

# Izrada rova za polaganje cjevovoda

---

Serdar, Lukas

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:917576>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**IZRADA ROVA ZA POLAGANJE CJEVOVODA**

Završni rad

Lukas Serdar

N4434

Zagreb, 2024.

## IZRADA ROVA ZA POLAGANJE CJEVOVODA

Lukas Serdar

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Prilikom postavljanja cjevovoda u urbanim područjima, konvencionalnu metodu polaganja u otvorenom rovu nije moguće primijeniti bez povremenih prekida prometa, kao i komercijalnih i industrijskih aktivnosti. U ruralnim područjima, trasa cjevovoda može prelaziti kroz vodena područja ili gorja gdje nije moguć iskop rova. U tim slučajevima, koristi se alternativna tehnologija polaganja cjevovoda bez iskopa rova, poznata kao bezrovska tehnologija. Tehnologija polaganja bez iskopa rova omogućuje postavljanje i obnovu cjevovoda ispod površine zemlje bez kontinuiranog iskopa rova.

Ključne riječi: bezrovno polaganje cjevovoda, metode polaganja cjevovoda bez iskopa rova, horizontalno bušenje

Završni rad sadrži: 25 stranica, 17 slika i 21 referencu.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNF-a  
Dr. sc. Lidia Hrnčević, redovita profesorica RGNF-a  
Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. POVIJEST IZGRADNJE CJEVOVODA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE.....</b>	<b>2</b>
<b>3. OTVORENI ROV .....</b>	<b>5</b>
<b>4. TEHNOLOGIJA POLAGANJA CJEVOVODA BEZ ISKOPA ROVA .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Tehnologije popravka i zamjene dijela postojećeg cjevovoda .....</b>	<b>8</b>
4.1.1. Metoda sanacije u mjestu .....	8
4.1.2. Metoda klizajuće obloge .....	9
4.1.3. Metoda proboja ili linijske ekspanzije .....	12
<b>4.2. Horizontalno bušenje.....</b>	<b>13</b>
4.2.1. Horizontalno bušenje uz primjenu pužnog prenosila .....	14
4.2.2. Horizontalno usmjereno bušenje .....	16
4.2.3. Mikrotuneliranje .....	18
4.2.4. Udarno bušenje .....	20
<b>5. PRIMJER POLAGANJA CJEVOVODA BEZ ROVA - PROJEKT NORTH BAKKEN EXPANSION – JEZERO SAKAKAWEA .....</b>	<b>21</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>23</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>24</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Trasa Jadranskog cjevovoda (JANAF) u RH.....	3
Slika 2-2. Magistralni plinovodi u RH.....	4
Slika 3-1. Poprečni presjek cjevovoda u otvorenom rovu .....	5
Slika 3-2. Zračna oznaka (lijevo) i trasirka (desno).....	6
Slika 4-1. Proces popravka postojećeg cjevovoda metodom povlačenja u mjestu.....	8
Slika 4-2. Proces izvrtanja u mjestu.....	9
Slika 4-3. Odstranjivanje izoliranog dijela cjevovoda i postavljanje obilaznog cjevovoda...	10
Slika 4-4. Guranje PE cjevovoda u postojeći .....	10
Slika 4-5. Spajanje novog cjevovoda s postojećim.....	11
Slika 4-6. Metoda proboja .....	12
Slika 4-7. Horizontalno bušenje uz primjenu pužnog prenosila.....	14
Slika 4-8. Bušenje pilot bušotine .....	16
Slika 4-9. Proširivanje pilot bušotine korištenjem proširivača.....	17
Slika 4-10. Faza polaganje cjevovoda.....	17
Slika 4-11. Polaganje cjevovoda mikrotuneliranjem .....	19
Slika 4-12. Prikaz rada „krtice“ .....	20
Slika 5-1. Bušenje pilot bušotine metodom presijecanja .....	22

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
p	bar	tlak
L	m	duljina
V	m <sup>3</sup>	volumen
MMBTU	MMBTU	milijun britanskih termalnih jedinica
F	N	newton
CIPP	-	Cured-in-Place
PIP	-	Pulled-in-Place
SPT	-	Standard Penetration Test
CPT	-	Cone Penetration Test
HAB	-	Horioztal Auger Boring
HDD	-	Horizontal Directional Drilling
MTBM	-	Microtunnel Boring Machine

## 1. UVOD

Cjevovodi oduvijek predstavljaju racionalan i ekonomičan način kontinuiranog transporta nafte, plina i vode. To su dugovječni transportni sustavi s minimalnim gubicima fluida, jednostavni za rukovanje, uz mogućnost regulacije i automatizacije. Razvoj cjevovoda započinje 2500 godina prije Krista, u drevnoj Kini, gdje su se za transport vode, u svrhu navodnjavanja i opskrbe, koristile bambusove cijevi. U antičkom Egiptu su se za navodnjavanje koristile glinene cijevi, dok se u Rimskom Carstvu voda dopremala preko akvedukta i distribuirala olovnim cijevima. Industrijska revolucija rezultirala je inovacijama u području transporta fluida cjevovodima. Tako su peći otvorenog ognjišta omogućile proizvodnju velikih količina čelika, a napredci u dizajnu, sigurnosti, izvedbi, te primjeni i širokoj upotrebi pretvorili su cjevovode u ključni element globalnog transporta i distribucije nafte, plina, vode i drugih fluida (Campbell, 2021)

Metode polaganja cjevovoda variraju ovisno o okolišnim uvjetima, mjestu polaganja, tehničkim zahtjevima i ekonomskim čimbenicima. Konvencionalna metoda polaganja podrazumijeva iskopavanje rovova u koji se cijevi polažu. To je najjednostavnija, najjeftinija i najčešće korištena metoda s mogućnostima vizualne inspekcije polaganja. Moderne tehnologije polaganja cjevovoda ne zahtijevaju kontinuirani iskop rova, a omogućuje polaganje cjevovoda u situacijama gdje konvencionalna metoda nije prikladna ili se ne može primijeniti. Također, moderne metode omogućuju zamjenu i sanaciju postojećih cjevovoda bez potrebe za iskopom rova (Najafi, 2010).

U ovom završnom radu je dan pregled bezrovnih metoda polaganja cjevovoda. Obrađene su tehnologije popravka i zamjene dijela postojećeg cjevovoda metodama: sanacije u mjestu, klizajuće obloge i proboja (linijske ekspanzije). Također su obrađene tehnike izrade rova i polaganja cjevovoda metodama: horizontalnog bušenja uz primjenu pužnog prenosila, horizontalnog sumjerenog bušenja, mikorutneliranja i udarnog bušenja.

## **2. POVIJEST IZGRADNJE CJEVOVODA NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE**

U davnoj prošlosti teritorij današnje Republike Hrvatske je bio dio Rimskog Carstva. Rani sustavi distribucije vode akveduktima i olovnim cijevima, opskrbljivali su gradove poput Pule i Splita. Tijekom 19. stoljeća, u razdoblju Austro-Ugarske Monarhije, prvi moderni vodovodi i kanalizacijski sustavi od željeznih i čeličnih cijevi bili su izgrađeni u Zagrebu, Rijeci i Osijeku (Hrvatska tehnička enciklopedija, 2022).

Godine 1974. osnovano je poduzeće za transport i skladištenje nafte i naftnih derivata, Jugoslavenski naftovod, danas Jadranski naftovod d.d. (JANAF). Ubrzo nakon osnivanja, započinje izgradnja terminala i luke Omišalj, terminala Sisak, te završne dionice naftovoda od Omišlja do Lendave u Sloveniji, Gole na Mađarskoj granici i Novog Sada u Srbiji čime je osigurana stabilna opskrba Jugoslavije i susjednih država naftom s godišnjim kapacitetom naftovoda od 20 milijuna tona. Jugoslavenski naftovod je 1991. godine transformiran u dioničarsko društvo JANAF d.d. u vlasništvu Vlade Republike Hrvatske. Nakon toga, kroz godine naftovod se dograđuje podmorskim naftovodom Omišalj – Urinj i zaobilaznim naftovodom Slobodnica – Donja Vrba, te u cijelosti prelazi teritorijem RH (Slika 2-1.) dok se na pojedinim terminalima grade dodatni spremnici za skladištenje nafte i naftnih derivata. (Hrvatska tehnička enciklopedija, 2022).

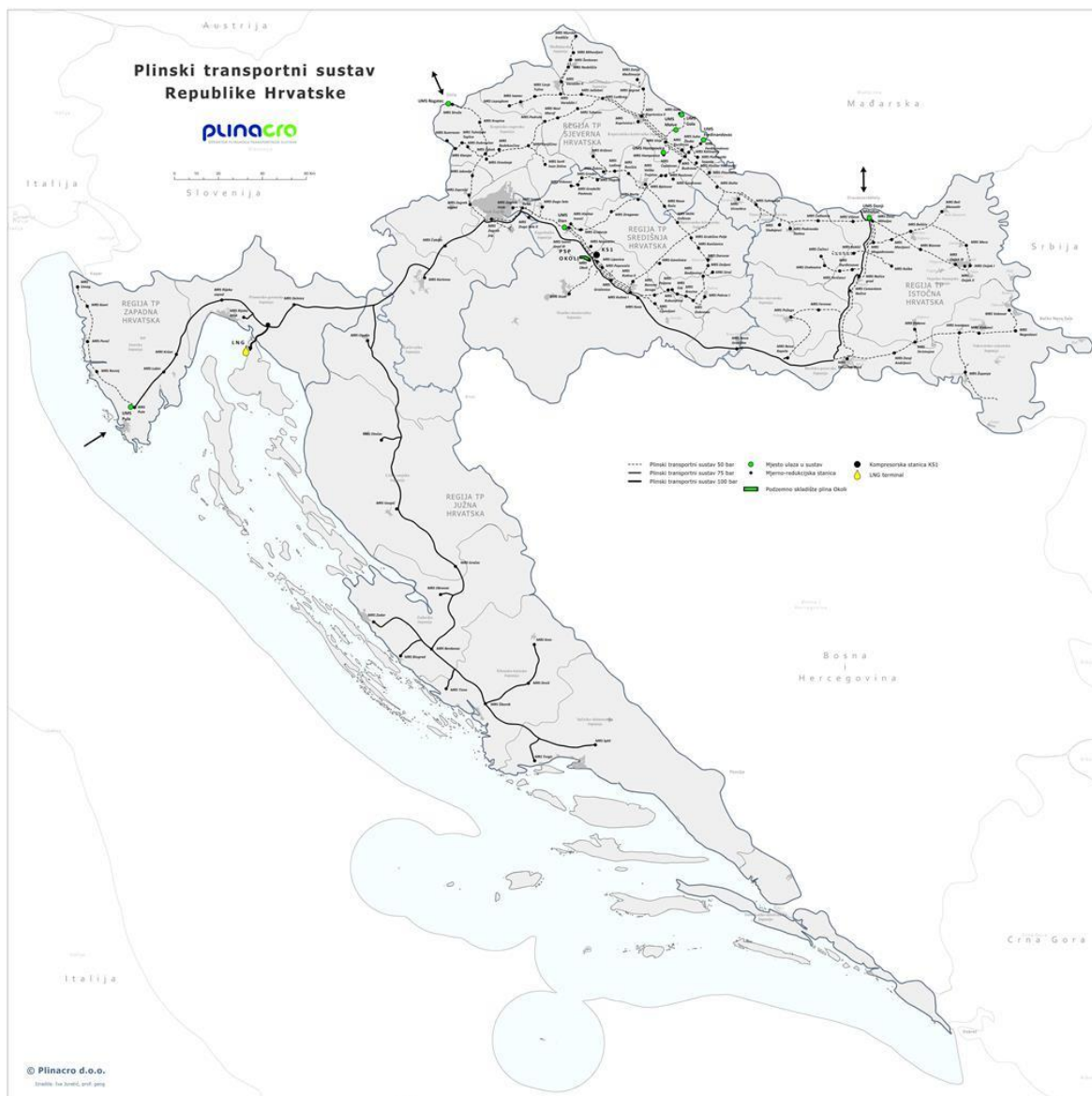




Slika 2-1. Trasa Jadranskog naftovoda (JANAF) u RH (Hrvatska tehnička enciklopedija, 2022)

Prvi plinovod u Hrvatskoj, Janja Lipa – Zagreb izgradilo je zagrebačko poduzeće Naftaplin 1954. godine. Time se postupno zamjenjuje upotreba dotad rabljenog gradskog plina koji se proizvodio suhom destilacijom kamenog ugljena ili drva s prirodnim plinom. Puštanjem u pogon plinsko-kondenzatnog polja Okoli unapređuje se plinovodni transportni sustav i radni tlak plinovoda se povećava s 25 na 50 bar. Godine 1978. plinovod se spaja na međunarodni tranzitni sustav koji omogućuje uvoz plina iz drugih država. Osnivanjem poduzeća Plinacro, nastavljaju se razvoj i izgradnja plinovoda. Magistralni plinovod Pula – Karlovac omogućuje izravni transport prirodnog plina proizvedenog u sjevernom Jadranu u hrvatski transportni sustav. Prije njegove izgradnje, transport prirodnog plina, proizvedenog na plinskim poljima Sjevernog Jadrana, je do Hrvatske išao preko Italije i Slovenije. Izgrađuju se i plinski transportni sustavi prema Istri, Lici i Dalmaciji, te interkonekcijski plinovodi s Mađarskom i drugi sa Slovenijom, za povezivanje nacionalnih plinskih mreža. Plinifikacija Zadarske, Šibensko kninske i Splitsko dalmatinske županije je omogućena

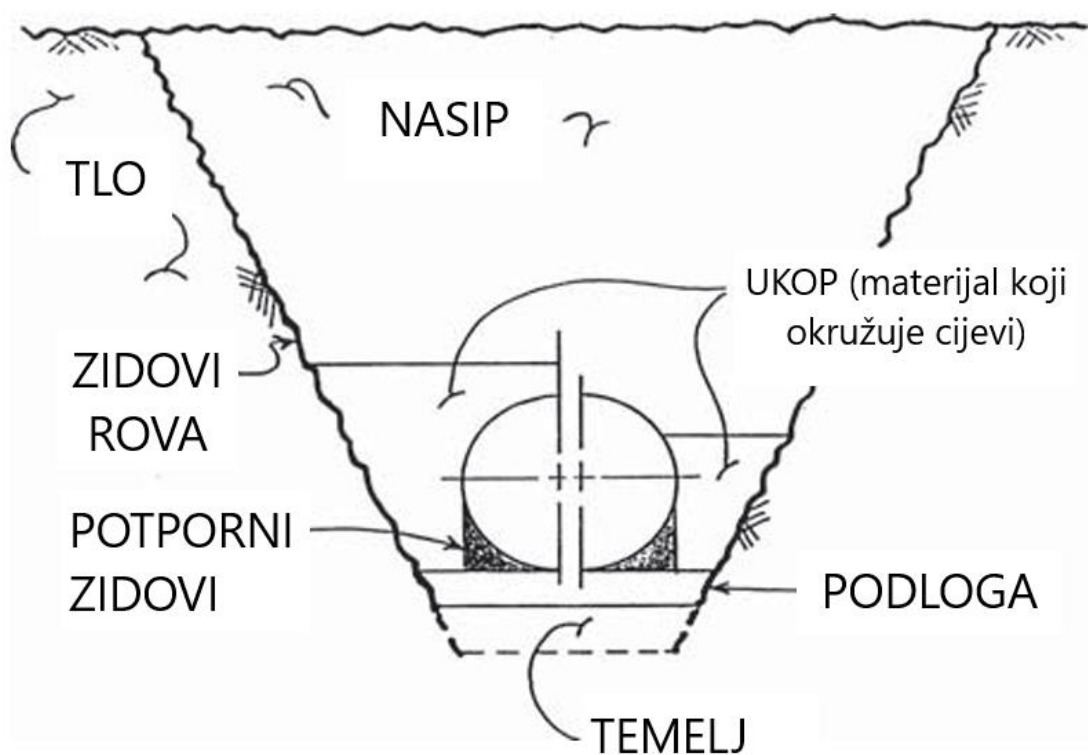
2013. godine izgradnjom dionice plinovoda Benkovac – Dugopolje (Slika 2-2.) (Hrvatska tehnička enciklopedija, 2022).



Slika 2-2. Magistralni plinovodi u RH (Plinacro, 2024)

### 3. OTVORENI ROV

Konvencionalna metoda postavljanja cjevovoda primjenjuje se na slobodnom prostoru gdje je moguć iskop rova određene dubine i širine duž odabrane trase cjevovoda. Cijevi se raspoređuju uz rub iskopanog rova, savijaju se ovisno o zahtjevima terena i smjera trase, te se vare. Kvaliteta vara se ispituje metodama bez razaranja, poput vizualne, dimenzionalne, penetrantske, magnetske, ultrazvučne ili radiografske kontrole. Cijevi se zatim čiste i prevlače zaštitnim oblogom koji ih štiti od korozije, vlage i ostalih štetnih utjecaja. Takva zaštita od korozije, u kombinaciji s katodnom zaštitom omogućava dugotrajnost cjevovoda uz minimalne troškove održavanja. Cijevi se u rov polažu u segmentima, a u slučaju kamenitog tla, na dno rova se stavlja podloga, tzv. Posteljica, od finog pijeska debljine 0,05 do 0,1 metra (Slika 3-1.).

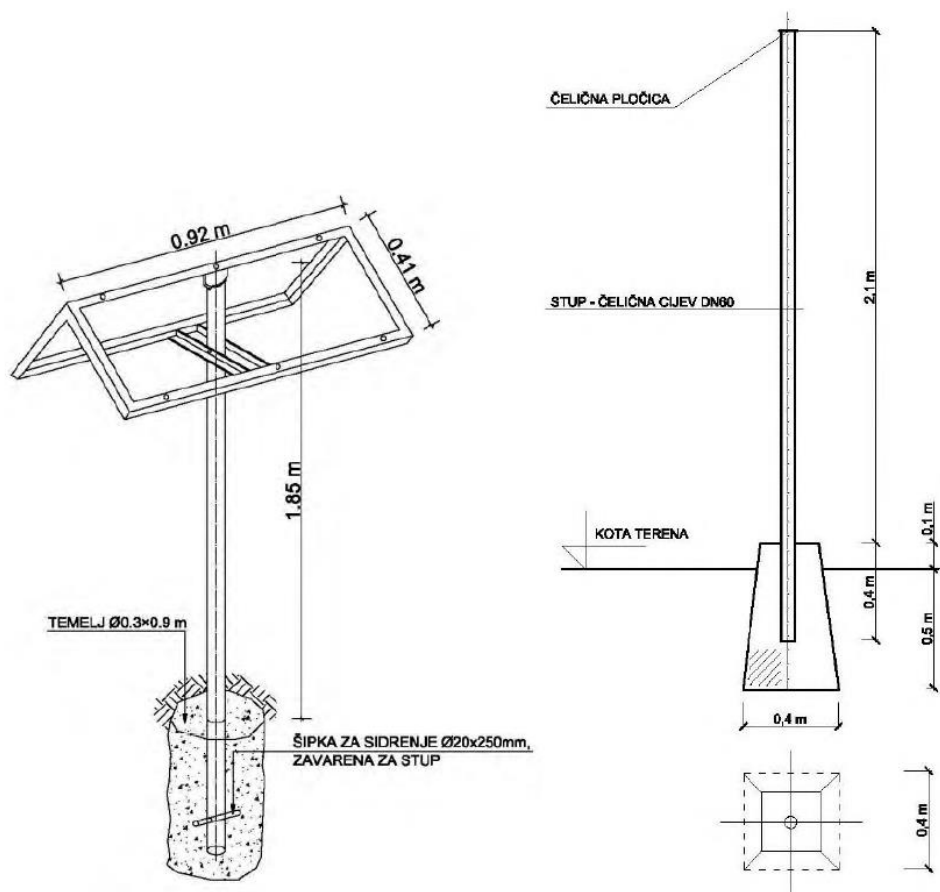


Slika 3-1. Poprečni presjek cjevovoda u otvorenom rovu (Najafi, 2010)

Položeni segmenti cjevovoda se vare te se ispituje njihova nepropusnost (hermetičnost). Ispitivanje nepropusnosti traje minimalno osam sati, pri čemu se ispitivani dio cjevovoda ispuni fluidom (vodom, zrakom ili plinom) koji se komprimira na tlak koji je 25 do 50 posto veći od maksimalnog radnog tlaka. U slučaju da povišeni tlak tijekom ispitivanja nepropusnosti uzrokuje propuštanje cjevovoda, oštećeni dio cjevovoda se mijenja ili sanira.

Nakon provedenog ispitivanja nepropusnosti i utvrđivanja zadovoljavajuće kvalitete vara, cjevovod se zatrpava zemljom. (Koren, 2023; Koren 2021)

Trasa cjevovoda se uređuje dovođenjem okoliša u stanje najbliže onom prije početka radova, nakon čega se obilježava zračnim oznakama i trasirkama (Slika 3-2.).



Slika 3-2. Zračna oznaka (lijevo) i trasirka (desno) (Koren, 2023)

Zračne oznake se postavljaju na svaki kilometar trase i imaju upisanu slovnu oznaku koridora kojim cjevovod prolazi i stacionažu - brojčanu oznaku koja označava udaljenost od početka trase (npr. R46). Zračna oznaka se mora moći pročitati iz aviona prilikom tog načina obilaska trase (Koren, 2023; Koren 2021).

Trasirke se postavljaju duž trase cjevovoda, na način da je iz položaja bilo koje od njih moguće vidjeti susjednu. U slučaju zakrivljenog dijela trase, trasirke se postavljaju na početak, sredinu i kraj zakrivljenja. Također se postavljaju i na prijelazima cjevovoda ispod prometnica, vodotokova i u zaštitnim pojasevima naseljenih zgrada, s maksimalnim razmakom od 50 metara.

Prilikom postavljanja cjevovoda u urbanim područjima, konvencionalnu metodu polaganja cjevovoda u otvorenom rovu najčešće nije moguće primijeniti bez obustavljanja prometa te komercijalnih i industrijskih aktivnosti. Financijski ekvivalent, koji iz toga proizlazi naziva se društveni trošak. Društveni troškovi variraju od troškova povezanih sa zatvaranjem prometnica, poput stvaranja gužvi na cestama ili zatvaranja željeznica; ekoloških troškova, koji proizlaze iz onečišćenja zraka, tla i voda i opterećenja bukom; troškova, troškova koji proizlaze iz smanjenja sigurnosti na cestama i kolnicima; troškova, koji proizlaze iz smanjenja vrijednosti imovine uzrokovane radovima, te troškova, koji proizlaze iz oštećenja postojeće komunalne infrastrukture (Matthews et al., 2014; Najafi 2010).

U ruralnim sredinama, trasa cjevovoda može prelaziti područjem jezera, vodenih tokova ili gorja gdje nije moguće iskopati rov. U tim slučajevima, gdje nije moguće iskopati rov za polaganje cjevovoda ili je društveni trošak njegove izvedbe prevelik, primjenjuju se tehnologije polaganja cjevovoda bez iskopa rova.

## 4. TEHNOLOGIJA POLAGANJA CJEVOVODA BEZ ISKOPA ROVA

Tehnologija polaganja cjevovoda bez iskopa rova, poznata kao i bezrovovska tehnologija omogućuje postavljanje novog cjevovoda te popravke i zamjenu dijela postojećih cjevovoda ispod površine zemlje bez potrebe za kontinuiranim iskopom rova duž trase cjevovoda.

### 4.1. Tehnologije popravka i zamjene dijela postojećeg cjevovoda

Tehnologije popravka postojećih cjevovoda se primjenjuje od 1970. godine, kada je engleski inženjer Erick Wood obnovio oštećeni cjevovod uvlačenjem u njega plastične cijevi, impregnirane slojem termostabilizirajuće smole, kroz postojeće čelične cijevi (Sullivan, 2018.)

#### 4.1.1. Metoda sanacije u mjestu

Metoda sanacije u mjestu izvodi se uvlačenjem nove, neoblikovane cijevi u oštećeni dio cjevovoda, pri čemu se, korištenjem vode ili stlačenog zraka, ista oblikuje i pričvršćuje za unutrašnjost oštećenog cjevovoda, gdje nastavlja postojati kao obnovljena unutarnja stijenka cjevovoda. Takva metoda obnove cjevovoda naziva se metoda sanacije u mjestu (engl. *Cured-in-place pipe, CIPP*). Prije uvlačenja novog segmenta cjevovoda, potrebno je pregledati i očistiti postojeći oštećeni cjevovod. CIPP metodom se obnavljaju plinovodi, naftovodi, te cjevovodi za vodu i kanalizaciju (Najafi, 2010).

Uvlačenje novog segmenta cjevovoda se provodi na dva načina: povlačenjem u mjestu (engl. *Pulled-in-place*) i izvrtanjem u mjestu (engl. *Invert-in-place*). Tijekom povlačenja u mjestu, nova cijev se uvlači u staru uz pomoć vitla te se nakon provlačenja napuhuje zrakom ili vodom kako bi se pritisnula uz unutrašnju stijenku postojećeg oštećenog cjevovoda (Slika 4-1.).



**Slika 4-1.** Proces popravka postojećeg cjevovoda metodom povlačenja u mjestu (Pinter & Associates Ltd., 2013.)

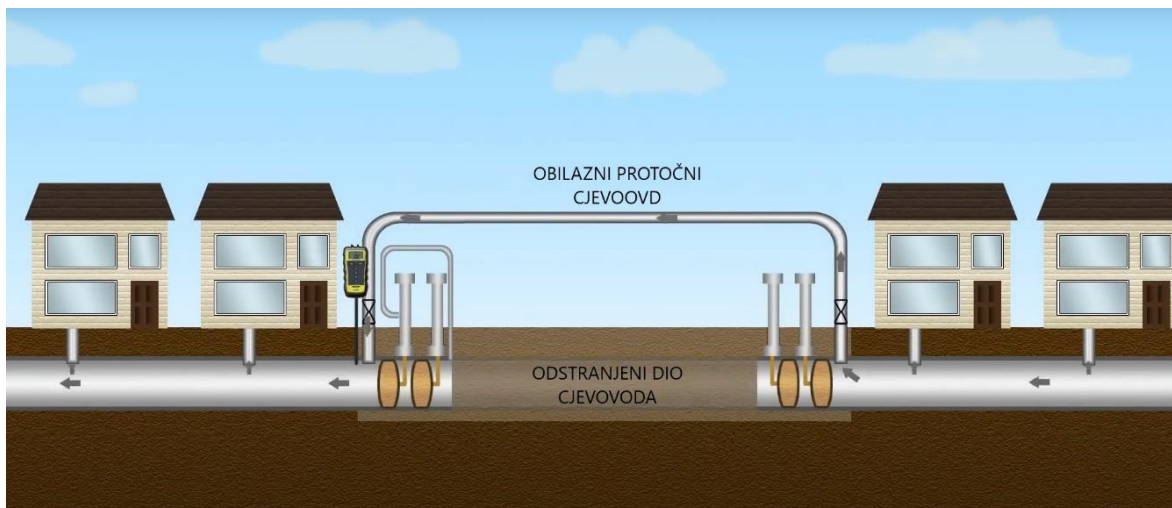
Češće korištena, druga metoda uvlačenja izvodi se procesom izvrtanja u mjestu (engl. *Invert-in-place*). Kod izvrtanja u mjestu, nova, smolom impregnirana cijev se na lokaciju dovozi namotana na bubanj, s tim da se jedan kraj cijevi izokreće i dovodi na otvor oštećenog dijela cjevovoda, a kroz drugi kraj se utiskuje voda ili zrak koji, uslijed djelovanja tlaka, potiskuje cijev iznutra prema van kroz postojeći cjevovod. Porastom tlaka nova cijev se otvara u punom profilu unutar postojeće i oblikuje se po unutrašnjoj stijenci postojećeg (oštećenog) cjevovoda. Nakon uvlačenja i postavljanja novog cjevovoda, smolom impregnirana cijev se, ovisno o tipu smole, zagrijava cirkuliranjem tople vode ili pare odnosno pomoću UV svjetla, kako bi otvrdnula (Slika 4-2.) (Nakić, 2019).



**Slika 4-2.** Proces izvrtanja u mjestu (Pinter & Associates Ltd., 2013)

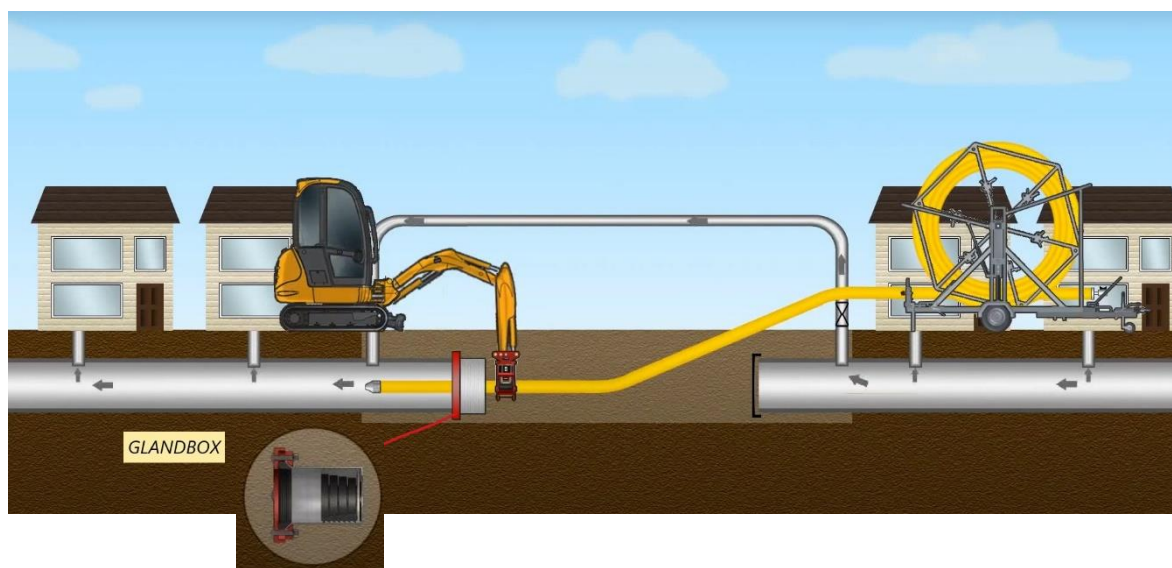
#### 4.1.2. Metoda klizajuće obloge

Najjednostavnija bezrovnna metoda zamjene postojećeg cjevovoda je metoda klizajuće obloge gdje se u postojeću oštećenu cijev gura ili povlači nova polietilenska (PE) cijev manjeg vanjskog promjera. Prstenasti prostor između dvije cijevi se popunjava mortom - spojem cementa ili raznih vrsta vapna s vodom i agregatom. Metodom klizajuće obloge se može zamijeniti niskotlačni metalni plinovod s novim plastičnim (PE) cijevima bez obustavljanja opskrbe plinom. Plinovod se specijaliziranim alatom buši pod tlakom te se postavlja obilazni protočni cjevovod. Izolirana dionica između krajeva obilaznog cjevovoda se blokira i uklanja (Slika 4-3.).



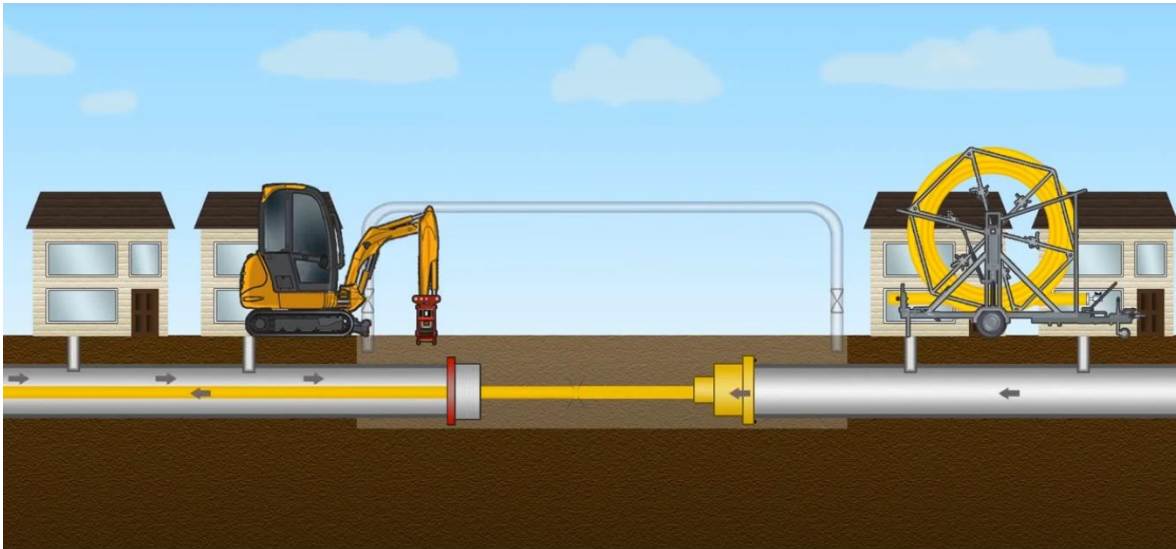
**Slika 4-3.** Odstranjivanje izoliranog dijela cjevovoda i postavljanje obilaznog cjevovoda (Steve Vick international, 2015)

Postavljanje novih cijevi omogućava ugradnja posebnog sustava za pristup plinovodu, tzv. *glandbox* umetka. Glava PE cijevi koja dozvoljava protok plina se spaja na *glandbox* umetak. Nakon što se taj dio plinovoda odblokira (Slika 4-4.), PE cijev se gura u stari cjevovod do željene duljine i spaja se na drugi dio izoliranog plinovoda (Slika 4-5.).



**Slika 4-4.** Guranje PE cjevovoda u postojeći (Steve Vick international, 2015)



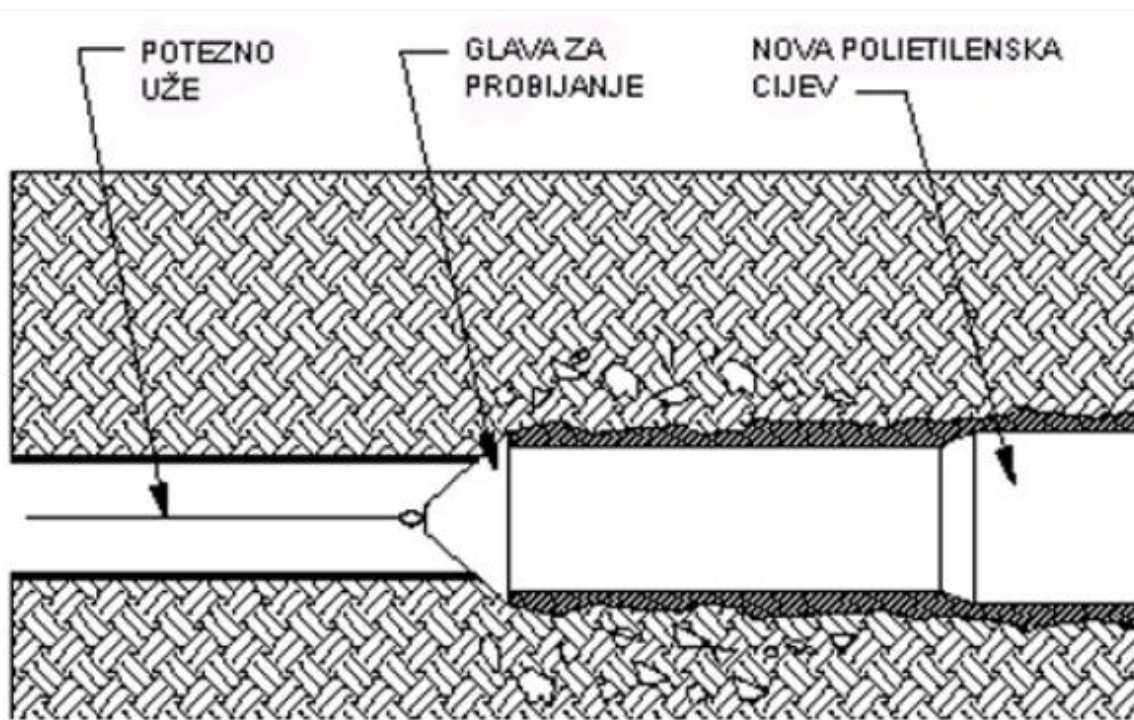


**Slika 4-5.** Spajanje novog cjevovoda s postojećim (Steve Vick international, 2015)

Obilazni protočni cjevovod se odstranjuje te se teren vraća u prvobitno stanje. Metoda klizajućeg obloga se rijetko primjenjuje kod zamjene plinovoda radi smanjenja unutarnjeg promjera novo postavljenog cjevovoda jer negativno utječe na protok plina (Steve Vick International, 2015).

#### 4.1.3. Metoda proboja ili linijske ekspanzije

Zamjena cjevovoda se izvodi i metodom proboja ili linijske ekspanzije, gdje se u oštećeni cjevovod postavlja tzv. glava za probijanje - konusni alat, čiji je promjer veći od vanjskog promjera cjevovoda. Za glavu je pričvršćeno potezno uže ili kabel, koji je spojen na hidrauličku pumpu. Radom pumpe se povlači uže i glava za probijanje, koja radijalno deformira postojeći cjevovod do loma. Na stražnju stranu glave je spojena nova cijev koja dolazi na mjesto stare (Slika 4-6.) (Malus, 2008).



Slika 4-6. Metoda proboja (Malus, 2008)

## 4.2. Horizontalno bušenje

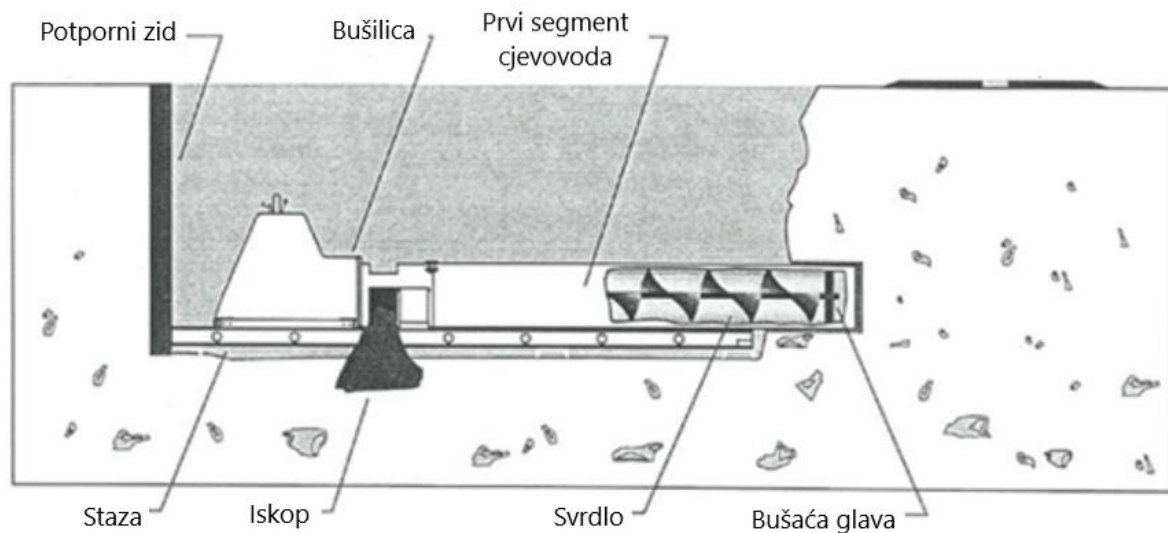
Metode horizontalnog bušenja su bezrovne metode polaganja cjevovoda, koje se primjenjuju kod postavljanja dijelova novih cjevovoda ispod cesta, željeznica, zgrada, rijeka, jezera i drugih površinskih prepreka gdje je konvencionalna metoda otvorenog rova neisplativa ili se ne može primijeniti. Metoda horizontalnog bušenja primjenjuje se kod postavljanja cjevovoda za transport nafte i plina, te cjevovoda u koje se polažu kablovi i sl. te za postavljanje vodovoda i kanalizacijskih cijevi. Prije same operacije bušenja, provode se detaljna geotehnička ispitivanja i geodetski pregled terena.

Geotehnička ispitivanja uključuju bušenje istražnih bušotina, gdje se duž planirane trase cjevovoda jezgrovanjem uzimaju uzorci tla na različitim dubinama, koji se šalju na laboratorijsku analizu. Laboratorijskom analizom se određuje veličina čestica tla, njena granica tečenja i plastičnosti, sposobnost kompresije i propusnost. Uz navedene ispitne parametre, izvode se i standardni test penetracije tla (engl. *Standard Penetration Test, SPT*), koji u istražnim bušotinama podrazumijeva udaranje o tlo bat-utegom, standardne mase od 63,5 kg i mjerenje broja udara za postizanje određene dubine, te ispitivanje statičkim prodiranjem (engl. *Cone Penetration Test, CPT*) gdje se konusnim uređajem mjeri otpor tla na prodiranje konusa (Szavits-Nossan, 2013 ).

Geodetskim pregledom se izrađuje precizna karta terena i identificiraju se sve potencijalne prepreke pri bušenju. Na temelju ispitivanja i pregleda terena dobiva se optimalna horizontalna putanja trase cjevovoda koja izbjegava podzemne i nadzemne prepreke, te vertikalna putanja za učinkovito bušenje i postavljanje cjevovoda.

#### 4.2.1. Horizontalno bušenje uz primjenu pužnog prenosila

Bezrovno postavljanje cjevovoda horizontalnim bušenjem uz primjenu pužnog prenosila (engl. *Horizontal Auger – Boring, HAB*) započinje iskopom dvije radne jame, ulazne i izlazne. Bušaći stroj, koji se sastoji od bušaće glave, puža, zaštitnih cijev, hidrauličkog sustava, rotacijskog motora, stabilizatora, te kontrolnog sustava i sustava za podmazivanje, se postavlja u ulaznu jamu na vodilice. Vodilice omogućavaju stabilno kretanje bušaćeg stroja naprijed-nazad tijekom operacija bušenja i postavljanja cjevovoda. Bušenje se provodi rotacijskom metodom pomoću motora koji omogućava rad bušaće glave i puža, dok hidraulički sustav daje potrebno osno opterećenje za drobljenje i rezanje tla. Rotacijom puža, izbušeni materijal se transportira prema ulaznoj jami, te se stvara tunel u koji će se polagati cjevovod. Zaštitne cijevi oko puža pružaju strukturnu podršku i sprječavaju urušavanje tunela tijekom bušenja (Slika 4-7.).

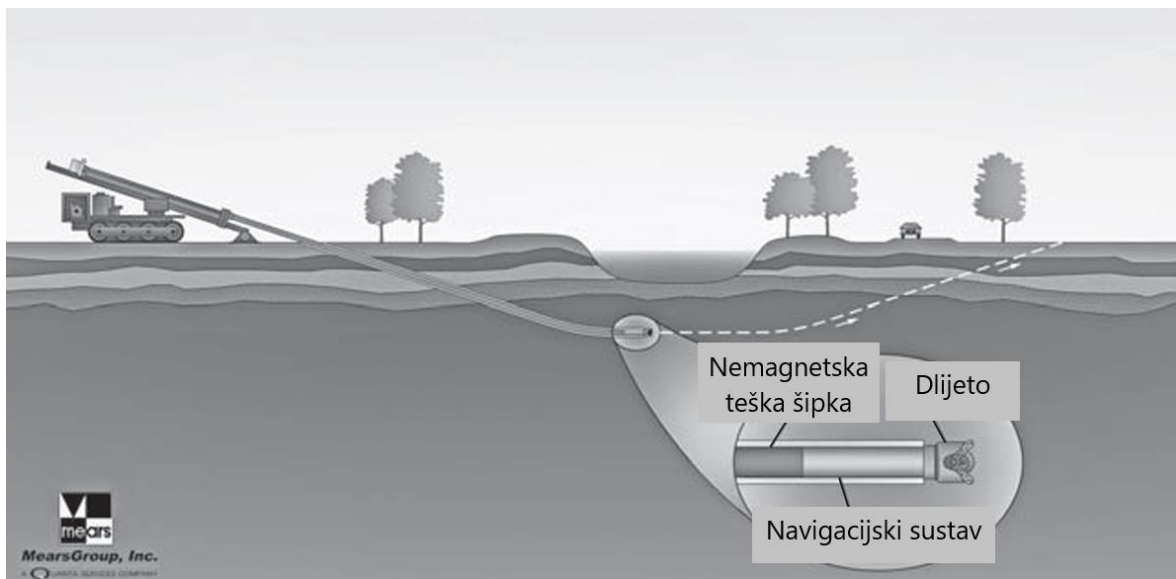


**Slika 4-7.** Horizontalno bušenje uz primjenu pužnog prenosila (Trenchlesspedia, 2023)

Napretkom bušenja, u ulaznu jamu se polažu novi segmenti puža i zaštitnih cijevi. Proces se ponavlja sve dok se ne izbuši tunel do izlazne jame, nakon čega se vade svi segmenti puža i bušača glava. Zaštitne cijevi ostaju u iskopanom tunelu te se u njih polaže željeni cjevovod. Operacija bušenja se prati kontrolnim sustavom, gdje operateri prilagođavaju brzinu rotacije bušaće glave i silu osnog opterećenja na tlo za postizanje optimalnog režima bušenja. Ukoliko je pri polaganju cjevovoda potrebna velika preciznost, bušenje s pužnim prenosilom uključuje korištenje tehnologije za održavanje preciznog smjera bušenja. Metoda usmjerenog bušenja s pužnim prenosilom započinje bušenjem pilot bušotine – vodiča, koji određuje točnu putanju za kasnije bušenje i postavljanje cjevovoda. Mjerenje smjera pilot bušotine se može izvoditi sondom za navođenje, gdje elektronična sonda unutar bušaće glave emitira signal koji određuje položaj i smjer kretanja bušaće glave; laserskim sustavom za navođenje, gdje laserski odašiljač stvara referentnu liniju, koja se reflektira od senzora na bušačoj glavi; žiroskopskom sustavu unutar bušaće glave, koji mjeri rotaciju i orijentaciju bušaće glave. Ukoliko dođe do neželjene promjene smjera tijekom bušenja, operateri, mlaznicama na bušačoj glavi preusmjeravaju trajektoriju bušotine (Michels, n.d.; Najafi 2010).

#### 4.2.2. Horizontalno usmjereno bušenje

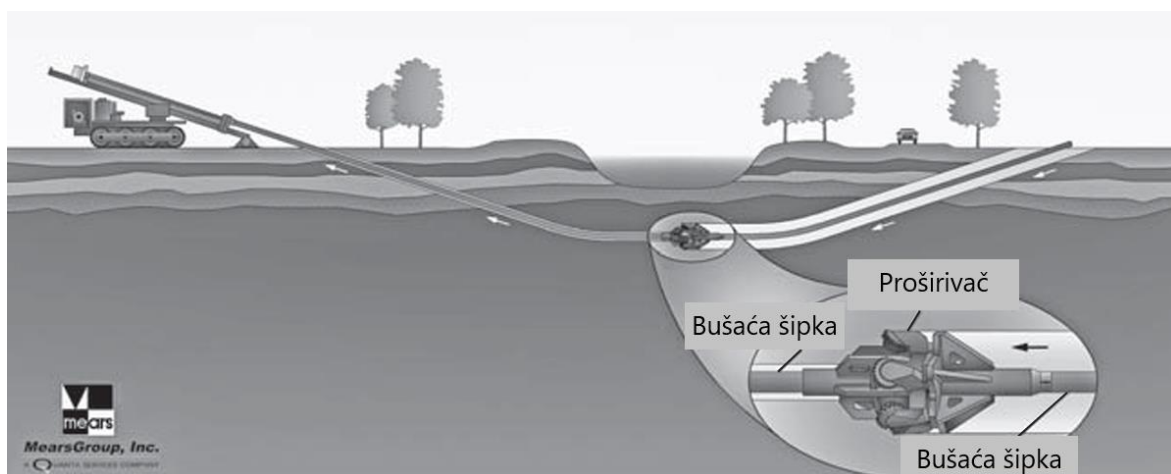
Horizontalno usmjereno bušenje (engl. *Horizontal Directional Drilling, HDD*) uključuje primjenu upravljivog sustava izrade bušotine (rova) i polaganja cjevovoda duž odabrane trase. Bušači stroj se pozicionira i stabilizira kod ulazne jame odakle buši do izlazne jame kroz koju se povlači cjevovod. Polaganje cjevovoda metodom horizontalnog usmjerenog bušenja odvija se u tri faze, ali postoje uvjeti koji nameću i četiri ili više faza. Prva faza je bušenje pilot bušotine specijaliziranim dlijetom s navigacijskim sustavom (npr. sonda, GPS), koji omogućuje operateru praćenje i precizno navođenje dlijeta kako bi se održala planirana putanja bušenja (Slika 4-8.).



**Slika 4-8.** Bušenje pilot bušotine (Gaeaquatic, n.d.)

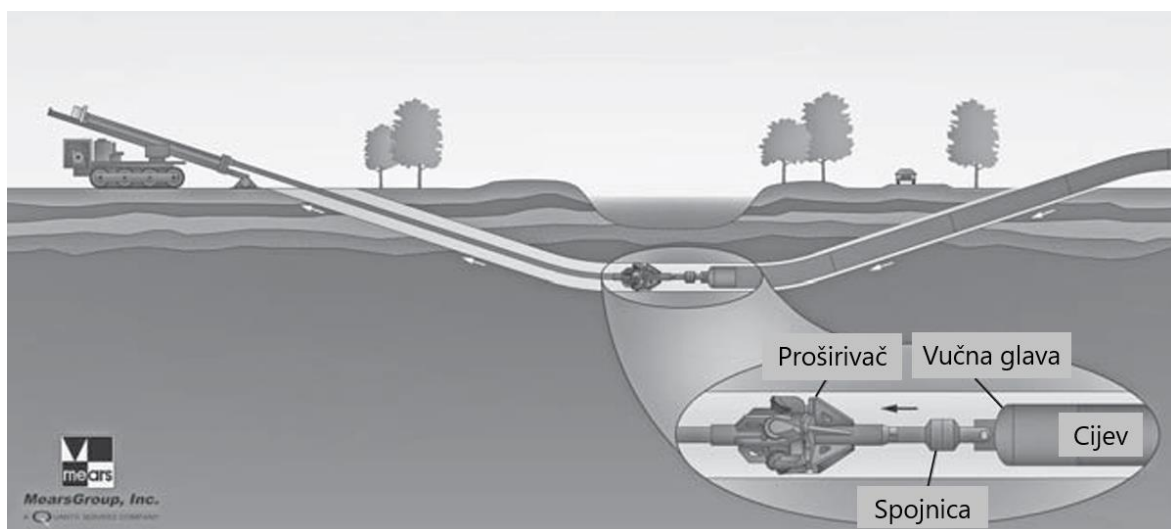
Kod odstupanja od željene putanje, radi se korekcija kuta otklona dlijeta pomoću upravljačkog sustava. Korekcija kuta otklona se može postići povećanjem ili smanjenjem tlaka koji se kod impulsnog sustava upravljanja ostvaruje isplakom, smjesom vode i bentonita ili polimera, koja kroz bušaće i nemagnetske teške šipke protječe do dlijeta iz kojeg izlazi kroz mlaznice. U slučaju značajnijeg odstupanja, koje se ne može korigirati tijekom bušenja, cijevni alat se izvlači iz bušotine i nakon korekcije navigacijskog sustava, ponovno se vraća nazad u bušotinu. Prva faza polaganja cjevovoda završava ulaskom dlijeta u izlaznu jamu.

U izlaznoj jami, dlijeto se demontira, a na bušaće šipke se najčešće pomoću navojnih spojeva spaja proširivač. Proširivač se povlači kroz pilot bušotinu postupno povećavajući njezin promjer do potrebnog za postavljanje cjevovoda (Slika 4-9.).



**Slika 4-9.** Proširivanje pilot bušotine korištenjem proširivača (Gaeaquatic, n.d.)

Za postavljanje cijevi velikih promjera, proširivanje se provodi u više faza, tj. proširivač se kroz bušotinu povlači dva ili više puta. Nakon proširivanja bušotine, slijedi faza polaganja cijevi. Cijevi se spajaju na stražnji dio proširivača pomoću vučne glave ili drugih priključaka koji osiguravaju siguran spoj, te se zajedno povlače bušačim strojem. (Slika 4-10.).



**Slika 4-10.** Faza polaganje cjevovoda (Gaeaquatic, n.d.)

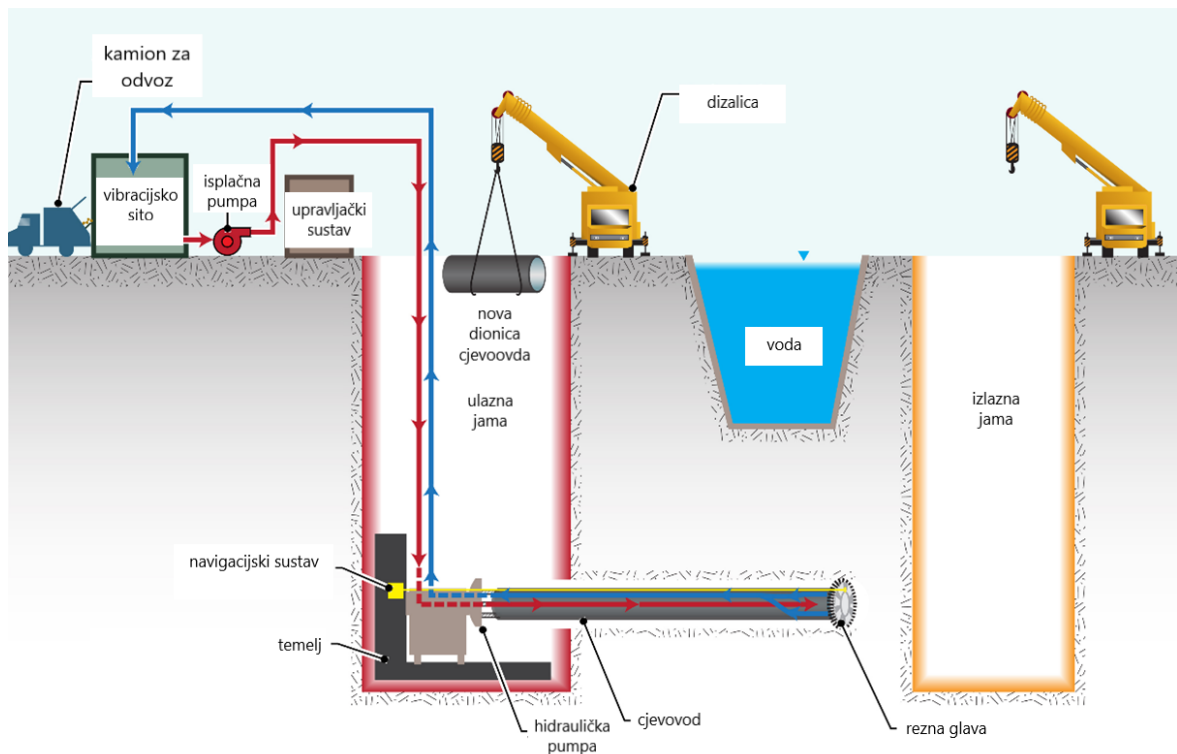
Nakon uvlačenja cijevi u bušotinu, specijaliziranim kamerama se provodi vizualna inspekcija polaganja kako bi se utvrdilo da nema vidljivih oštećenja i deformacija cijevi. Zatim se utvrđuje nepropusnost cjevovoda pomoću hidrauličkog ispitivanja cjevovoda uz tlak 25-50% veći od očekivanog radnog tlaka.

#### 4.2.3. Mikrotuneliranje

Mikrotuneliranje je bezrovnna metoda polaganja cjevovoda koja koristi mikrotunelni stroj (engl.: *Microtunnel Boring Machine, MTBM*) za istovremeno bušenje i postavljanje cijevi. Ključne komponente MTBM-a su rezna glava, sustav za pogon, navigacijski sustav, sustav koji upravlja isplakom, sustav za uklanjanje iskopanog materijala, hidraulički sustav, te senzori za praćenje i reguliranje rada. Prije operacije bušenja, kopaju se radne jame, ulazna i izlazna, te se mikrotunelni stroj polaže u ulaznu jamu. Tijekom bušenja, rezna glava je u kontaktu s tlom, te ga reže i drobi. Iskopani materijal se uklanja vijčanim transporterima, pokretnim trakama ili sustavima za pumpanje mulja do površine. Isplaka pomaže u transportu iskopanog materijala te podmazuje i hladi reznu glavu. Navigacijski sustav koristi lasere, GPS, žiroskopska osjetila ili sonde u kombinaciji s kamerama za precizno praćenje trajektorije bušenja koja se kontrolira sustavom za pogon: motorima, hidrauličkim pumpama, ventilima i drugim komponentama koje osiguravaju potrebnu snagu za rad stroja.



Napretkom MTBM stroja kroz bušotinu, prva cijev se postavlja iza stroja i hidrauličkim sustavom se gura naprijed. Kada se prva cijev nalazi u bušotini, u jamu se polaže druga cijev, spaja se s prethodnom dok MTBM stroj reže i uklanja tlo ispred sebe (Slika 4-10.).



**Slika 4-10.** Polaganje cjevovoda mikrotuneliranjem (Kennedy/Jenks Consultants, 2012)

Postupak se ponavlja do ulaska cjevovoda u izlaznu jamu. Završetkom bušenja i polaganja cijevi, cjevovod se podvrgava inspekciji da se provjeri pravilno postavljanje i nepropusnost. Nakon toga se oprema uklanja, a radne jame se zatrpavaju (Najafi, 2010).

#### 4.2.4. Udarno bušenje

Metoda udarnog bušenja (engl. *Impact molding*) se koristi pri polaganju cijevi i kablova vanjskog promjera manjeg od 25 centimetara. Bušenje se izvodi pomoću hidrauličkog stroja – „krtice“, koja udarnim djelovanjem probija tlo i stvara bušotinu sabijanjem i pomicanjem tla. Udarno djelovanje proizlazi iz zračno pogonjenog klipa koji se nalazi u „krtici“. Djelovanjem tlaka, klip udara prednji dio „krtice“ i postupno je gura kroz tlo. Trenje između „krtice“ i tla sprječava povratno odbijanje „krtice“ iz tla. „Krtice“ mogu biti upravljive i neupravljive. Korištenjem neupravljivih „krtica“, potrebno je iskopati ulaznu i izlaznu jamu, zato što se tijekom bušenja očekuje napredak „krtice“ po ravnoj liniji do izlazne jame (Slika 4-6.).



Slika 4-11. Prikaz rada „krtice“ (TT Technologies, 2013)

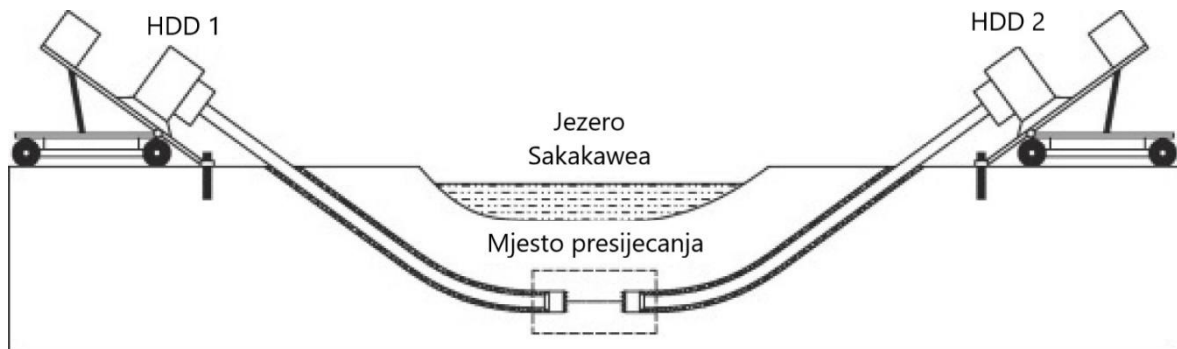
Za upravljive „krtice“ potrebna su dva operatera, jedan koji hoda trasom bušenja, te prati i nadzire napredak „krtice“ i drugi koji provodi potrebne korekcije trase bušotine. Cijevi i kablovi mogu se izravno vući u bušotinu tijekom bušenja ili se u nju guraju naknadno. Međutim, naknadno guranje je rijetko izvedivo zbog lakog urušavanja bušotine, dok je u slučaju sitnozrnastog tla neizvedivo (Najaf, 2010).

## **5. PRIMJER POLAGANJA CJEVOVODA BEZ ROVA - PROJEKT NORTH BAKKEN EXPANSION – JEZERO SAKAKAWEA**

Svake godine časopis *Trenchless Technology* dodjeljuje nagradu za projekt godine u području bezrovnog polaganja cjevovoda. Nagrada je 2022. godine dodijeljena projektu „North Bakken Expansion-lake Sakakawea HDD“. Projekt je uključivao polaganje dionice plinovoda duljine 4700 metara i vanjskog promjera 0,61 metra ispod jezera Sakakawea (Sjeverna Dakota) na dubini od 91 metra (Myerchin, 2020).

Plinovod spaja proizvodna polja Bakken i Three forks sa sabirnom stanicom u blizini Watford Cityja u Sjevernoj Dakoti. U Bakken regiji primarno se proizvodi nafta, a prirodni plin, koji se proizvodi s naftom, se spaljuje na baklji. Razlozi spaljivanja su nedostatak infrastrukture za transport ili skladištenje. Prije spajanja sa sabirnom stanicom, 2020. godine, na navedenom se proizvodnom području u prosjeku spaljivalo oko 7 702 182 m<sup>3</sup> prirodnog plina dnevno. Ekonomska dobit koja bi proizlazila od prodaje proizvedenog plina u 2020. godini, kada je tržišna vrijednost na Henry Hubu u prosjeku bila 2,03 \$/MMBTU ne bi opravdala izgradnju plinovoda i kompresijskih stanica. Složeni postupci ishođenja potrebnih dozvola, ekološki propisi i tehnički izazovi su također pridonijeli nastavku prakse spaljivanja plina. Međutim do promjena dolazi 2020. godine, kada horizontalno usmjereno bušenje za polaganje plinovoda ispod rijeke Sakakawea u kombinaciji s porastom cijene plina i odobrenjem projekta od federalne energetske regulatorne komisije, omogućuju početak projekta izgradnje plinovoda ukupne duljine 160 000 metara 2021. godine. Radovi se ubrzavaju i projekt izgradnje završava dva mjeseca prije predviđenog roka 2022. godine, kada je cijena prirodnog plina u prosjeku bila 6,45 \$/MMBTU. Izgradnjom plinovoda, omogućen je transport 7 797 211 m<sup>3</sup>/d prirodnog plina, s mogućnošću povećanja kapaciteta na 17 698 029 m<sup>3</sup>/d uz dodatno komprimiranje.

Dionica plinovoda ispod jezera Bakken se polagala metodom horizontalnog usmjerenog bušenja. Pilot bušotina je izgrađena metodom presijecanja (engl. *Intersect method*), gdje se pomoću dva bušača sklopa buše dijelove pilot bušotine s obje strane jezera do spajanja na sredini (Slika 5-1.) (Yan et al., 2018).



**Slika 5-1.** Bušenje pilot bušotine metodom presijecanja (Yan et al., 2018)

Za preciznost bušenja, koristio se žiroskopski sustav navođenja. Nakon uspješnog bušenja pilot bušotine, bušotina se postepeno proširivala proširivačem do promjera od 910 milimetra, nakon čega su kroz nastalu bušotinu povučene cijevi.

Glavni izazovi pri polaganju cjevovoda je bilo ostvarivanje potrebne sile povlačenja 4 700 metara cijevi promjera 0,61 metara koja nije smjela preći  $4,45 \cdot 10^6$  N, jer je premašivanjem te vrijednosti moglo doći do strukturnog oštećenja bušotine ili trajnih deformacija cijevi. Projekt je na kraju uspješno završen (Bueno, 2022).

## 6. ZAKLJUČAK

Cjevovodi osiguravaju stabilnu opskrbu naftom, plinom i vodom, te imaju veliki utjecaj na kvalitetu života i gospodarski rast. Uobičajeni način polaganja cjevovoda metodom otvorenog rova u određenim slučajevima može imati negativan utjecaj na okoliš i infrastrukturu, posebno u urbanim područjima. Bezrovnne tehnologije omogućuju postavljanje, obnovu i zamjenu postojećih cjevovoda bez potrebe za iskopavanjem rova. Iako moderne metode polaganja i obnove cjevovoda zahtijevaju velika početna kapitalna ulaganja u specijalizirane strojeve i naprednu obuku radnika, njihovom se primjenom smanjuje ekološki i društveni otisak, te se radovi izvode bez ometanja redovnih aktivnosti stanovništva. Ekološki benefiti tog načina polaganja cjevovoda su smanjenje emisija štetnih tvari, prašine i buke te očuvanje prirodnih staništa. Društvene prednosti su manji društveni trošak, koji bi u slučaju primjene metode otvorenog rova proizlazio iz zatvaranja prometnica.

## 7. LITERATURA

- 1) Bueno, S.M. 2022. 2022 Trenchless Technology Project of the Year New Installation Winner – North Bakken Expansion – Lake Sakakawea HDD. URL: <https://trenchlesstechnology.com/2022-trenchless-technology-project-of-the-year-new-installation-winner-north-bakken-expansion-lake-sakakawea-hdd/> (7.6.2024.)
- 2) Campbell, J. W. P. 2021. The Development of Water Pipes: A Brief Introduction from Ancient Times until the Industrial Revolution. Cambridge – Queens' College: University of Cambridge.
- 3) Gaeaquatic. n.d. Trenchless instalations. URL: <https://gaeaquatic.com/home/service/trenchless-installations/> (7.6.2024.)
- 4) Hrvatska tehnička enciklopedija. 2022. Plicaro d.o.o.. URL: <https://tehnika.lzmk.hr/plinacro-d-o-o/> (7.6.2024.); Jadranski naftovod d.d. URL: <https://tehnika.lzmk.hr/jadranski-naftovod-janaf/> (7.6.2024.)
- 5) Kennedy/Jenks Consultants. 2012. Microtunelling. URL: <https://www.kennedyjenks.com/>
- 6) Koren, Ž. 2021. Magistralni plinovod Slatina – Velimirovac DN200/50 bar. Studija. Zagreb: PLINACRO d.o.o., 1350-19.
- 7) Koren, Ž. 2023. Međunarodni plinovod Sotin – Bačko Novo Selo DN600/75 bar. Studija. Zagreb: PLINACRO d.o.o., 1491-21.
- 8) Malus, D. 2008. Nastavni materijali kolegija Opskrba vodom i odvodnja 2. Građevinski fakultet u Zagrebu. URL: <https://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/predavanja/OBNOVA%20KANALA.pdf> (7.6.2024.)
- 9) Matthews, J.C., Allouche, E. N., Sterling, R.L. 2014. Social cost impact assessment of pipeline infrastructure projects. Volumen 50, 196-202.
- 10) Michels. Educational videos. n.d. URL: <https://www.michels.us/> (7.6.2024.)
- 11) Myerchin, L. 2020. North Bakken Expansion Project. Studija. Federal Energy Regulatory Commission Office of Energy Projects. CP20-52-00.
- 12) Nakić, D. 2019. Prezentacija CIPP metode sanacije cjevovoda u klopnu radova na projektu aglomeracija Zlatar – Zabok. Stučni prikaz. Hrvatske vode.
- 13) Najafi, M. 2010. Trenchless Technology Piping Installation and Inspection. Texas – The University of Texas at Arlington.

- 14) Pinter & Associates Ltd., 2013. Trenchless Technologies and work practices review for Saskatchewan municipalities,.
- 15) Plinacro. 2024. Opis transportnog sustava. URL: <https://www.plinacro.hr/default.aspx?id=162> (7.6.2024.)
- 16) Steve Vick International. 2015. Live Gas Mains Insertion. URL: <https://www.stevevick.com/services/gas/gas-mains-renewal/live-gas-mains-insertion/> (7.6.2024)
- 17) Sullivan, D. 2018. Who invented Trenchless Technology? URL: <https://trenchlesspedia.com/who-invented-trenchless-technology/2/3544>
- 18) Trenchlesspedia. 2023. Auger Boring. URL: <https://trenchlesspedia.com/definition/2229/auger-boring> (7.6.2024.)
- 19) TT technologies. 2013. Impact modling. URL: <https://www.tttechnologies.com/>
- 20) Szavits-Nossan, V. 2013. Nastavni materijal kolegija Uvod u mehaniku tla. Građevinski fakultet u Zagrebu. 2013. URL: [https://www.grad.unizg.hr/download/repository/14.Predavanje\\_MT.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/14.Predavanje_MT.pdf) (7.6.2024.)
- 21) Yan, X., Ariaratnam, S.T., Dong, S., Zeng, C. 2018. Horizontal directional drilling: State-of-the.art review of theory and applications. Volumen 72, 162-173.

## IZJAVA

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.*

A handwritten signature in blue ink, reading "Serdar", written over a horizontal line.

Lukas Serdar





KLASA: 602-01/24-01/03

URBROJ: 251-70-12-24-2

U Zagrebu, 27. 6. 2024.

Lukas Serdar, student

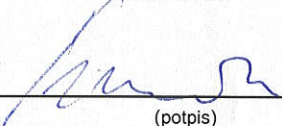
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/03, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 10.01.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### IZRADA ROVA ZA POLAGANJE CJEVOVODA

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof. dr. sc. Katarina Simon nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica

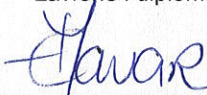


(potpis)

Prof. dr. sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

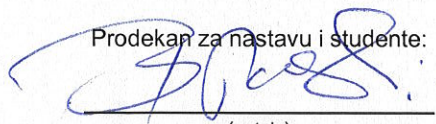


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina  
Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)