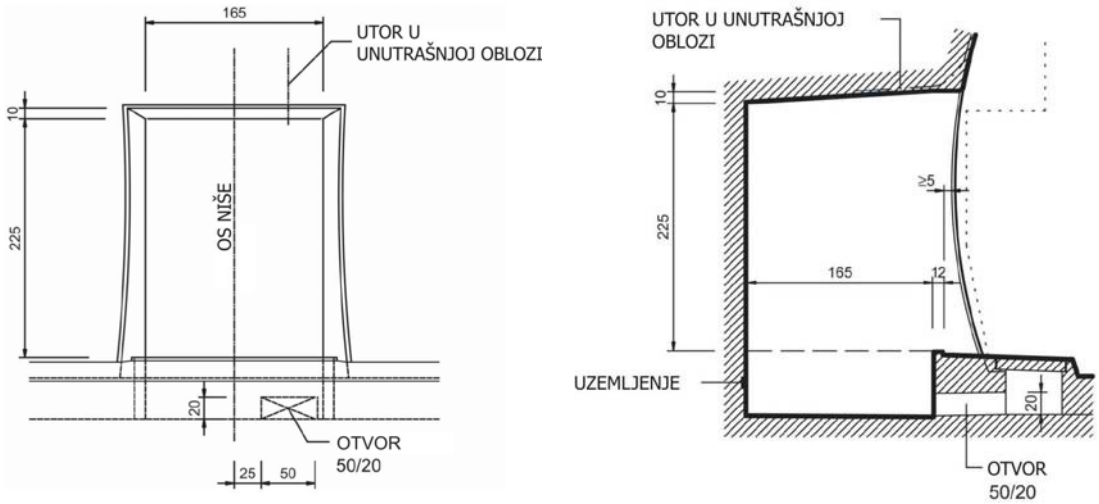
Slika 23: Poprečni prolazi za sva vozila – poprečni presjek

1.4.12.5.2.5 Niše za SOS pozive

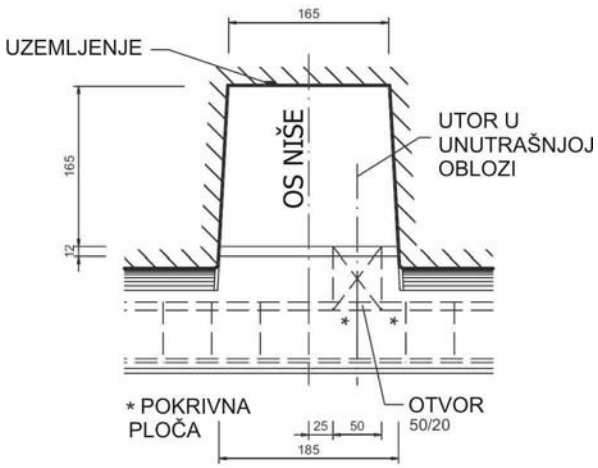
Lokacija niša za SOS poziva treba da bude predviđena tako da njihovo međusobno rastojanje ne bude veće od 150 m a njihova udaljenost portala ne bude majna od 200 m.

Dimenzije zona sklanjanja, protupožarnih niša, niša za SOS pozive i transverzalnih prijelaza treba da budu u skladu sa zahtjevima određenima u *Direktivi*.

Dimenzije i izgled niša za pozive u slučaju nužde:



Slika 24: Niša za pozive u slučaju nužde – nacrt i bokocrt (poprečni presjek)



Slika 25: Niša za pozive u slučaju nužde – tlocrt

1.4.12.5.2.6 Električno napajanje

Glavno napajanje tunela

Napajanje tunela treba da bude planirano ekonomično. Dugački tuneli ili sistem nekoliko tunela će da se napaja kroz dva neovisna izvora, od kojih je svaki u mogućnosti da napaja cijeli sistem tunela. Jedan izvor biti će dovoljan za kraće tunele.

Napajanje u slučaju nužde

U slučajevima kvarova napajanja, sistem za neprekidno napajanje (UPS) će da spriječi pojavu zamračenja ili prekida u kontroli tunela.

UPS se sastoji od usmjerivača, pretvarača i akumulatorske baterije, a treba da omogući rad komandnog centra, sistema kontrole upravljanja i bezbjednosnih naprava (saobraćajnih znakova, bezbjednosne rasvjete) tunela na barem jedan čas. UPS treba da bude implementiran u svim centralama za napajanje / energetskim postajama tunela.

1.4.12.6 PROTUPOŽARNA BEZBJEDNOST U TUNELIMA

Za potrebe protupožarne bezbjednosti tuneli treba da budu opremljeni protupožarnim alarmima i sistemima. Oni treba da se planiranju u skladu sa zahtjevima iz europske *Directive*.

Vatrootpornost opreme mora da bude na 400°C za 20 minuta i mora da bude u operativnom stanju u vrijeme požara.

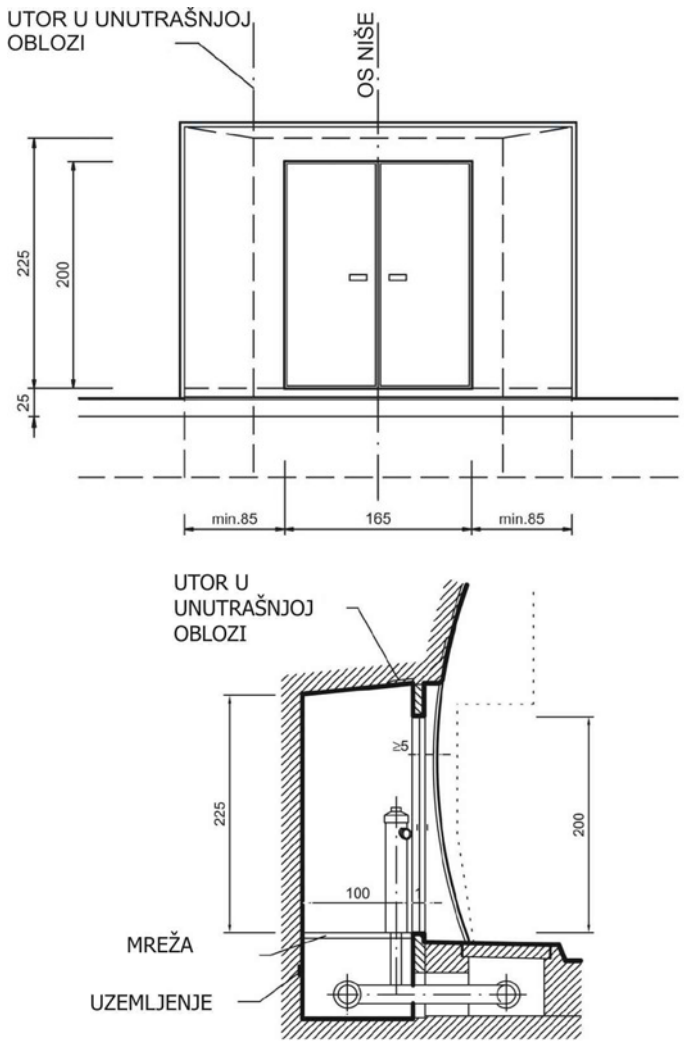
1.4.12.6.1. Hidrantna mreža

U tunelima dužim od 500 m – ili u skladu sa zahtjevima *Direktive* s obzirom na analizu rizika – protupožarni sistem treba da ima cjevovod pod pritiskom i hidrante sa pouzdanom vodoopskrbom uzduž cijelog tunela. Cjevovod pod pritiskom treba biti postavljen u instalacionom kanalu ispod trotoara. Kod tunela sa dvije cijevi, cjevovodi pod pritiskom u obije cijevi trebaju da budu spojeni na zajednički vodeni sistem. Vodeni pritisak u hidrantima treba da bude između 6 i 12 bara. Cjevovod pod pritiskom treba da bude spojen sa lokalnim sistemom vodoopskrbe ili sa vodenim rezervoarom. Dimenzije vodenog rezervoara i pritisak cjevovoda dovoljni su za postizanje neprekidnog protoka od 1200 l/min u vremenu od barem jednog časa.

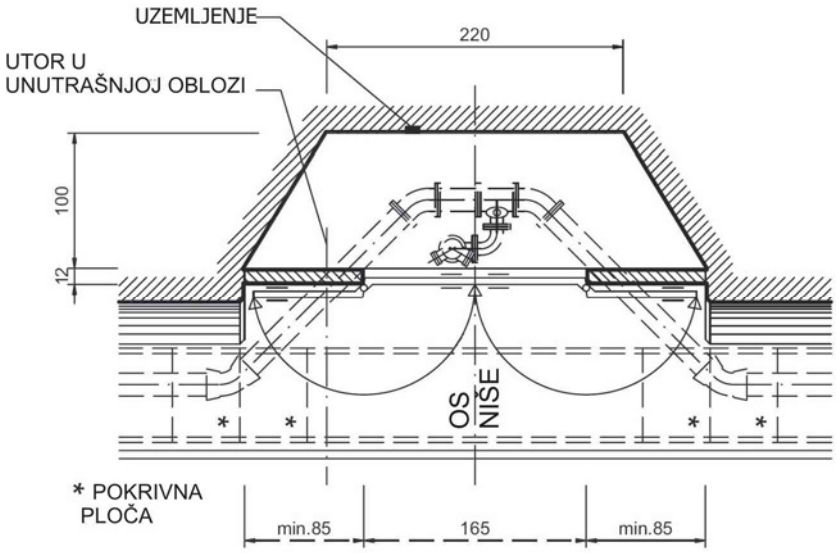
Protupožarne niše treba da se postave u odstojanju ne većem od 150 m uzduž cijelog tunela. One moraju da budu povezane sa cjevovodom i opremljene sa 120 m dugačkim crijevom i mlaznicom.

Ako je prikladno korištenje sistema za automatsko gašenje požara u cestovnim tunelima, mogućnost njihove instalacije treba da se istraži.

Dimenzije i izgled protupožarne niše:



Slika 26: Protupožarna niša – nacrt i poprečni presjek



Slika 27: Protupožarna niša – tlocrt

1.4.12.6.2. Prenosivi ručni aparati za gašenje

Prenosivi ručni aparati za gašenje se postavljaju u svim tunelima radi trenutačnog gašenja malih požara. Dva prenosiva ručna aparata treba da se postave u svaku nišu za SOS pozive. Signali koji uključuju protupožarni aparat će da ugase protupožarni alarm.

1.4.12.6.3. Vatrodojavni sistemi

U svakoj niši za SOS pozive i blizu vrata tunela treba da se postavi ključ za protupožarni alarm – ručna naprava za vatrodojavu.

Mora se predvidjeti ugradnja Automatskog vatrodojavnog sistema (linijski vatrodojavni uređaj) u tunele duže od 500 m i treba da uključi opciju određivanja lokacije požara.

Automatski detektori dima moraju da se postave u sve niše za napajanje, niše za SOS pozive, centrale za napajanje i u komandni centar.

Signal protupožarnog alarma mora odmah da aktiviše protupožarni program i prijavit će se komandnom centru iz kojeg će da se uzbune kompetentne službe sukladno Planu informisanja i uzbunjivanja.

1.4.13 ORGANIZACIJA RADA TUNELA

1.4.13.1 PLAN RADA TUNELA

Tokom inicijalnog ili detaljnog planiranja, mora da se izradi plan rada tunela koji će imati odgovore na sve predvidive situacije koje mogu da se pojave za vrijeme rada tunela. Takav plan mora da navede metod upravljanja tunelom s obzirom na bilo kakve podatke o saobraćaju i okolini koje sistem otkrije i obradi. Rad sistema tunela u normalnim uslovima rada i u uslovima standardnih slučajeva nužde mora da se reguliše automatski pomoću lokalnih jedinica upravljanja pojedinim sistemima (rasvjeta, ventilacija, saobraćajni znakovi, vatrodojava, itd.).

Svi podaci koji su zabilježeni pomoću lokalnih kontrolnih jedinica, prenijet će se do centra upravljanja tunelom (TMC) pomoću sistema prijenosa podataka.

Plan rada tunela treba da uključuje procedure za:

- Normalne uslove rada;
- Održavanje i druge predvidive situacije u tunelu (vanredni transport…);
- Nepredvidive događaje u tunelu (nesreće, požari).

Svi podaci koji se tiču trenutačnog rada tunelskih sistema prikazuju se na ekranima u centru kontrole upravljanja, nakon prethodne kompjutorske obrade. Operateri imaju neprestan uvid u trenutne uslove svih tunelskih sistema i mogućnost ručnog upravljanja pomoću kompjutera bilo kojom napravom. Svi podaci o radu naprava i sistema u tunelu neprestano se bilježe i pohranjuju u kompjuter.

Uz kompjutersko praćenje, centar upravljanja tunelom ima i monitore video sistema, sistem SOS poziva i radio stanicu za osoblje održavanja i opremu radijskog sistema tunela.

U slučaju bilo kakvih kvarova na sistemu veza i prijenosa signala između tunela i upravljačkog centra, upravljanje tunelom se prebacuje na lokalne jedinice upravljanja.

1.4.13.2 ULOGE POJEDINIH SERVISA

1.4.13.2.1. Administrativna tijela

Treba da se ustanovi ***administrativno tijelo***, koja će da bude odgovorno za sigurnosne aspekte u tunelima i usvajanje potrebnih mjera za implementaciju zahtjeva iz *Direktive* EU.

Administrativno tijelo može da bude ustanovljeno na nacionalnom, regionalnom ili lokalnom nivou.

Svaki tunel smješten u pojedinoj zemlji treba da bude pod kompetencijom određene administrativne vlasti. Kada se govori o tunelima smještenim u dvije zemlje, svaka država može da ustanovi svoje administrativno tijelo ili obje zemlje mogu da ustanove jedno zajedničko.

Administrativno tijelo ima kompetenciju ograničavanja korištenja tunela ako se bezbjednosni uslovi pokažu kao nezadovoljavajući. Ono prepisuje mjere na bazi kojih se uspostavlja normalno funkcionisanje tunela.

Zadaci administrativnog tijela su:

- Redovno testiranje i ispitivanje tunela i propisivanje odgovarajućih mjera o tome;
- Stavljanje u upotrebu organizacionih i operacionih shema (uključujući i planove rada u slučaju vanrednih događaja) za treniranje servisa za nuždu;
- Navođenje procedura za zatvaranje tunela u slučaju vanrednih događaja;
- Ustanovljavanje odgovarajućih mjera za smanjenje rizika.

S obzirom na organizacioni nivo, administrativno tijelo će radi koordinacije i kontrole upravljanja nesrećama u izvanrednim događajima u tunelima činiti sljedeće:

- Navoditi zahtjeve za inspekcije tunela s naglaskom na bezbjednost;
- Kotrolisati organizacione i operativne programe (uključujući planove rada u slučajevima nužde) za treniranje čuvara i korištenje bezbjednosnih mjera;

- Definisati zadaće čuvara;
- Kontrolisati i usvajati zahtijevane mjere za smanjenje rizika;
- Zatvarati tunele za vrijeme vježbi slučajeva nužde i požarnog testiranja.

1.4.13.2.2. Upravnik tunela

Upravnik tunela (entitet u državnom ili privatnom vlasništvu) treba da se odredi za svaki tunel i koji će da bude odgovoran za upravljanje tunelom, u pogledu planiranja, implementacije ili faze rada. I administrativno tijelo može da ima takvu funkciju.

Svaki značajan predviđen ili nepredviđen događaj mora da bude predmetom izvještaja upravnika tunela. Izvještaj treba da bude proslijeđen, unutar mjesec dana, inženjeru za bezbjednost, administrativnom tijelu i kompetentnim servisima za nuždu.

Ako upravnik tunela dobije izvještaj koji uključuje analizu okolnosti izvanrednog događaja ili zaključak koji proizlazi iz tog izvještaja, treba da ga preda administrativnom tijelu, inženjeru za bezbjednost i servisima za nuždu unutar mjesec dana od primanja tog dokumenta.

1.4.13.2.3. Inženjer za bezbjednost

Upravnik tunela treba da odredi ***inženjera za bezbjednost*** za svaki tunel koji je podložan prethodnom odobrenju administrativnog tijela.

Inženjer za bezbjednost mora da koordiniše sve bezbjednosne mjere kako bi se omogućila bezbjednost korisnika i tunelskog personala. Takva ličnost može da bude član tunelskog personala ili servisa nadležnog za dejstva u slučaju vanrednih događaja, ali treba da bude nezavisan od svih servisa odgovornih za bezbjedni rad tunela.

Inženjer za bezbjednost može da bude određen za nekoliko tunela u regionu.

Svaki inženjer za bezbjednost treba da izvršava nekoliko funkcija:

- Obezbjeđuje koordinaciju organizacije servisa za slučaj nužde te kooperaciju u pripremi radnih shema;
- Sarađuje u planiranju, implementaciji i ocjenjivanju nužnih operaciaj;
- Saradnja u pripremi bezbjednosnih shema i opisa (specifikacija) konstrukcija, opreme i rada za nove tunele kao i za rekonstrukciju već postojećih;
- Provjera da li su personal (operateri) i nuždni servisi adekvatno uvježbani i da li dovoljno sarađuju u planiranim vježbama;
- Saradnja u izboru konstrukcije, opreme i rada tunela;
- Provjeravanje da li se instalacije i oprema tunela pravilno održavaju;
- Saradnja u procjeni svih značajnih vanrednih događaja, te posebno pristup i pohranjivanje podataka u slučaju požara, a zatim predaja tih podataka administrativnom tijelu u dovoljno detaljnoj razradi.

1.4.13.2.4. Inspekcioni servisi

Inspekcioni servisi vrše nadzor, procjenu i ispitivanje. I administrativno tijelo može da preuzme ove zadatke. Svaki servis koji izvodi ove zadatke mora da ima dovoljnu stručnost i visok nivo kompetentnosti te mora da bude nezavisan od upravnika tunela.

1.4.13.3 DOKUMENTACIJA, PUŠTANJE TUNELA U RAD I PLANIRANO VJEŽBANJE

1.4.13.3.1. Bezbjednosna dokumentacija

Upravnik tunela mora cijelo vrijeme da čuva bezbjednosnu dokumetaciju za svaki tunel. Kopija bezbjednosne dokumentacije proslijeđuje se inženjeru za bezbjednost.

Bezbjednosna dokumentacija mora da uključuje preventivne i zaštitne mjere za pružanje bezbjednosti ljudima, uzimanjem u obzir karakteristike ceste, konfiguraciju konstrukcija, njihovog okruženja, karatkeristike saobraćaja i područja aktivnosti vanjskih servisa u nuždi.

U fazi projektovanja tunela, bezbjednosna dokumentacija mora da sadrži sljedeće:

- Opis planiranih konstrukcija i pristup njima, zajedno sa planovima potrebnim za razumijevanje njihovoga projekta i predviđenih priprema za funkcionisanje tunela;
- Studije predviđanja saobraćaja koje ustanovljuju i objašnjavaju razloge za uslove koji se očekuju u transportu štetnih tvari, zajedno sa koMprativnom analizom opasnosti, koje mogu da se pojave u raznim aranžmanima takvih transporta;
- Studija o posebnim opasnostima koja opisuje bilo kakve nesreće, koje mogu da se dogode za vrijeme rada tunela te karakteristikama i opsegu njihovih mogućih posljedica; takva studija mora da definiše i potkrijepi mjere za smanjenje vjerovatnosti takvih nesreća i njihovih posljedica;
- Mišljenje o bezbjednosti od strane stručnjaka ili organizacije specijalizovane na tom polju.

Kod tunela koji su trenutačno u izgradnji, bezbjednosna dokumentacija treba da takođe uključuje sve mjere koje pružaju bezbjednost ljudi koji rade na terenu.

Bezbjednosna dokumentacija za tunel u pogonu mora da uključuje sljedeće:

- Opis izgrađenog tunela i pristup ka njemu, zajedno sa potrebnim planovima za razumijevanje projekta i operativnih rješenja.;
- Analiza postojećeg saobraćaja i predviđene promjene, uključujući i uslove primjenjive za transport štetnih materija;
- Posebne studije o opasnostima, opis nesreća koje mogu da se pojave za vrijeme rada tunela, te karakteristike i opseg potencijalnih posljedica, takve studije moraju da definišu i potkrijepe mjere za smanjenje vjerovatnosti takvih nesreća i njihovih posljedica;
- Opis organizacije, potrebnih ljudskih resursa i materijala kao i upute upravnika tunela, sve radi obezbjeđenja rada i održavanja tunela;
- Plan aktivnosti i bezbjednosti koji je pripremljen u saradnji sa servisima za nuždu;
- Opis sistema neprekinutih povratnih informacija o iskustvima u kojima mogu da se zabilježe i prouče značajni vanredni događaji i nesreće;
- Izvještaj i analiza značajnih vanrednih događaja i nesreća;
- Listu izvršenih vježbi bezbjednosti i analiza rezultata.

Odgovarajući administrativni servis mora da, prije prvog otvaranja tunela za javnost (puštanja tunela u rad) i nakon bilo kakvih značajnih promjena u konstrukciji ili radu ili zbog obuhvatnije rekonstrukcije koja može značajno da promjeni neki od konstitutivnih dijelova bezbjednosne dokumentacije, u dodatku gore navedenoj dokumetaciji, on takođe mora da odobri analizu provedeno od strane stručnjaka ili organizacije specijalizovane za bezbjednost cestovnih tunela, u kojoj su odobrene mjere iz ove dokumentacije s obzirom na bezbjednosne uslove.

1.4.13.3.2. Planirane vježbe

Upravnik tunela mora, u saradnji sa inženjerom za bezbjednost, barem jednom godišnje da organizuje planirane vježbe za zaposleni personal u tunelu i za servise za nuždu.

Vježbe moraju da budu:

- Što je moguće više realističnije, i treba da budu u skladu sa definisanim scenarijima vanrednih događaja;
- Daju jasne rezultate;
- Provedene u saradnji sa stručnjacima za održavanje i sa servisima za nuždu, uz sprečavanje oštećenja tunela i smanjenje na minimum uticaja na protok saobraćaja;
- Po mogućnosti mogu dijelom da se provedu u tabličnoj formi ili kao kompjuterska simulacija, što će dati komplementarne rezultate.

Inženjer za sigurnost treba da nadgleda takve vježbe, pripremi izvještaj i ako je potrebno, da podnese odgovarajuće prijedloge upravniku tunela koji tada mora da preduzme odgovarajuće korake s tim u skladu.

1.4.13.4 VANREDNI DOGAĐAJI U TUNELU

1.4.13.4.1. Radovi u tunelu

Djelimično ili poptuno blokiranje saobraćajnih traka zbog izgradnje ili radova na održavanju koji su unaprijed planirani, uvijek moraju da započnu i da završe izvan tunela. Korištenje semafora unutar tunela zbog planiranih blokada nije dopušteno, osim u slučaju vanrednih događaja/nesreća.

Blokada saobraćajnih traka mora da se naznači prije ulaska ceste u tunel. U tu svrhu mogu da se koriste i saobraćajni znakovi obavještenja, semafori i mehaničke prepreke.

1.4.13.4.2. Upravljanje u slučaju nesreće

U slučaju ozbiljnog vanrednog događaja, upravnik tunela ili inženjer za bezbjednost mora da smjesta zatvori tunel (sve cijevi). To se mora provesti aktivisanjem gore spomenute opreme ispred ulaza u tunel, ali takođe i promjenjivim saobraćajnim znakovima, semaforima i mehaničkim preprekama unutar tunela, ako takva oprema postoji, kada saobraćaj mora da se zaustavi što je moguće prije, izvan tunela i u njemu.

1.4.13.4.3. Blokada tunela

U slučaju blokade tunela (kratkoročne ili dugoročne), korisnici se moraju putem lako dostupnoga sistema informisanja obavijestiti o najboljim alternativim rutama/pravcima.

U slučaju vanrednog događaja u dvocjevnom tunelu, saobraćaj treba da se zaustavi i preusmjeri u obje cijevi tako da ona cijev u kojoj se događaj nije pojavio bude korištena kao evakuacioni i put za spašavanje.