

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEODETSKI FAKULTET**

Iva Željeznjak

**Geodetski i katastarski poslovi**  
**pri mikrotuneliranju**

DIPLOMSKI RAD



Zagreb, lipanj 2014.

**Zahvala:**

*Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Miodragu Roiću i komentoru Mariu Mađeru na svim korisnim savjetima prilikom izrade diplomskog rada.*

*Veliko hvala zaposlenicima tvrtke Aquaterm d.o.o., Karlovac na pomoći pri izradi rada.*

*Hvala svim kolegama i prijateljima koji su doprinjeli da sve ovo bude jedno prekrasno iskustvo.*

*Najveće hvala mojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci i razumijevanju tijekom cijelog studiranja.*



### ***I. Autor***

**Ime i prezime:** Iva Željeznjak

**Datum i mjesto rođenja:** 18.08.1989., Karlovac

### ***II. Diplomski rad***

**Predmet:** Katastar vodova

**Naslov:** Geodetski i katastarski poslovi pri mikrotuneliranju

**Mentor:** prof. dr. sc. Miodrag Roić, dipl. ing.

**Komentor:** dr. sc. Mario Mađer, dipl. ing.

### ***III. Ocjena i obrana rada***

**Datum zadavanja zadatka:** 3. veljače 2014.

**Datum obrane:** 27. lipanj 2014.

**Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:**

1. prof. dr. sc. Miodrag Roić, dipl. ing
2. dr. sc. Mario Mađer, dipl. ing.
3. dr. sc. Baldo Stančić, dipl. ing.

## Geodetski i katastarski poslovi pri mikrotuneliranju

Iva Željeznjak

**Sažetak:** Mikrotuneliranje podrazumijeva radove na podzemnoj ugradnji cijevi različitog poprečnog presjeka, pri čemu se cijevi ugrađuju pomoću stroja za mikrotuneliranje uz hidrauličko podupiranje iz startne jame. Ovaj diplomski rad opisuje geodetske i katastarske radove koji slijede po dobivanju projekta. Ti radovi obuhvaćaju detekciju postojećih vodova, provjeru ispravnosti projekta, izradu nacrtu iskolčenja, definiranje geodetske osnove, kontrolna mjerenja tijekom izrade mikrotunela, izradu elaborata vodova, te katastarske poslove nakon predaje elaborata. Također, detaljno su opisani načini navigacije u mikrotunelu: elektronički laserski sustav, laserski nivelacijski sustav i žiroskopski navigacijski sustav. Objašnjenje cijelog postupka vodi se na primjeru mikrotuneliranja na dionici 4 – Kolektor kišni preliv grad u Karlovcu u kojem se izmjenjuju dva načina navigacije u tunelu, prilikom mikrotuneliranja u pravcu korišten je laserski nivelacijski sustav koji je nailaskom na krivinu zamijenjen žiroskopskim navigacijskim sustavom.

**Ključne riječi:** mikrotuneliranje, katastar vodova, elektronički laserski sustav, laserski nivelacijski sustav, žiroskopski navigacijski sustav

### Geodetic and Cadastral tasks at Microtunneling

**Abstract:** Microtunneling involves works on the underground installation of pipes with various diameter, where the pipes are installed using a boring machine with hydraulic support from the start pit. This thesis describes the geodetic and cadastral works followed by obtaining project. These works include the detection of existing pipelines, checking the validity of the project, making draft of staking, defining points of geodetic base, control measurements during the development of microtunneling, making elaborate of pipelines and cadastral survey work upon delivery. Also, there is a detailed description of methods for navigation in microtunnel: electronic laser system, laser height adjust system and gyro navigation system. An explanation of the entire process leading to the example of microtunneling in Section 4 - Collector Rain Overflow Grad in which two ways of navigation are in use, microtunneling in direction requests laser height adjust system that is replaced with gyro navigation system during the microtunneling in curve.

**Keywords:** microtunneling, cadastre, electronic laser system, laser height adjust system, gyro navigation system



# S A D R Ž A J

<b>1. UVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>2. MIKROTUNELIRANJE METODOM UTISKIVANJA CIJEVI</b> .....	<b>7</b>
2.1. STARTNO OKNO .....	7
2.2. CILJNO OKNO .....	7
2.3. KRIŽANJE SA POSTOJEĆIM INSTALACIJAMA .....	7
2.4. OPREMA .....	7
2.5. POTISKIVANJE CIJEVI.....	10
<b>3. PROJEKT</b> .....	<b>11</b>
3.1. IZMJEŠTANJE POSTOJEĆIH INSTALACIJA .....	13
3.2. PROVJERA ISPRAVNOSTI PROJEKTA .....	15
3.3. GEODETSKA OSNOVA .....	17
3.3.1. <i>Korišteni instrumentarij</i> .....	20
3.4. ELABORAT ISKOLČENJA .....	23
<b>4. NAČINI NAVIGACIJE U TUNELU</b> .....	<b>26</b>
4.1. ELEKTRONIČKI LASERSKI SUSTAV .....	26
4.2. ELEKTRONIČKI NIVELACIJSKI SUSTAV .....	28
4.3. ŽIROSKOPSKI NAVIGACIJSKI SUSTAV .....	29
4.4. KORIŠTENI SUSTAV .....	29
4.4.1. <i>Koordinatni sustav</i> .....	30
4.4.2. <i>Laser</i> .....	30
4.4.3. <i>Žirokompas</i> .....	36
4.4.4. <i>Hidrostatski nivelman</i> .....	39
4.4.5. <i>Odometar</i> .....	41
<b>5. KONTROLA PRAVCA MIKROTUNELIRANJA</b> .....	<b>42</b>
5.1. PRIMJER KONTROLE PRAVCA BUŠENJA.....	46
<b>6. IZRADA ELABORATA VODOVA</b> .....	<b>48</b>
6.1. GRAFIČKI DIO ELABORATA VODOVA .....	48
6.1.1. <i>Topcon Link</i> .....	48
6.1.2. <i>AutoCAD</i> .....	50
6.2. TEKSTUALNI DIO ELABORATA VODOVA.....	54
<b>7. KATASTARSKI POSLOVI PRI MIKROTUNELIRANJU</b> .....	<b>56</b>
<b>8. SADRŽAJ PRILOŽENOG MEDIJA (CD-A)</b> .....	<b>57</b>
<b>9. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>58</b>

Literatura  
Popis URL-ova  
Popis slika  
Popis tablica  
Životopis

## 1. Uvod

Osnovni preduvjet za funkcioniranje urbane sredine je efikasnost infrastrukture koja omogućuje opskrbljivanje stanovništva vodom, plinom, toplinskom energijom, električnom energijom i telekomunikacijom, kao i ekološki osviještenu odvodnju otpadnih voda (Herrenknecht AG 2011).

Često se dotrajale instalacije ne mogu sanirati, a iskop starih i implementacija novih instalacija nije ekonomičan, pa se stoga danas sve češće koristi prihvatljiviji postupak mikrotuneliranja. Pod mikrotuneliranjem podrazumijevaju se radovi na podzemnoj ugradnji cijevi različitog poprečnog presjeka, pri čemu se cijevi ugrađuju pomoću stroja za mikrotuneliranje uz hidrauličko podupiranje iz startne jame (Stein 2005).

Najvažnija razlika između gradnje tunela i mikrotuneliranja jest u tome što se kod mikrotuneliranja radi o strojevima na daljinsko upravljanje (MTBM – Micro Tunneling Boring Machine) koji služe za potiskivanje cijevi u os budućeg cjevovoda (Maidl i dr. 2012).

Potreba za mikrotuneliranjem se javila zbog velikog broja vodova koji se nalaze u gradskim ulicama, pa mikrotuneliranje omogućuje izbjegavanje izmještanja mnogih vodova. Također, ugradnjom cijevi većih promjera stvara se mogućnost implementacije više različitih vodova o istom trošku bušenja mikrotunela.

Pri projektiranju mikrotunela, projektant mora voditi računa o tipu tla, promjeru cijevi, dubini na kojoj se cijevi ugrađuju, radijusu krivine, dužini tunela i topografskim značajkama duž trase. (Maidl i dr. 2012)

Stoga, mikrotuneliranju prethode istraživački radovi. Najkritičniji faktor u projektu mikrotunelogradnje je geologija (Stein 2005). Stoga je provođenje temeljitog geotehničkog istraživanja zemljišta nužan preduvjet za uspješan projekt. Ako unaprijed nije poznat tip zemljišta koji će se iskopavati ili bušiti, postoji rizik od korištenja neprikladnog tipa stroja na određenom zadatku.

Drugi važan faktor u preliminarnom istraživanju je definiranje lokacija postojećih instalacija, cjevovoda i podzemnih građevina. Značaj ovoga raste s povećanjem gustoće cijevi i kablova u zemlji, naročito ako postoji sumnja u njihov točni položaj.

Kako bi se postigao najbolji mogući rezultat, važno je provesti detaljna preliminarna istraživanja: geotehnička istraživanja, odrediti nivo podzemnih voda, izraditi popis komunalnih instalacija i bilo kojih drugih podzemnih zapreka, odrediti položaj i veličinu startne i ciljne jame. (Stein 2005)

U ovom radu bit će objašnjeni geodetski radovi od dobivanja projekta pa do predaje elaborata u katastar vodova na primjeru mikrotuneliranja na *dionici 4 – Kolektor kišni preliv grad* u Karlovcu. Po poglavljima će biti obrađeni postupci interpretacije i provjere projekta, detekcije i križanja s postojećim vodovima, izrade homogene mreže na području mikrotuneliranja, iskolčenja osi trase te ulaznog i izlaznog okna, postupci kontrole rada bušilice, i po završetku bušenja izrade elaborata vodova u svrhu prikaza izvedenog stanja.

## **2. Mikrotuneliranje metodom utiskivanja cijevi**

Između startnog i ciljnog okna se pomoću specijalnih strojeva utiskuju poliesterske cijevi dužine oko 3,0 m koje će konačno činiti cjevovod. Cijevi se potiskuju pomoću potisne stanice, odnosno hidrauličkog okvira za potiskivanje smještenog u otvoru startne jame (Hidro – A 2011). Ovisno o korištenom materijalu i načinu spajanja, cijevi se međusobno spajaju kruto ili pomično. Radovi metodom mikrotuneliranja izvode se u skladu s normama ATV-A 125 i DIN 18319.

### **2.1. Startno okno**

Startno okno treba biti minimalno dimenzija 5,5 x 4,5 m i dubine prema projektu. Veličina startnog okna ovisi o promjeru i dužini cijevi koja se ugrađuje. Stražnja okomita strana se koristi kako bi preuzela silu potiska potrebnog za utiskivanje cijevi (Stein 2005). Radi preuzimanja horizontalnih potisaka kod bušenja mikrotuneliranjem dimenzioniran je poseban armiranobetonski blok kao oslonac unutar startne jame. Okomite strane i krajnje stjenke otvora omogućuju precizno centriranje i sidrenje potisnog stroja i dizalice za spuštanje cijevi tijekom cjelokupne operacije.

### **2.2. Ciljno okno**

Metoda mikrotunelogradnje zahtijeva izgradnju i ciljnog okna. Ciljno okno treba biti minimalno dimenzija 4,5 x 3,5 m i dubine prema projektu. Dimenzije moraju biti dovoljno široke kako bi se osiguralo uklanjanje glave stroja za mikrotuneliranje (Stein 2005). Prijemni otvori nemaju posebne zahtjeve. Jedina svrha ovog okna je da osigura uklanjanje opreme.

### **2.3. Križanje sa postojećim instalacijama**

Prije početka radova izvođač je dužan obavijestiti sve institucije čija se infrastruktura nalazi u području radova, zatražiti njihovo označavanje i osigurati prema potrebi prisustvo ovlaštenih osoba pri izvedbi, te u dogovoru s njima predvidjeti mjesta križanja sa starim instalacijama. Po potrebi moguće je postojeće instalacije izmjestiti, pa zatim novi položaj geodetski izmjeriti i izraditi elaborat, te ga predati vlasniku instalacija i investitoru.

Isto tako potrebno je osigurati nesmetanu opskrbu korisnika izvođenjem privremenih instalacija ili osiguravanjem postojećih instalacija tijekom izgradnje objekta, a sve prema zahtjevima i potrebama vlasnika instalacija.

### **2.4. Oprema**

Cjelokupno postrojenje konstruirano je za iskop tunela prilagođenog promjeru stroja.

Dijelovi postrojenja za iskop tunela sastoje se iz:

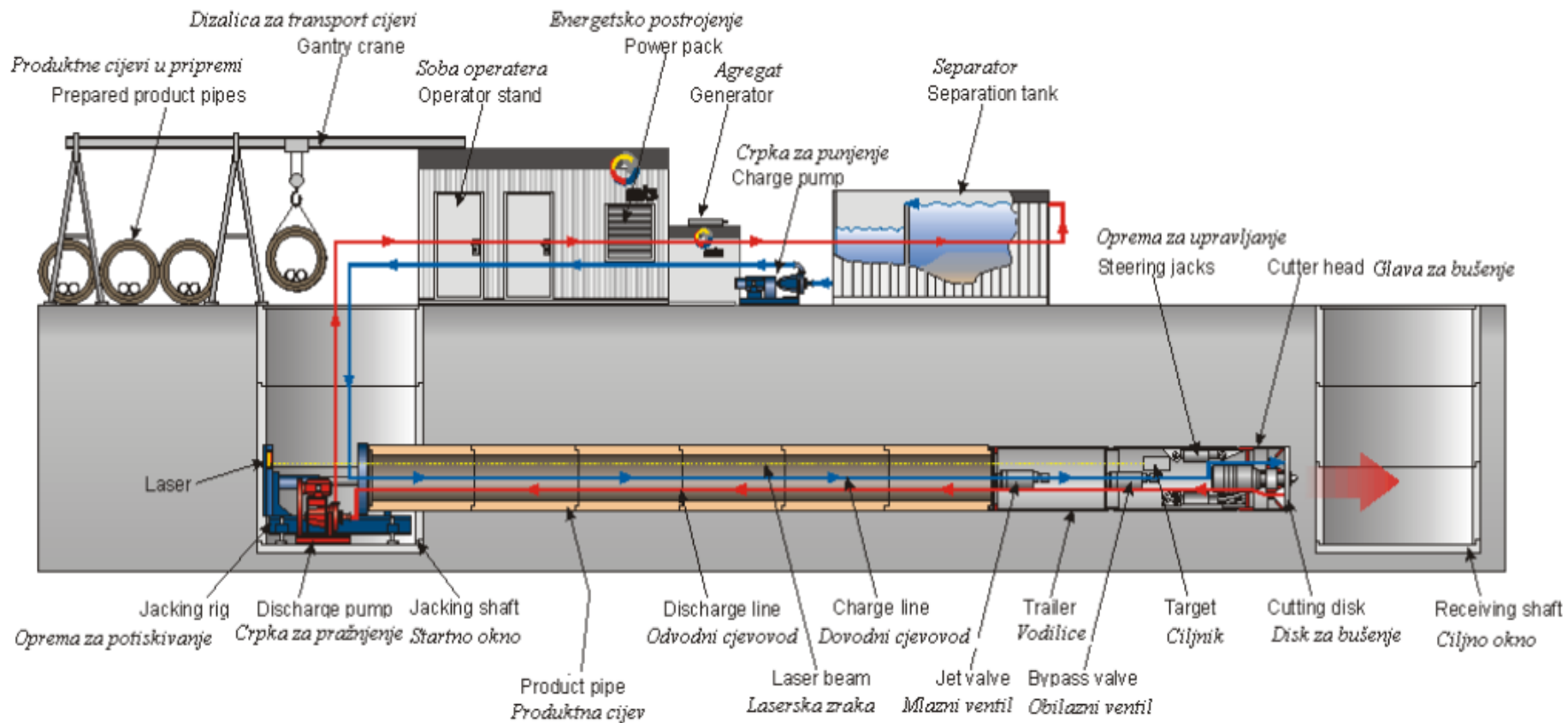
- kontrolnog kontejnera s upravljačkom pločom, električne ploče distribucije i hidrauličkog agregata (nalazi se u blizini startnog okna)

- transportnog kružnog toka (za transport materijala – prijenos tekućine)
- transportne i napojne pumpe (za transport materijala i vode iz iskopa)
- spremnika za vodu
- separacijskog spremnika
- potisne stanice
- međupotisnih stanica (po potrebi)
- stroja za iskop tunela i pomoćnih cijevi (Stein 2005)

U nastavku se nalazi shema mikrotuneliranja (Slika 1.) iz koje je vidljivo iz kojih se dijelova sastoji oprema i kako teče postupak utiskivanja:

1. U startno okno se spušta oprema za bušenje
2. Oprema se namješta po pravcu i visini
3. Na mjestu početka bušenja postavlja se brtveni prsten kako bi se osigurala vodotijesnost spoja AB zida i cijevi za utiskivanje
4. Započinje bušenje u osi budućeg zaštitnog cjevovoda
5. Nakon bušenja određene duljine u okno se spušta cijev i utiskuje u tunel
6. Postupak se ponavlja uz kontrolu pravca i visine pomoću lasera u startnom oknu
7. Po potrebi se postavlja međustanica (na svakih cca 90m) kako bi se smanjila sila utiskivanja
8. Istiskuje se bentonit koji se dodaje pomoću pumpi kako bi se smanjilo trenje između cijevi (višak se obrađuje u separatoru koji se nalazi na razini terena)
9. U ciljnom oknu se također postavlja brtveni prsten na mjestu izlaza cijevi
10. Nakon probijanja zida prihvaća se oprema za bušenje i vadi na površinu (Stein 2005)





Slika 1. Shematski prikaz opreme (izvor: URL1)

## **2.5. Potiskivanje cijevi**

Potisna stanica i eventualno ugrađene međupotisne stanice služe za napredovanje stroja za iskop tunela i cijevi. Potisna stanica se sastoji od zadnje ploče, tračnica, ograde, hidraulične preše i pogonske ploče. Potisna stanica radi na principu potiska cijevi naprijed u seriji od 3 kratka poteza. Nakon završetka svakog ciklusa instalacije cijevi, sastavni dijelovi potisne stanice: linije hidraulike, koje omogućuju gibanje hidraulične preše, kontrolni kabel, podatkovni kabel te energetske linije povezane sa strojem, se iskopčaju i tek tada nova cijev dolazi u položaj pripreme za utiskivanje. Servis linije se ponovo povezuju i ponavlja se radni ciklus (Stein 2005).

Potiskivanjem cijevi se upravlja pomoću laserske tehnologije, koja omogućuje operateru da precizno odredi poziciju glave cijevi. Odstupanja od pravca i nagiba se kontroliraju tijekom cijele operacije i, ako je potrebno, horizontalnim ili vertikalnim poravnavanjem prednje strane. Odstupanja od pravca i nagiba do 30 mm su uobičajena kod upravljanja pomoću lasera u normalnim uvjetima (Herrenknecht AG 2008).

Upravljački nadzor potiskivanja cijevi zahtijeva:

- precizan nadzor između startne i ciljne jame
- precizno postavljanje
- točnost kod upravljanja strojem za mikrotuneliranje
- sustav kontrole za praćenje ponašanja pravca i razine cijevi, odnosno nivelete
- dobrog operatera i efikasnu ekipu (Stein 2005)

Sustav je opremljen s jednim od tri sustava navođenja, ELS-a koji koristi lasersku zraku, projiciranu iz startnog okna, ELS-HWL, koji se temelji na laseru i hidrostatskom nivelmanu, ili GNS, koji se zasniva na žirokompasu i hidrostatskom nivelmanu (Herrenknecht AG 2008). Ti sustavi detaljnije su objašnjeni u narednim poglavljima.

### 3. Projekt

Izvedbeni projekt IZP-040-1-3/10 izradila je 03.06.2011. g., tvrtka Hidro-A d.o.o. za projektiranje i građenje, Dužice 1, 10 000 Zagreb, na zahtjev investitora Vodovod i kanalizacija d.o.o., Gažanski trg 8, Karlovac, pod nazivom Sustav odvodnje otpadnih voda Karlovca i Duga rese – *Kolektor kišni preljev grad (dionica 4)*. Izvedbenim projektom dalo se tehničko rješenje za prolaz kolektora *Kišni preljev Grad* DN1600 mm od lokacije *kišnog preljeva Šanac* do nove crpne stanice Giza (CS Giza) i dalje ispustom u rijeku Kupu.

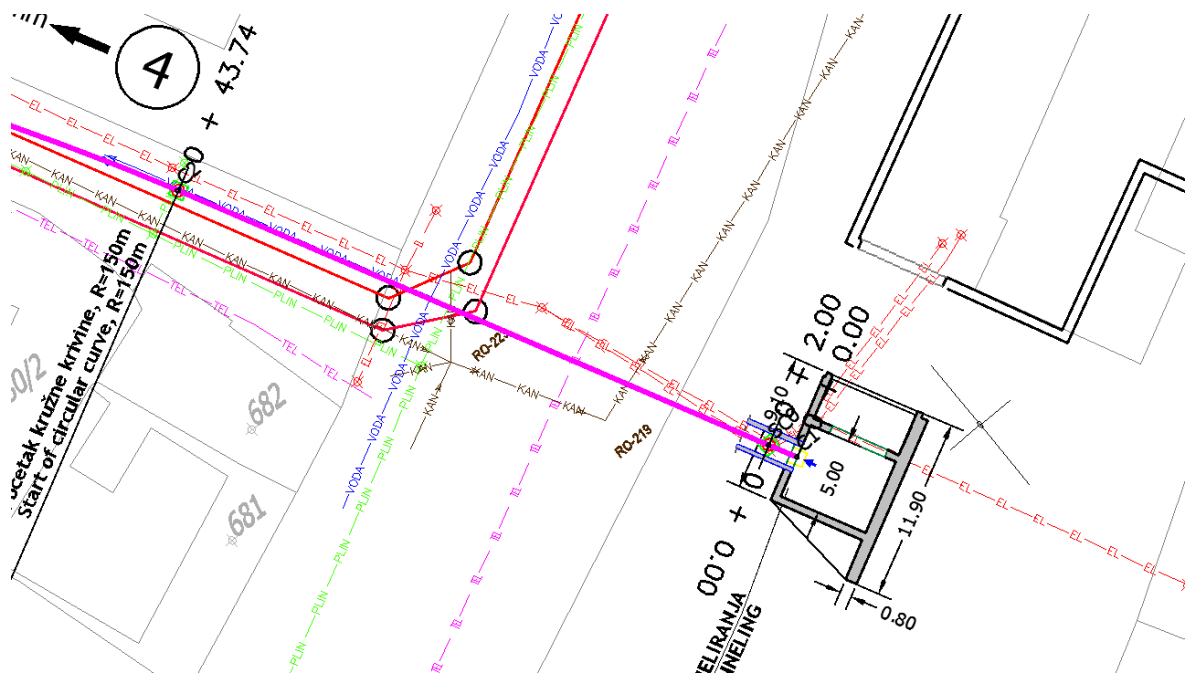
Za vrijeme niskog vodostaja rijeke Kupe, oborinska voda kolektorom može doći do nje gravitacijski, a za vrijeme visokog vodostaja potrebno je uključiti crpke za oborinsku vodu u CS Giza. Do crpne stanice dolazi samo tekući dio jer sav krupni i gusti dio otpadnih voda ostaje na izgrađenoj retenciji u startnom oknu. Da bi se omogućilo gravitacijsko otjecanje, kolektor je morao biti na dubini od cca 7.5 m. Zbog uskog koridora Tkalčeve ulice i velike dubine kolektora nije bilo moguće izgraditi kolektor klasičnim iskopom. Iz tog razloga je glavnim projektom predviđena njegova izgradnja mikrotuneliranjem.

Spomenuta dionica 4 predstavlja najsloženiji dio kolektora budući da obuhvaća mikrotuneliranje sa cijevima promjera DN1600 mm pojedinačne duljine 2500 mm, a ukupne cca 267.7 m. Lokacija startnog okna mikrotuneliranja je određena prilikama na lokaciji i potrebom spoja na galeriju kojim oborinska voda dolazi iz kišnog preljeva Šanac. Zbog potrebe smještaja opreme za mikrotuneliranje tlocrtna veličina okna je 6 x 5 m. Zbog velike sile utiskivanja od cca 850 tona, na stražnjem dijelu okna morao se predvidjeti uporišni zid duljine 12.20 metara kako bi se sila utiskivanja prenijela na što veću površinu i kako bi se spriječio slom tla.

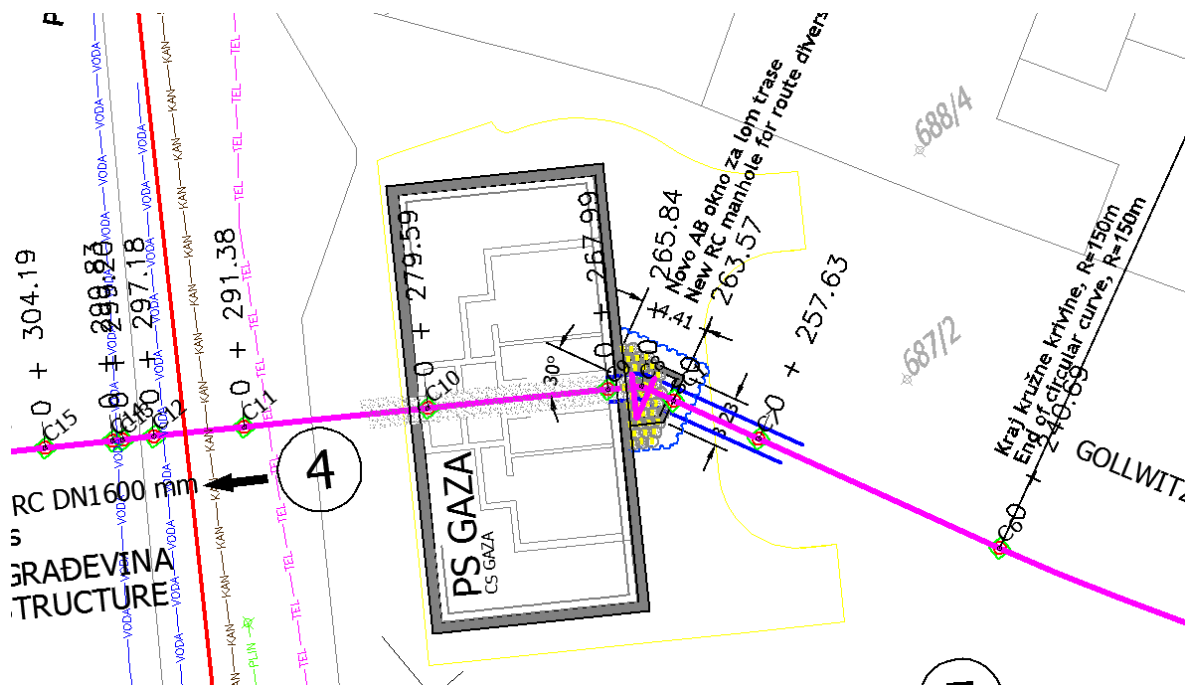
Najveći problem kod ove dionice su dvije horizontalne krivine radijusa  $R=150$  m sa ravnim dijelovima na početku, u sredini i na kraju. Početak mikrotuneliranja je u stacionaži kolektora 0+000.00 te se vrši u pravcu do stacionaže 0+043.74 ( $l=43.74$  m). Tu počinje kružna krivina do stacionaže 0+115.72 ( $l=71.98$  m), a nakon nje opet ravni dio do stacionaže 0+166.13 ( $l=50,41$  m). Nakon toga opet počinje kružna krivina do stacionaže 0+240.69 ( $l=74.56$  m). Nakon toga mikrotuneliranje se vrši u pravcu sve dok stroj ne uđe u građevnu jamu CS Giza. Da bi stroj prošao kroz dijafragmu potrebno ju je izbušiti s unutarnje strane i ukloniti armaturu u koju bi mogao udariti stroj.

Potiskivanjem cijevi se upravlja pomoću laserske tehnologije, koja omogućuje operateru da precizno odredi poziciju glave stroja za bušenje. Odstupanja od pravca i nagiba se kontroliraju tijekom cijele operacije, te se vrše horizontalna ili vertikalna poravnavanja ako je potrebno. Odstupanja od pravca i nagiba do 30 mm su uobičajena kod upravljanja pomoću lasera u normalnim uvjetima.

U nastavku se nalaze dijelovi projektne dokumentacije koje sadrže prikaze pozicije startnog i ciljnog okna (Slika 2. i Slika 3.).



Slika 2. Startno okno



Slika 3. Ciljno okno

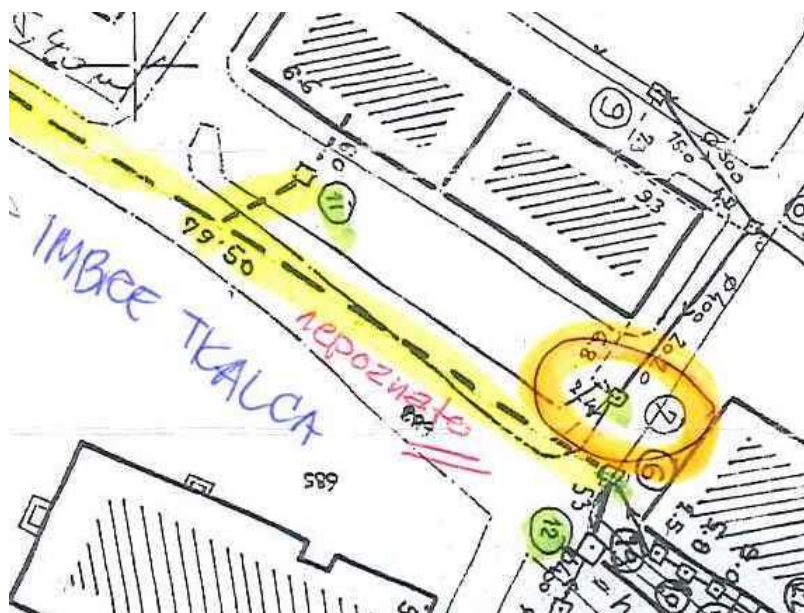
### 3.1. Izmještanje postojećih instalacija

Nakon uvida u projekt zatražen je od katastra uvid u dokumentaciju o vodovima na području mikrotuneliranja. Pri uvidu u dokumentaciju vodovodnih vodova u ulici Imbre Tkalca uočen je jedan dio vodovoda koji nije nigdje spojen na glavni vodovod. Tek izlaskom službenika tvrtke Vodovod i kanalizacija d.o.o. na teren, utvrđena je približna lokacija cijevi. U nastavku se nalazi sporni dio dokumentacije o vodovodu u Karlovcu. (Slika 4.)



Slika 4. Skica vodovodnih cijevi u ulici Imbre Tkalca  
(izvor: službeni podaci tvrtke Vodovod i kanalizacija d.o.o.)

Nakon otkrivanja lokacije vodovoda uslijedio je novi problem. Uvidom u dokumentaciju o odvodnji otpadnih voda nedostajale su informacije o šahtu broj 12 (Slika 5.). Spomenuti šaht je izmješten u odnosu na poziciju na skici, a nitko nije bio siguran gdje je točno izmješten. Uz skicu iz arhiva tvrtke Vodovod i kanalizacija dobiven je i crtež koji nije bio od velike pomoći. Na crtežu se nalazi šaht 12 u koji ulaze dvije cijevi i izlazi jedna, od toga visine dviju cijevi nisu poznate. Dubina i pozicija šahta također su nepoznate.



Slika 5. Nepotpuna dokumentacija odvodnje otpadnih voda

Traženje dokumentacije tvrtke HEP d.o.o. također nije bilo od velike koristi. Na skici se nalaze dvije linije (Slika 6.), a u stvarnosti je pronađeno 7 elektroenergetskih kablova. Linija na skici nalazi se pozicionirana 1-1.5 m udaljena od stvarne lokacije kablova.



Slika 6. Skica elektroenergetskih kablova  
(izvor: službeni podaci tvrtke HEP d.o.o.)

Zbog vrlo skromne i prilično netočne dokumentacije o vodovima zatražena je detekcija vodova, te je za cijelu ulicu ponovno izrađen situacijski snimak svih vodova. Detekcija vodova obavljena je uz prisustvo upravitelja vodova. DTK cijevi su detektirane detektorom za metal, a kanalizacija je detektirana izmjerom dna šahтова na trasi. S obzirom da je ulica kroz koju je bušen tunnel prilično uska, nakon detekcije vodova došlo je do potrebe za izmještanjem vodova.

Djelomično su izmještena dva voda u dogovoru sa ovlaštenim osobama upravitelja vodova. Tijekom radova izmještanja vodova potrebno je vršiti izmjeru položaja vodova kako bi se mogao izraditi elaborat koji se predaje vlasniku instalacija i investitoru. U prilogu se nalaze prikazi izmještenog voda kanalizacije i elektroenergetskog kabela. Vodovi su izmješteni u suradnji s upraviteljima vodova.

Na situacijskim planovima (Prilog 1 i Prilog 2) crnom bojom su označene nadmorske visine terena, crvenom visine na kojima je postavljen elektroenergetski kabel, a smeđom bojom visina nivelete, odnosno dna cijevi kanalizacije.

Usprkos svim tim provjerama, prilikom bušenja oštećen je jedan šaht stare kanalizacije zbog toga što se na dnu stvorio talog 20-ak centimetara toliko čvrst, da su prilikom izmjere geodetski stručnjaci mislili da je to dno šahта, odnosno beton. Pošto šaht nije više u funkciji, šteta nije bila velika.

### **3.2. Provjera ispravnosti projekta**

Projektant kod projektiranja projekta ne zna kojim instrumentarijem će se bušenje izvoditi, pa je zbog toga neophodno provjeriti da li to odabrani instrumentarij može izvesti. UNStrans je softver kojim se ispituje da li bušilica može izvesti projektiranu krivinu. Ukoliko nije moguće izvesti bušenje u krivini može se zatražiti izmjena projekta temeljena na dobivenim podacima ispitivanja sustava.

Ispitivanje trase bušenja zahtjeva poznavanje određenih elemenata poput X,Y,Z koordinata početka i kraja pravca, te početka, kraja i radijusa krivine. Prilikom ispitivanja korišteni su elementi koji se nalaze u tablici u nastavku (Tablica 1).

*Tablica 1. Koordinate elemenata*

DT	y	x	H (os bušenja)	Radius	
C1A	5543889.50	5039205.94	105.505		Pravac
C2	5543869.57	5039244.88	105.390	-150 m	PK
C3	5543822.93	5039298.80	105.200		KK
C4	5543781.83	5039327.99	105.072	150 m	PK
C5	5543734.04	5039384.21	104.869		KK
C7	5543722.96	5039406.79	104.803		Pravac

Pokretanjem softvera UNStrans prikazuje se glavni izbornik u kojem se odabire kreiranje novog projekta kako bi se započelo s ispitivanjem (Open main menu → create new project → enter name). Nakon toga se otvara prozor u koji se upisuju koordinate iz projekta. Prvo su upisivane koordinate točkaka C1A i C2 koje definiraju početni pravac. Pomoću naredbe dodaj segment otvoren je novi prozor u koji su upisane početna (C2) i krajnja točka krivine (C3), te radijus krivine koji je dan u sklopu projekta. Dodavanjem novog segmenta definira se pravac koji se nalazi između dvije krivine (C3 i C4). Točke C4 i C5 zajedno sa radijusom definiraju drugu krivinu. Točke C5 i C7 definiraju završni pravac. Prilikom računanja svakog segmenta dobivaju se podaci o smjeru, nagibu i dužini trase u segmentu. Prema podacima iz Tablice 1. lako je uočiti da su radijusi obrnutog predznaka, što označava da je prva krivina lijeva, a druga desna. U nastavku se nalazi prikaz lijeve i desne krivine sa koordinatama iz konkretnog projekta *Kolektor Kišni preljev grad – Dionica 4* (Slika 7. i Slika 8.). Bijela polja označavaju ona u koja se unose podaci, a crna prikazuju rezultate, pri čemu *bearing* predstavlja azimut u gonima, *inklination* vertikalni nagib u postocima dobiven dijeljenjem visinske razlike cijevi na početku i kraju tunela sa dužinom terena x 100, a *station* dužinu segmenta.

Po završetku kreiranja segmenata, segmenti se mogu još jednom prelistati i prekontrolirati, te se zatim pohranjuju.

DTA

Project  
Description: gaza

Segment 2 / 6

DTA segments

	East Y [m]	North X [m]	Z (Center) [m]	bearing [gon]	inklination [%]	station [m]
start point	5543869.570	5039244.880	105.390	369.8757	-0.2640	
end point	5543822.930	5039298.800	105.200	339.3258	-0.2640	115.726

radii of circles

horizontal	-150.0000	left curve
vertical		straight down

Length of segment

horizontal length	71.9814
total length of segment	71.9817

Center points of circles

horizontal	Y [m] 5543736.0522	X [m] 5039176.5206
vertical	H [m]	X [m]

Slika 7. Lijeve krivine



DTA

Project  
Description **gaza**

**Segment 4 / 6**

DTA segments

	East Y [m]	North X [m]	Z (Center) [m]	bearing [gon]	inclination [%]	station [m]
start point	5543781.830	5039327.990	105.072	339.3280	-0.2723	
end point	5543734.040	5039384.210	104.869	370.9690	-0.2723	240.689

radii of circles

horizontal	150.0000		right curve
vertical			straight down

Length of segment

horizontal length	74.5523
total length of segment	74.5526

Center points of circles

horizontal	Y [m] 5543868.7120	X [m] 5039450.2664
vertical	H [m]	X [m]

Navigation icons: Home, Back, Forward, Keyboard, Home, Home+, Checkmark

Slika 8. Desna krivina

Nakon pohranjivanja segmenata otvara se prozor koji nam ukazuje na eventualne pogreške, vrlo je važno da u tom prozoru piše *no error* kako bismo bili sigurni da je bušenje moguće izvesti.

### 3.3. Geodetska osnova

Za veće elaborate vodova na područjima na kojima ne postoji razvijena geodetska osnova, istu treba razviti (NN 71/08). Za izradu geodetske osnove na zadanom području preuzeta je u katastru dokumentacija o stalnoj točki geodetske osnove GPS 1229 u k.o. Karlovac II, te su se pomoću GPS uređaja Trimble R8 odredile ostale poligonske točke koje su nivelirane instrumentom SOKKIA SDL1X, i sa kojih se vršila daljnja izmjera detalja. Izvršena je kalibracija na GPS točki 1229 i kontrolno mjerenje na GPS točki 1119 u dva neovisna ponavljanja. Nove točke geodetske osnove i preuzeta točka GPS 1229 mjerene su dva puta korištenjem VPPS servisa CROPOS sustava namijenjenog za visoko precizno pozicioniranje u realnom vremenu. U nastavku se nalaze zapisnik GNSS mjerenja (

Tablica 2.) i koordinate korištenih točaka geodetske osnove (Tablica 3.).

Tablica 2. Zapisnik GNSS mjerenja

Redni broj	Broj točke/ ID točke	Datum mjerenja	1.mjerenje 2. mjerenje (sat,min)	Duljina mjerenja (sec)	Visina antene (m)	Napomena (vrsta i red točke/način stabilizacije)
1.	GPS 1229	06.12.2011.	8:37:02	180	2.00	GPS točka  betonski stup s prokrom reperom
		06.12.2011.	10:45:48		2.00	
2.	P1	06.12.2011.	08:56:11	180	2.00	Poligonska točka  bolcna
		06.12.2011.	10:58:03		2.00	
3.	P2	06.12.2011.	09:13:02	180	2.00	Poligonska točka  bolcna
		06.12.2011.	11:22:03		2.00	
4.	P3	06.12.2011.	09:26:16	180	2.00	Poligonska točka  bolcna
		06.12.2011.	11:38:09		2.00	

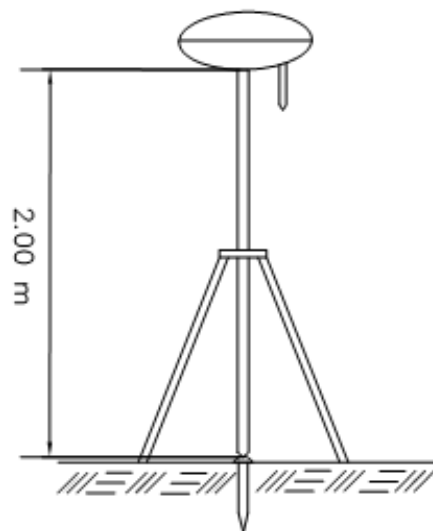
Prilikom predaje elaborata vodova u sklopu zapisnika GNSS mjerenja potrebno je predati i skicu i opis mjerenja visine antene. Primjer dokumenta koji je predan u elaboratu vodova nakon svih završenih radova nalazi se u nastavku (Slika 9.).

## ZAPISNIK GNSS MJERENJA CROPOS VPSS

(Strana 1/\_\_\_)

Naziv projekta: ULICA IMBRE TKALCA	Tip:	Ser. broj:
Tvrtka: Aquaterm d.o.o.	Antena / Prijemnik	GNSS TRIMBLE R8 Model 2 4906165386
Opažač: Valter Vlah, dipl. ing. geod.	CROPOS ID korisnika:	
CROPOS usluga: VPSS		

Skica I opis mjerenja visine GNSS antene



Slika 9. Skica i opis mjerenja visine GNSS antene

*Tablica 3. Točke geodetske osnove*

Točka	Y	X	H
GPS 1229	5544282.10	5038733.13	109.87
GPS 1119	5542858.69	5040271.36	112.32
P1	5543857.22	5039272.69	112.31
P2	5543789.31	5039312.27	111.53
P3	5543740.78	5039356.68	111.60

### 3.3.1. Korišteni instrumentarij

Prilikom razvijanja geodetske osnove korišteni su GPS uređaj Trimble R8 i nivelir SOKKIA SDL1X čije specifikacije se nalaze u nastavku.

Nivelir SOKKIA SDL1X (Slika 10.) je vrlo precizan nivelir kojim je moguće ostvariti točnost od 0.2 mm na 1 km dvostrukog niveliranja. Spomenuti nivelir karakteriziraju automatsko fokusiranje koje smanjuje vrijeme rada i do 40% u odnosu na ručno fokusiranje, interna memorija (10000 točaka), povećanje 32x, utor za SD karticu, USB port, bluetooth, daljinski upravljač koji osigurava eliminaciju trzaja kod dodira instrumenta. SOKKIA SDL1X postiže najvišu preciznost u kombinaciji sa BIS30A letvom sa RAB kodom koja ima industrijski najviši koeficijent linearne ekspanzije  $\pm 0.1$  ppm/ $^{\circ}$ C.



Slika 10. Nivelir SOKKIA SDL1X (izvor: URL2)

Tablica 4. Tehničke specifikacije

Točnost dužine < ± 10 mm, do 10 m	< ± 10 mm, do 10 m
	< ± 0.1 % x D, do 50 m
	< ± 0.2 % x D, do 100 m
Rang mjerenja	1.6 do 100 m (elektronsko)
	od 1.5 m (vizualno)
Vrijeme mjerenja	< 2.5 s (jedno/ponavljanje)
	<1 s (brzo ponavljanje)
Durbin	45 mm (otvor objektiva)
	3" (rezolucija)
	1.5 m (minimalni fokus), 1°20' (vidno polje)
Kompenzator	magnetski sustav s prigušenjem
	± 12' (radni doseg)
	± 0.3" (točnost namještanja)
Senzor nagiba	dvoosni
Osjetljivost libele	8'/2 mm (dozna)
	± 12'/unutar kruga, ±24'/izvan kruga (grafička)

Osim nivelira, pri razvoju geodetske osnove korišten je i ranije spomenut GPS uređaj Trimble R8. Trimble R8 podržava širok raspon satelitskih signala: GPS L1C7A, L2C, L2E i L5, GLONASS L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, SBAS L1C/A, L5. Osim spomenutih signala, konfiguracija uređaja će omogućavati i prijem Galileo signala kada sustav bude u funkciji, a trenutno može pratiti eksperimentalne Giove-a i Giove-b testne satelite. Uz sami uređaj dolazi i softver za obradu podataka Trimble Access.

## Točnost pozicioniranja:

- kodno diferencijalno pozicioniranje
  - horizontalno 0.25 m + 1 ppm RMS
  - vertikalno 0.50 m + 1 ppm RMS
- precizno statičko GNSS mjerenje
  - horizontalno 3 mm + 0.1 ppm RMS
  - vertikalno 3.5 mm + 0.4 ppm RMS
- statika i brza statika
  - horizontalno 3 mm + 0.5 ppm RMS
  - vertikalno 5 mm + 0.5 ppm RMS
- real time kinematičko mjerenje (jedna baza < 30 km)
  - horizontalno 8 mm + 0.5 ppm RMS
  - vertikalno 15 mm + 0.5 ppm RMS
- mrežni RTK
  - horizontalno 8 mm + 0.5 ppm RMS
  - vertikalno 15 mm + 0.5 ppm RMS
- vrijeme inicijalizacije < 8 sec
- pouzdanost inicijalizacije > 99.9 %



Slika 11. GPS uređaj Trimble R8 (izvor: URL3)

### **3.4. Elaborat iskolčenja**

Elaborat iskolčenja temelji se na projektu. Iskolčenje građevine je geodetski prijenos tlocrta vanjskog obrisa građevine ili osi trase građevine koju je dozvoljeno graditi, na teren unutar građevne čestice. Elaborat iskolčenja građevine je dokument kojim se iskazuje način iskolčenja građevine na terenu i način kojim su stabilizirane točke planirane građevine. (NN 76/07)

Elaborat iskolčenja je nužan za početak gradnje, što je definirano Zakonom o prostornom uređenju i gradnji. Prije početka građenja investitor je dužan osigurati provedbu iskolčenja građevine. (Kapović 2012)

Elaborat iskolčenja temelji se na aktu kojim se stječe pravo građenja (rješenje o uvjetima građenja, građevinska dozvola ili potvrda glavnog projekta), a izrađuje se u skladu s idejnim i glavnim projektom. Pri prijavi početka građenja investitor mora navesti, između ostalog, i izvođača i oznaku elaborata iskolčenje, te isti mora imati na gradilištu tijekom cijelog postupka izgradnje.

Izrada elaborata iskolčenja zahtjeva preuzimanje osnovnih projektantskih, katastarskih i zemljišnoknjižnih podataka, osnovnu obradu prikupljenih podataka i pripremu za terenske radove, terenski rad, završnu obradu i izradu elaborata. Iskolčenje trase obavlja se s referentnih geodetskih točaka klasičnim metodama, a može se obavljati i GNSS metodama te CROPOS-om. Također, važno je postaviti i visinsku mrežu, odnosno repere. Reperi moraju biti stabilizirani na čvrstom tlu, u stijeni ili nekom drugom stabilnom objektu.

Nadzorni inženjer dužan je u provedbi stručnog nadzora građenja utvrditi je li iskolčenje građevine obavila osoba ovlaštena za obavljanje poslova državne izmjere i katastra nekretnina prema posebnom zakonu. U prijavi početka građenja investitor je dužan navesti izvođača i oznaku elaborata iskolčenja. (NN 76/07)

Samo iskolčenje izvedeno je prema glavnom građevinskom projektu br. 2310-119/1-6 koji je sastavni dio potvrde glavnog projekta KI: 361-03/08-08/68, URBR: 2133/01-03-03/36-08-10, pomoću mjerne stanice Topcon GPT – 9003M, čije specifikacije se nalaze u nastavku, tako što je stanica postavljena na jednu od točaka nove geodetske osnove, a detaljne točke prije izlaska na teren unesene u memoriju mjerne stanice. Iskolčene točke stabilizirane su na terenu drvenim kolcima na kojima su oznake iskolčene točke. Elaborat iskolčenja izrađen je na PC-u uz korištenje softvera AutoCAD 2010 Civil 3D. Nacrt iskolčenja sastoji se od tekstualnog dijela i grafičkih priloga. Tekstualni dio sadrži zapisnik o izvršenom iskolčenju, tehničko izvješće, popis koordinata, a kao grafički prilog prilaže se nacrt iskolčenja. Listovi nacrta iskolčenja nalaze se u prilogima (Prilog 3 i Prilog 4).

Iako se buši ispod zemlje, prilikom mikrotuneliranja neophodno je konstruirati mrežu na ulazu i izlazu tunela, i povezati ta dva okna poligonskim točkama. Tako dobivamo jednu homogenu mrežu koja nam omogućava veću sigurnost i bolju kontrolu. Kako kod izrade tunela, tako i kod mikrotunela može se dogoditi da dvije različite tvrtke rade na projektu, tj. jedna radi ulazno, a druga izlazno okno, tada osobito dolazi do potrebe za homogenom mrežom kako bi se spriječile moguće pogreške.

Topcon GPT-9003M je motorizirana pulsna mjerna stanica. Stanicu karakterizira motor tehnologija koja omogućuje brže iskolčenje. Točnost mjerenja kuta iznosi 3". Stanica ima mogućnost izmjere bez prizme do 2000 m. Stanica posjeduje kompaktan softver za inženjersku geodeziju i prometnice, koji podržava memoriranje velikog broja poslova, memoriju velikog broja točaka, mogućnost učitavanja pozadinske slike, uvoz/izvoz DXF i DWG datoteka. Mjerna stanica ima utore za USB i CF memorijsku karticu, te serijske i B portove.

Stanica je opremljena Windows sučeljem, uz mogućnost Email/Internet pristupa, te unosa PIN-a u svrhu osiguranja.



Slika 12. Topcon mjerna stanica (izvor: URL4)

Tehničke specifikacije:

### Mjerenje kutova

Metoda	apsolutno čitanje
Min. očitavanje	0.2/1 mgon, 1"/5"
Točnost	1 mgon/3"
Kompensacija	dvoosni
Doseg kompenzacije	±6'

### Mjerenje udaljenosti

S prizmom	
• doseg 1/3/9 prizmi	3000m/4000m/5000m
Točnost	±(2 mm + 2 ppm x D) m.s.e.



**Bez prizme**

- kratki doseg (točnost) 1.5 m – 250 m ( $\pm 5$  mm)
- dugi doseg (točnost) 5.0 m – 2000 m ( $\pm 10$  mm + 10 ppm x D)

Klasa laserske zrake

Klasa 1 (IEC publikacija 825)

Laserski pointer

Klasa 2 (vidljiva crvena točka)

**Korisničko sučelje**

Operativni sustav

Microsoft Windows CE.NET 4.2

Procesor

Intel PXA255 400 MHz

Ekran

U boji, osjetljiv na dodir

Laserski pointer

LD (vidljiva laserska zraka)

## 4. Načini navigacije u tunelu

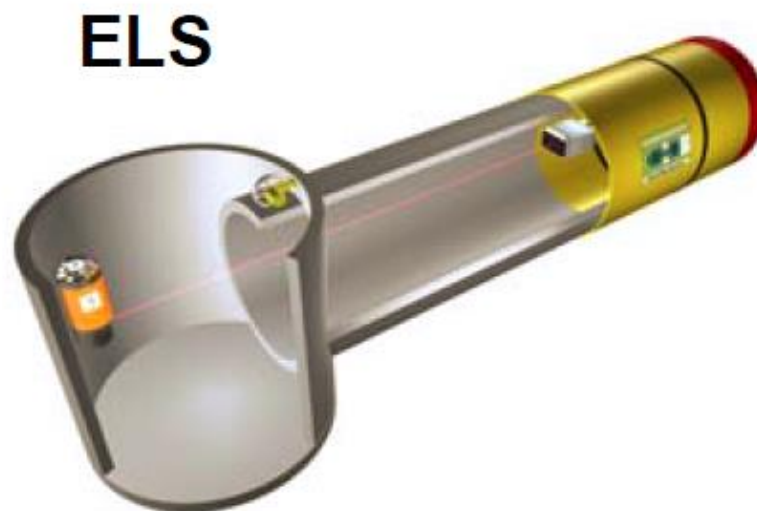
Postoje tri načina navigacije u tunelu prilikom mikrotuneliranja, to su:

- ELS sustav (elektronički laserski sustav)
- ELS–HWL sustav (elektronički nivelacijski sustav)
- GNS sustav (žiroskopski navigacijski sustav)

Svaki od tih sustava predviđeni su za korištenje u određenim uvjetima. Tako se ELS i ELS-HWL sustavi koriste pri navigaciji u pravocrtnim tunelima, a pri nailasku na krivinu, ti se sustavi zamjenjuju GNS sustavom. Između sustava ELS i ELS-HWL može se prelaziti tijekom cijelog postupka bušenja, a za prijelaz na GNS neophodno je inicijalno premjeravanje.

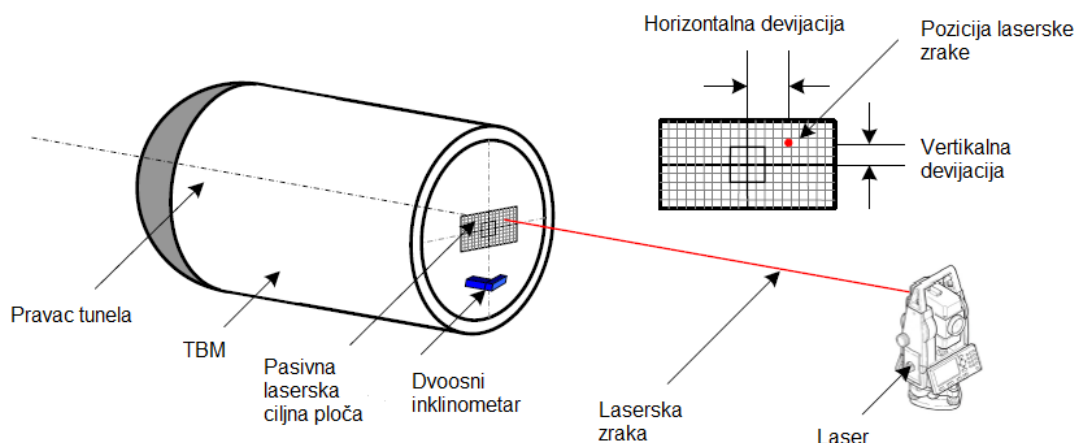
### 4.1. Elektronički laserski sustav

Laser se nalazi u startnom oknu, potpuno je fiksiran, i njegova se pozicija provjerava tijekom cijelog bušenja. U glavi bušilice se nalazi ciljna ploča otprilike položajno i visinski u sredini cijevi bušilice (odstupanje od sredine osi bušilice dolazi zajedno sa specifikacijama instrumenta) (Slika 13.).



*Slika 13. Shema elektroničkog laserskog sustava  
(izvor: Herrenknecht AG 2008)*

Laserski sustav se dijeli na aktivni i pasivni ciljni sustav. Pasivni laserski ciljni sustav je indirektno i prilično jeftino rješenje. Ciljna ploča se montira u glavi bušilice. Na računaru u kontrolnom kontejneru se u pravilnim razmacima pojavljuje slika ciljne ploče i mjesta gdje laser pogađa ciljnu ploču. Na temelju te slike operater određuje kolike su horizontalna i vertikalna devijacija. Sustav sadrži i dvoosni inklinometar za određivanje kutova rotacije valjanja i posrtanja, dok je kut skretanja nemoguće odrediti pomoću ove opreme.



*Slika 14. Pasivni laserski ciljni sustav  
(izvor: Shen 2010)*

Uvođenjem aktivnog laserskog sustava (ELS) u praksu, točnost i mogućnosti mjerenja se povećavaju. ELS sustav funkcionira na principu detektiranja laserske zrake na ciljnoj ploči i slanjem signala računalu u kontrolnoj sobi operatera na površini. Koristeći softver, računalo prevodi signale u vizualni prikaz, koji omogućava operatoru da pomiče stroj čineći male prilagodbe preko hidraulično upravljanih osnova, koji upravljaju glavom stroja. Prednost aktivnog laserskog sustava ispred pasivnog je u tome što ima mogućnost definiranja kuta skretanja pomoću aktivne ciljne ploče koja omogućuje ispitivanje kuta upada laserske zrake. Preostala dva kuta definiraju se pomoću dvoosnog inklinometra.

ELS sustav sadrži:

- Lasersku ploču ELS
- Upravljački PC sa sistemskim softverom
- Odometar
- Laser

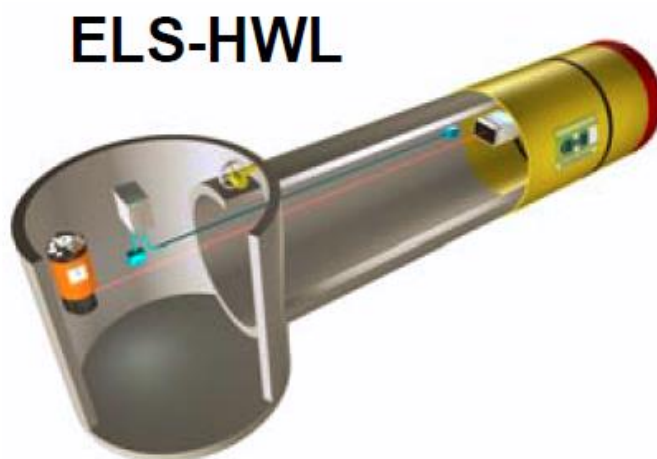
Ciljna ploča je središnji modul sustava. Pomoću podataka prikupljenih na ciljnoj ploči, kontinuirano se određuju odstupanja položaja i visine, poniranje (pitch), valjanje (roll) i skretanje (yaw).

Odometar se montira na prsten u startnom oknu kroz koji se utiskuju cijevi, te tako mjeri duljinu ugrađenog cjevovoda.

Tehnologija mjerenja u tunelima bazirana na laseru ima nekoliko nedostataka: bilježi se pomak laserske zrake, uglavnom zbog destabilizacije lasera prilikom spuštanja cijevi u startno okno, primjetan je i problem refrakcije i disperzije laserske zrake kod većih udaljenosti, također, teško je predvidjeti, pri dužim projektiranim trasama, da li će senzor ciljne ploče biti dovoljno velik da laserska zraka ni u jednom trenutku tuneliranja ne bude van senzora.

#### 4.2. Elektronički nivelacijski sustav

Ovaj sustav zasniva se na hidrostatskom nivelmanu uz pomoć libele. Laser je fiksno instaliran u startnom oknu, i treba pogađati ciljnu ploču koja se nalazi u stroju za bušenje. Dodatno ugrađeni hidrostatski nivelman bez prekida dojavljuje sustavu visinu koristeći pritom referentni senzor koji je montiran u startnom oknu i visinski senzor koji se nalazi u stroju za bušenje tunela. Ova metoda točnija je i pouzdanija od prethodne jer rezultati ne ovise o temperaturi i ne podliježu laserskoj refrakciji. Prikupljeni podaci šalju se računalu u građevinskom kontejneru koji se nalazi u blizini okna, kao i kod prethodnog sustava.



*Slika 15. Shema elektroničkog nivelacijskog sustava  
(izvor: Herrenknecht AG 2008)*

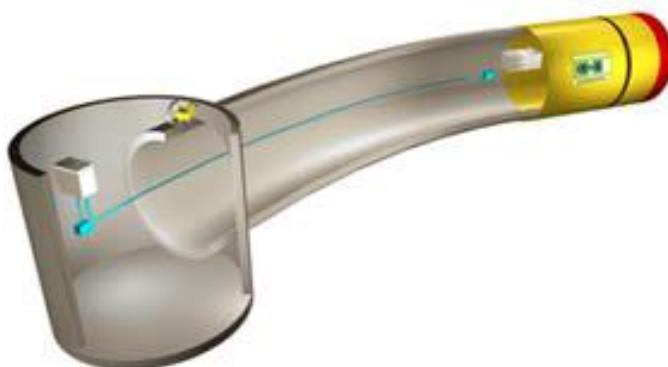
Ovisno o konfiguraciji sustav sadrži:

- GNS ili ELS
- Upravljački PC sa sistemskim softverom
- Odometar
- Referentni senzor jedinice HWL
- Senzor visine jedinice HWL
- Referentnu posudu

### 4.3. Žiroskopski navigacijski sustav

Žirokompas, koji je fiksno montiran u stroju za bušenje tunela određuje pravac geografskog sjevera referentno u odnosu na os stroja. Pomoću podataka navigacije izračunava se trenutni položaj stroja.

Hidrostatski nivelman, koji je ugrađen u sustav, bez prekida dojavljuje visinu koristeći pritom referentni senzor, koji se nalazi u startnom oknu, i senzor visine koji se nalazi unutar samog stroja za bušenje. Ovi rezultati mjerenja visine ne ovise o temperaturi i ne podliježu laserskoj refrakciji. Rezultati se šalju računalu i zatim prikazuju na monitoru.



Slika 16. Funkcioniranje sustava

(izvor: Herrenknecht AG 2008)

GNS – žiroskopski navigacijski sustav predviđen je za sustave koji sadrže krivinu s nekim proizvoljnim polumjerom ili za sustave koji imaju prilično duge dionice.

GNS sustav sadrži slijedeće komponente:

- Žirokompas
- Upravljački PC sa sistemskim softverom
- Odometar
- HWL

Žirokompas određuje pravac sjevera, poniranje (pitch) i valjanje (roll) stroja za mikrotuneliranje (*pitch/roll* jedinica). Nakon pokretanja žirokompasa potrebno je pričekati 30-ak minuta kako bi se stabilizirao.

### 4.4. Korišteni sustav

Kod izrade ovog mikrotunela korištena je kombinacija ELS i GNS sustava. Početni pravac kontroliran je i navođen ELS sustavom, a od početka krivine sustav je navođen GNS sustavom. Pritom je korišten slijedeći instrumentarij:

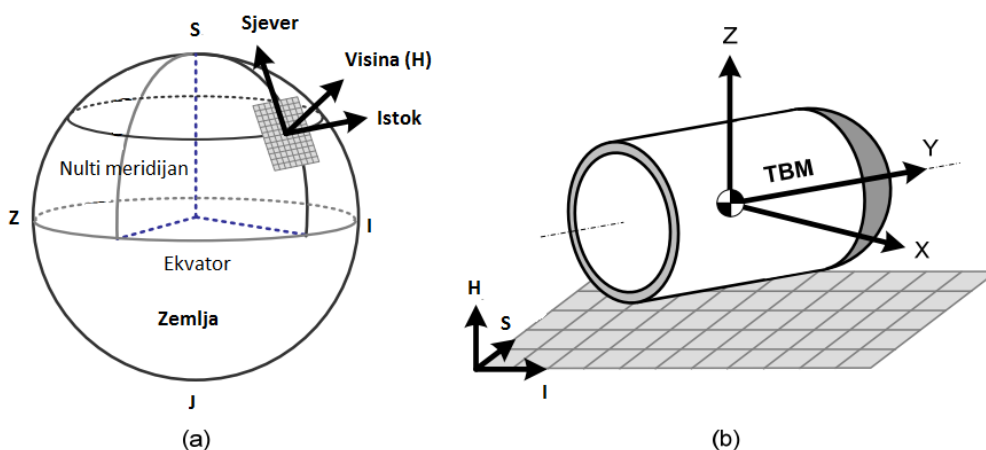
- Laser VL-80 (s pripadajućom opremom) (vertikalna, horizontalna devijacija)
- Žirokompas MWD II (s pripadajućom opremom) (horizontalna devijacija)

- Hidrostatski nivelir (relativna visina)
- Odometar (izmjera dužine)

Prije samog pojedinačnog opisa komponenata koje čine ovaj sustav važno je definirati, odnosno odrediti u kojem sustavu će se vršiti izmjera, odnosno određivati koordinate glave stroja za bušenje.

#### 4.4.1. Koordinatni sustav

Pri određivanju pozicije i orijentacije stroja za bušenje, u 3D prostoru, primjenjena su dva kartezijeva koordinatna sustava: lokalni geodetski okvir i okvir samog stroja za bušenje. Lokalni geodetski okvir, poznat pod nazivima lokalni horizontalni okvir ili lokalni istočno-sjeverno-visinski okvir (East-North-Up), je obično standardni okvir za područje na kojem se odvijaju radovi. Standardni okvir je definiran pomoću fiksnog ishodišta i pomoću tri osi usmjerene prema istoku, sjeveru i geodetskom zenitu. Suprotno tome okvir stroja za bušenje nalazi se u središtu bušilice, a svrha mu je definirati kutove rotacije stroja za bušenje. Ovaj sustav definiraju također tri osi: y os duž osi stroja za bušenje, x os koja se nalazi u horizontalnoj ravnini i okomita je na os y, te z os koja je okomita na prethodne dvije osi.



Slika 17. Dva koordinatna sustava (a) lokalni geodetski okvir, (b) okvir stroja za bušenje (izvor: Shen 2010)

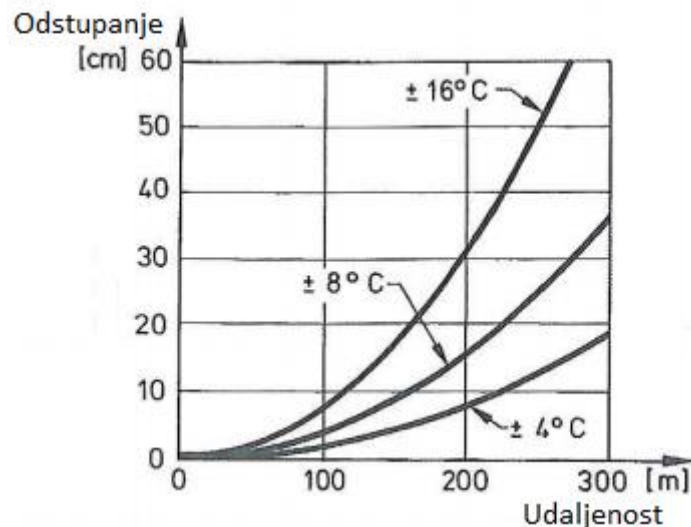
Kao državni koordinatni sustav Republike Hrvatske korištena je Gauss-Krugerova konformna projekcija poprečnog valjka sa dvije meridijanske zone. Te dvije zone su zapravo dva pravokutna koordinatna sustava koja pokrivaju područje od po tri stupnja geografske duljine. X-osi zona poklapaju se sa 15. i 18. meridijanom istočne duljine mjereno od Grenwich-a. Ishodište sustava nalazi se u presjecištu spomenutih meridijana s ekvatorom.

#### 4.4.2. Laser

Laserska zraka je vidljiva, jednobojna i koherentna. Laser je akronim za „ Light amplification by simulated emission of radiation“ i taj termin se koristi i za instrument koji proizvodi lasersku zraku. Pri mikrotuneliranju najčešće se koriste plinski laseri (helij-neon) sa kapacitetom od 1-5 mW. Ciljna ploča koju pogađa

laserska zraka prekrivena je matricom foto dioda, laserska zraka se pritom konvertira u električni signal koji se reproducira na računalu.

Veliki utjecaj na izmjeru pomoću laserske zrake ima temperatura zraka, odnosno gustoća zraka i indeks refrakcije, što može uzrokovati odstupanje laserske zrake od projektiranog pravca. Temperaturna razlika može se pojaviti između stroja za bušenje i prstena cijevi, u prstenu cijevi, pri prijelazu preko šahta ili između prstena cijevi i startnog okna. Istraživanje je pokazalo da temperaturna razlika između cijevi i okna u iznosu od  $4^{\circ}\text{C}$  može uzrokovati pogrešku od 40 mm na dužini od 120 m (Stein 2005). (Slika 18.)



Slika 18. Moguća odstupanja laserske zrake uzrokovana temperaturnom razlikom (izvor: Stein 2005)

Slijedeće dodatne pogreške mogu imati utjecaja na rezultate mjerenja:

- Pri većoj udaljenosti između lasera i ciljne ploče, promjer laserske zrake se neznatno povećava. Taj efekt se povećava titranjem laserske zrake, npr. prilikom turbulencije zraka.
- Udaljenost između lasera - izvora topline - ciljne ploče je važna za određivanje odstupanja zrake. Što je ta udaljenost manja, manja je devijacija laserske zrake.

U praksi, prema informacijama proizvođača cijevi, ovisno o promjeru cijevi, kvaliteti laserske zrake i zahtijevanoj točnosti, može se koristiti maksimalna udaljenost do 400 m. Pri tome treba osigurati da laserska zraka tijekom cijelog bušenja pogađa ciljnu ploču.

#### 4.4.2.1 Laser VL-80

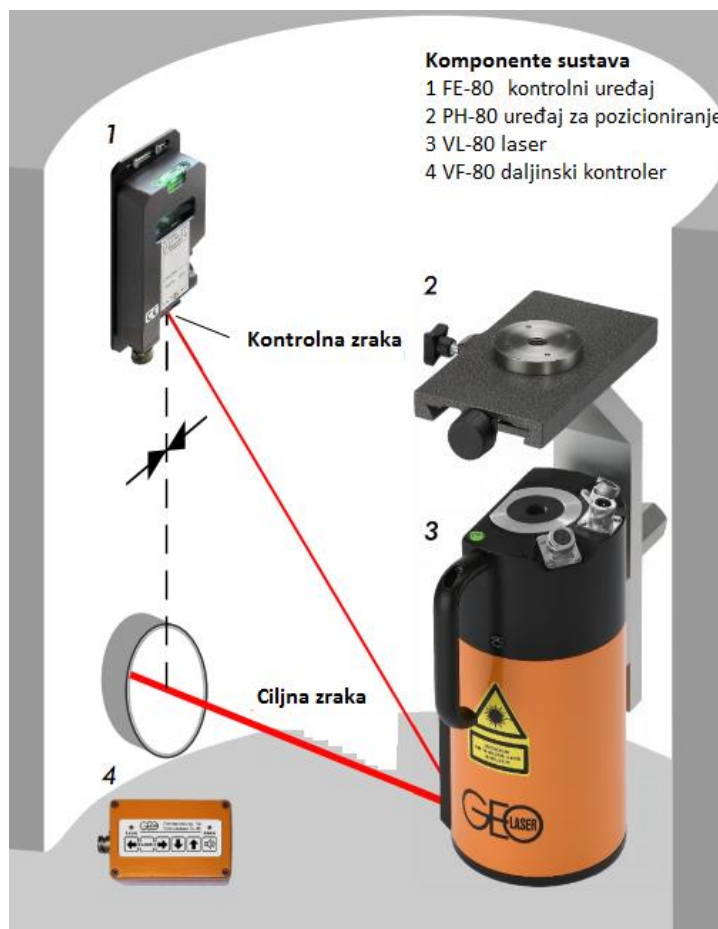
VL-80 laser je posebno izrađen za potrebe mikrotuneliranja, ali može se koristiti u mnoge druge svrhe. Laser emitira automatski niveliranu zraku usmjerenu prema cilju i sekundarnu zraku za kontrolna mjerenja. Glavni dio sustava predstavlja ciljna ploča koja registrira položaje laserske zrake na svojoj površini u odnosu na središte, te iz tih podataka računa i najmanja odstupanja.



Slika 19. Ciljna ploča (izvor: Herrenknecht AG 2008)

Sustav je potpuno automatiziran, tj. podrazumijeva automatsko niveliranje, centriranje, svođenje kuta inklinacije na nulu, sigurnost u slučaju istrošene baterije ili trešnje instrumenta. Ciljni snop zraka je podesiv u 5 stupnjeva, odnosno od 1 do 5 mW ovisno o različitim zahtjevima.

Sustav se odlikuje i povećanom sigurnošću. Laserski sustav posjeduje indikatore kontrole koji obavještavaju korisnika treptajućom lampicom ukoliko dođe do odstupanja od ciljnog pravca ili od kontrolne zrake. Vrijednosti koje su bile postavljene na početku mjerenja ostaju pohranjene u slučaju prestanka rada instrumenta uzrokovanog različitim čimbenicima (npr. baterija). Ime vlasnika instrumenta se može pohraniti u memoriju sustava kako bi se zaštitio od krađe.



Slika 20. Geolaser VL-80 (URL 5)





## Tehničke specifikacije:

Dioda lasera kontrolne zrake	< 1 mW, crveni dio spektra 635 nm
Kontrolna zraka (fi)	5 mm u laseru, 13 mm na 15 m
Dioda lasera ciljne zrake	< 5 mW, crveni dio spektra 658 nm
Ciljna zraka (fi)	13 mm u laseru, 5.5 mm na 100m
Domet - ovisi o uvjetima okoline	do 500 m
Automatsko određivanje pravca	u kombinaciji sa FE-80
Moguća udaljenosti između FE-80 i VL-80	od 2 do 15 m
Raspon mogućeg nagiba kontrolne zrake	2.5 % do 110 % (48°)
Raspon mogućeg nagiba ciljne zrake	-10 % do 40 %
Točnost očitavanja	0.001 %
Standardna devijacija	± 0.005 %
Napajanje strujom	10 – 13.8 V DC/0.4 A
Težina	VL-80 3.1 kg, PH-80 2.2 kg
Garancija	24 mjeseca
Raspon rada	-20 °C do 50°C



Slika 21. Laser (URL 5)

#### 4.4.2.2 Način rada

Prvi korak, prije početka rada sastoji se od postavljanja lasera u startno okno na zahtijevanu visinu. Nakon toga slijedi povezivanje dijelova sustava kablovima, nakon čega se laser može upaliti. Pokretanjem lasera zraka se automatski postavlja u horizontalnu ravninu.

Slijedeći korak je postaviti kut inklinacije. Kut inklinacije je prikazan u postocima ili promilima, a njegova vrijednost se mijenja pritiskom na strelice ( $\wedge$  i  $\vee$ ) koje se nalaze iznad ekrana na samom uređaju. Istovremenim pritiskom na obje strelice kut inklinacije postavlja se na 0.00 %.

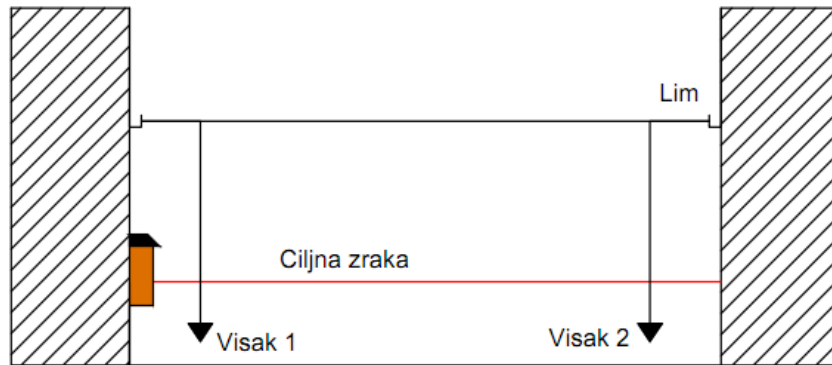
Nakon postavljanja kuta inklinacije slijedi najvažniji dio, odnosno određivanje smjera ciljne zrake lasera. Pritiskom na lijevu ili desnu strelicu, simbol laserske zrake se mijenja u simbol strelice koja označava smjer kretanja i trenutnu poziciju. Kada se postigne krajnja pozicija, laserska zraka i simbol na ekranu počinju treperiti. Pritiskom istovremeno na obje strelice uređaj je automatski centriran u sredinu pozicije.

Ako je potrebno, moguće je uključiti kontrolnu zraku lasera, koja se uključuje pritiskom na tipku Menu/OK toliko dugo dok se ne pojavi pokazivač, odnosno strelica. Nakon toga se na zaslonu pojavljuju strelice kojima se podešava visina kontrolne zrake lasera. U cilju je pronaći poziciju u kojoj zraka pogađa kontrolni

uređaj FE-80. Gašenje kontrolne zrake odvija se pritiskom na tipku Menu/OK a zatim dužim pritiskom na tipku za gašenje lasera.

Daljinski kontroler VF-80 može biti povezan sa sustavom ukoliko želimo, služi za postavljanje smjera ciljne i kontrolne zrake, za definiranje visine kontrolne zrake, za vizualnu i zvučnu kontrolu sustava.

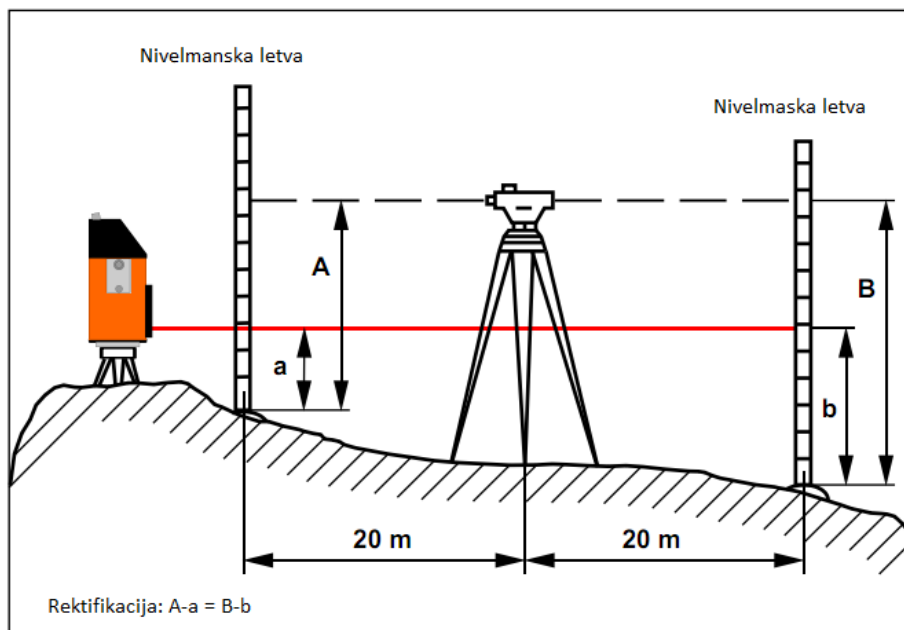
#### 4.4.2.3 Određivanje pravca



Slika 22. Određivanje pravca

Da bi pronašli pravac mikrotuneliranja potrebno je pomoću totalne stanice iskolčiti točku pravca na limu koji se nalazi iznad prstena tunela. Također, potrebno je iskolčiti točku koja leži na pravcu i na limu koji se nalazi na zidu nasuprot ulazu u tunel. Limovi, na kojima su zacrtana mjesta na kojima pravci presijecaju limove, povezuju se špagom koja mora biti jako napeta, kako bi se na nju mogla ovjesiti oba viska. Visak se obično uranja u kante s uljem, kako bi bio što mirniji (Slika 22.).

#### 4.4.2.4 Rektifikacija lasera



Slika 23. Rektifikacija zrake lasera (URL 5)

Iako je laser precizno rektificiran i kalibriran od strane proizvođača, jake vibracije na gradilištu mogu dovesti do odstupanja laserske zrake. Stoga lasersku zraku treba kontrolirati prije korištenja. (Slika 23.)

Postupak:

1. Odabrati područje mjerenja, koje je što ravnije i dužine oko 40 m (postaviti kut laserske zrake na "0.00")
2. Postaviti jednu nivelmansku letvu odmah ispred lasera i drugu oko 40 m od lasera, te izmjeriti udaljenost
3. Postaviti nivelir između nivelmanskih letvi, te napraviti očitavanje na obje letve
4. Laserska zraka je korektna ukoliko vrijedi jednakost  $A-a = B-b$

Ukoliko zraka nije korektna provodi se dovođenje zrake u korektni položaj (vidi poglavlje 4.4.2.2. *Način rada*).

#### 4.4.3. Žirokompas

Žiroskop je kruto, simetrično, brzo-rotirajuće tijelo kojem je masa jednoliko raspoređena oko njegove osi rotacije. Ima svojstvo da, ukoliko na njega ne djeluje vanjska sila, njegova glavna os zadržava svoj smjer neizmijenjen u odnosu na inercijalni prostor (Narobe 1982). Ovo svojstvo žiroskopa omogućilo je da se dokaže rotacija Zemlje neovisno od astronomskih metoda izmjere. Ukoliko na žiroskop djeluje vanjska sila, glavna os žiroskopa se premješta u ravninu okomitu na pravac djelovanja sile (precesija). Broj stupnjeva slobode žiroskopa ovisi o broju osi koje su slobodne, odnosno dozvoljavaju rotaciju.

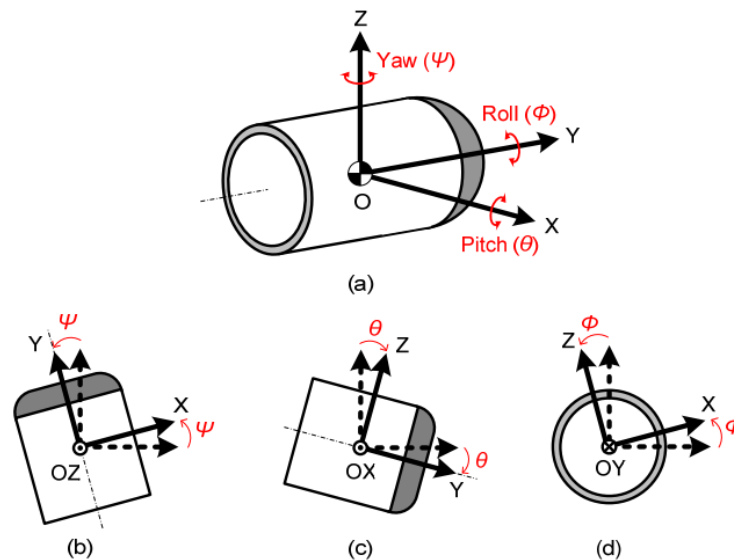
Jedna od sistemizacija žiroskopa bila bi s obzirom na njihovu namjenu, pa se tako dijele na one za potrebe orijentacije, regulacije i stabilizacije. Žiroskopski pribor za orijentaciju služi za određivanje nepoznatog pravca, npr. pravca sjevera ili vertikala. Pribor za regulaciju i stabilizaciju reagira na izmjenu nekih veličina poput brzina ili kutnih brzina broda i aviona. Žiroskop najčešće samo pokazuje neki zadani smjer ili upravlja nekim mehanizmom namijenjenim za usmjeravanje.

Matematička obrada podataka kutnih mjerenja pokazuje da primjena žiroskopa u geodeziji daje pozitivan efekt samo u slučaju kada pogreška u određivanju pravca geografskog sjevera ne prelazi 30", stoga je za uspješniju primjenu žiroskopskog pribora zahtijevana veća točnost. Ta činjenica je bila uzrok da se žiroskop, u geodeziji, počne primjenjivati kasnije nego što se primjenjivao u nekim drugim područjima. (Narobe 1982.)

Pri mikrotuneliranju se koristi deklinacijski žiroskop, tj. žirokompas koji radi na principu određivanja pravca geografskog meridijana odnosno astronomskog azimuta, a konstruirani su tako da mogu raditi na pomičnoj osnovi. Rad žirokompasa se bazira na principu navigacije pasivno računanje (dead reckoning) koji se temelji na spoznaji o početnoj poziciji i nekom obliku informacije o smjeru i brzini gibanja. Žirokompas se pojavio 1906. godine prvenstveno za potrebe polarnih ekspedicija.

Žirokompas je pričvršćen unutar cijevi glave stroja za bušenje, i bez obzira na kutno gibanje bušilice zadržava horizontalni položaj. Kod žirokompasa y-os je zaključana ili ima ograničenu mogućnost gibanja, što znači da žirokompas ima 2 stupnja slobode. Glavna os žirokompasa (x-os) postavlja se u horizontalnoj ravnini u smjeru sjevera, a z-os predstavlja os precesije (Slika 25.). Osnovno svojstvo precesije govori kako se glavna os žirokompasa, pri djelovanju neke vanjske sile, premješta u ravninu okomitu na pravac djelovanja sile. U sklopu žirokompasa nalazi se skala sa kutnom podjelom za određivanje pravca gibanja u odnosu na iglu koja pokazuje pravac meridijana. Žirokompasi se najviše koriste u navigaciji.

Orijentacija žirokompasa opisuje se pomoću tri kuta rotacije, kuta poniranja (pitch), skretanja (yaw) i valjanja (roll) (Slika 24.).



Slika 24. a) Ilustracija tri kuta rotacije, b) rotacija oko z-osi, c) rotacija oko x-osi, d) rotacija oko y-osi (izvor: Shen 2010)

Transformacija između okvira stroja za bušenje i lokalnog geodetskog okvira temelji se na izmjeri određenog broja točaka, teoretski su tri točke dovoljne, ali se uvijek uzima više točaka. Promjena orijentacije glave stroja za bušenje temelji se na povezivanju tri ili više orijentacijskih točaka u sustavu stroja za bušenje sa lokalnim geodetskim okvirom.

Orijentacija je definirana kao prostorna veza između sustava stroja za bušenje i lokalnog geodetskog okvira. Jednostavnije rečeno, definiranje orijentacije zasniva se na izmjeri tri kuta rotacije između dva stajališta u prostoru, i obično se rješava automatskim putem pomoću računala ili instrumenta. Određivanje orijentacije pomoću mjernih instrumenata zahtjeva instrument za određivanje inercije, koji je već ugrađen u većinu trenutno dostupnih sustava za bušenje, inklinometar, te žirokompas. Suprotno tome, računalna rješenja eliminiraju korištenje inercijalnih instrumenata, pa tako pružaju ekonomičnije alternative određivanja orijentacije.

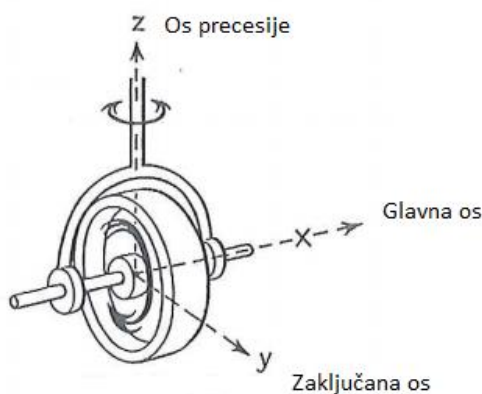
Određivanje orijentacije bazirano na računalnim rješenjima opsežno se istražuje od strane znanstvenika koji istražuju prostornu navigaciju. Kreirani su različiti

algoritmi za određivanje orijentacije tri osi glave stroja za bušenje kroz ispitivanje položaja nekoliko točaka. Generalno su ti algoritmi podijeljeni u dvije skupine: deterministički i optimizacijski algoritmi. Deterministički algoritmi (TRIAD) su klasična algebarska rješenja koja koriste tri nekolinearne točke. Unatoč tome što su računski jednostavni i učinkoviti, takvi algoritmi imaju vrlo malu točnost. S obzirom da imaju više točaka na raspolaganju, pa time dobivaju i veću točnost, algoritmi optimizacije nadmašuju determinističke algoritme. Performanse i ograničenja ovih algoritama u praktičnom inženjeringu još uvijek su pomalo nejasne.

Na prethodno opisan način koristi se, pri mikrotuneliranju, žirokompas u onim situacijama kada nije moguća navigacija optičkim sustavom, primjerice kod bušenja tunela u krivinu. U principu, pri mikrotuneliranju postoje dvije mogućnosti korištenja žirokompasa:

- Kontinuirani, tijekom bušenja (u pravilnim vremenskim razmacima), u svrhu navigacije
- Povremeno, za određivanje odstupanja od pravca sjevera (za kontrolna mjerenja) (Stein 2005)

Postoje i neki nedostaci žirokompasa: performanse kompasa mogu biti osjetljive na mehaničke vibracije tijekom mikrotuneliranja, visoka cijena sustava također otežava široku primjenu inercijalnog navigacijskog sustava u poslovima tuneliranja.



Slika 25. Osi žirokompasa (izvor: Stein 2005)

#### 4.4.3.1 Žirokompas MWD II

Prilikom dolaska do početka krivine na nosač na kojem se nalazila ciljna ploča montira se žirokompas koji od tog trenutka daje informacije o horizontalnom položaju stroja za bušenje. Pri izradi ovog projekta korišten je žirokompas MWD II, čije specifikacije se nalaze u nastavku (Slika 26.).



Slika 26. Žirokompas MWD II  
(izvor: Herrenknecht AG 2008)

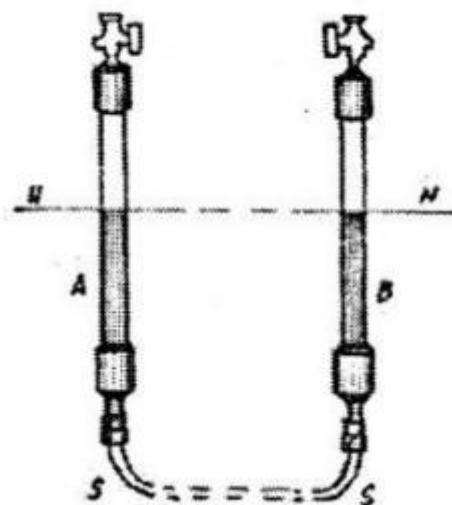
Tehničke specifikacije:

Točnost pokazivanja sjevera	$\pm 1.7$ mrad/ $1 \sigma$
Poniranje (pitch)	1.7 mm/m (max 90°)
Valjanje (roll)	1,7 mm/m (max 90°)
Ulazni napon	20-36V DC, 25 W
Stupanj zaštite	IP68/5m
Radna temperatura	-10 do +50 °C
Priključci	CAN sabirnica
Dimenzije (D x Š x V)	400 x 230 x 275 mm
Faza uhodavanja	35 min
Težina	16 kg

#### 4.4.4. Hidrostatski nivelman

Hidrostatski nivelman se zasniva na principu spojenih posuda. Pribor za niveliranje se sastoji od dvije staklene posude koje su spojene gumenim crijevom napunjenim tekućinom (alkoholom ili destiliranom vodom). Prema zakonu spojenih posuda

voda u jednoj i drugoj posudi je ista, a pored vizualnog očitavanja, moguće je i precizno očitavanje posebnim mjernim uređajima. (Markovinović i dr. 2011)



Slika 27. Princip spojenih posuda (izvor: Bašić 2010)

Hidrostatski nivelir omogućuje besprekidno mjerenje visine uz pomoć referentnog senzora u oknu i senzora visine u stroju. Senzori jedinice HWL u principu se sastoje iz tlačnog senzora i pripadajuće mjerne elektronike. Senzori imaju priključak za crijevo mjernog medija i odzračne otvore za uvođenje atmosferskog vanjskog tlaka i pri primjeni u jedinicama sa stlačenim zrakom.

Senzor visine je u strojnoj cijevi pričvršćen za predviđeni držač na vrhu. Softver kompenzira promjene u visini uvjetovane valjanjem (roll rotacijom).

Kompenzacijska posuda je pričvršćena u polaznom oknu i to tako visoko da njena razina tijekom cjelokupnog mikrotuneliranja bude najmanje 1 m viša od senzora u stroju za iskop. Iz kompenzacijske posude izlazi priključno crijevo za povezivanje sa senzorom visine i referentnim senzorom. Također, tijekom cjelokupnog mikrotuneliranja ne smije se prekoračiti maksimalna visinska razlika, uvjetovana odabirom senzora visine, između senzora i kompenzacijske posude. Npr. pri senzoru od 1.0 bara maksimalna visinska razlika između senzora i kompenzacijske posude iznosi 10 m.

Referentni senzor se montira u startnom oknu. U idealnom slučaju referentni senzor se montira na istoj visini kao i senzor visine u stroju za iskop prilikom pokretanja. Položaj referentnog senzora se ne smije mijenjati tijekom cijelog postupka mikrotuneliranja.

Tekućina koja je korištena prilikom niveliranja je vodena otopina etanola, koja ima točku paljenja na 35°C, pa stoga treba voditi računa da referentni senzor visine ne bude direktno izložen na suncu.



#### 4.4.5. Odometar

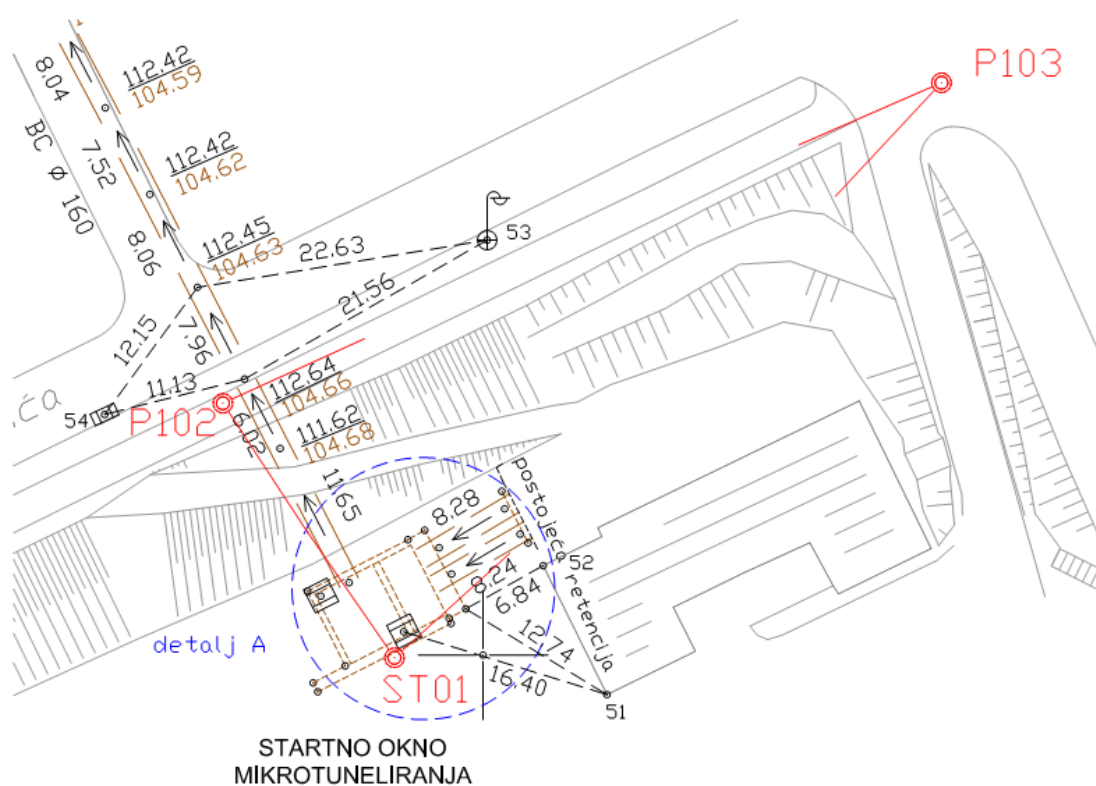
Mjerenje dužine izbušenog tunela je od primarne važnosti kod određivanja pozicije vrha glave bušilice, a može se provoditi putem:

- dodavanja dužine ugrađenih cijevi
- elektroničkog odometra
- elektroničkog mjerenja dužine

Pri mikrotuneliranju se najčešće koristi elektronički odometar kao najjednostavniji i najpouzdaniji način određivanja dužine. Odometar se postavlja iznad prstena u ulaznom oknu, na način da kotač odometra bude prislonjen na cijev prilikom bušenja mikrotunela. Rotacija odometra generira električne impulse koji se šalju u kontrolno računalo gdje se pretvaranjem tih impulsa u vrijednosti, na zaslonu prikazuje dužina ugrađenih cijevi.

## 5. Kontrola pravca mikrotuneliranja

Žirokompas je instrument koji vrlo precizno određuje smjer magnetskog sjevera i pravac kretanja stroja za bušenje, ali ima jednu manu, ne registrira nagle translacije stroja za bušenje, pa ga je zbog toga potrebno neprestano kontrolirati geodetskom izmjerom. Za potrebe geodetske izmjere iznad okna je betoniran stup na koji se postavlja mjerna stanica. Pri odabiru lokacije za stup važno je paziti na vidljivost poligonskih točaka neophodnih za orijentaciju. Orijehtacijom na poznate poligonske točke, presjekom natrag određuju se koordinate instrumenta na stupu. Zbog prevelike izgrađenosti okoline orijentacija se vršila na dvije točke poznatih koordinata na tlu, P102 i P103, a kao kontrola vertikalnog kuta korištena je jedna točka na vrhu zgrade (Slika 28). U normalnim uvjetima poželjno je uzeti minimalno tri točke za orijentaciju.



Slika 28. Točke orijentacije i stajalište

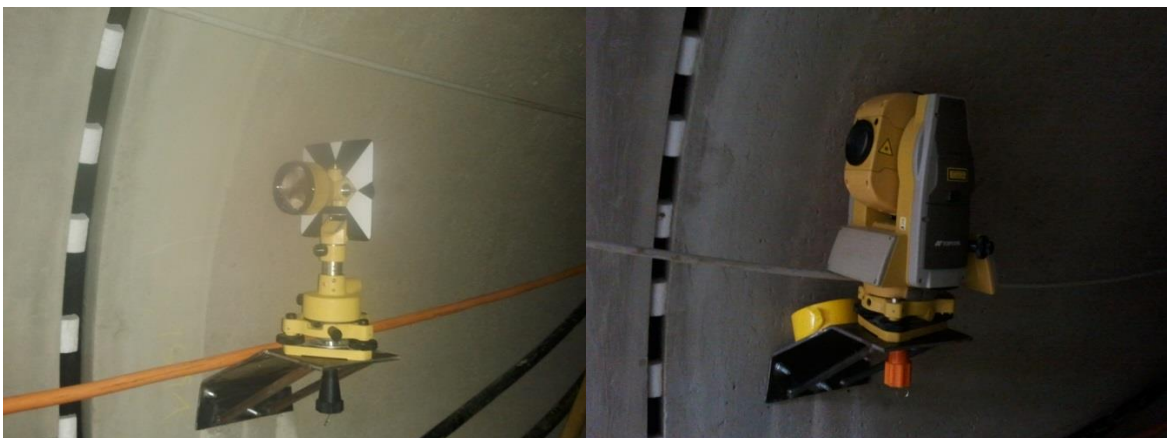
Podaci o orijentaciji uspostavljenoj 28.05.2011. govore kako je horizontalna pogreška orijentacije na točku P102 0.6 mm, a vertikalna 1 mm, dok je horizontalna pogreška na točki P103 0.9 mm, a vertikalna 3 mm. Spomenuti podaci nam govore kako je orijentacija dobro uspostavljena. Nakon što se uspostavi orijentacija na spomenute dvije točke, jedna se uvijek još iskolči za dodatnu kontrolu, te se opaža daleka i visoka točka za kontrolu vertikalnog kuta.

Nakon orijentacije opaža se prizma postavljena na ulaz tunela. (Slika 29.)



*Slika 29. Ulaz tunela*

Potom se mjerna stanica postavlja na stativ gdje se prije nalazila prizma, a prizma se postavlja na betonski stup kako bi se instrument mogao orijentirati te se postavlja slijepi poligonski vlak unutar tunela. Slijepi vlak je poligonski vlak koji polazi od dvije poznate trigonometrijske ili poligonske točke, stajališta i orijentacije, bez priključka na kraju. Slijepi poligonski vlak nije najpouzdaniji način mjerenja, ali je nažalost u ovom slučaju jedini način mjerenja. Da bi se osigurala stajališta instrumenta, na stjenku cijevi tunela se postavljaju nosači za prizmu i mjernu stanicu (Slika 30.). Nakon što se uzme orijentacija na prizmu koja se nalazi na stupu iznad ulaznog okna prizma se premješta na prvi nosač u tunelu te se opaža, zatim mjerna stanica i prizma mijenjaju pozicije. Postupak se ponavlja sve dok se ne dođe do prihvatljive udaljenosti od markice koja se nalazi na žirokompasu. Dobivena koordinata markice žirokompasa koristi se pri kontroli pravca bušenja u odnosu na projektirani pravac i u odnosu na poziciju zabilježenu žirokompasom. Uzimajući u obzir činjenicu da se ta koordinata određuje slijepim vlakom poželjno je vratiti se poligonskim vlakom do početka tunela kako bi vidjeli kolika je vrijednost akumuliranih pogrešaka i da li je ona prihvatljiva.



*Slika 30. Postavljanje mjerne stanice i prizme u tunelu*

S obzirom da se radi o slijepom vlaku, najveću važnost ima određivanje orijentacije početnog stajališta. Sustav za praćenje stroja za bušenje podrazumijeva inicijalizaciju početne koordinata, drugim riječima kada se obavi orijentacija, stajalište dobiva koordinatu  $[x_0, y_0, z_0]$  te se pomoću tri parametra, kose dužine  $d$ , horizontalnog kuta  $\alpha$  i vertikalnog kuta  $\beta$  (Slika 31.), izračunavaju koordinate slijedećeg stajališta. Relativne koordinate se izračunavaju po formulama:

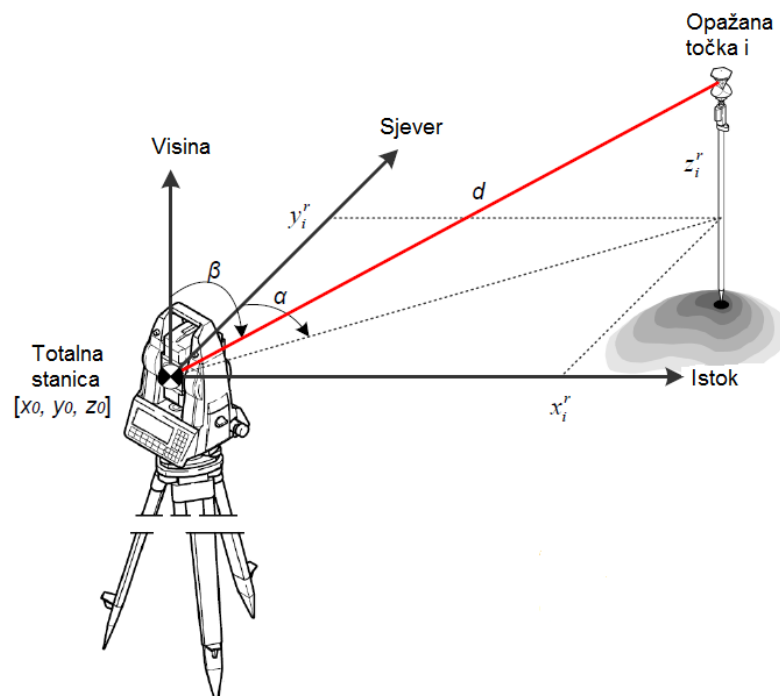
$$\begin{cases} x_i^r = d \sin\beta \sin\alpha \\ y_i^r = d \sin\beta \cos\alpha \\ z_i^r = d \cos\beta \end{cases}$$

a potom se relativne koordinate dodaju na apsolutne koordinate stajališta:

$$\begin{cases} x_i = x_i^r + x_0 \\ y_i = y_i^r + y_0 \\ z_i = z_i^r + z_0 \end{cases}$$

Opisani postupak ponavlja se za svako stajalište sve do ciljne markice na žirokompasu. Horizontalna i vertikalna devijacija mjerenja dobivaju se kao rezultat udaljenosti opažane markice na žirokompasu od projektiranog pravca:

$$\begin{cases} \text{hor. dev.} = \pm\sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2} \\ \text{vert. dev.} = z_i - z'_i \end{cases}$$



Slika 31. Kontrolna mjerenja totalnom stanicom  
(izvor: Shen 2010)

Prilikom mikrotuneliranja treba obratiti posebnu pažnju na dopušteni odklon pravca od zadane linije. Kod odstupanja u željenom pravcu i željenoj visini treba uzeti u obzir zahtjeve za pogon i održavanje, pad cjevovoda, granice metode utiskivanja, postojeće zgrade i vodove te prilike u tlu. Odstupanja od pravca dopuštena su samo ukoliko je sačuvan predviđeni cilj utiskivanja cijevi, a drugim građevinama i uređajima nije nanesena šteta. Maksimalna dopuštena odstupanja pravca bušenja od projektiranog pravca ovise o promjeru cijevi, a njihove vrijednosti nalaze se u tabeli u nastavku (Tablica 5.). (German Association for Water 2008)

*Tablica 5. Maksimalna dopuštena odstupanja pravca bušenja od projektiranog pravca*

Promjer cijevi	Vertikalna devijacija (mm)	Horizontalna devijacija (mm)
< 600	±20	±25
600-1000	±25	±40
1000-1400	±30	±100
1400>	±50	±200

Kako bi bili sigurni da odstupanje pravca bušenja od projektiranog pravca ne prelazi maksimalno dopušteno odstupanje, slijedeći uvjeti moraju biti zadovoljeni:

- upravljanje bušenjem
  - mogućnost direktnog određivanja korekcije
  - određivanje optimalne dužine i trajanja pokreta bušilice radi upravljanja bušilicom, odnosno njenog povratka na projektirani pravac ili održavanjem položaja bušilice na projektiranom pravcu, pritom uzimajući u obzir značajke tla i stroja za bušenje s ručnim ili automatskim upravljanjem
- konstantno određivanje položaja
  - konstantno određivanje položaja glave stroja za bušenje u pravilnim vremenskim razmacima
- uspostavljen nadzor sustava

Podaci korekcije unose se u kontrolno računalo. Prije unosa podataka kontrolnog mjerenja u kontrolno računalo sustava potrebno je izračunati devijacije pomoću adekvatnog softvera koji ima mogućnost pohrane koordinata trase cijelog tunela, izračuna centra glave stroja za bušenje pomoću indirektnih koordinata (nije moguće direktno mjeriti os glave stroja za bušenje), i koji uzima u obzir kut valjanja (roll) stroja koji ima utjecaj na vertikalni položaj geodetskih oznaka. Važno je prije unosa podataka u kontrolno računalo odrediti kut odstupanja i kut kojim će se to odstupanje popraviti. Izračun tog kuta vrlo je jednostavan. Koriste se podaci o horizontalnoj devijaciji i dužini izbušenog tunela iz podataka kontrolnih mjerenja i iz računala iz kontrolnog kontejnera. Kut odstupanja dobiva se po formuli:

$$p_{m1} = \text{atan} \left( \frac{\frac{dh_{m1} - dh_{UNS}}{1000}}{d_{m1-m0}} \right) * \frac{200}{\pi} + p_{m0}$$

gdje  $dh_{m1}$  predstavlja horizontalnu devijaciju iz podataka kontrolnih mjerenja (usporedbom kontrolnih mjerenja i projekta),  $dh_{UNS}$  horizontalnu devijaciju iz kontrolnog računala,  $d_{m1-m0}$  ukupnu dužinu ugrađenih cijevi od posljednjeg geodetskog kontrolnog mjerenja, a  $p_{m0}$  popravku kuta posljednje korekcije. Posebnu pažnju treba obratiti na razliku između kuta odstupanja i kuta popravke. Kut odstupanja dobiva se prethodno navedenom formulom, a kut popravke se temelji na kutu odstupanja, ali pri njegovom određivanju geodetski izvoditelj mora uzeti u obzir i mnoge druge segmente, poput vrste tla na kojem se bušenje izvodi, promjer stroja za bušenje. Zbog toga je kut popravaka prilično subjektivan izbor geodetskog izvoditelja, koji ga obično određuje kao četvrtinu ili polovinu kuta odstupanja. Kutom popravke popravljiva se kut skretanja (yaw). Kut popravke na početku bušenja jednak je nuli, nakon prvog kontrolnog mjerenja, koje se obično izvodi nakon 15 m probušenog tunela, postavlja se kut popravke u gonima, ukoliko je to potrebno. Prva kontrola vrši se već nakon 15 metara da bi se dobila predodžba kako se stroj za bušenje ponaša prilikom bušenja takve podloge u kojoj se nalazi. Daljnje kontrole obavljaju se svakih 40 metara ukoliko se radi o pravcu ili 20 metara ako se radi o bušenju u krivini.

### 5.1. Primjer kontrole pravca bušenja

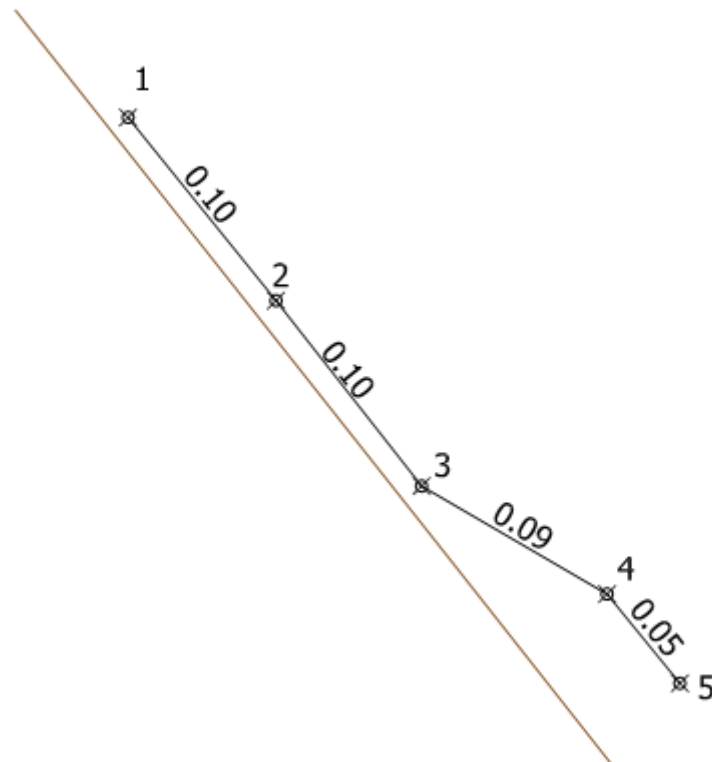
Dana 28.05.2011. na 73. metru stacionaže, kontrolnim mjerenjem je ustanovljeno odstupanje kretanja stroja za bušenje od projektiranog pravca tunela.

*Tablica 6. Podaci kontrolnih mjerenja, mjerenja iz žirokompasa te podaci dobiveni unošenjem kontrolnih mjerenja u kontrolno računalo.*

Točka	y	x	h
1	5543853.63	5039269.61	105.32
2	5543853.70	5039269.53	105.32
<b>3</b>	<b>5543853.76</b>	<b>5039269.45</b>	<b>105.32</b>
4	5543853.84	5039269.41	105.31
5	5543853.87	5039269.37	105.31

Točke 1,2,4,5 su točke dobivene mjerenjem žirokompasa, a točka 3 označava koordinate dobivene kontrolnim mjerenjem. Pomoću UNStrans softvera dobivena je horizontalna devijacija u vrijednosti -30 mm i vertikalna devijacija 9 mm, što znači da bi stoj za bušenje trebao bušiti 30 mm lijevo od trenutne pozicije. Prema kontrolnom računalo horizontalna devijacija je 4 mm, a vertikalne nema. Kut odstupanja i kut popravke definira se na prethodno objašnjen način i u ovom

slučaju iznosi  $-0.106$  gona. Preporuča se par sati nakon upisa korekcija očitati koordinate žirokompasa i na temelju tih koordinata provjeriti da li je os stroja za bušenje bliža osi projektiranog tunela. Slika 32. dokazuje da su korekcije dobro određene.



*Slika 32. Prikaz osi stroja za bušenje prije i nakon korekcije*

Prilikom cjelokupnog mikrotuneliranja kontrolna mjerenja su obavljena trinaest puta. Uzimajući u obzir činjenicu da se radi o s-krivini kontrolna mjerenja su u prosjeku obavljena svakih 20 m ugrađenih cijevi. Posljednje kontrolno mjerenje odrađeno je 10 m prije završetka bušenja, te su podaci tog mjerenja pokazali kako tunel odstupa od pravca horizontalno  $-0.162$  m i vertikalno  $0.007$  m, što znači da se centar tunela nalazi 16 cm lijevo i 7 mm gore od projektiranog pravca. Završetkom tunela, odnosno probijanjem zida u izlaznom oknu pogreška je reducirana na 15 cm što je unutar norme koja za cijev ovog promjera dopušta odstupanje u vrijednosti 20 cm.

## 6. Izrada elaborata vodova

Elaborati vodova izrađuju se u svrhu osnivanja i održavanja katastra vodova. Elaborat vodova izrađuje se za novoizgrađeni vod, kao i za svaku promjenu na vodu. Sastavni dijelovi elaborata vodova su:

- naslovna stranica
- popis sastavnih dijelova elaborata
- skica izmjere
- geodetski situacijski nacrt
- popis koordinata
- popis digitalnih zapisa koji se prilažu elaboratu vodova
- terenski zapisnik mjerenja
- tehničko izvješće.

Ovisno o potrebi, elaborat vodova može sadržavati skicu geodetske osnove, te položajne opise točaka geodetske osnove (NN 71/08). Svaki od sastavnih dijelova elaborata opisan je u nastavku.

### 6.1. Grafički dio elaborata vodova

Izradi elaborata vodova prethodi izmjera trase tunela, koja se izvodi na isti način kao i kontrolna mjerenja, te obrada istih. Geodetska izmjera mora obuhvatiti izmjeru položajnih i visinskih lomnih točaka, objekata koji pripadaju vodu, te izmjeru križanja s postojećim vodovima ukoliko križanje postoji. Pri izradi mikrotunela, križanja s postojećim vodovima nije bilo jer je mikrotuneliranje obavljeno dovoljno duboko, ispod svih postojećih vodova. Podaci se s mjerne stanice prebacuju na računalo koje ima instaliran softver za obradu podataka. Pri obradi podataka mikrotuneliranja u Tkalčevoj ulici korišten je najprije softver Topcon Link, a zatim AutoCAD za obradu grafičkih podataka.

#### 6.1.1. Topcon Link

Topcon Link je softver koji ima mogućnost uvoza podataka iz Topcon i Sokkia instrumenata, konverzije Topcon i Sokkia datoteka u mnoge standardne formate, prikaza podataka u vidu tablica ili grafičkog prikaza, uređivanja određenih tipova podataka, te mogućnost izvoza koordinata u Topcon ili Sokkia mjerne stanice. Pri izradi grafičkog dijela elaborata ovaj softver je korišten za uvoz podataka mjerenja, te za izvoz podataka u \*.dxf ili \*.dwg format.

Pokretanjem Topcon Link programa otvara se sučelje, te se odabire u glavnom izborniku *File* → *Open file* i pronalazi datoteka koja sadrži podatke mjerenja izvezene iz mjerne stanice. Prikaz atributne tablice s popisom točaka i grafički prikaz točaka nalaze se u nastavku (Slika 33.).

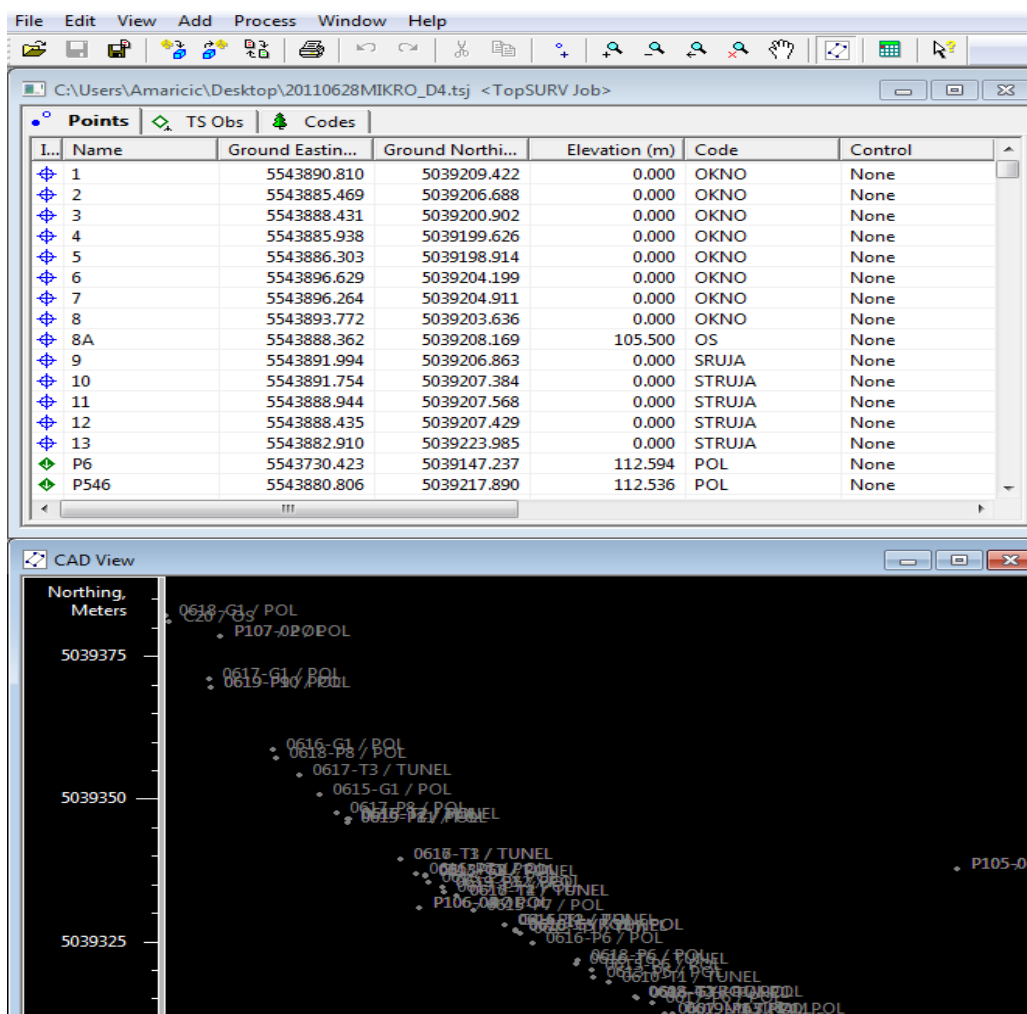
Softver omogućuje uređivanje grafičkih i atributnih podataka. Zbog velikih broja točaka u grafičkom dijelu prikaz je nepregledan, pa je moguće koristiti opciju isključi kodove točaka i isključi prikaz visina točaka. Time se dobije puno pregledniji prikaz. Također, moguće je i u tabličnom prikazu uređivati podatke,



brisati nepotrebne točke, te mijenjati kodove točaka ukoliko znamo da smo nešto krivo označili tokom mjerenja. Ovo uređivanje može se odraditi i kasnije u AutoCAD-u.

Nakon uređivanja podataka, podaci se izvoze pomoću naredbe File → Convert files pri čemu se otvara prozor u kojem treba odabrati datoteku koju treba konvertirati, mjesto gdje će se konvertirana datoteka pohraniti, te format u koji želimo konvertirati. Do potrebe za konverzijom najčešće dolazi zbog zahtjeva pri izradi projekta koje Topcon Link ne može zadovoljiti ili povezivanja sa podacima drugog formata. Na primjer, geodeti mogu izmjeriti točke na površini koja se nalazi u blizini centra grada, a mjerenja se rade u svrhu izrade projekta za trgovački centar. Korištenjem Topcon Link softvera ti se podaci mogu konvertirati u *shape file* te se na taj način povezati sa GIS-om tog grada ili se mogu konvertirati u GC3 format koji je pogodan za arhitekta jer omogućuje 3D modeliranje. Popis mogućih formata prilično je dugačak. Osim konverzije između formata podataka, moguća je i konverzija između datuma i projekcija.

Nakon izvoza mjerenih podataka, isti se otvaraju u AutoCAD-u te se obrađuju i pripremaju za predaju u katastar vodova.

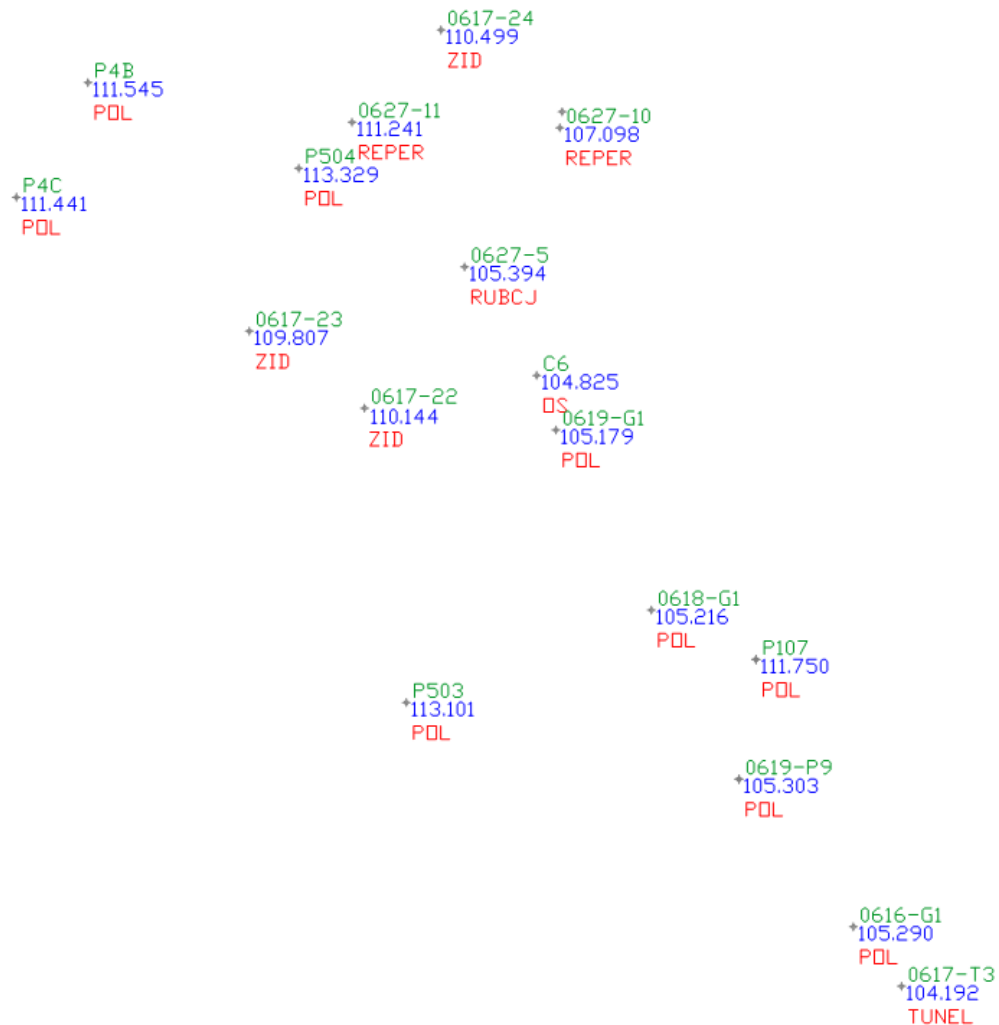


Slika 33. Topcon Link

### 6.1.2. AutoCAD

AutoCAD je softver namijenjen za kreiranje 2D i 3D crteža. Program je prvenstveno namijenjen inženjerima strojarstva, građevine, arhitekture i geodezije, ali danas ima mnogo širu primjenu. AutoCAD je pri izradi elaborata vodova korišten za izradu grafičkog dijela elaborata.

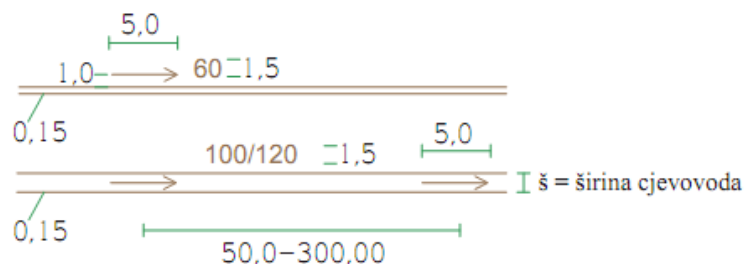
Podaci koji su na prethodno opisan način konvertirani u \*.dwg ili \*.dxf format otvaraju se u AutoCAD-u pozivanjem naredbe *File* → *Open*. Vrlo je važno da se s točkama konvertiraju i kodovi prema kojima se može prepoznati na što se točka odnosi. Bez poznavanja kodova izrada elaborata bi bila nemoguća. U nastavku se nalazi prikaz točaka učitanih u AutoCAD (Slika 34.).



Slika 34. Prikaz točaka u AutoCAD-u

Pri izradi grafičkog prikaza korištena je Zbirka kartografskih znakova izdana od strane Državne geodetske uprave. Kako bi točno trebao biti označen mikrotunel izgrađen u svrhu odvodnje otpadnih voda nije specificirano u zbirci, pa je u dogovoru sa područnim uredom za katastar Karlovac, nadležnim za katastarsku općinu Karlovac II u kojoj se radilo mikrotuneliranje, odlučeno da se napravi

kombinacija simbola za kanalizacijski cjevovod (Slika 35.) i simbola za zajednički tunel za podzemne vodove (Slika 36.).

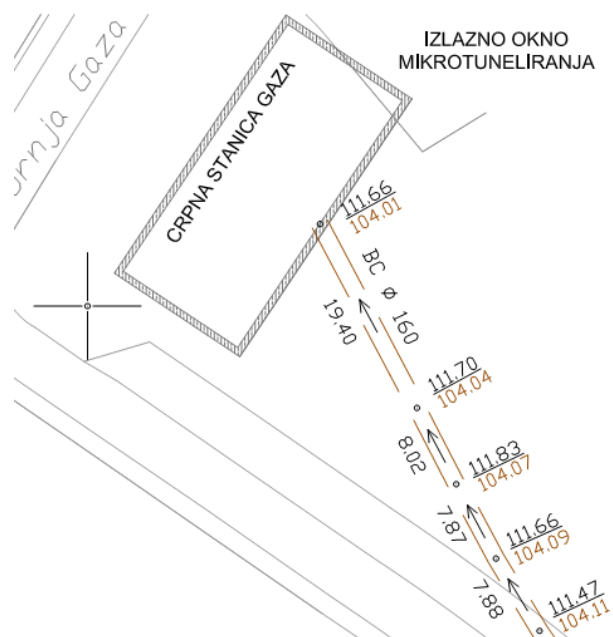


Slika 35. Simbol za kanalizacijski cjevovod širine od 0.5 mm na prikazu (NN 104/2011)



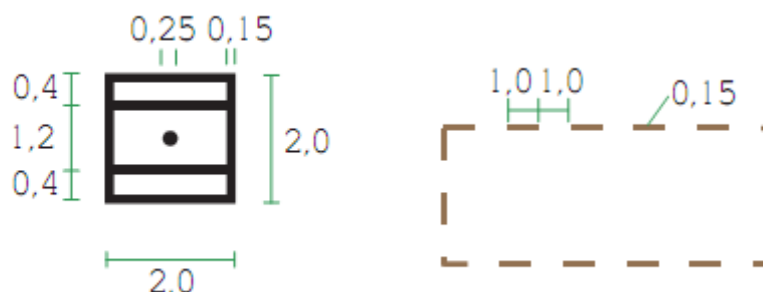
Slika 36. Simbol za zajednički tunel za podzemne vodove (NN 104/2011)

Iz priloženog se može zaključiti da je boja oznake tunela preuzeta iz simbola za kanalizacijski cjevovod, te da je zadržana oznaka strelice koja označava u kome smjeru je kanalizacija u padu, a crtkana linija preuzeta je od simbola za tunel za podzemne vodove.



Slika 37. Prikaz cijevi mikrotunela

Po završetku radova na startnom oknu su izrađena dva poklopca koja su označena simbolom za reviziono okno kanalizacijske mreže, a nalaze se unutar galerije (komore) kanalizacije (Slika 38.).



Slika 38. A) Reviziono okno, B) Galerija kanalizacije  
(NN 104/2011)

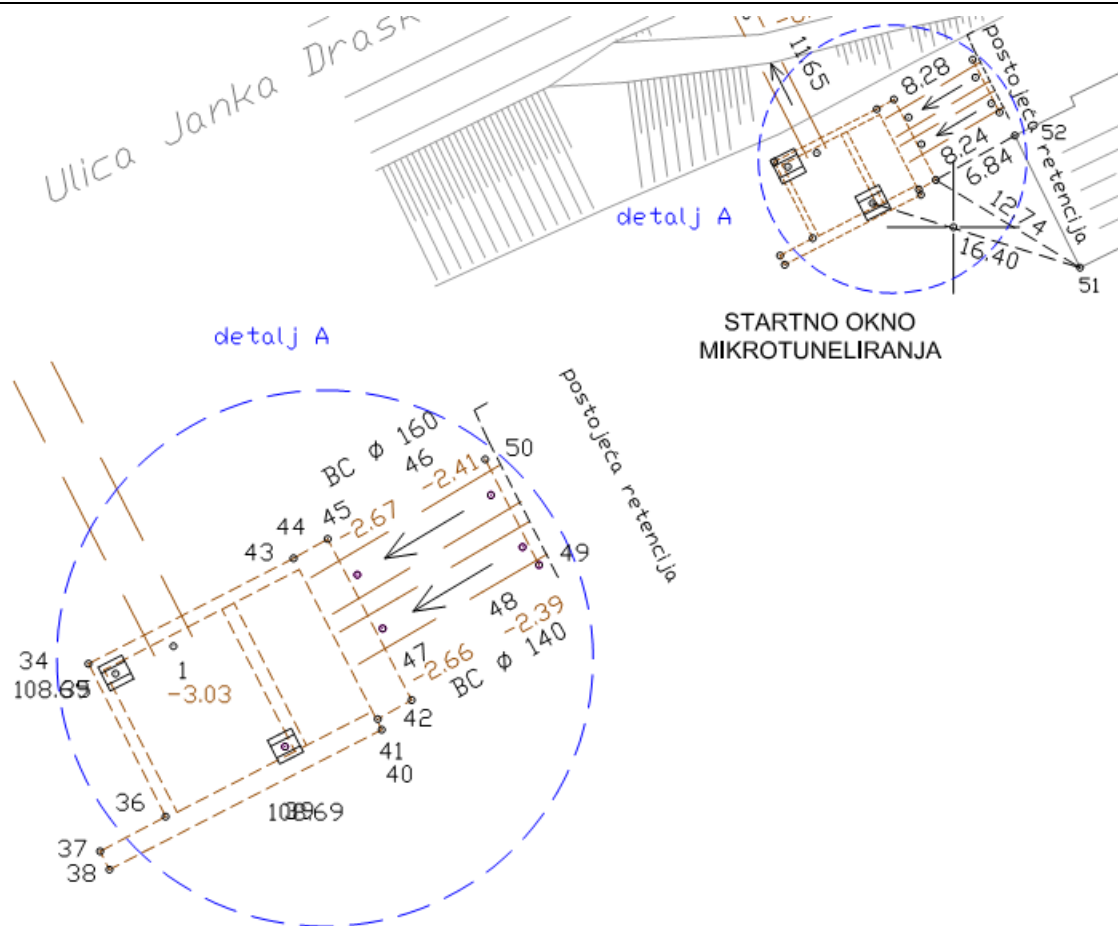
Nakon završetka mikrotuneliranja, na mjestu izlaznog okna izgrađen je objekt crpna stanica. Potreba za tim objektom javila se zbog toga što se izlazno okno nalazi u neposrednoj blizini rijeke Kupe, koja vrlo često ima visoki vodostaj, pa onemogućuje normalan protok oborinske vode. Simbol crpne stanice u kanalizacijskoj mreži ne postoji, pa je preuzet simbol za crpnu stanicu vodovodne mreže (Slika 37.).

Grafički podaci se obrađuju u svrhu izrade skice mjerenja i situacijskog nacrtu koji čine grafički dio elaborata vodova.

### 6.1.2.1 Skica mjerenja

Skice mjerenja izrađuju se u mjerilima 1:500 ili 1:1000 ovisno o gustoći detalja koji se prikazuju. Osim prethodno pojašnjenih simbola koji su se koristili prilikom obrade u softveru AutoCAD, na skici mjerenja potrebno je prikazati i frontove, kontrolna odmjeranja od postojećih objekata, kojih u ovom slučaju ima vrlo malo, također potrebno je numerirati točke, te kod broja točke naznačiti na kojoj dubini se nalazi niveleta cijevi i naznačiti profil ugrađenih cijevi. Broj koji označava dubinu na kojoj se nalazi niveleta cijevi označava se smeđom bojom kao i većina objekata na kanalizacijskoj mreži, a vrijednost dubine dobiva se oduzimanjem nadmorske visine na kojoj se nalazi niveleta od visine terena otprilike na istoj poziciji. S obzirom da je skica izrađena u mjerilu 1:1000, prikaz startnog okna izgleda prilično nejasno zbog velikog broja detalja. Taj problem može se riješiti izradom skice u mjerilu 1:500 ili izvlačenjem detalja i uvećavanjem samo tog detalja, što se koristilo kao rješenje pri izradi skice mjerenja kod ovog elaborata (Slika 39.).

Osim grafičkog dijela skice, potrebno je izraditi i okvir koji mora sadržavati podatke o imenu katastarske općine u kojoj se nalazi objekt, u ovom slučaju tunel u katastarskoj općini Karlovac II, mjerilu u kojem je izrađena skica mjerenja (1:1000), datumu izrade skice, te također mora sadržavati pečat tvrtke, ime, prezime i potpis ovlaštenog inženjera geodezije koji je izradio elaborat. Po završetku izrade skice mjerenja, potrebno ju je isprintati i formatirati u A4 format.



Slika 39. Uvećani detalj startnog okna

### 6.1.2.2 Geodetski situacijski nacrt

Geodetski situacijski nacrt je prikaz izmjerenog voda koji se izrađuje u mjerilu 1:1 u digitalnom zapisu, a printa u mjerilu plana pojedine općine. Planovi katastarske općine Karlovac II izrađeni su u mjerilu 1:1000, pa je prema tome i situacijski nacrt printan u istom mjerilu. Situacijski nacrt, za razliku od skice mjerenja, ne sadrži brojeve točaka i dubine, već nadmorske visine nivelete i visine terena koje su iskazane u obliku razlomaka. Na primjer visina nivelete je 104.07 m, a visina terena je 111.83 m, tada se to prikazuje ovako:

$$\frac{111.83}{104.07}$$

Geodetski situacijski nacrt izrađuje se na prozirnem crtaćem papiru i formatira se u A4 format. Cjelokupni izgled skice mjerenja i geodetskog situacijskog nacrt nalazi se u prilogu.

## 6.2. Tekstualni dio elaborata vodova

Svi sastavni dijelovi tekstualnog dijela elaborata vodova opisani su u nastavku:

- *Naslovna stranica* sadrži podatke o tvrtci, podatke o rješenju Državne geodetske uprave kojim se daje suglasnost za obavljanje poslova državne izmjere i katastra nekretnina, pečat tvrtke, ime i prezime i potpis geodetskog stručnjaka te naziv elaborata vodova. Kao dodatne informacije, s obzirom da se radi o elaboratu novoizgrađenog sustava za odvodnju otpadnih voda, na naslovnici ovog elaborata nalaze se i podaci o nazivu jedinice lokalne samouprave, te podatak o imenu katastarske općine u kojoj se vod nalazi. Naslovna stranica, također, mora imati slobodan prostor predviđen za potvrđivanje elaborata.
- *Popis koordinata* sadrži brojeve točaka, te njihove položajne koordinate y i x, te visinske koordinate z koje se iskazuju u metrima i na dvije decimale. Visinska koordinata prikazuje se samo kod lomnih točaka voda i objekata na vodu. Ostale detaljne točke prikazuju se u popisu koordinata samo y i x koordinatama. Brojevi točaka u popisu koordinata moraju odgovarati točkama prikazanim na skici mjerenja.
- *Tehničko izvješće* sadrži podatke o naručitelju radova i upravitelju voda, u ovom slučaju tvrtci Vodovod i kanalizacija d.o.o., ime katastarske općine u kojoj je vod izrađen (Karlovac II.), ukupnu dužinu ugrađenih cijevi po profilima ( $\Phi$  160 dužine 268 m, kod retencije  $\Phi$  160 dužine 8 m i  $\Phi$  140 dužine 8 m). U tehničkom izvješću je potrebno opisati korištenu geodetsku opremu i metode izmjere koje su korištene pri izradi elaborata, budući da se radi o mikrotuneliranju, za izmjeru ulaznog i izlaznog okna te za izmjeru detalja korištena je GPS točka 1229 u k.o. Karlovac II, s koje su se pomoću GPS uređaja odredile ostale poligonske točke s kojih je mjerenje vršeno pomoću mjerne stanice TOPCON GPT-9003M, a koordinate točaka između ulaznog i izlaznog okna preuzete su iz žirokompasa MWD II, opisanog u četvrtom poglavlju ovog rada. Osim spomenutog, tehničko izvješće mora sadržavati i programe koji su korišteni prilikom izmjere i obrade podataka, te izrade elaborata. Pri izmjeri, u Tkalčevoj ulici, korišten je softver Topcon Link, pri obradi grafičkih podataka AutoCAD, kod izrade popisa koordinata Microsoft office excell, a pri izradi tekstualnog dijela elaborata korišten je Microsoft office word.
- *Terenski zapisnik mjerenja*, u pravilu se izrađuje samo za mjerenja obavljena polarnom metodom, dok se za mjerenja obavljena satelitskim pozicioniranjem prilaže dokumentacija prema tehničkim specifikacijama Središnjeg ureda Državne geodetske uprave. Primjer takvog dokumenta nalazi se u poglavlju 3.3. Geodetska osnova, a treba sadržavati skicu



mjerenja visine antene, te podatke o tome kada je i koliko puta vršeno mjerenje za svaku točku zasebno.

Elaborati vodova izrađuju se u dovoljnom broju primjeraka, po jedan za: upravno tijelo, naručitelja elaborata, upravitelja voda, osobu koja je izradila elaborat. (NN 71/08). Uz ova standardna četiri primjerka, po potrebi se izrađuju i dodatni primjerci.

## 7. Katastarski poslovi pri mikrotuneliranju

Nakon izrade elaborata vodova slijedi njegova predaja u katastar vodova. Katastar vodova je upisnik o javnoj komunalnoj infrastrukturi što ih za područje lokalne samouprave vodi nadležno tijelo. U njemu se upisuje JKI položena na zemlji, nad zemljom, pod zemljom i pod vodom, a uključuje vodove i objekte što im pripadaju (Blagonjić 2012.).

Da bi elaborat vodova bio zaprimljen u katastar vodova potrebno je zajedno sa primjercima elaborata predati zahtjev za pregledavanje i potvrđivanje elaborata vodova, koji podnosi osoba koja je izradila elaborat, a između ostalog mora sadržavati i podatke o naručitelju.

Službenici katastra vodova dužni su u roku od 30 dana od primitka elaborata pregledati elaborat te ga ili potvrditi ili se pismeno očitovati, putem zaključka, o primjedbama na elaborat. U zaključku, osim primjedbi, mora stajati i rok za uklanjanje utvrđenih nedostataka koji ne smije biti duži od 60 dana. Svrha samog pregleda elaborata vodova je utvrditi da li je elaborat izradila ovlaštena osoba, da li elaborat sadrži sve potrebne sastavne dijelove, te da li se može upotrebljavati za osnivanje i vođenje katastra vodova.

U vrijeme kada je ovaj elaborat vodova predan u katastar elaborati vodova bili su pregledavani u skladu sa Pravilnikom o katastru vodova (NN 71/08). Pravilnikom su određeni sastavni dijelovi elaborata i način na koji se izrađuju. Osim spomenutog Pravilnika, službenici su za pregledavanje elaborata koristili i Pravilnik o kartografskim znakovima (NN 104/2011) odnosno kartografski ključ. Ukoliko je elaborat vodova izrađen u skladu s ovim pravilnicima, katastarski službenici ih ovjeravaju. Elaborat vodova se potvrđuje potvrdom koja glasi: „Ovaj elaborat je izrađen u skladu s propisima o katastru vodova i može se upotrebljavati za potrebe osnivanja i vođenja katastra vodova“ (NN 71/08), a potvrđuje se na naslovnoj stranici ili potvrdom koja se prilaže elaboratu. Također, obavezno je i potvrđivanje situacijskog nacrt, na svim predanim primjercima. Potvrđeni primjerak za katastar ulaže se u zbirku elaborata vodova. Službenici katastra zadržavaju i primjerak za upravitelja voda, pa ga zajedno s obavijesti o pregledanom i potvrđenom elaboratu šalju upravitelju. Ostale primjerke dobiva osoba koja je predala zahtjev za pregled elaborata.

Nakon ovjere elaborata i pohranjivanjem istog u zbirku, slijedi unošenje podataka u katastar vodova.



## 8. Sadržaj priloženog medija (CD-a)

Na priloženom mediju pohranjeni su podaci proizvedeni pri izradi diplomskog rada te prikazi postignutih rezultata. Logički su organizirani prema smislu (Tablica 7.).

*Tablica 7. Sadržaj priloženog medija*

RB.	Mapa/ Datoteka	Sadržaj
1.	Diplomski.docx	Tekst diplomskog rada
2.	Izmjestanje_kanalizacije.pdf	Situacioni plan
3.	Izmjestanje_struje.pdf	Situacioni plan
4.	Nacrt_iskolčenja_list1.pdf	1. list nacrtu iskolčenja trase
5.	Nacrt_iskolčenja_list2.pdf	2. list nacrtu iskolčenja trase
6.	Skica.pdf	Skica mjerenja izrađena po završetku mikrotuneliranja
7.	Situacija.pdf	Situacijski nacrt
8.	Tgo.rtf	Koordinate korištenih točaka geodetske osnove
9.	Popis.rtf	Popis detaljnih točaka

## 9. Zaključak

Postupak mikrotuneliranja efikasna je metoda koja čuva čovjekovu okolinu, i predstavlja alternativu uobičajenom kopanju i građenju cjevovoda. Mikrotuneliranje je moguće izvoditi u svim vrstama tla, od sipkih, nevezanih pijesaka, preko gline i kompaktnih tala, do najtežih stijena.

Najveća prednost ove ekološki prihvatljive tehnologije je što ne dovodi do prekida prometa ili privremenog mijenjanja korita rijeke dok se izvode radovi. Preporučuje se i za postavljanje cjevovoda u uskim ulicama, ispod zgrada, željezničkih pruga, aerodromskih pista kao i ispod privatnih parcela posebno onih u koje nije moguće ući jer nisu rešeni imovinsko-pravni odnosi. Radovi na površini, kao i rušenje površinskih objekata, ograničeni su samo na početni i krajnji otvor. Time dolazi do minimalnog ometanja prometa i aktivnosti okolnog stanovništva.

Osim spomenutoga, prednosti su i znatno skraćeno trajanje izgradnje, tok gradnje ne zavisi od vremenskih prilika, premještanje podzemnih vodova svodi se na minimum, ne stvaraju se vibracije tijekom napredovanja radova, ne dolazi do ugrožavanja korijena drveća budući da nema otvorenog iskopa, opasnost od oštećenja zgrada i drugih podzemnih instalacija je vrlo mala, omogućeni su radovi na vrlo malom području.

Nedostaci mikrotuneliranja odnose se prvenstveno na visoke fiksne troškove koji tehnologiju čine ekonomski nepovoljnom. To se naročito odnosi na kraće dionice sa manjim promjerom cijevi. Visinu cijene definiraju relativno skupi pripremni radovi i sama izvedba bušenja.

Kako preliminarni radovi, tako i predaja elaborata vodova po završetku izrade mikrotunela zahtijevaju postojanje upisnika vodova, odnosno katastar vodova. Nažalost, kod nas katastar vodova još nije potpuno zaživio, već ga vode samo pojedini područni uredi za katastar. Područni ured za katastar Karlovac nije među njima. Stoga, proces katastarskih poslova oko elaborata vodova nakon što se ulože u zbirku u područnom uredu za Katastar u Karlovcu ovdje prestaje. Moguće je u područnom uredu za katastar Karlovac tražiti postojeće elaborate vodova na nekoj lokaciji, ali te informacije se vrlo siromašne, i u većini slučajeva zastarjele.

Uvođenje katastra vodova u Karlovcu bi uvelike olakšalo pripremu radova. U poglavlju 3.1. Izmještanje postojećih instalacija opisano je koliko je institucija bilo potrebno kontaktirati i s njima obići teren kako bi saznali koji se vodovi nalaze na području rada. Dokumentacija koja nam je ustupljena nije bila od velike koristi, već je rađena detekcija svih vodova u ulici, što je povećalo troškove gradilišta. Da se uvede i redovito ažurira katastar vodova ne bi bilo potrebe za tolikim obimom preliminarnih radova, već bi jedan posjet katastru bio dovoljan.

## Literatura:

Narobe, Z. (1982): Teoretske osnove i praktična primjena žiroteodolita, Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zagreb

Stein, D. (2005): Trenchless Technology for Installation of Cables and Pipelines, Stein & partner, str. 428 – 451, Germany

Markovinović, D., Špodnjak, T., Bjelotomić, O. (2011): Utjecaj sile teže u geometrijskom nivelmanu, Ekscentar, br. 14., str. 61-65, Zagreb

Bašić, T. (2010.): Predavanja iz kolegija Državna izmjera, Zagreb

Stein D. (2005): Practical Guideline for the Application of Microtunnelling Methods for the ecological, cost-minimised installation of drains and sewers, Stein & partner, Germany

Herrenknecht AG (2008): Universal navigation system, upute za rad softvera, Schwanau, Germany

Standard ATV-A 125E: Pipe Driving (1996)

Kapović, Z., Mlinarić, V., Milić, S. (2012): Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu (knjiga 2) - Pripremni radovi, Hrvatske vode, Zagreb

HIDRO – A (2011): Građevinski projekt: Kolektor Banija – Gaza, Kolektor Kišni preliv grad (dionica 4); Vrsta projekta: izvedbeni projekt, oznaka knjige: IZP 040-1-3/10, glavni projektant: Damir Jurić, dipl. ing. građ., Zagreb

Blagonjić, B. (2012): Katastar vodova u lokalnoj infrastrukturi prostornih podataka, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu - Geodetski fakultet, Zagreb

Shen, X. (2010): Surveying – computing integrated approach to tracking a tunnel boring machine during microtunneling, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong

Maidl, B., Herrenknecht, M., Maidl, U., Wehrmeyer, G., Sturge, D. (2012): Mechanised Shield Tunnelling, 2nd edition, Ernst & Sohn, Berlin, Germany

Maidl, B., Herrenknecht, M., Schmid, L., Ritz, W. (2008): Hardrock Tunnel Boring Machines, Ernst & Sohn, Berlin, Germany

Kolić, D. (2014): Zagreb Underground, Hrvatska udruga za betonsko inženjerstvo i tehnologiju gradnje, Zagreb

Wallis, S. (2012): Tunnel Talk, Shani Wallis, United Kingdom

Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2013): Geomechanics and Tunnelling 6, Ernst & Sohn, Austrija

The Herrenknecht Tunnelling Magazine (2011): All Around, Herrenknecht AG, Schwanau, Germany

Narodne novine (2008): Pravilnik o katastru vodova

Narodne novine (2011): Pravilnik o kartografskim znakovima, prilog: Zbirka kartografskih znakova mjerila od 1:500 do 1:25000

Narodne novine (2007): Zakon o prostornom uređenju i gradnji

#### POPIS URL-ova:

URL 1. Melfi grupa, <http://www.gruppomelfi.it/infrastrutture-a-rete>, (15. 02. 2014.)

URL 2. Tehničke specifikacije nivelira SOKKIA SDL1X, [http://geocentar.com/wp-content/uploads/2014/01/SDL1X\\_hr.pdf](http://geocentar.com/wp-content/uploads/2014/01/SDL1X_hr.pdf), (30. 02. 2014.)

URL 3. Tehničke specifikacije GPS uređaja Trimble R8, <http://www.trimble.com/Survey/trimbler8gnss.aspx>, (5.03.2014.)

URL 4. Tehničke specifikacije mjerne stanice Topcon GPT-9003M, [http://geocentar.com/pdfs/products/karakteristike\\_9003.pdf](http://geocentar.com/pdfs/products/karakteristike_9003.pdf), (5.03.2014.)

URL 5. Geolaser VL–80, [http://www.geo-laser.de/laser-produkte/produkte\\_detail.php?cat=with+Direction+Control&oname=Drifting+Lasers&artikel=VL-80&sprache=englisch](http://www.geo-laser.de/laser-produkte/produkte_detail.php?cat=with+Direction+Control&oname=Drifting+Lasers&artikel=VL-80&sprache=englisch), (15.03.2014.)

#### POPIS SLIKA:

Slika 1. Shematski prikaz opreme (izvor: URL1) .....	9
Slika 2. Startno okno .....	12
Slika 3. Ciljno okno .....	12
Slika 4. Skica vodovodnih cijevi u ulici Imbre Tkalca .....	13
Slika 5. Nepotpuna dokumentacija odvodnje otpadnih voda .....	14
Slika 6. Skica elektroenergetskih kablova .....	14
Slika 7. Lijeva krivina .....	16
Slika 8. Desna krivina .....	17
Slika 9. Skica i opis mjerenja visine GNSS antene .....	19
Slika 10. Nivelir SOKKIA SDL1X (izvor: URL2) .....	20
Slika 11. GPS uređaj Trimble R8 (izvor: URL3) .....	22
Slika 12. Topcon mjerna stanica (izvor: URL4) .....	24
Slika 13. Shema elektroničkog laserskog sustava .....	26
Slika 14. Pasivni laserski ciljni sustav .....	27



---

Slika 15. Shema elektroničkog nivelacijskog sustava.....	28
Slika 16. Funkcioniranje sustava .....	29
Slika 17. Dva koordinatna sustava (a) lokalni geodetski okvir, .....	30
Slika 18. Moguća odstupanja laserske zrake uzrokovana .....	31
Slika 19. Ciljna ploča (izvor: Herrenknecht AG 2008).....	32
Slika 20. Geolaser VL-80 (URL 5) .....	32
Slika 21. Laser (URL 5) .....	34
Slika 22. Određivanje pravca.....	35
Slika 23. Rektifikacija zrake lasera (URL 5).....	35
Slika 24. a) Ilustracija tri kuta rotacije, b) rotacija oko z-osi, c) rotacija oko x-osi, .....	37
Slika 25. Osi žiromkompasa (izvor: Stein 2005) .....	38
Slika 26. Žiromkompas MWD II .....	39
Slika 27. Princip spojenih posuda (izvor: Bašić 2010) .....	40
Slika 28. Točke orijentacije i stajalište .....	42
Slika 29. Ulaz tunela.....	43
Slika 30. Postavljanje mjerne stanice i prizme u tunelu .....	43
Slika 31. Kontrolna mjerenja totalnom stanicom.....	44
Slika 32. Prikaz osi stroja za bušenje prije i nakon korekcije.....	47
Slika 33. Topcon Link .....	49
Slika 34. Prikaz točaka u AutoCAD-u .....	50
Slika 35. Simbol za kanalizacijski cjevovod širine od 0.5 mm na prikazu .....	51
Slika 36. Simbol za zajednički tunel za podzemne vodove.....	51
Slika 37. Prikaz cijevi mikrotunela .....	51
Slika 38. A) Reviziono okno, B) Galerija kanalizacije .....	52
Slika 39. Uvećani detalj startnog okna.....	53

**POPIS TABLICA:**

Tablica 1. Koordinate elemenata .....	15
Tablica 2. Zapisnik GNSS mjerenja .....	18
Tablica 3. Točke geodetske osnove .....	20
Tablica 4. Tehničke specifikacije .....	21
Tablica 5. Maksimalna dopuštena odstupanja pravca bušenja od projektiranog pravca.....	45
Tablica 6. Podaci kontrolnih mjerenja, mjerenja iz žirokompasa te podaci dobiveni unošenjem kontrolnih mjerenja u kontrolno računalo. ....	46
Tablica 7. Sadržaj priloženog medija.....	57

**POPIS KRATICA:**

CS Gaza – crpna stanica Gaza

DN – Diametre Nominal (europski ekvivalent nominalnih veličina cijevi)



## Europass Životopis

### Osobni podaci

Prezime(na) / Ime(na) **Željeznjak Iva**  
Adresa(e) Struga 26a, 47 000 Karlovac, Republika Hrvatska  
Broj mobilnog telefona: 00385977933164  
E-mail izeeljeznjak@geof.hr  
Državljanstvo Hrvatsko  
Datum rođenja 18.08.1989.  
Spol ž

### Željeno zaposlenje/zanimanje

**mag. ing. geod. et geoinf.**

### Radno iskustvo

Datumi 12. rujna 2011.  
Zanimanje ili radno mjesto Pomoćni geodeta  
Ime i adresa poslodavca Aquaterm d.o.o., Primorska 28  
Vrsta djelatnosti ili sektor Građevinarstvo, montaža, trgovina

### Obrazovanje i osposobljavanje

2012.- Geodetski fakultet sveučilišta u Zagrebu  
Diplomski studij geoinformatike  
2008.-2012. Sveučilišna prvostupnica inženjerka geodezije i geoinformatike  
Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Preddiplomski studij geodezije i geoinformatike  
2004.-2008. Gimnazija Karlovac

### Osobne vještine i kompetencije

Materinski jezik(ci) **hrvatski jezik**  
Drugi jezik(ci) engleski, njemački  
Računalne vještine i kompetencije Poznavanje rada u Microsoft office Excell-u i Word-u, te u AutoCAD-u  
Vozačka dozvola B kategorija

**PRILOZI**

1. Situacioni plan izmještenog elektroenergetskog kabla
2. Situacioni plan izmještene kanalizacije
3. Nacrt iskolčenja, List 1.
4. Nacrt iskolčenja, List 2.
5. Skica mjerenja
6. Situacijski nacrt

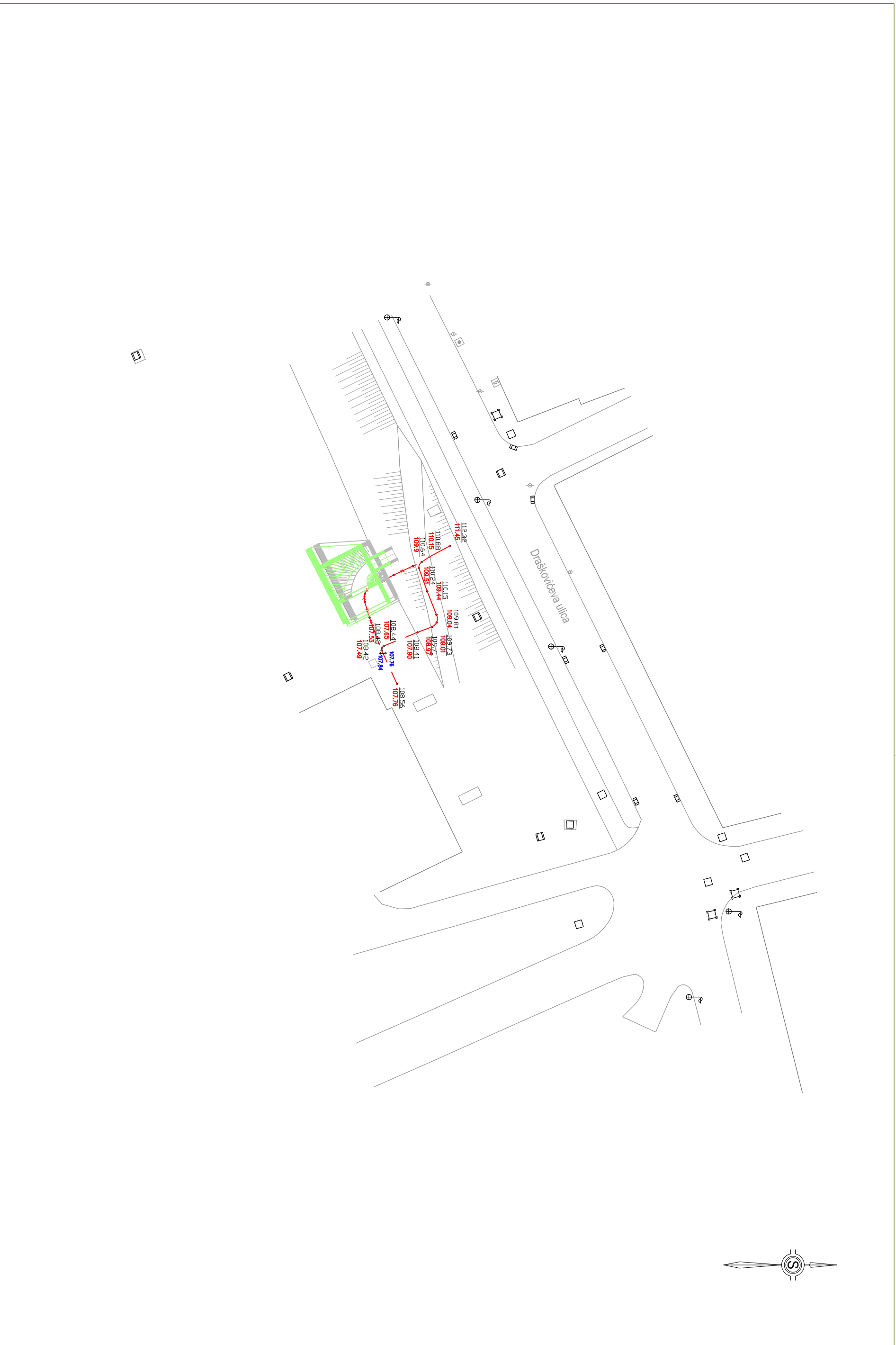




SITUACIONI PLAN IZMJEŠTENOG ELEKTROENERGETSKOG KABLA

K.O. Karlovac 2

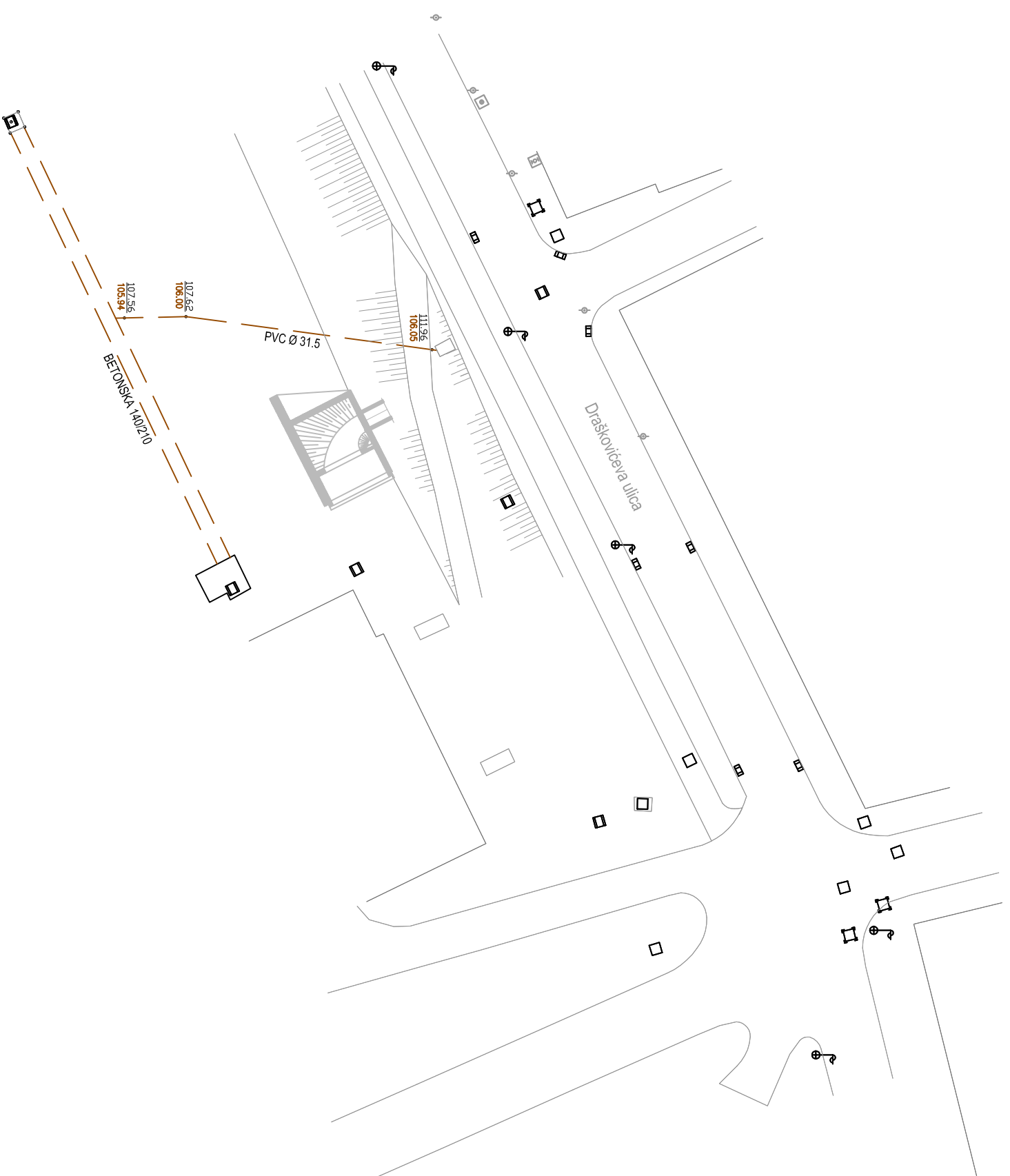
M 1:500



SITUACIONI PLAN IZMJEŠTENE KANALIZACIJE

K.O. Karlovac 2

M 1:500



Investitor:  
Vodovod i kanalizacija d.o.o.  
Karlovac, Gažanski trg 8

I K.O. Karlovac II

# NACRT ISKOLČENJA

Kolektor Kišni preliv Grad (dionica 4)  
M 1:500

Nacrt br. 1

