

Vladimir Matijević, dipl. ing. građ.

TEHNOLOGIJA UGRADNJE CJEVOVODA METODOM MIKROTUNELIRANJA

1. Uvod

Danas se vodovodne i kanalizacijske cijevi uobičajeno instaliraju korištenjem otvorenoga iskopa rova. Zbog brojnih nedostataka klasičnoga iskopa kao alternativa u planiranju i izgradnji infrastrukturnih linija koriste se potpuno automatizirane tehnologije bezrovnoga polaganja cijevi.

U ovome radu opisana je tehnologija ugradnje cjevovoda metodom mikrotuneliranja. Prikazana je tehnička i ekonomska usporedba tehničkoga rješenja metodom mikrotuneliranja te načina ugradnje na klasičan način.

2. Metoda mikrotuneliranja

Pojam „mikrotunelogradnja” podrazumijeva radove na podzemnoj ugradnji predgotovljenih cijevi različite geometrije poprečnoga presjeka. Cijevi se instaliraju uz pomoć daljinski upravljana i laserski vođenoga, zglobno pokretljivoga mehaničkoga uređaja s

bušećom glavom uz hidrauličko podupiranje iz startne jame (potisne stanice).

Gradilište se uobičajeno sastoji od startne i izlazne jame između kojih se uz pomoć specijalnih strojeva na daljinsko upravljanje (MTBM – Micro Tunneling Boring Machine) utiskuju cijevi koje će konačno činiti radni ili zaštitni cjevovod uz mogućnost formiranja i minimalnih radijusa zakrivljenosti. To je takozvani pipe jacking sustav koji se temelji na korištenju posebnih potisnih cijevi. Pritom se cijevi ugrađuju tako da je trasa u pravcu ili zakrivljena s ravnim, nagnutim ili zakrivljenim gradijentom. Cijevi su specijalno napravljene kako bi izdržale potisne sile tijekom instalacije, a nakon što se ukloni iskopana zemlja, stvaraju konačan cjevovod. Ovisno o korištenome materijalu i načinu spajanja, cijevi se međusobno spajaju kruto ili pomično.

Prilikom mikrotuneliranja mora se obratiti pozornost na dopušteni otklon pravca bušenja od zadane linije i dopuštenu silu utiskivanja. Vrijednosti

maksimalnih odstupanja od potrebnoga položaja u skladu s ATV – A 125E ne smiju se prekoračiti.

Tablica 1. Maksimalna odstupanja od potrebnog položaja u milimetrima

DN (mm)	Vertikalno (mm)	Horizontalno (mm)
DN < 600	± 20	± 25
600 ≤ DN < 1000	± 25	± 40
1000 ≤ DN < 1400	± 30	± 100
DN ≥ 1400	± 50	± 200

Izvor: 2

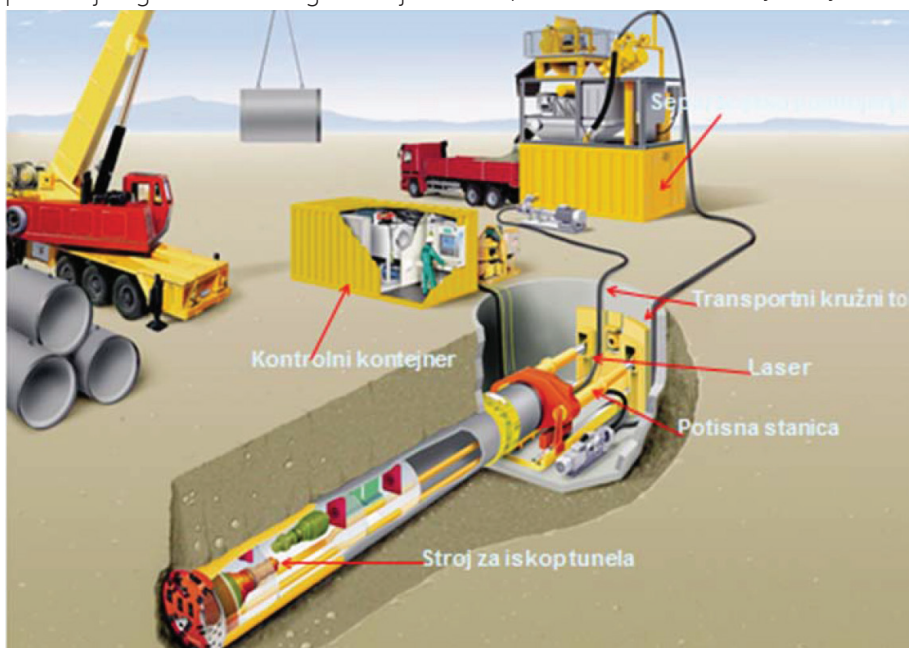
Sila ovisi o sljedećim parametrima: promjeru cijevi, debljini stijenke cijevi, vanjskoj hrapavosti cijevi, vrsti tla, dužini utiskivane sekcije i/ili broju utisnih međustanica, injektiranju bentonita u okolišni prostor zaštitne cijevi, pravocrtnosti bušenja, očekivanome stajanju za servisne radove i osloncu u početnoj jami. U skladu sa Standardom ATV – A 125E „Pipe driving” i EN 12889 „Trenchless construction and testing of drains and sewers” definirani su protokoli utiskivanja. Parametre treba mjeriti automatski i zapisivati strojno u intervalima utiskivanja od maksimalno 200 mm duljine ili trajanja maksimalno 90 sekundi. Ako je to moguće, neprekidno treba mjeriti i bilježiti sljedeće parametre utiskivanja:

- silu utiskivanja
- visinska i bočna odstupanja
- iskrivljenje
- duljine utiskivanja.

2.1. Postrojenje za iskop tunela

Postrojenja za iskop tunela sastoje se od:

- kontrolnog kontejnera
- transportnoga kružnog toka
- transportne i napojne pumpe



Slika 1. Prikaz postrojenja za iskopavanje tunela

Izvor: 2

- spremnika za vodu
- separacijskoga postrojenja
- potisne stanice
- međupotisnih stanica (opcija)
- stroja za iskop tunela i pomoćnih cijevi.

Kontrolni kontejner namijenjen je za upravljanje i rad postrojenja za iskop tunela (stroja za iskop tunela, potisne stanice, transportnih sustava itd.).

Transportni kružni tok služi za transport materijala i koncipiran je kao kružni tok za prijenos tekućine, a sastoji se od taložnika, transportne i napojne pumpe te transportnih i napojnih vodova.

Transportne i napojne pumpe konstruirane su isključivo za transport mješavine materijala iz iskopa i vode. Ne smiju se prekoračivati granične vrijednosti navedene u specifikaciji (maksimalno dopuštena granulacija i gustoća transportnoga materijala).

Separacijsko postrojenje služi za odvajanje smjesa čvrstih i tekućih tvari koju izvadi stroj za iskop tunela. Sastoji se od spremnika za ispiranje s platformom, stroja za prosijavanje s dvije razine, hidrociklonske jedinice, opskrnbne crpke ciklona i električne opreme.

Potisna stanica i eventualno ugrađene međupotisne stanice služe za napredovanje stroja za iskop tunela i cijevi. Potisna stanica, odnosno hidraulički okvir za potiskivanje, smješta se u otvor startne jame. Okviri su konstruirani tako kako bi regulirali razinu snage potiskivanja koja se zahtjeva u lokalnim uvjetima i vremenu. Ta snaga određuje se prema geotehničkim prilikama u tlu.

U **strojnoj cijevi** instalirana je raznovrsna oprema neophodna za napredovanje.

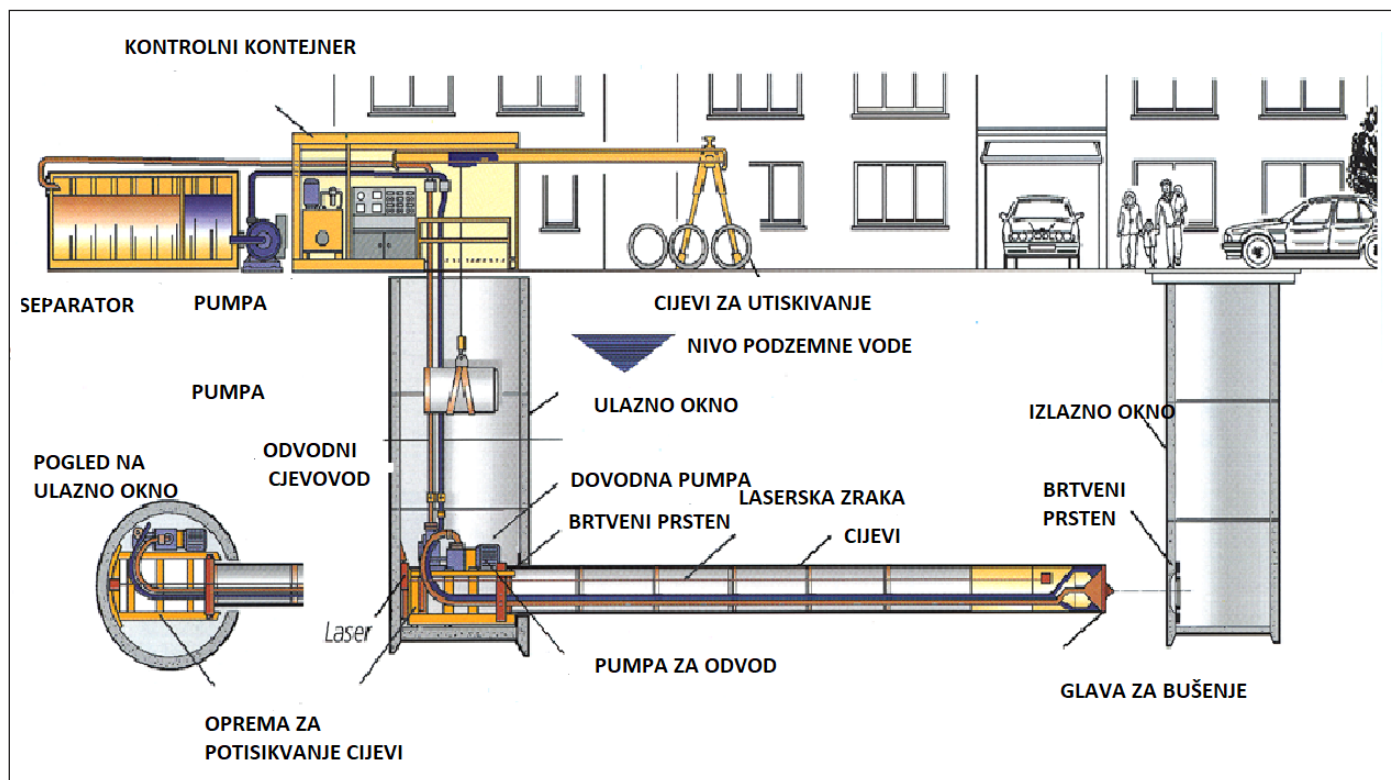
2.2. Prethodni istraživački radovi

Geologija je najkritičniji čimbenik u projektu mikrotunelogradnje. S obzi-

rom na to da o geomehanici tla ovisi odgovarajući postupak izgradnje tunela, izbor vrste rezne glave stroja za iskop tunela te brzina napredovanja bušenja, temeljito geotehničko istraživanje stanja lokalnoga zemljišta preduvjet su za uspješnu provedbu projekta. Ako unaprijed nije poznat tip zemljišta koji će se iskopavati ili bušiti, postoji rizik od korištenja neodgovarajućeg tipa stroja na određenome zadatku.

Drugi važan čimbenik u preliminarnome istraživanju jest definiranje lokacija postojećih instalacija, cjevovoda i podzemnih građevina. Kako bi se postigao najbolji mogući rezultat, važno je provesti detaljna preliminarna istraživanja koja podrazumijevaju:

- geotehnička istraživanja
- određivanje razine podzemne vode
- popis komunalnih instalacija i bilo kojih drugih podzemnih zapreka
- određivanje položaja te veličine startne i ciljne jame.



Slika 2. Shema mikrotuneliranja

2.3. Pripremni radovi

2.3.1. Startno okno

Dimenzije startne jame ovise o sastavu tla, uvjetima za formiranje gradilišta, veličini stroja, promjeru i dužini cijevi koja se ugrađuje i izboru instalacijske metode, odnosno dimenzijama potisne stanice.

Posebnim izvedbenim detaljima rješava se pitanje nepropusnosti između stjenke cijevi i stijenke zida jame te način ulaza stroja za mikrotuneliranje kroz stjenku jame. Uobičajena je ugradnja vodotijesnoga prstena

kako bi se spriječio prodor vode u građevnu jamu.

Stražnja okomita strana jame koristi se kako bi apsorbirala snagu potiska hidrauličnoga okvira za potiskivanje potrebnog za utiskivanje cijevi. Radi preuzimanja horizontalnih potisaka kod bušenja mikrotuneliranjem potrebno je dimenzionirati i izvesti poseban oslonački armiranobetonski blok unutar startne jame.

2.3.2. Ciljno okno

Metoda mikrotunelogradnje zahtijeva izgradnju ciljnoga, prekidnoga

okna. Dimenzije moraju biti dovoljno široke kako bi se omogućilo uklanjanje glave stroja za mikrotuneliranje. Prijamni otvori nemaju posebne zahtjeve. Njihova je jedina svrha da omogućuje uklanjanje opreme.

Način ulaza stroja za mikrotuneliranje kroz stjenku ciljne jame te pitanje nepropusnosti između stijenke cijevi i zida ciljne jame rješava se posebnim izvedbenim detaljima. Ta je zaštita potrebna kako bi se spriječio prodor materijala i vode u bunar nakon probijanja obloge bunara u profilu potrebnome za mikrotuneliranje.



Slika 3. Startna jama mikrotuneliranja

Izvor: autor



Slika 4. Probaj tunela – bušenje stijenke zida izlaznoga okna / vađenje stroja za mikrotuneliranje

Izvor: autor

2.4. Uklanjanje iskopane zemlje

Bušenja se mogu izvoditi u različitim vrstama tla (zemlja, pijesak, stijena ili glina). Napredovanje rezne glave stroja za iskop tunela ovisi o tvrdoći materijala kroz koji prolazi.

Promjer cijevi i duljina dionice kao i geološke karakteristike uvjetuju izbor odgovarajućega stroja za iskop tunela, odnosno seta opreme za bušenje, a k tome i odgovarajućega postupka izgradnje tunela.

Dva su dominantna sustava uklanjanja iskopane zemlje kod cijevi maloga promjera povezana s mikrotunelogradnjom.

Kod nekih tipova zemljišta moguće je koristiti spiralni vijak kako bi se otklonila iskopana zemlja.

Nakon što se postavi u kućište unutar strojne cijevi, spiralni vijak potiskuje iskopanu zemlju natrag u otvor – startnu jamu, odakle se podiže na površinu malim dizalima.

Ako je razina podzemne vode veća, često se koristi sustav tekuće isplake koji zahtijeva protok otopine bentonita koji se preko napojnih vodova pumpa s površine terena do glave stroja za iskop.

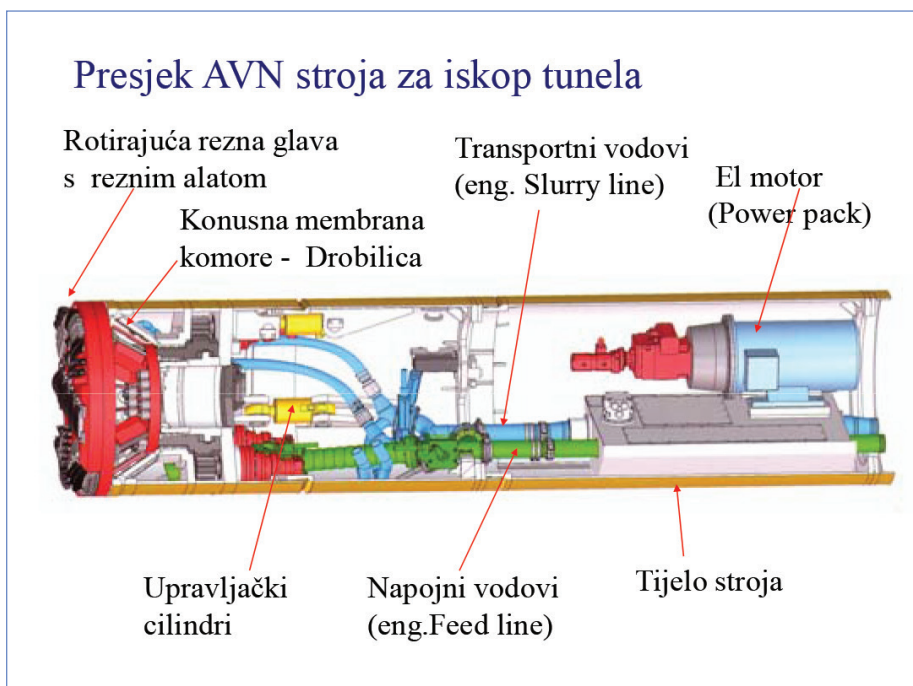
Često se otopina drži pod tlakom kako bi se održali uvjeti na čelu ispred glave stroja. Suspenzija bentonita miješa se s iskopanim materijalom u drobilici koja se nalazi iza rezne glave. Veličina materijala smanjuje se drobljenjem do veličine pogodne za transport, a pritom se voda ubrizgava preko tlačnih sapnica kako bi pomogla miješanje drobljenoga materijala bez blokade. Takav materijal preko transportnih cijevi stiže do postrojenja za separaciju.

Nakon separacije iskopanoga materijala, on se pročišćava i tretira u pogonu za recirkulaciju. Filtrirana voda ponovno se vraća kako bi transportirala novi iskopani materijal, a time se ostvaruje znatna ušteda u resursima. Sustav tekuće isplake u prednosti je zbog



Slika 5. Kategorije tla / rotirajuća rezna glava

Izvor: 2



Slika 6. Presjek u AVN stroja

Izvor: 2

kontinuiteta, dok metode zasnovane na spiralnome vijku uključuju nekoliko operacija, među kojima je i podizanje sve iskopane zemlje iz otvora.

2.5. Smanjenje trenja

Dvije najveće sile koje treba savladati kod potiskivanja cijevi u tlu jesu težina cijevi i trenje između površine cijevi i tla tijekom utiskivanja cijevi.

Danas se ubrizgavanje smjese bento-nita nadzire računalno, iz kontrolnoga kontejnera. Tako se mogu regulirati tlak i količina smjese koja se ubacuje kroz svaku diznu. Na taj način može se održavati optimalan tlak duž cijele cijevi. Rezultat je ušteda, ne samo suvišne smjese bentonita, već i energije potrebne za postavljanje cijevi.

Navedeni načini samo smanjuju trenje, ali ga ne mogu ukloniti. Za po-

tiskivanje cijevi nerijetko je potrebna sila i od 100 tona. Osim na cijevi ona se prenosi i na cijelu bušotinu te je zato kvaliteta njezine izrade ključna za izvedbu tunela.

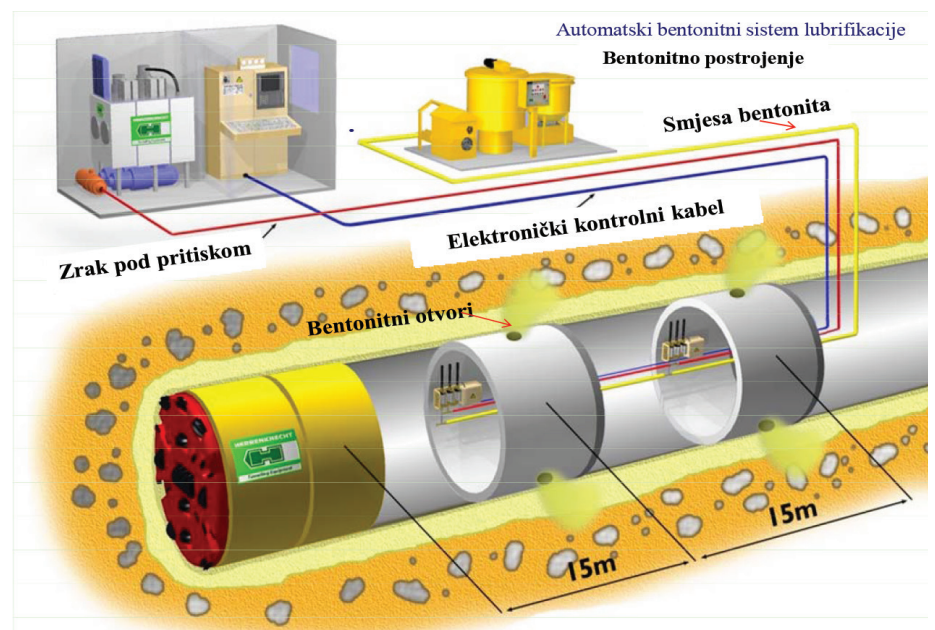
Za izvođenje duljih dionica, ponajprije zbog prevelikoga trenja, potrebna je izgradnja međustanice za potiskivanje koja će doprinijeti jednostavnijemu i uspješnijemu potiskivanju cijevi na cijeloj dionici.



Slika 7. Prikaz tvornički ugrađenoga priključka za ubrizgavanje bentonita (unutar i izvan cijevi)

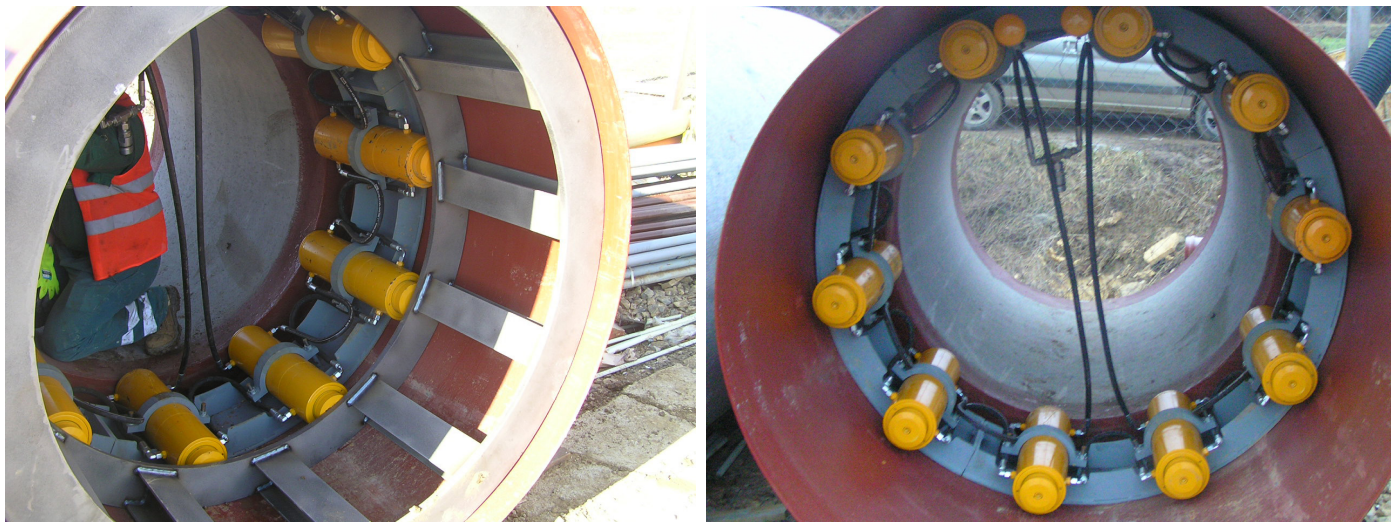
Izvor: autor

S povećanjem duljine tunela povećava se i trenje oko cijevi koja se ugrađuje. Također, trenje se povećava i s povećanjem promjera cijevi jer veći promjer znači i veću površinu oplošja cijevi. Uvođenjem maziva, koristeći se smjesom bentonita, znatno je smanjeno trenje duž oplošja cijevi. Smjese bentonita specijalno su napravljene tako da pogoduju različitim stanjima tla, naprimjer, gušće smjese potrebne su kod grubo usitnenoga tla gdje bentonitna smjesa može puno lakše isušiti porozno tlo. Rjeđe smjese poželjnije su kod glinenih tla. Smjesa bentonita i/ili polimerne suspenzije injektira se kroz bentonitne otvore u stjenci cijevi koji su tvornički ugrađeni duž cijele obodnice cijevi te ispunjava međuprostor okolnoga materijala i cijevi koje se utiskuju.



Slika 8. Automatski bentonitni sustav lubrikacije

Izvor: 2



Slika 9. Prikaz međustanice i hidrauličnih cilindara

Izvor: autor

Međustanice se koriste za tunele dulje od 130 metara s promjerom cijevi većim od 800 milimetara. Ugrađuje se otprilike svakih 100 metara tunela, a prva međustanica pozicionira se otprilike 30 metara iza stroja za bušenje.

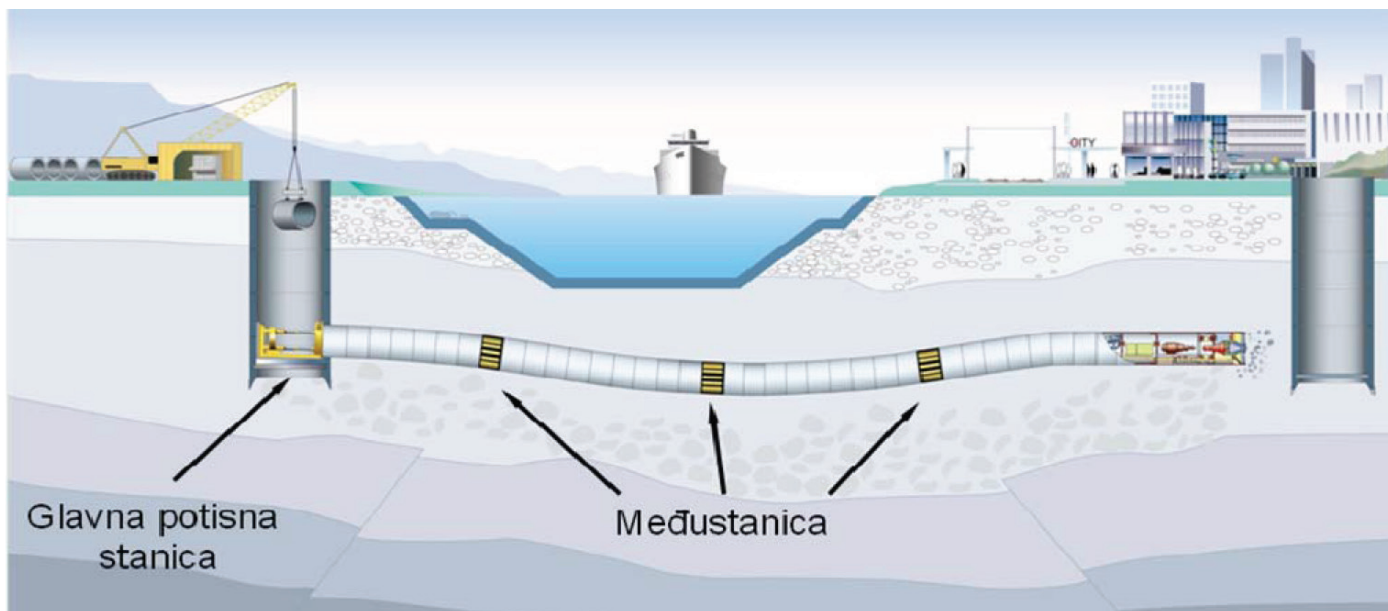
Aktiviranjem međustanice omogućuje se pomicanje cijevi samo od toga mjesta uz pomoć hidrauličnih cilindara unutar te međustanice. Time se izbjegava preopterećenje cijelog sustava, u dijelovima proboja s velikim otporom.

2.6. Upravljački nadzor i usmjeravanje

Oprema za mikrotuneliranje opremljena je univerzalnim navigacijskim i upravljačkim sustavom, koji ovisno o uvjetima inicijalnoga parametriranja gradilišta koristi pojedine sustave kao što su elektronički laserski sustav, elektronički nivelacijski sustav ili navigacija žirokompasom, koja se koristi kod cjevovoda u radijusu.

Upravljački sistemski softver upravlja postupkom mjerenja, a položaj i orijentaciju stroja za iskop izračunava na temelju mjernih vrijednosti dobivenih od senzora.

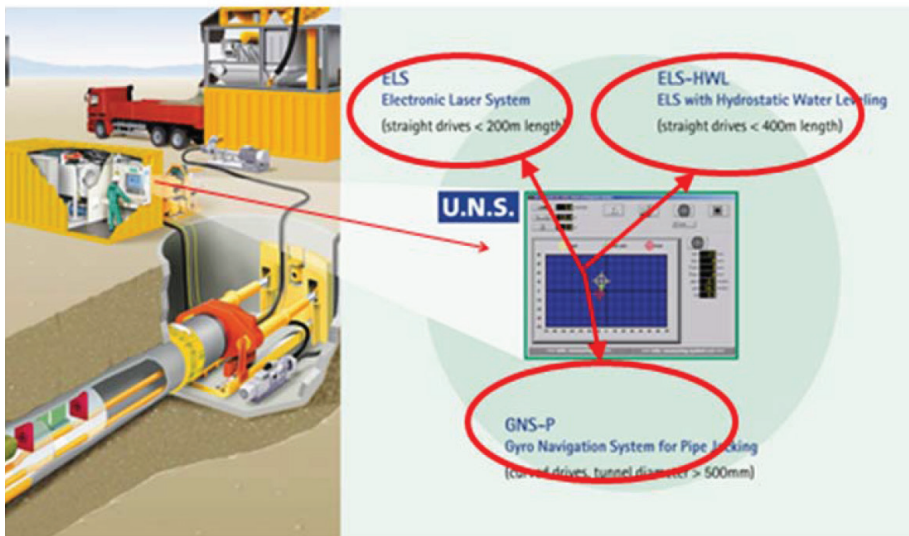
Referentna točka za podatke koji se tiču položaja i visine jest geometrijsko središte cijevi stroja, odnosno prednji rub ciljne ploče. Kod odgovarajuće parametriranoga sustava, uz pomoć računala, određuju se i prikazuju položaji i odstupanja daljnjih referen-



Slika 10. Ugradnja međustanica za izvođenje duljih dionica

Izvor: 2

Univerzalni navigacijski i upravljački sustavom (U.N.S.)



Slika 11. Upravljački nadzor

Izvor: 2

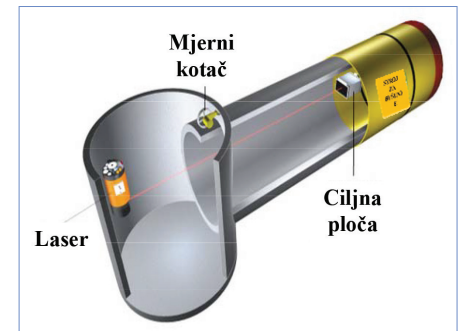
tnih točaka u cijevi stroja. Osim toga preuzimaju se, pohranjuju i dijelom na sučelju prikazuju razni drugi parametri kao što su tlakovi, duljine i hodovi upravljačkih cilindara. Na taj način operater stroja može precizno upravljati strojem i nadzirati sve faze bušenja opremom izravno iz kontrolnoga kontejnera.

Elektronički laserski sustav navođenja (ELS) za referencu koristi lasersku zraku projiciranu iz startnoga okna. ELS sustav funkcionira uz pomoć ak-

tivnih elektroničkih meta montiranih u stroju za bušenje koji detektira lasersku zraku i šalje signale na računalo u kontrolni kontejner.

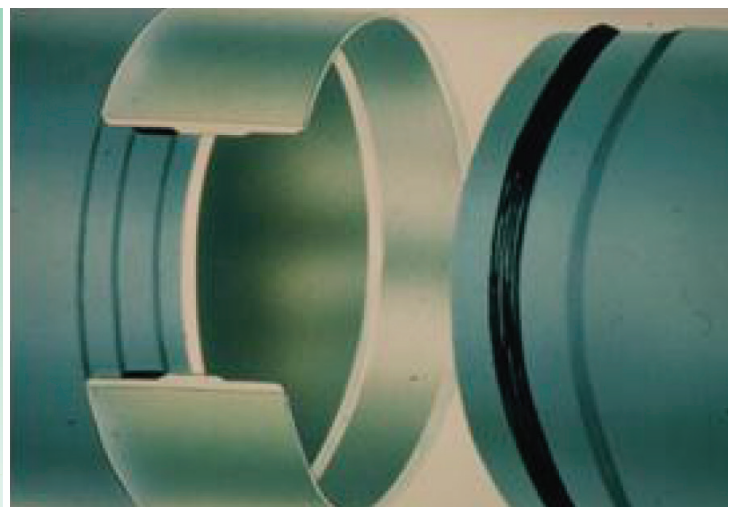
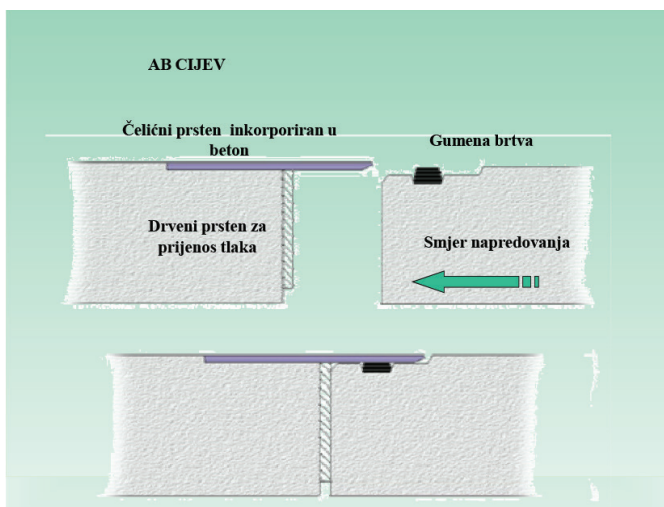
3. Vrste i profili cjevovoda

Za razliku od tradicionalnih cijevi koje su na spojevima deblje, cijevi koje se koriste kod metode mikrotunelogradnje moraju biti istoga promjera od početka do kraja. To je važno zbog održavanja niske tenzije na cijevi tijekom procesa potiskivanja. Uobičajene



Slika 12. Elektronički laserski sustav navođenja (ELS)

su dužine cijevi od jednog do tri metra, iako dužine variraju od sustava do sustava. S obzirom na to da je spoj najskuplji dio cijevi, korištenjem dugačkih cijevi smanjuju se troškovi. Ovisno o radijusu zakrivljenosti tunela određuje se koliki će segmenti cijevi biti primjenjeni. Što je radijus zakrivljenja manji, cijevi su kraće (jedan metar), a za blaže radijuse ili ako je tunel u cijelosti horizontalan, segmenti mogu biti i do tri metra. Tehnologijom mikrotunelogradnje mogu se utiskivati cijevi promjera od \varnothing 250 mm do \varnothing 2400 mm, i to od armiranoga betona, polimernih betona, kompozita i staklenim vlaknima ojačanih kompozita i naravno od čelika.



Slika 13. AB cijev i poliesterska cijev

Izvor: 2

4. Prednosti i nedostaci

Postupak mikrotuneliranja učinkovita je metoda koja čuva čovjekovu okolinu i alternativa je uobičajenom kopanju i građenju cjevovoda. Mikrotuneliranje moguće je izvoditi u svim vrstama tla, od sipkih, nevezanih pijesaka preko gline i kompaktnih tala do najtežih stijena. Tehnologija je, dakle, pogodna i u slučajevima kada je izvođenje radova drugim tehnologijama onemogućeno ili uopće nije izvedivo.

Najveća je prednost te ekološki prihvatljive tehnologije to što ne dovodi do prekida prometa ili privremenoga mijenjanja korita rijeke dok se izvode radovi. Preporučuje se i za postavljanje cjevovoda u uskim ulicama, ispod zgrada, željezničkih pruga, zrakoplovnih pista te ispod privatnih parcela, posebno onih u koje nije moguće ući jer nisu rešeni imovinskopravni odnosi.

Radovi na površini i rušenje površinskih objekata ograničeni su samo na početni i krajnji otvor. To minimalno ometa promet i aktivnosti okolnoga stanovništva.

Ostale prednosti:

- Ne ugrožava se korijenje jer nema otvorenoga iskopa zemlje.
- Opasnost od oštećenja okolnih zgrada i drugih podzemnih instalacija je vrlo mala.
- Snižava razinu podzemnih voda otpada.
- Izgradnje se znatno skraćuje.
- Tijek gradnje ne ovisi o vremenskim neprilikama.
- Znatno se smanjuje opterećenje okoline prašinom i bukom.
- Premještanje podzemnih vodova smanjuje se na minimum.
- Građani bolje prihvaćaju radove na cjevovodima.
- Ne ograničava se uobičajeni tijek prometa.
- Podzemno guranje cijevi omogućuje optimalno uvlačenje cijevi u zemlju.
- Ne stvaraju se vibracije tijekom napredovanja radova (to je velika prednost tijekom radova u gradskim uvjetima).

- Kompaktno postojenje omogućuje radove i na malome prostoru i tako smanjuje troškove izvođenja radova.

Nedostaci sustava odnose se ponajprije na visoke fiksne troškove koji tehnologiju čine ekonomski nepovoljnom, ponajprije u slučajevima kraćih dionica i cjevovoda manjih promjera. Riječ je o relativno visokim cijenama pripremnih radova i izvedbe bušotine.

5. Primjeri primjene

Izvedba propusta u obliku triju poliesterskih cijevi kružnoga poprečnog presjeka ispod željezničke pruge M303 Vrpolje – Slavonski Šamac – DG (u km 14+105) metodom mikrotuneliranja u sklopu nacionalnoga projekta navodnjavanja „Melioracijski kanal Biđ – Bosutsko Polje“. Radovi su izvedeni uz neometan tijek prometa i bez potrebe za skupim zahvatima kao što je prethodno preusmjeravanje prometa.

Propusti su izvedeni u obliku triju poliesterskih cijevi kružnoga poprečnog presjeka, minimalnoga unutarnjeg promjera od 1900 mm. Ukupna propusna površina iznosi $A_0 = 8,66 \text{ m}^2$.



Slika 14. mikrotuneliranje - željeznički propust s ugrađenim poliesterskim cijevima

Izvor: autor

Literatura:

- [1] Stein D., Trenchless Technology for Installation of Cables and Pipelines. Private publisher Prof. Dr. -Ing. Stein & Partner GmbH (www.stein.de), ISBN 3-00-014955-4, Bochum 2005.
- [2] Information brochure by Herrenknecht AG, Schlehenweg 2, D-77963 Schwanau, Deutschland.
- [3] Standard ATV-A 125E: Pipe Driving (September 1996).
- [4] EN 12889: Trenchless construction and testing of drains and sewers (03.2000).
- [5] Stein D., Practical Guideline for the Application of Microtunnelling Methods for the ecological, cost-minimised installation of drains and sewers. Private publisher Prof. Dr. -Ing. Stein & Partner GmbH (www.stein.de), ISBN 3-9810648-0-1, ISBN 978-3-9810648-0-3, Bochum 2005.
- [6] Information brochure by the GSTT – German Society for Trenchless Technology e.V., Hamburg (bez godine).
- [7] INSTITUT GRAĐEVINARSTVA HRVATSKE d.d. Zavod za hidrotehniku, Zagreb, Ulica Janka Rakuše 1, Građevinski projekt: Dovodni melioracijski kanal za

navodnjavanje Biđ – bosutskog polja (DIONICA OD km 0+435 DO km 0+892,5); Vrsta projekta: glavni projekt, oznaka glavnog projekta: VPB-T00-07-0002, projektant: Krešimir Galić, dipl. ing. građ., Zagreb studeni 2011.

UDK broj: 624.1

Adresa autora:

Vladimir Matijević, dipl. ing. građ
HŽ Infrastruktura d.o.o.

e-pošta: Vladimir.matijevic@hzinfra.hr

SAŽETAK

TEHNOLOGIJA UGRADNJE CJEVOVODA METODOM MIKROTUNELIRANJA

S obzirom na brojne nedostatke klasičnoga iskopa kao alternativa u planiranju i izgradnji infrastrukturnih linija, koriste se potpuno automatizirane tehnologije bezrovnoga polaganja cijevi. Suvremena metodologija omogućuje križanja cjevovoda s prometnicom bez prekida prometa, što je vrlo važno u željezničkome sek-

toru. U stručnome radu prikazane su tehničke i ekonomske usporedbe i prednosti primjene rješenja mikrotuneliranjem u odnosu na klasične načine polaganja cijevi.

Cljučne riječi: mikrotuneliranje, bezrovnna tehnika, linijski projekt, provedba projekta

Kategorizacija: stručni rad

SUMMARY

PIPELINE INSTALLATION TECHNOLOGY BY THE MICROTUNNELING METHOD

Considering the fact that classical excavation has numerous shortcomings, fully automated technologies of trenchless pipe laying are used as an alternative in the planning and construction of infrastructure lines. Modern methodology enables the crossing of pipelines with the road without interruption of traffic, which is very important in the railway sector. This professional paper presents technical and economic comparisons, as well as advantages of microtunnelling solutions in relation to classical methods of pipe laying.

Key words: microtunneling, trenchless technique, line project, project realization

Categorization: professional paper