

Stručni rad<https://doi.org/10.47960/2232-9080.2026.31.16.46>

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

Denijal Sikira

Nezavisni istraživač, dipl. ing. građ., denijal.sikira@gmail.com

Sažetak: Problematika hidroizolacije u tunelima predstavlja jedno od ključnih pitanja suvremenog podzemnog građenja. Neprekidno djelovanje podzemnih i stijenskih voda zahtijeva rješenja koja osiguravaju trajnu zaštitu konstrukcije i stabilnost objekta tijekom njegovog eksploatacijskog vijeka. Hidroizolacijski sustavi u ovom kontekstu ne tretiraju se isključivo kao dodatni zaštitni sloj, već kao integralna komponenta konstruktivnog sklopa tunela. Njihova efikasnost zavisi od međusobne povezanosti projektantskih zahtjeva, pravilne pripreme podloge i tehničke izvedbe u skladu sa važećim standardima. Poseban značaj pridaje se ulozi hidroizolacije u očuvanju mehaničkih i trajnosnih svojstava završne betonske obloge, kao i u smanjenju rizika od degradacije konstrukcije uslijed dugotrajnog uticaja agresivnih podzemnih voda.

Ključne riječi: hidroizolacijska membrana, geotekstil, drenažna odvodnja, tunel, primarna podgrada, sekundarna obloga, zavarivanje membrane, kontrola kvaliteta

Waterproofing in tunnels – principles, application and quality control

Abstract: The issue of waterproofing in tunnels represents one of the key challenges of modern underground construction. The continuous action of groundwater and rock water requires systemic solutions that ensure long-term protection of the structure and stability of the facility throughout its service life. In this context, waterproofing systems are not regarded merely as an additional protective layer, but rather as an integral component of the tunnel structure. Their efficiency depends on the interconnection of design requirements, proper substrate preparation, and technical execution in accordance with applicable standards. Particular importance is given to the role of waterproofing in preserving the mechanical and durability properties of the final concrete lining, as well as in reducing the risk of structural degradation caused by the long-term effects of aggressive groundwater.

Key words: waterproofing membrane, geotextile, drainage system, tunnel, primary support, secondary lining, membrane welding, quality control

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

1. UVOD

Svrha ugradnje hidroizolacijskih sustavaa u podzemnim objektima, a naročito u tunelima, ogleda se u sprječavanju prodiranja podzemnih i stijenskih voda u unutrašnjost tunela, kao i u zaštiti završne betonske obloge od degradacije. Pored primarne funkcije očuvanja konstrukcije, hidroizolacija ima i širi značaj – ona osigurava dugotrajnost, stabilnost i sigurnost tunela tokom njegove eksploatacije, te smanjuje troškove održavanja u životnom vijeku objekta.

Voda u tunelima je redovita pojava. Tunel se odvodnjava na dva načina [9]:

1. Tijekom građenja,
2. Tijekom eksploatacije.

Hidroizolacijska membrana se, u skladu sa suvremenim inženjerskim praksama, uvijek ugrađuje između primarne obloge tunela (koja obično obuhvata podgradu od mlaznog betona, sidara i drugih podgradnih elemenata) i sekundarne betonske obloge. Na taj način membrana funkcionira kao nepropusna barijera koja preuzima hidrogeološke pritiske i sprječava štetne uticaje vode na konstrukciju.

Kompletan hidroizolacijski sustav u tunelima čine dva osnovna sloja [6]:

1. Zaštitni sloj (filc ili geotekstil) – postavlja se direktno na površinu mlaznog betona, a njegova primarna uloga je zaštita hidroizolacijske membrane od mogućih oštećenja. Oštećenja mogu nastati zbog nepravilnosti na površini mlaznog betona, kao što su oštar agregat, izbočine armature, sidara ili lokalne neravnine. Na ovaj način geotekstil značajno doprinosi produženju trajnosti i očuvanju funkcionalnosti hidroizolacijskog sustava.
2. Hidroizolacijska membrana – ključni element sustava, koji se pričvršćuje preko zaštitnog sloja. Njena osnovna funkcija je osiguranje potpune vodonepropusnosti, čime se konstrukcija štiti od negativnih efekata podzemnih voda, a ujedno se produžava njen eksploatacijski vijek.

Neodvojiv dio hidroizolacijskog sustava čini i drenažna odvodnja, čija je svrha sakupljanje i kontrolirano odvođenje podzemne vode koja dopijeva do zone između primarne obloge i hidroizolacije.

2. PRINCIPI I UGRADNJA HIDROIZOLACIONOG SISTEMA

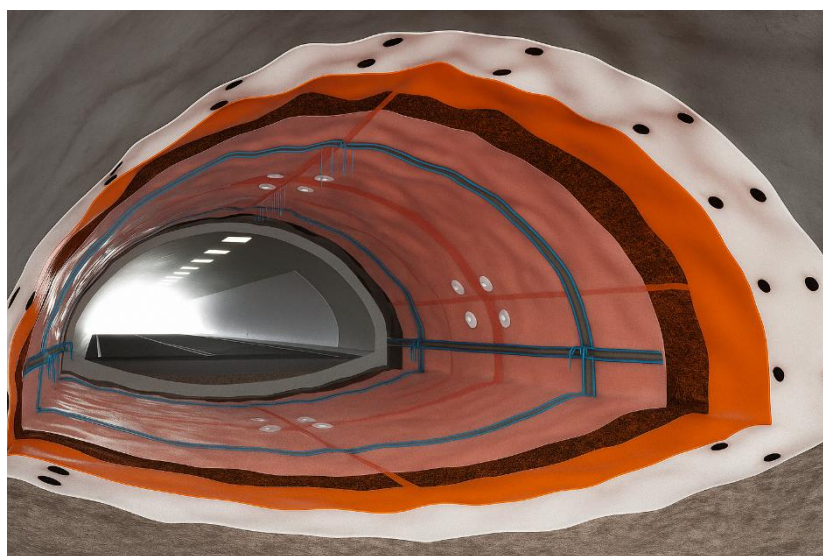
Podzemne vode predstavljaju jedan od najznačajnijih faktora rizika u tunelskoj gradnji, budući da njihov prodor može izazvati niz ozbiljnih problema: degradaciju betonske obloge, koroziju armature, smanjenje nosivosti konstrukcije te otežane uslove eksploatacije. Ovi procesi direktno ugrožavaju trajnost, sigurnost i funkcionalnost tunelskog objekta. Stoga se primjena adekvatnog hidroizolacijskog sustava nameće kao ključni element u projektiranju i izvođenju podzemnih građevina, jer predstavlja osnovnu zaštitu konstrukcije od negativnih uticaja vode i vlage.

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

U suvremenoj tunelskoj praksi, hidroizolacijski sustavi se najčešće izvode od vodonepropusnih PVC membrana, koje se ugrađuju i vare na licu mjesta.

Na taj način se dobija kontinuirana i pouzdana zaštitna barijera, sposobna da osigura potpunu vodonepropusnost duž cijele konstrukcije. Između primarne podgrade i PVC membrane ugrađuje se zaštitni filc (geotekstil).



Slika 1. Prikaz poprečnog presjeka hidroizolacijskog sustava u tunelima [4]

2.1 Zaštitni filc

Zaštitni filc (geotekstil) predstavlja ključan element hidroizolacijskog sustava, jer neposredno štiti najosjetljiviji i najvažniji sloj – PVC hidroizolacijsku membranu. Njegova pravilna ugradnja uslov je dugoročne trajnosti i pouzdanosti tunelske konstrukcije. Osim primarne funkcije zaštite membrane od mehaničkih oštećenja tokom izvođenja radova i u fazi eksploatacije, filc ima značajnu ulogu u ravnomjernoj raspodjeli pritiska na hidroizolaciju. Na taj način smanjuje se rizik od točkastih opterećenja i perforacija koje bi mogle narušiti vodonepropusnost sustava. Dodatno, zahvaljujući svojoj vodopropusnoj strukturi, filc omogućava da eventualno zaostala voda dospije do drenažnog sustava, čime se osigurava pravilno funkcioniranje kompletnog hidroizolacijskog sklopa.

Filc se ugrađuje između primarne podgrade, odnosno mlaznog betona, i PVC hidroizolacijske membrane. Postavlja se kontinuirano, s obaveznom preklapanjem rubova, kako bi se osigurala potpuna pokrivenost površine i spriječilo nastajanje nebranjenih zona. Preklopi se dodatno osiguravaju mehaničkim sredstvima – tzv. PVC rundelama – koje se zajedno sa specijalnim ekserima učvršćuju u betonsku podlogu pomoću plinskog pištolja. Ovakav način pričvršćivanja osigurava stabilnost i trajnost zaštitnog sloja, bez oštećenja podloge i bez narušavanja funkcionalnosti hidroizolacijskog sustava.

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

Pričvršćivanje filca za površinu mlaznog betona vrši se odgovarajućim elementima za fiksiranje, a broj pričvršćivača zavisi od uslova na lokaciji. U pravilu, po kvadratnom metru površine koristi se između dva i četiri elementa [6].

Pravilna raspodjela ovih točaka osigurava čvrsto prianjanje filca uz podlogu, sprječava njegovo pomjeranje i doprinosi ukupnoj stabilnosti hidroizolacijskog sklopa. Kvalitetna, planski izvedena i tehnički usklađena ugradnja zaštitnog filca ključna je za dugoročnu funkcionalnost hidroizolacije, očuvanje PVC membrane i pouzdanost konstrukcije u cjelini.



Slika 2. Prikaz pričvršćivanja zaštitnog filca i hidroizolacijske membrane [3]

2.2 Hidroizolacijska membrana

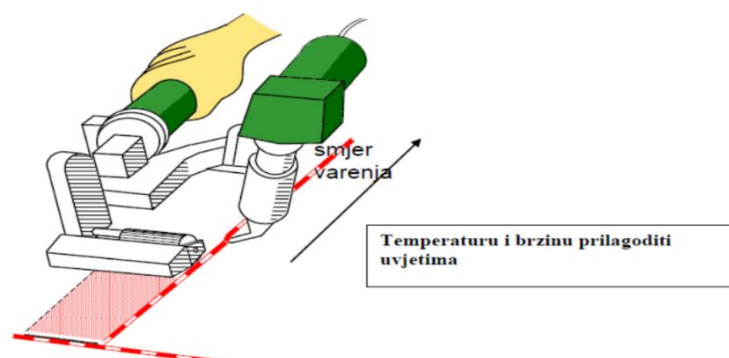
Hidroizolacijska membrana u tunelskoj gradnji mora biti izrađena od kvalitetnih i tehnički provjerenih materijala, kao što su ECB (etilen-kopolimer bitumen) ili PVC (polivinil-hlorid) [6], pri čemu se PVC membrane najčešće primjenjuju zbog svoje elastičnosti, trajnosti i otpornosti na vlagu i hemijske uticaje. Membrana se polaže preko prethodno ugrađenog sloja zaštitnog filca, koji sprečava mehanička oštećenja i omogućava stabilno oslanjanje na podlogu. Pričvršćivanje membrane vrši se na unaprijed postavljena sredstva za fiksiranje, a izvodi se isključivo termičkim zavarivanjem za rundele, čime se osigurava stabilnost i potpuna vodonepropusnost spojeva. Tokom cijelog procesa ugradnje strogo je zabranjeno bilo kakvo probijanje ili perforiranje membrane, jer i najmanje oštećenje može dovesti do kompromitovanja sustava i prodora vode.

Posebna pažnja posvećuje se spajanju susjednih traka PVC membrane. Spojevi se izvode dvostrukim termičkim varom primjenom specijaliziranih strojeva vrući zrak (slika 3). U zavisnosti od tipa, debljine membrane i uvjeta na lokaciji, uobičajena temperatura varenja kreće se u rasponu od 450 °C do 600 °C. Dvostruki var podrazumijeva formiranje dva paralelna šava, između kojih se ostavlja kontrolni kanal širine 2 do 3 cm. Ovaj kanal omogućava jednostavnu i pouzdanu provjeru kvaliteta zavarenog spoja, najčešće primjenom testa komprimovanim zrakom pod pritiskom, što olakšava uočavanje eventualnih nepravilnosti i nedostataka. Na taj način osigurava se dodatna sigurnost u

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

pogledu nepropusnosti spojeva, što je od ključnog značaja za dugoročnu funkcionalnost hidroizolacijskog sustava.



Slika 3. Prikaz postupka zavarivanja hidroizolacijske membrane [7]

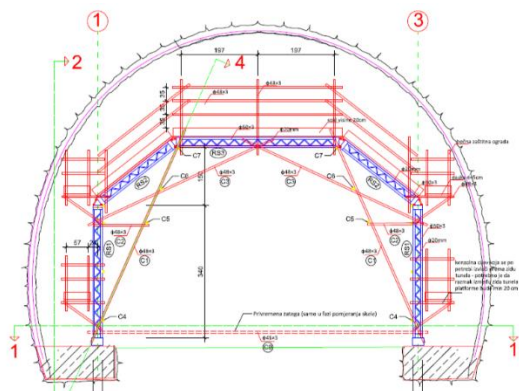
Primjena dvostrukog varenja sa kontrolnim kanalima predstavlja savremeni standard u izvođenju hidroizolacije tunela, jer garantuje visoku pouzdanost, dug radni vijek sustava i smanjen rizik od prodora vode u konstrukciju. Pravilno odabrani materijali, pažljivo izvođenje radova i tehnička kontrola spojeva zajedno čine osnovu uspješnog i trajnog hidroizolacionog rješenja.



Slika 4. Prikaz dvostrukog vara [4]

Ugradnja zaštitnog filca i hidroizolacijske membrane vrši se isključivo sa čeličnih tunelskih skela, koje su montažno-demontažnog tipa, što omogućava brzu montažu, prilagođavanje fazama radova i efikasnu demontažu bez zastoja u izvođenju. Skele osiguravaju stabilnu i sigurnu radnu platformu, montiraju se i kontroliraju u skladu sa važećim propisima zaštite na radu, uz provjeru nosivosti, nivelacije i zaštitnih elemenata. Materijal se raspoređuje ravnomjerno u okviru dozvoljenog opterećenja, a svi radovi se izvode uz obaveznu primjenu propisane lične zaštitne opreme i redovan nadzor ispravnosti skelske konstrukcije do završetka radova.

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

Slika 5. Prikaz čelične tunelske skele, tunel Vjeternik, Crna Gora [2]

2.3 Drenažna odvodnja

Bočna drenažna odvodnja predstavlja neizostavan i funkcionalno ključan element hidroizolacijskog sustava u tunelima. Njena osnovna uloga je trajno prikupljanje i odvođenje podzemnih i stijenskih voda koje prodiru kroz primarnu oblogu, kao i vode koje se mogu pojaviti ili akumulirati iza hidroizolacijske membrane. Efikasno odvodnjavanje sprječava hidrostatski pritisak na sustav hidroizolacije i konstrukciju tunela, čime se produžava njen vijek trajanja i osigurava stabilnost objekta.

Sustav bočne drenaže najčešće se sastoji od perforiranih drenažnih cijevi kružnog presjeka koje se postavljaju s obje strane tunela, neposredno iznad temelja. Za ove potrebe koriste se PE-HD cijevi, poznate po visokoj otpornosti na deformacije, kemikalije i dugo trajanje u uvjetima podzemne gradnje. Ukupna površina perforacija za prijem vode mora biti najmanje 200 cm² po metru cijevi [6], kako bi se osigurao dovoljan kapacitet upijanja i transporta vode.

Ugradnja drenažnog sistema započinje pripremom hidroizolacijske membrane koja se polaže na temeljnu površinu tunela. Rolna membrane se reže na potrebnu širinu, u skladu s preklopom na obodnu membranu. U pravilu, početna širina izrezane trake iznosi oko 1,05 m. Nakon rezanja, membrana se razmota i pažljivo polaže na prethodno očišćenu površinu temelja. Na dnu vertikalnog zida drenažnog kanala membrana se fiksira pomoću eksera i specijalnog alata (pištolja s eksplozivnim punjenjem) ili ručnim pričvršćivanjem, u zavisnosti od tehničkih uvjeta na gradilištu.

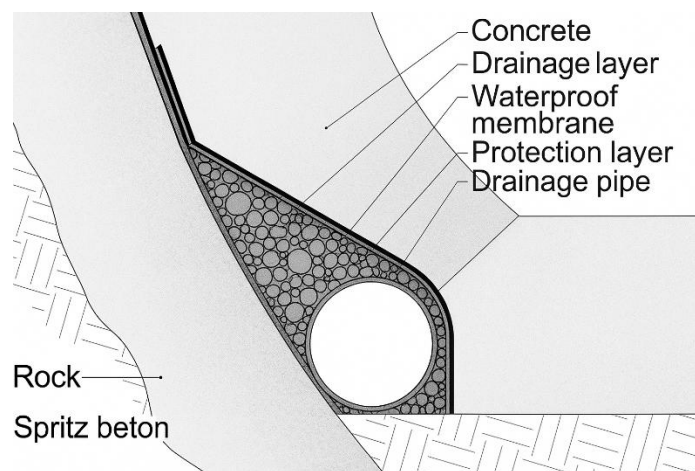
Nakon toga slijedi postavljanje drenažnih cijevi. Njihovo uklapanje mora biti precizno, uz poštovanje projektovanog pravca, pravilnog nagiba i nivelete tunela, kako bi gravitacijski transport vode bio neometan. Da bi se osigurao usmjeren priliv vode prema perforacijama cijevi, prethodno se ugrađuje podložni sloj od sitnozrnog betona na bazi portland cementa. Ovaj beton oblikuje ležište i kanalski profil koji vodi vodu direktno ka perforacijama cijevi.

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

Nakon pozicioniranja i nivelisanja cijevi pristupa se ugradnji grubog poroznog betona u dvije faze. Prva faza podrazumijeva betoniranje do polovine visine cijevi radi njene stabilizacije u ležištu i sprečavanja pomjeranja. U drugoj fazi porozni beton se ugrađuje do vrha drenažnog kanala, uz formiranje kosine prema ranije obilježenoj visini na obodu tunela.

Ovaj sloj omogućava filtraciju i nesmetano oticanje podzemne vode u perforirane otvore drenažnog sistema. Kroz ovako izveden postupak osigurava se trajnost, funkcionalnost i sigurnost hidroizolacijskog sustava, uz minimiziranje rizika od prodora vode i naprezanja konstrukcije.



Slika 6. Detalj bočne drenažne odvodnje [3]

2.4 Hidroizolacija u tunelskim nišama

U sklopu cestovnih tunela smještene su niše koje imaju važnu sigurnosnu i funkcionalnu ulogu. One služe kao prostori za smještaj opreme za izvanredne situacije, poput vatrogasnih aparata, hidrantske mreže, telefona za hitne pozive te ormarića s elektroničkom i signalnom opremom. Osim toga, pojedine niše predviđene su kao sigurnosna skloništa za sudionike u prometu u slučaju kvara vozila, prometne nesreće ili požara.

Revizione niše služe za pregled i održavanje instalacija u tunelu, kao što su sustavi odvodnje. Budući da su tuneli podložni prodoru podzemnih i procjednih voda, revizione niše moraju biti hidroizolirane. Revizione niše projektiraju se tako da tehničko osoblje može pristupiti instalacijama radi redovitog pregleda, ispitivanja ispravnosti i popravaka.

Preostale niše, kao što su elektro, protupožarna i SOS niša, projektuju se i izvode u skladu sa važećim tehničkim propisima i standardima, uz uvažavanje specifičnih funkcionalnih zahtjeva svake pojedinačne instalacije. Njihova izvedba mora osigurati nesmetan pristup opremi, adekvatnu zaštitu instalacija od mehaničkih oštećenja i uticaja vlage, kao i trajnu integraciju sa sustavom hidroizolacije tunelske konstrukcije.

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

Na lokaciji niša prethodno izrađena folija po obodu tunela siječe se dijagonalno. Puna pažnja posvećuje se činjenici da rez započinje minimalno 10 cm od ivice niše, čime se osigurava preklop podužnog vara na ravnoj površini niše sa jedne strane, kao i potrebna labavost hidroizolacije radi zaštite od preopterećenja tokom izrade sekundarne obloge.

Na unutrašnjoj površini niša hidroizolacija se izvodi ugradnjom segmenata hidroizolacijskog materijala pripremljenih u skladu sa dimenzijama niše. Segmenti hidroizolacije pričvršćuju se za porozni beton na uobičajen način, dok se krajevi preklopa sa vertikalnom membranom zavaruju izvedbom podužnog vara, čime se osigurava kontinuitet i vodonepropusnost sustava.



Slika 7. Prikaz hidroizolacije unutar revizione niše, tunel "Kobilja Glava" [5]

3. KONTROLA KVALITETA

Ispitivanje hidroizolacijske PVC membrane vrši se u cilju provjere kvaliteta izvedenih spojeva i osiguranja njene potpune vodonepropusnosti. Postoje dva standardna metoda kontrole, a to su ispitivanje šavova komprimiranim vazduhom i ispitivanje šavova vakuumskom opremom [6].

Za spojeve susjednih traka hidroizolacijske PVC membrane obavezno je izvršiti kontrolu njihove ispravnosti. Navedeno ispitivanje podrazumijeva upumpavanje komprimiranog vazduha u probni kanal, koji nastaje formiranjem dvostrukog zavarenog spoja.

Početna ispitivanja se izvode pod sljedećim uvjetima:

- pritisak od 2 bara u trajanju od 5 minuta, ili
- pritisak od 1,5 bar u trajanju od 10 minuta.

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

Spojevi se smatraju potpuno vodonepropusnim ukoliko u toku probnog razdoblja gubitak pritiska ne prelazi 20% u odnosu na početnu vrijednost. Ovim postupkom se osigurava da su šavovi pravilno zavareni i da nema propuštanja kroz spojeve.



Slika 8. Prikaz ispitivanja spojeva komprimiranim vazduhom [8]

Za ispitivanje manjih područja membrane, naročito na mjestima sa specifičnim konfiguracijama spojeva, kao i na lokalnim sanacijama gdje su izvedene zakrpe, moguće je primijeniti vakuumsku metodu. Ova metoda se izvodi upotrebom vakuumnog zvona, koje se postavlja iznad dijela membrane koji se ispituje. Nakon što se zvono čvrsto pritisne na površinu, prostor ispod njega se prazni pumpanjem, čime se stvara podpritisak. Na taj način moguće je uočiti eventualne šupljine, nepravilnosti ili nedostatke u spojevima, odnosno potvrditi njihovu potpunu vodonepropusnost.



Slika 9. Prikaz ispitivanja membrane vakuuskom metodom [1]

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

Ispitivanje se zasniva na primjeni specijaliziranog uređaja koji se sastoji od krute, prozirne plastične polusfere prečnika 40 cm, sa dvije ergonomski oblikovane ručke postavljene duž njenog oboda. Uređaj je opremljen manometrom sa mjernim opsegom od 0 do -1 bar, kao i regulacijskim ventilom za podešavanje nivoa podpritiska unutar ispitne komore [1].

Na donjem obodu polusfere nalazi se brtveni prsten koji omogućava potpuno zaptivanje na ravnim površinama, čime se osigurava stvaranje i održavanje podpritiska unutar zatvorenog prostora. Ispitna komora je fleksibilnim crijevom dužine približno 150 cm povezana sa vakuum pumpom manjeg kapaciteta. Pumpa je opremljena prekidačem koji, nakon aktiviranja, omogućava kontinuiranu ekstrakciju zraka iz unutrašnjosti komore.

Postupak ispitivanja provodi se na način da se najprije definira ispitna točka, nakon čega se na površinu vara nanosi rastvor sapuna i vode radi vizuelne detekcije eventualnih propuštanja. Potom se aktivira vakuum pumpa, a ispitni poklopac postavlja iznad odabrane točke. Aktiviranjem pumpe dolazi do postepenog povećanja podpritiska unutar komore, što se registruje na manometru. Nivo podpritiska podešava se regulacionim ventilom na približno $-0,2$ bar.

Nakon uspostavljanja stabilnog podpritiska vrši se vizuelna kontrola zavarenog spoja kroz prozirnu polusferu. Tokom ispitivanja mogu se javiti dvije situacije [1]:

- a) U slučaju odsustva mjehurića duž zavarenog spoja, ispitivanje se smatra uspješno provedenim, te se zaključuje da je var vodonepropustan.
- b) U slučaju pojave mjehurića unutar ispitivane zone, utvrđuje se postojanje nedostatka u zavarenom spoju. Uočeni nedostatak može se dodatno precizirati odgovarajućim ispitivačem vara. U tom slučaju spoj ne zadovoljava propisane kriterije, te je neophodno izvršiti sanaciju zavarivanjem zakrpe izrađene od iste vrste geomembrane, u skladu sa važećim tehničkim zahtjevima.

Nerazorno mehaničko ispitivanje spojeva: Ispitivanje se provodi tako što se vrh ispitivača vara pomjera duž linije zavara uz primjenu dovoljnog pritiska radi otkrivanja eventualnih slabih mjesta (slika 10). Ova operacija je neophodna za provjeru integriteta zavarenog spoja i mora se izvršiti nakon što se var u potpunosti ohladi.

U slučaju utvrđivanja diskontinuiteta ili mjesta sa nedovoljnom adhezijom, potrebno je izvršiti lokalnu sanaciju zavarivanjem zakrpa izrađenih od iste vrste materijala, kako bi se osigurao kontinuitet spoja [1].

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta



Slika 10. Prikaz ručne kontrole pomoću ispitivača vara [1]

4. ZAKLJUČAK

Hidroizolacija u tunelima predstavlja konstrukcijski element od ključnog značaja, a ne samo sekundarni zaštitni sloj u sistemu obloge. Njena funkcija premašuje osnovnu barijeru protiv prodora vode, jer direktno utiče na trajnost, mehaničku otpornost i dugoročnu pouzdanost kompletne tunelske konstrukcije. Sprječavanjem prodora podzemnih i procjednih stijenskih voda smanjuje se rizik od pojave pukotina, kemijske degradacije betona, korozije armature i smanjenja nosivosti obloge, čime se produžava eksploatacijski vijek objekta i osigurava stabilnost konstrukcije u promjenjivim hidrogeološkim uvjetima.

Efikasnost hidroizolacijskog sustava, neposredno zavisi od integralnog pristupa projektiranju i izvođenju radova. Pravilno dimenzioniranje sustava u skladu s geološkim i hidrološkim karakteristikama terena, adekvatna priprema podloge, precizna ugradnja zaštitnog geotekstilnog sloja (filca), kvalitetna instalacija PVC membrane te funkcionalno riješena drenažna i odvodna mreža predstavljaju međusobno uvjetovane faze koje određuju ukupne performanse sistema. Poseban značaj imaju dvostruki varovi sa kontrolnim kanalima, koji omogućavaju ispitivanje spojeva pod pritiskom i pravovremeno otkrivanje eventualnih nedostataka, čime se osigurava potpuna vodonepropusnost i minimizira rizik od naknadnih sanacija.

Posebno treba naglasiti da kvalitet ugrađivanja i sustavno ispitivanje izvedenih spojeva i cjelokupne membrane predstavljaju ključne faktore dugoročne funkcionalnosti hidroizolacije. Stručna i kontrolirana ugradnja, uz stalni nadzor i primjenu propisanih procedura zavarivanja, direktno utiče na homogenost sistema i sprječavanje skrivenih nedostataka. Ispitivanja varova, kontrola pritiska u kontrolnim kanalima, vizuelni pregledi i dokumentiranje rezultata osiguravaju verifikaciju izvedenog stanja i omogućavaju pravovremenu korekciju eventualnih nepravilnosti. Time se postiže visok nivo

Sikira, D.

Hidroizolacija u tunelima – principi, ugradnja i kontrola kvaliteta

pouzdanosti sustava, smanjuje vjerovatnoća prodora vode tijekom eksploatacije i osigurava dugoročna zaštita konstrukcije tunela.

LITERATURA

1. Cunegatti, M.: The use of PVC geomembranes in tunnels and underground structures – special testable and repairable waterproofing systems, Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics, Seoul, 2018.
2. Glavni projekat skele za izradu hidroizolacije i armature svoda tunela, tunel Vjeternik. Autoput: Bar – Boljare, dionica: Smokovac – Mateševo, Crna Gora.
3. Luciani, A.; Peila, D.: Tunnel Waterproofing: Available Technologies and Evaluation Through Risk Analysis, International Journal of Civil Engineering, 2018, preuzeto: 16.08.2025.
4. Mapei: Tunnel and underground waterproofing with Mapeplan system.
5. Sikira, D. (2025). Prikaz hidroizolacije unutar revizione niše. Vlastita arhiva.
6. Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima. Knjiga II: Građenje, dio 3: Posebni tehnički uslovi, Sarajevo/Banja Luka, 2025, str. 68–73.
7. Tehnologija izvođenja radova na izradi hidroizolacije u tunelima, Vektor-Integra d.o.o., Sarajevo.
8. Waterproofing Sikaplan: Membrane systems for tunnels, Technology & concepts, str. 22.
9. Vrkljan, I. (2003). Podzemne građevine i tuneli, Građevinski fakultet Sveučilište u Rijeci, Rijeka.