

mr.sc. Aleksandar Hajdu, dipl.ing.el.  
HEP-ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[aleksandar.hajdu@hep.hr](mailto:aleksandar.hajdu@hep.hr)

Marko Ivančić, mag.ing.el.  
HEP-ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[marko.ivancic@hep.hr](mailto:marko.ivancic@hep.hr)

## VOĐENJE ENERGETSKIH KABELA KROZ TUNEL TLAČNOG CJEVOVODA „HE RIJEKA“

### SAŽETAK

Pri projektiranju 10(20) kV raspleta TS 110/10(20) kV Rijeka, jedan dio 10(20) kV raspleta bilo je potrebno položiti do samog centra grada Rijeke, a jedina moguća trasa kojom se to moglo izvesti je prohodni tunel u kojem je smješten tlačni cjevovod „HE Rijeka“. Za polaganje kabela bilo je potrebno predvidjeti rješenje nadogradnje postojeće konstrukcije za vođenje 10 kV energetskih kabela za priključak strojarnice na blok-transformator, unutar vrlo malog prostora, s velikom strminom, a još veći problem predstavljao je izlazak iz tunela, kroz strojarnicu, do vanjskog prostora hidroelektrane, za što je na kraju odabrano rješenje horizontalnog bušenja s navođenjem u dužini od 64 metara.

**Ključne riječi:** 10(20) kV rasplet, tunel tlačnog cjevovoda, konstrukcija za vođenje kabela, horizontalno bušenje s navođenjem

## LAYING POWER CABLES THROUGH THE TUNNEL OF PRESSURE PIPE HYDROELECTRIC POWER PLANT „RIJEKA“

### SUMMARY

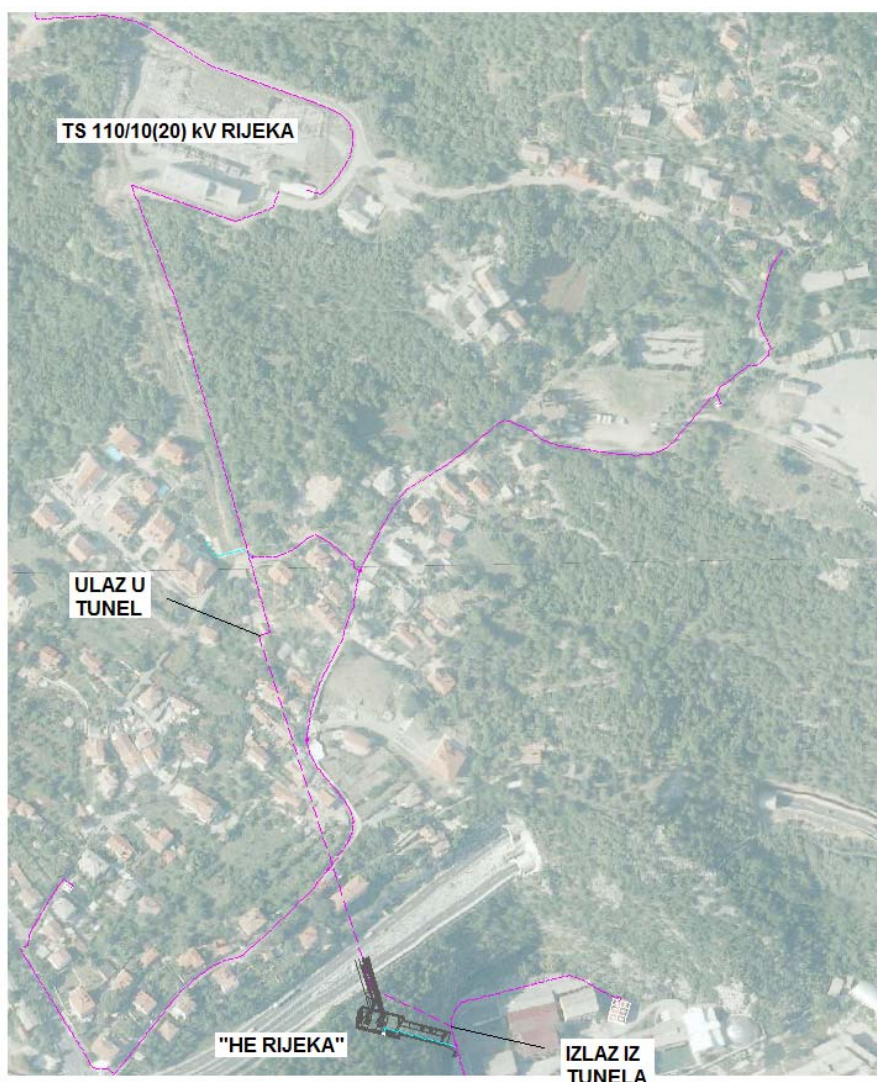
During the design of new 10(20) kV cable lines deriving from substation 110/10(20) kV Rijeka, it was necessary to find a suitable route to the center of the city Rijeka, and the only possible route was the underground tunnel with pressure pipeline of hydro power plant „Rijeka“. For laying of the cables it was necessary to add a superstructure to the existing construction supporting the 10 kV power cables connecting power plant to the block transformers, within a very small space, with a large slope, and even bigger problem was the egress from the tunnel, through the engine room, to the outside of the power plant, for which was selected the solution of horizontal directional drilling in length of 64 meters.

**Key words:** 10(20) kV cable lines, tunnel of pressure pipeline, construction for laying power cables, horizontal directional drilling

## 1. UVOD

Provođenjem "Programa Rijeka", koji predviđa napuštanje 35 kV naponskog nivoa na području grada Rijeke izgradnjom novih TS 110/10(20) kV (TS Sušak izgrađena, TS Turnić pred puštanjem u pogon, TS Zamet isprojektirana, TS Rijeka u radu) i napuštanjem postojećih TS 35/10 kV (Školjić, Zamet, Industrija, Škurinjska Draga, Centar), izgradilo se novo 10(20) kV postrojenje u postojećoj TS 110/35 kV Rijeka, te je bilo potrebno izvesti i pripadni rasplet 10(20) kV kabela.

Interpolacija rekonstruirane TS 110/10(20) kV Rijeka na postojeću srednjenaponsku mrežu, uz uvjet zadovoljavanja energetske prilike (tokova snaga, padova napona, kratkoga spoja i dr.), zahtijevala je, u fazi projektiranja, da cjelokupni rasplet 10(20) kV kabela iz TS 110/10(20) kV Rijeka bude izveden na velikom području (uključujući naselja Pulac, Drenova, Škurinje, Kozala, Brajda i Školjić), s 19 kabelskih izlaza iz predmetne transformatorske stanice. Zbog same konfiguracije terena, kao i urbaniziranog i gusto naseljenog područja grada Rijeke na kojem se planirao budući rasplet 10(20) kV kabela, zahtijevalo se optimiziranje trasa 10(20) kV kabela. Budući da se dio raspleta 10(20) kV kabela (ukupno 6 kabela) planirao položiti prema užem središtu grada Rijeke (naselju Školjić), kao moguće rješenje trase (daleko najkraća trasa) predmetnih kabela se pojavila mogućnost iskorištenja postojećeg tunela tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“.



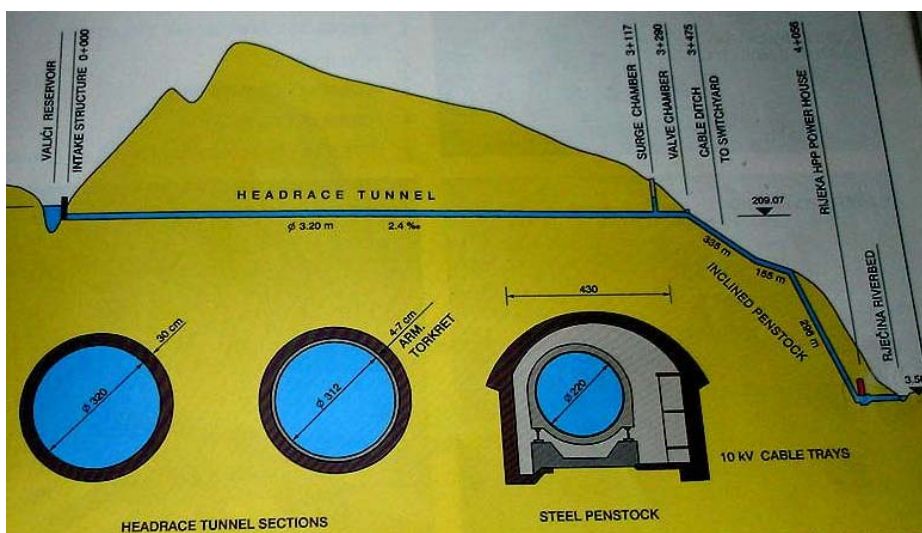
Slika 1. Prostorni prikaz raspleta 10(20) kV kabela TS 110/10(20) kV Rijeka

U fazi projektiranja potrebno je bilo uvažiti određene specifičnosti (ulaz i izlaz iz tunela, dimenzije tunela, postojeće instalacije i dr.) koje su karakteristične za vođenje 10(20) kV kabela kroz tunel tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“.

## 2. TUNEL TLAČNOG CJEVOVODA „HE RIJEKA“

Tunel tlačnog cjevovoda, uključujući umjetno akumulacijsko jezero Valići s gravitacijskom branom (koje se nalazi na koti 229,5 metara nad morem u koritu Rječine), podzemnu strojarnicu (koja se nalazi na koti 10 metara nad morem kod ušća Rječine), dovodnog tlačnog tunela, te vodne i zasunske komore, čini sastavni dio „HE Rijeka“.

Voda iz akumulacije Valići usmjerava se do strojarnice hidroelektrane preko dovodnog tlačnog tunela smještenog neposredno uz branu, na desnoj obali jezera. Dovodni tlačni tunel promjera 3,20 metra i dužine 3117 metara dovodi vodu do vodne i zasunske komore smještene na brdu Katarina iznad Rijeke gdje počinje tlačni cjevovod.



Slika 2. Uzdužni presjek „HE Rijeka“

Čelični tlačni cjevovod promjera je 2,30 metara pri vrhu i 2,20 metara pri dnu, dugačak je 785 metara. Tlačni cjevovod smješten je u brdu Katarina, te se djelomično nalazi u otvorenom iskopu, a djelomično u kosom rovu. Tunel tlačnog cjevovoda prolazi neposredno pored TS 110/35 kV Rijeka odnosno vanjskog 110 kV postrojenja spuštajući se prema strojarnici hidroelektrane.



Slika 3. Tunel tlačnog cjevovoda u kosom rovu

U tunelu tlačnog cjevovoda, osim tlačnog cjevovoda hidroelektrane, smještena je i metalna konstrukcija (police) za vođenje postojećih 10 kV i 1 kV kabela, te postojećih PEHD cijevi i optičkih kabela. Postojećim 10 kV kabelima ostvarena je veza 10 kV postrojenja (odnosno transformatorskih

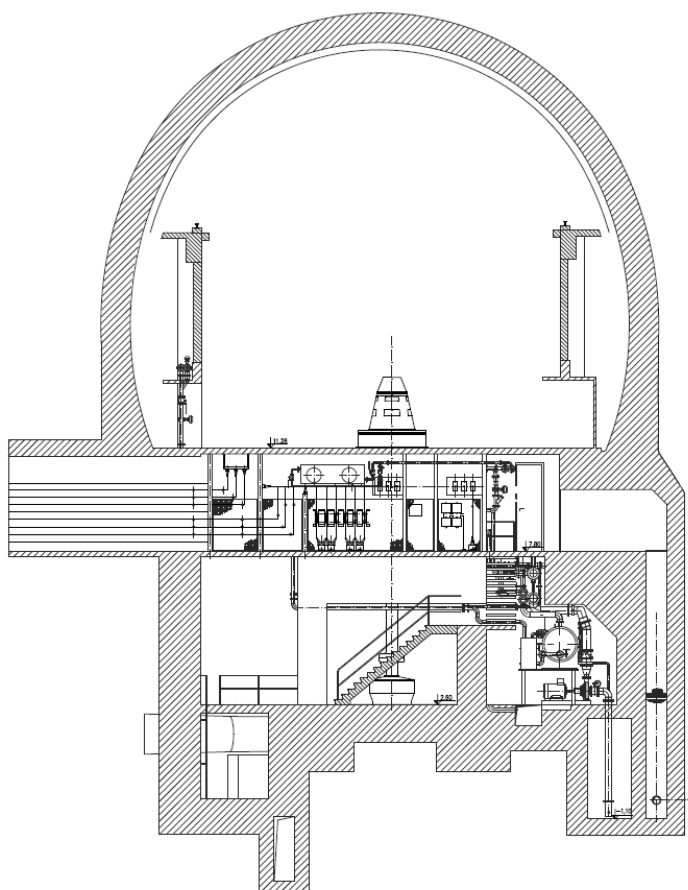


polja), smještenog u strojarnici hidroelektrane, s dva blok-transformatora 10,5/110 kV smještenim uz 110 kV postrojenje na lokaciji TS 110/35 kV Rijeka, čime je ostvarena interpolacija hidroelektrane na 110 kV elektroenergetsku mrežu. Ispred same strojarnice tlačni cjevovod se račva prema dvije proizvodne jedinice.



Slika 4. Ulaz u strojarnicu „HE Rijeka“

Strojarnica hidroelektrane smještena je u podnožju brda Katarina ukopana u stijenu. Strojarnica se proteže na tri etaže pri čemu se prva etaža nalazi u ravni ulaza dok se ostale dvije etaže nalaze ispod razine vanjskog terena.



Slika 5. Poprečni presjek strojarnice „HE Rijeka“

Na prvoj etaži smještena je komadna prostorija, zvjezdaste generatora, transformatorska stanica 10/0,4 kV, prostorija aku-baterija, te razvod izmjeničnog i istosmjernog razvoda. Na drugoj etaži smještena su dva generatora snage 23 MW. Također, na predmetnoj etaži smješteno je 10 kV

postrojenje koje se nalazi u ćelijama, a u nastavku kojeg se proteže kabelski rov kojim se dolazi do tunela tlačnog cjevovoda. Kroz kabelski rov položeni su 10 kV kabeli po metalnoj konstrukciji (policama) od 10 kV postrojenja do tunela tlačnog cjevovoda odnosno dalje do blok-transformatora na lokaciji TS 110/10(20) kV Rijeka. Na trećoj etaži smještene su dvije proizvodne jedinice odnosno Francis turbine snage 19,80 MW. Ukupna instalirana snaga „HE Rijeka“ je 36,80 MW.



Slika 6. Kabelski tunel do strojarnice „HE Rijeka“

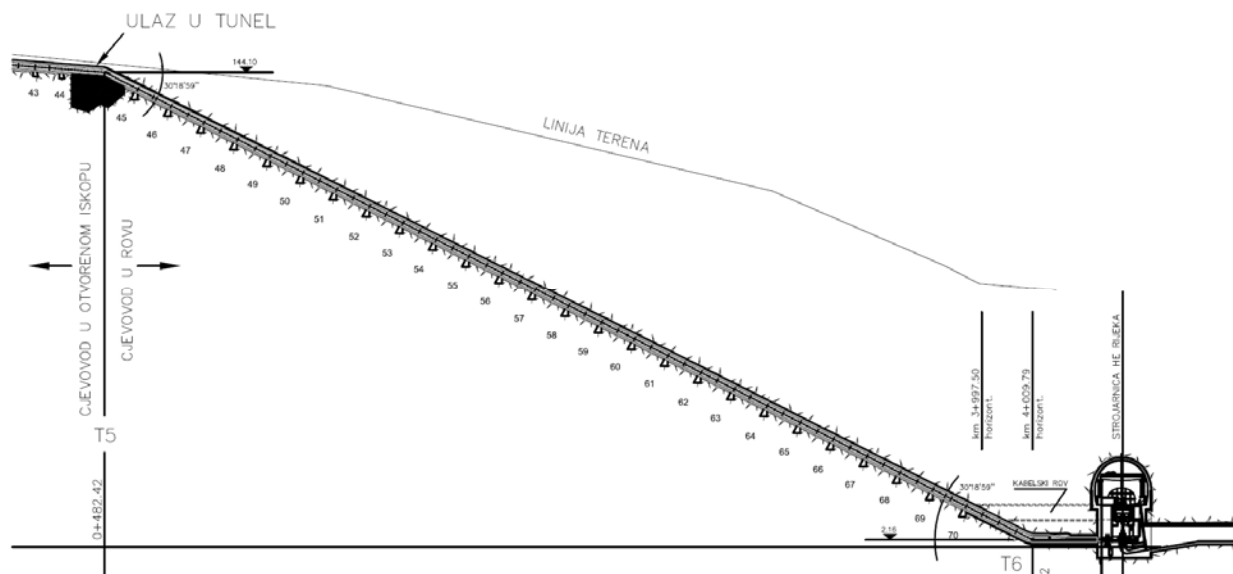
### **3. PROJEKTIRANJE VOĐENJA 10(20) KV KABELA KROZ TUNEL TLAČNOG CJEVOVODA „HE RIJEKA“**

#### **3.1. Specifičnosti kod projektiranja vođenja 10(20) kV kabela kroz tunel tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“**

Vođenje novopredviđenih kabela kroz tunel tlačnog cjevovoda je komplicirano i skupo, te je odlučeno da će se dijelom kabelska trasa položiti uz tunel tlačnog cjevovoda, u slobodnome kabelskom kanalu (u dijelu gdje trasa tunela prati konfiguraciju terena), a na dijelu gdje tunel prelazi u kosi rov ući će se kroz novopredviđeni otvor te će se kabeli dalje voditi tunelom do strojarnice.

Predmetni tunel tlačnog cjevovoda karakterizira ograničenje prostora koje je uvjetovano dimenzijama (gabaritima) samog tlačnog cjevovoda s jedne strane, te postojeće metalne konstrukcije (polica) za vođenje postojećih 10 kV kabela (za spoj generatora hidroelektrane s blok-transformatorima), 1 kV kabela i optičkih kabela s druge strane, a između kojih se nalaze betonske stepenice za slobodnu komunikaciju unutar samog tunela. Također, dio predmetnog tunela tlačnog cjevovoda u dužini 285 metara, koji se planirao iskoristiti za vođenje 10(20) kV kabela, nalazi se u kosom rovu, ukopan u stijenu, spuštajući se s vrha brda Katarina (na kojem se ujedno nalazi lokacija TS 110/10(20) kV Rijeka) prema podnožju istoga (gdje se nalazi lokacija strojarnice hidroelektrane), svladavajući veliku visinsku razliku što se očituje u velikoj strmini samog tunela.

Vođenjem 10(20) kV kabela kroz tunel tlačnog cjevovoda, te dolaskom do strojarnice „HE Rijeka“ potrebno je novopredviđene 10(20) kV kabele dovesti na ulazni plato, tj. pristupnu cestu koja vodi prema ulazu u strojarnicu. Budući da se tunel tlačnog cjevovoda nalazi na drugoj etaži strojarnice (a koja se nalazi ispod razine ulaza u strojarnicu) potrebno je svladati visinsku razliku, te proći kroz dio strojarnice opterećenog velikim brojem postojećih instalacija (10 kV postrojenje, tlačni, povratni i cirkulacijski cjevovodi, energetski kabeli vlastite potrošnje i sl.), uz male dimenzije prostora (odnosno skučenost istoga).



Slika 7. Uzdužni presjek tunela tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“

### 3.2. Opis rješenja

Sve navedene karakteristike prostora tunela tlačnog cjevovoda i strojarnice „HE Rijeka“ zahtijevale su maksimalno iskorištenje postojećih resursa i rješenja koja su već bila primijenjena na vođenju postojećih 10 kV kabela (za vezu generatora i blok-transformatora), kao i primjenu novih rješenja kako bi se postigao kvalitetan način vođenja budućih 10(20) kV kabela u predmetnom prostoru.

#### 3.2.1. Ulaz 10(20) kV kabela u tunel tlačnog cjevovoda

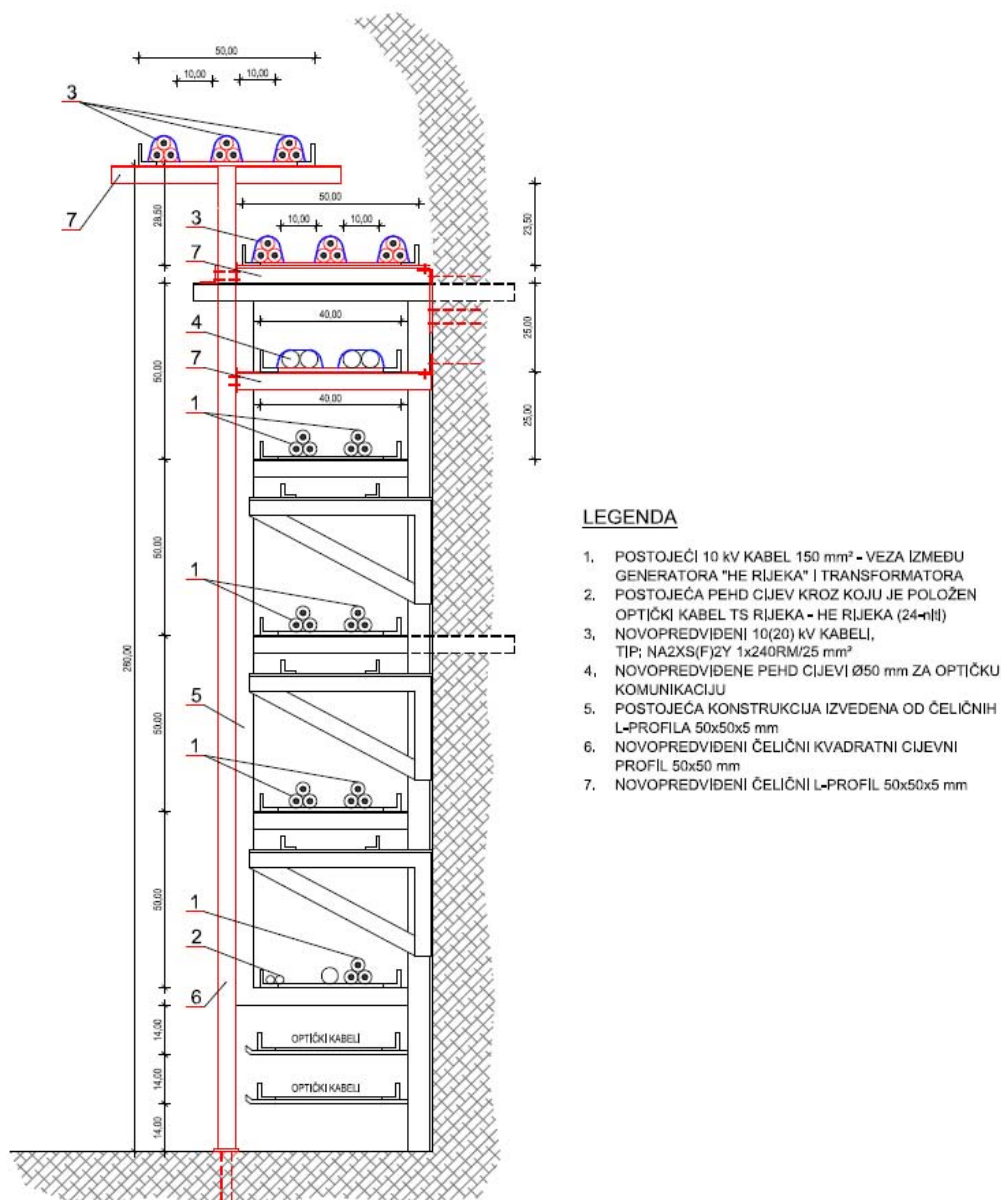
Planirani ulaz 10(20) kV kabela iz TS 110/10(20) kV Rijeka u tunel tlačnog cjevovoda je na mjestu gdje tunel prelazi iz otvorenog iskopa u kosi rov odnosno gdje je tunel ukupan u stijenu brda Katarina. Predmetni kabeli će se na tom mjestu uvući kroz odgovarajuće PEHD cijevi Ø160 mm (ukupno 8 cijevi), koje će se postaviti okomito kroz novopredviđeni otvor (proboj u stijeni odnosno svodu tunela), a koji se planira napraviti s površine terena do samoga tunela. Na mjestu ulaza 10(20) kV kabela u tunel tlačnog cjevovoda izraditi će se armiranobetonsko okno s pripadajućim metalnim poklopcem s kojim će se spriječiti ulaz oborinskih voda u tunel tlačnog cjevovoda.

#### 3.2.2. Vođenje 10(20) kV kabela u tunelu tlačnog cjevovoda

Na početku je razmatrana ideja da se na postojeću metalnu konstrukciju za vođenje 10 kV kabela (za spoj generatora s blok-transformatorima) i optičkih kabela nadogradi dio konstrukcije za vođenje novopredviđenih 10(20) kV kabela, ali s obzirom na loše stanje postojeće metalne konstrukcije nije bilo moguće sa sigurnošću potvrditi da bi mogla nositi i dodatni teret.

Druga opcija je bila da se kompletna konstrukcija zamijeni novom, ali to bi bilo prezahtjevno za izvođenje s obzirom na kabele pod naponom, te se i od toga odustalo (nemogućnost dobivanja dužeg vremenskog trajanja remonta „HE Rijeka“ koji bi omogućio kompletnu rekonstrukciju elektroenergetskih instalacija (10 kV i 1 kV kabela) u tunelu tlačnog cjevovoda).

Na kraju je odlučeno da će se novopredviđeni 10(20) kV kabeli položiti (voditi) po novopredviđenoj metalnoj konstrukciji (policama) koja će se smjestiti iznad postojeće konstrukcije (polica) i položenih 10 kabela i optičkih kabela. Novopredviđena metalna konstrukcija će se izvesti od čeličnih kvadratnih cijevnih profila i L-profila, pri čemu se planira ugraditi tri nove police u tri reda na koje će se položiti šest 10(20) kV kabela i četiri PEHD cijevi Ø50 mm (za potrebe optičke komunikacije).



Slika 8. Prikaz vođenja 10(20) kV kabela u tunelu tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“

Metalna konstrukcija sastojati će se od vertikalnih čeličnih kvadratnih cijevnih profila (stupova) 50x50x4 mm koji će se pomoću sidrenih vijaka pričvrstiti na postojeću betonsku podlogu. Upotrebom sidrenih vijaka na stupove metalne konstrukcije pričvrstiti će se horizontalno dva čelična L-profila 50x50x5 mm, dok će treći L-profil 50x50x5 mm biti na vrhu stupa zavaren za isti (profil je izmaknut prema osi tunela kako bi bila moguća ugradnja polica s obzirom na nepravilnosti svoda tunela). Prva dva čelična L-profila se pomoću sidrenih vijaka pričvršćuju za betonski zid (podlogu) tunela. Na čelične L-profile montirati će se ljestvičasti kabelski kanali (police) koji će se pomoću vijaka pričvrstiti na iste, a po kojima će se voditi 10(20) kV kabeli (i PEHD cijevi). Na prvi čelični L-profil (nosač) ugraditi će se police dimenzija 60x400 mm koje će služiti za vođenje PEHD cijevi. Na drugi i treći čelični L-profil (nosač) ugraditi će se police dimenzija 60x500 mm koje će se koristiti za vođenje po tri 10(20) kV kabela. Novopredviđena metalna konstrukcija odnosno vertikalni čelični kvadratni cijevni profili (stupovi) će se smjestiti neposredno uz postojeću metalnu konstrukciju (koja služi za vođenje 10 kV kabela koji su položeni od generatora smještenih u strojarnici hidroelektrane do blok-transformatora 10,5/110 kV smještenih na platou TS 110/10(20) kV Rijeka). Novopredviđena metalna konstrukcija odnosno okomiti čelični kvadratni cijevni profili (stupovi) će se postavljati na jednakim udaljenostima kao što je to izvedeno na postojećoj metalnoj konstrukciji, pri čemu će novopredviđena metalna konstrukcija biti potpuno neovisna o postojećoj metalnoj konstrukciji (postojeća metalna konstrukcija je dosta oštećena zbog utjecaja korozije odnosno velike količine vlage koja je prisutna u tunelu), te će se održavati kao odvojeni sustav.



Polaganje 10(20) kV kabela po ljestvičastim kabelskim kanalima (policama) izvesti će se upotrebom samorotirajućih vijaka koji se postavljaju na određenim udaljenostima. Nakon polaganja kabela se formiraju u trokut, te se pomoću obujmica pričvršćuju za ljestvičaste kabelske kanale (pričvršćivanje se vrši svakih 0,5 metara) kako bi se zbog strmine tunela odnosno metalne konstrukcije spriječilo klizanje kabela.

Zbog velike količine vlage u tunelu sve čelične elemente, koji se ugrađuju, potrebno je obraditi antikorozivnom zaštitom (vrućim pocinčavanjem minimalne debljine 80  $\mu\text{m}$ ).



Slika 9. Utjecaj vlage na postojećoj metalnoj konstrukciji u tunelu tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“

### 3.2.3. Izlaz 10(20) kV kabela iz tunela tlačnog cjevovoda

Za izlaz novopredviđenih 10(20) kV kabela iz tunela tlačnog cjevovoda na razinu pristupne ceste koja vodi prema ulazu u strojarnicu najprije je razmatrana mogućnost vođenja kabela po policama i cijevima kroz strojarnicu hidroelektrane. Predmetno rješenje bi zahtijevalo značajne radove u strojarnici (bušenja, montaže i nadogradnju polica, vodootporno i vatrootporno brtvljenje izlaza iz tunela tlačnog cjevovoda u strojarnicu i dr.), s čime se predstavnici „HE Rijeka“ nisu slagali, stoga se krenulo s razmatranjem drugih rješenja.

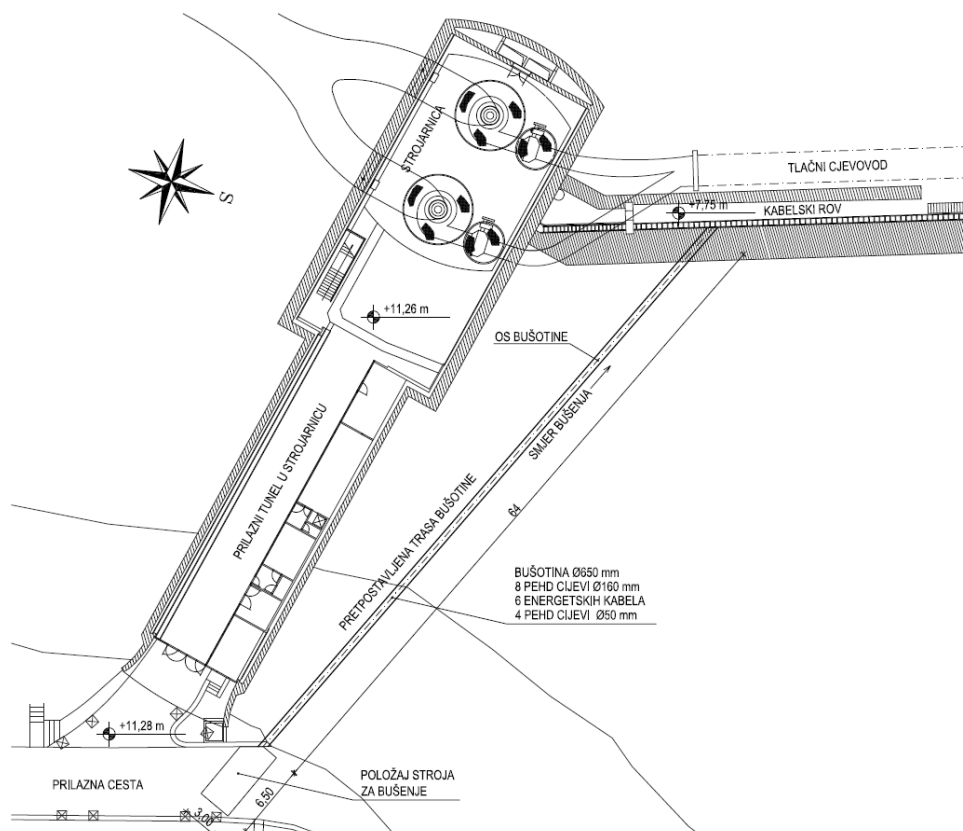
Razmatrana je ideja za izlaz novopredviđenih 10(20) kV kabela iz tunela tlačnog cjevovoda, koja je na kraju i prihvaćena, izvedbom kabelske kanalizacije bušenjem. Bušenje bi se izvelo strojno, korištenjem HDD tehnologije – horizontalno bušenje s navođenjem. Tehnologija se temelji na upravljanju, tj. usmjeravanju glave za bušenje. Izvela bi se pilot bušotina profila 139,70 mm, a nakon čega se izvodi proširivanje bušotine do profila od 650 mm. Smjer bušenja je od pristupne ceste do tunela tlačnog cjevovoda, u duljini 64,0 metara. Kroz izvedenu bušotinu provuklo bi se osam PEHD cijevi Ø160 mm kroz koje se provlači šest 10(20) kV kabela, te četiri PEHD cijevi Ø50 mm (za potrebe optičke komunikacije).



Slika 10. Pristupna cesta – mjesto smještaja radnog stroja



Prije početka bušenja potrebno je omogućiti pristup stroju za bušenje odnosno omogućiti radnu površinu za isti. Radna površina stroja za bušenje približnih je dimenzija 6,5x3,0 metara. Na pristupnoj cesti, koja vodi prema ulazu u strojarnicu, predviđa se izrada kose betonske rampe za stroj, od betona razreda tlačne čvrstoće C 16/20. Rampa mora zadovoljiti potrebe stroja za nesmetanu izvedbu bušotine.



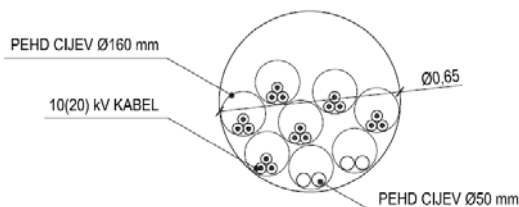
Slika 11. Situacija horizontalnog bušenja do tunela tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“

Postupak bušenja dijeli se u dvije faze:

- I. faza – izrada pilot bušotine – glava za bušenje pilot bušotine usmjerava se navođenjem prema prethodno određenoj trajektoriji bušenja, te omogućava usputno praćenje točnosti smjera i dubine bušenja. Bušenje se izvodi simultanim ubrizgavanjem emulzije (mješavine bentonita i vode), što služi za zaštitu uvučenih cijevi, hlađenje bušeće krune, stabiliziranje rupe i fluidizaciju izbušenog materijala;
- II. faza – širenje odnosno bušenje rupe do željenog promjera – nakon što je izvedena pilot bušotina na šipku za bušenje (bušeće stupove) pričvrsti se povratni proširivač (povratno širilo) kojim proširujemo rupu (bušotinu) do predviđenog promjera, a koji mora biti barem 30 % veći od promjera uvučenih cijevi. Povratno bušenje, tj. širenje rupe, također se izvodi dodavanjem bentonitne mješavine čime se oko cijevi ostvaruje obloga od bentonita debljine 5-10 cm. Pri samoj izvedbi u isto vrijeme izvodi se i precizna snimka bušotine.

Početak bušotine s pristupne ceste predviđa se izvesti na visini od 1,0 metara iznad postojećeg terena, na površini stijenskog pokosa. Prije početka bušenja potrebno je ukloniti postojeću zaštitnu čeličnu mrežu s pokosa, te vegetaciju u površini dostatnoj za nesmetano izvođenje bušenja. S obzirom na kotu terena početka (ulaza) bušotine s pristupne ceste (+11,28 m), te na kotu terena kraja (izlaza) bušotine u tunelu tlačnog cjevovoda (+7,75 m) trajektorija bušotine je pravac koji se ostvaruje u prostoru. Nakon izvođenja, na početku bušotine potrebno je izvesti armiranobetonsko okno kako bi se izveo izlaz 10(20) kV kabela u trup pristupne ceste, te omogućio naknadni pristup bušotini.

Izlaz bušotine u tunel tlačnog cjevovoda odnosno kabelski rov planira se izvesti iznad postojeće odnosno novopredviđene metalne konstrukcije, kako se ista ne bi oštetila, te kako bi se omogućilo polaganje novopredviđenih 10(20) kV kabela (i PEHD cijevi) na novopredviđenu metalnu konstrukciju. Prilikom izvođenja bušotine nastati će višak materijala iz iskopa odnosno građevni otpad (cca. 50 m<sup>3</sup>) kojeg je potrebno odvesti iz prostora tunela tlačnog cjevovoda.



Slika 12. Poprečni presjek bušotine

#### 4. ZAKLJUČAK

Vođenje energetskih kabela kroz tunel tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“ je složen i zahtjevan projekt kojim je potrebno uvažiti sve specifičnosti predmetnog tunela.

Istraživačke aktivnosti prije početka realizacije cjelokupnog projekta raspleta 10(20) kV vodova TS 110/10(20) kV Rijeka su nužne i zahtjevnije, a rezultati istraživanja su podloga za pomno i precizno planiranje i izradu kvalitetnog projekta koji mora dati detaljna rješenja kao preduvjet za kvalitetno i racionalno izvođenje.

Elementi za odabir rješenja ulaza, vođenja i izlaza energetskih kabela iz tunela tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“ su specifični, te je njima posvećena posebna pozornost. Primijenjena rješenja su odabrana uvažavajući postojeća iskustva, preporuke, te uključivanjem i novih ideja.

Montaža novopredviđene čelične konstrukcije odnosno kabelskih polica za vođenje energetskih kabela u tunelu tlačnog cjevovoda, te izrada kabelskog tunela horizontalnim strojnim bušenjem uz navođenje predstavljat će najdelikatniju fazu izvedbe projekta.

Primijenjena rješenja na vođenju energetskih kabela kroz tunel tlačnog cjevovoda „HE Rijeka“ imaju mogućnost primjene na realizaciji sličnih projekata u budućnosti.

#### 5. LITERATURA

- [1] "Kabelska veza hidroelektrane Rijeka i TS 110/35 kV Rijeka", TEH Projekt – Rijeka, Rijeka, 1987.
- [2] "Rasplet 10(20) kV vodova TS 110/10(20) kV Rijeka – elektrotehnički projekt", Glavni projekt, GP-VS-112-14, HEP-ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka, Služba za izgradnju, Odjel za projektiranje, Rijeka, srpanj 2014.
- [3] "Rasplet 10(20) kV vodova TS 110/10(20) kV Rijeka – građevinski projekt", Glavni projekt, PR 0360-14-01, Geotech d.o.o., Rijeka, srpanj 2014.
- [4] "Modifikacija sustava rashladnih cjevovoda i rashladne stanice HE Rijeka", Izvedbeni projekt, 902/07-S, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka, studeni 2007.