

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**PRIMERJAVA PODVRTAVANJA S
PNEVMATSKO IGLO V PRIMERJAVI Z
RADIJSKO VODENIM PODVRTAVANJEM NA
PRAKTIČNEM PRIMERU**

Kandidat: Žan Debeljak

Vrsta študija: izredni študij

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Bojan Dapčević, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Metod Krajnc, dipl. inž. grad.

Lektorica: dr. Aleksandra Gačič, univ. dipl. prof. zgo. in slov.

Maribor, 2021

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Žan Debeljak sem avtor diplomskega dela z naslovom Primerjava podvrtavanja s pnevmatsko iglo v primerjavi z radijsko vodenim podvrtavanjem na praktičnem primeru, ki sem ga napisal pod mentorstvom Bojana Dapčeviča, univ. dipl. inž. grad..

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Kungota pri Ptuj, november 2021

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju Bojanu Dapčeviču, univ. dipl. inž. grad., za njegov čas, vse koristne napotke, informacije in strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se celotni Višji strokovni šoli Academia, vsem predavateljem, ki so mi pomagali na poti do izvedbe diplomskega dela, direktorju Žanu Dapčeviču in ravnateljici mag. Vidi Perko.

Zahvaljujem se tudi lektorici dr. Aleksandri Gačič za jezikovni pregled slovenskega besedila, profesorici Barbari Čupar za angleški prevod diplomskega dela, prav tako vsem drugim, ki so kakor koli pripomogli pri izdelavi diplomskega dela.

Hvala mentorju v podjetju gospodu Metodu Krajncu, dipl. inž. grad., ker je za potrebe izdelave diplomskega dela z mano delil svoje bogate delovne izkušnje.

Posebna zahvala gre tudi moji družini za vso pomoč v času izdelave diplomskega dela. Navsezadnje sem zaposlen v družinskem podjetju, kjer so se mi v tem času zelo prilagajali, me spodbujali in bodrili.

POVZETEK

Gradnja in posodabljanje infrastrukture predstavljata kritični pogoj za nemoten potek družbenih procesov in celostni družbeni razvoj. Kontinuirano posodabljanje sodobnih metod gradnje je zato pomembna prioriteta, ki jo spodbuja povpraševanje na visoko konkurenčnem trgu gradbene industrije. Kompleksnejše sodobnejše metode so na videz pogosto manj ekonomične, vendar se v določenih primerih prakse izkažejo kot edini možni način izvedbe ali kljub izhodiščno višjim stroškom bolj ekonomična alternativa. Namen diplomskega dela je bil z različnih vidikov primerjati podvrtavanje s pnevmatsko iglo v primerjavi z radijsko vodenim podvrtavanjem na praktičnem primeru. Pri obeh metodah gre za tehnologiji, ki omogočata gradnjo infrastrukture brez večjih posegov v okolje, saj se inštalacija infrastrukture izvaja pod zemljo z orodji za vrtanje in uvlek infrastrukturnih elementov. Radijsko voden podvrtavanje pri tem omogoča predvsem horizontalno in vertikalno ukrivljeno podvrtavanje, kar zmanjšuje potrebo po izkopu gradbenih jam in omogoča usmerjanje vrtine okoli morebitnih naravnih ali umetnih ovir. Z radijsko vodenim podvrtavanjem lahko tako umeščamo infrastrukturne elemente v zemljino z naravnimi ovirami, ki sekajo ravno pot vrtine, in tudi znotraj že obstoječih drugih infrastrukturnih elementov. V namen primerjave obeh metod smo opravili primerjalno analizo alternativni tehnologiji z vidika postopkov in opreme ter prednosti in slabosti na izbranem primeru. Izvedli smo študijo primera podvrtavanja v namen izgradnje vodovoda pod reko, v kateri smo za konkretni primer podvrtavanja izračunali stroške in čase izvedbe za obe alternativni metodi. Z rezultati smo ponazorili prednosti radijsko vodenega podvrtavanja v primerih kompleksnejših projektov. Ugotovili smo, da je izbira najbolj optimalne tehnologije izrazito odvisna od primera podvrtavanja in da se pri načrtovanju projektov ne moremo ravnati po univerzalnih in splošno veljavnih smernicah. Čeprav je podvrtavanje s pnevmatsko iglo samo po sebi ugodnejše, uporaba te tehnologije v večjih in kompleksnih projektih morda ni ekonomsko upravičena. Pri projektih, ki zahtevajo večje kapacitete vrtanja, je bolj ekonomično uporabiti sicer dražjo tehnologijo, saj ne zahteva izvedbe dodatnih obsežnih gradbenih del in zahteva manj časa. Pregled tehnologij tudi kaže, da lahko radijsko vodenje uporabljamo za vodenje različnih orodij in da je kapaciteta vrtanja odvisna od uporabljene tehnologije vrtanja, ne od tehnologije radijskega vodenja.

Ključne besede: radijsko vodenno podvrtavanje, podvrtavanje s pnevmatsko iglo, študija primera

SUMMARY

COMPARISON OF PNEUMATIC NEEDLE DRILLING VERSUS RADIO-CONTROLLED DRILLING IN A PRACTICAL EXAMPLE

Construction and modernisation of infrastructure play a key role in an undisturbed course of social processes and general advancement of society. Continuous modernisation of contemporary methods of construction is, therefore, a very important priority, which is constantly encouraged by high demand on a very competitive construction industry market. More complex methods often seem less economical, but they occasionally prove to be the only way of carrying out a project. Sometimes, they even turn out to be the more economical choice, despite the initial cost calculations. The purpose of this thesis was to compare undercutting with a pneumatic needle to radio-guided undercutting on a practical case from several different perspectives. Both methods are technologies, which enable construction of infrastructure without any major environmental interference, because the installation of infrastructure is done underground using drilling tools and dragging of infrastructural elements. Radio-guided undercutting mostly enables horizontally and vertically curved undercutting, which reduces the need for construction pits and enables guiding the cut around possible natural and manmade obstacles. With radio-guided undercutting we can install infrastructural elements in grounds with natural obstacles, which would interfere with a straight cut, as well as place them inside already existing infrastructural elements. In the purpose of comparing the two methods, we did a comparative analysis with alternative technology, regarding procedure, equipment and advantages and disadvantages in a specific case. We conducted a case study on undercutting in order to build plumbing under a river, in which we calculated cost and time for both alternative methods. The results were used to illustrate advantages of radio-guided undercutting in more complex projects. We found out that the choice of the most appropriate technology depends on a specific case of undercutting and can, therefore, not be decided based on universal guidelines. Even though undercutting with a pneumatic needle costs less, that is not always the case when it comes to bigger and more complex projects. In projects that require a lot of cutting, it is better to use more expensive technology, which eliminates the need for other extensive construction work and saves time as well. The technology overview also shows us that we can use radio-guided

undercutting for guiding different tools and explains that the cutting capacity is based on the technology we use, not the radio-guided technology itself.

Key words: radio-guided undercutting, undercutting with a pneumatic needle, case study

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	6
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	6
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	7
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	7
2	DELO V PROJEKTNi SKUPINI	9
3	PREKOPI IN TEHNOLOGIJE BREZ PREKOPOV	12
4	PODVRTAVANJE	17
4.1	PREBOJ S PNEVMATSKO IGLO	18
4.2	PREBOJ S KOVINSKO CEVJO	19
4.3	RADIJSKO USMERJENO VRTANJE	21
4.4	PRAKTIČNI PRIMER PODVRTAVANJA	23
4.5	PRIMERJAVA PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO IN RADIJSKO USMERJENEGA PODVRTAVANJA	26
5	ŠTUDIJA PRIMERA	29
5.1.1	<i>Podvrtavanje s pnevmatsko iglo</i>	<i>30</i>
5.1.2	<i>Radijsko vodeno podvrtavanje.....</i>	<i>31</i>
5.2	PRIPRAVLJANJE IN POSTAVLJANJE	31
5.2.1	<i>Pripravljanje in postavljanje pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo.....</i>	<i>32</i>
5.2.2	<i>Pripravljanje in postavljanje pri radijsko vodenem podvrtavanju</i>	<i>33</i>
5.2.3	<i>Primerjava.....</i>	<i>34</i>
5.3	PILOTNO VRTANJE IN RAZŠIRJANJE VRTINE	34
5.3.1	<i>Pilotno vrtanje in razširjanje vrtine pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo</i>	<i>34</i>
5.3.2	<i>Pilotno vrtanje in razširjanje vrtine pri radijsko vodenem podvrtavanju.....</i>	<i>35</i>
5.3.3	<i>Primerjava.....</i>	<i>36</i>
5.4	UVLEK CEVI	36
5.4.1	<i>Uvlek cevi pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo</i>	<i>36</i>
5.4.2	<i>Uvlek cevi pri radijsko vodenem podvrtavanju</i>	<i>37</i>
5.4.3	<i>Primerjava.....</i>	<i>37</i>
5.5	ZAKLJUČNA DELA	37
5.5.1	<i>Zaključna dela pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo.....</i>	<i>38</i>
5.5.2	<i>Zaključna dela pri radijsko vodenem podvrtavanju</i>	<i>38</i>
5.5.3	<i>Primerjava.....</i>	<i>38</i>
5.6	KONČNI IZRAČUNI	39

6	POTENCIAL VPLIVA RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA NA SODOBNE METODE GRADNJE ZA KONTINUIRANO SPREMINJANJE INDUSTRIJE	41
7	SKLEP	44
8	BIBLIOGRAFIJA	47
9	PRILOGE.....	49

KAZALO SLIK

SLIKA 2.1: PNEVMATSKA IGLA	9
SLIKA 2.2: OVIRANJE PROMETA ZARADI IZKOPOV	12
SLIKA 2.3: TEHNOLOGIJE IZKOPAVANJA	13
SLIKA 2.4: UPORABA TEHNOLOGIJE IZKOPAVANJA NA VODOTOKU	14
SLIKA 2.5: TEHNOLOGIJE BREZ PREKOPOV	15
SLIKA 4.1: TEHNOLOGIJE PODVRTAVANJA	17
SLIKA 4.2: ENOSTAVNI PREBIJ S PNEVMATSKO IGLO	19
SLIKA 4.3: PREBOJ S KOVINSKO CEVJO.....	20
SLIKA 4.4: RADIJSKO VODENO PODVRTAVANJE	23
SLIKA 4.5: REKA SORA (POREČJE 2 KM ²).....	24
SLIKA 5.1: SKICA IZBRANEGA ODSEKA.....	NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.
SLIKA 5.2: ZEMLJEVID IZBRANEGA ODSEKA.....	NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.
SLIKA 5.3: PODVRTAVANJE S PNEVMATSKO IGLO	31

KAZALO TABEL

TABELA 2.1: PREDNOSTI IN SLABOSTI PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO	10
TABELA 2.2: RADIJSKO USMERJENO PODVRTAVANJE	10
TABELA 4.1: PREDNOSTI IN SLABOSTI PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO	27
TABELA 4.2: RADIJSKO USMERJENO PODVRTAVANJE	28
TABELA 5.1: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO V FAZI PRIPRAVLJANJA IN POSTAVLJANJA.....	32
TABELA 5.2: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI PRIPRAVLJANJA IN POSTAVLJANJA.....	33
TABELA 5.3: PRIMERJAVA ČASA IN STROŠKOV PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO TER RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI PRIPRAVLJANJA IN POSTAVLJANJA.....	34
TABELA 5.4: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO V FAZI PILOTNEGA VRTANJA IN RAZŠIRJANJA VRTINE	35

TABELA 5.5: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI PILOTNEGA VRTANJA IN RAZŠIRJANJA VRTINE	35
TABELA 5.6: PRIMERJAVA ČASA IN STROŠKOV PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO TER RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI PILOTNEGA VRTANJA IN RAZŠIRJANJA VRTINE	36
TABELA 5.7: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO V FAZI UVLEKA CEVI.....	36
TABELA 5.8: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI UVLEKA CEVI	37
TABELA 5.9: PRIMERJAVA ČASA IN STROŠKOV PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO TER RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI V FAZI UVLEKA CEVI.....	37
TABELA 5.10: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO V FAZI ZAKLJUČNIH DEL	38
TABELA 5.11: AKTIVNOSTI, ČAS IN STROŠKI RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI ZAKLJUČNIH DEL	38
TABELA 5.12: PRIMERJAVA ČASA IN STROŠKOV PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO TER RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA V FAZI V FAZI ZAKLJUČNIH DEL	39
TABELA 5.13: PRIMERJAVA ČASA IN STROŠKOV PODVRTAVANJA S PNEVMATSKO IGLO IN RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA.....	39

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Razvoj infrastrukture je kritična gospodarska dejavnost, ki na eni strani prispeva k nacionalni proizvodnji, po drugi strani predvsem zagotavlja nemoteno delovanje in trajnost preostalih gospodarskih dejavnosti. Vlaganja v infrastrukturo predstavljajo neizogibni del družbenega razvoja in vzdrževanja gospodarskih in širših družbenih dejavnosti. Za nemoteno delovanje družbenih procesov so potrebna nenehna obnavljanja in gradnje cest, predorov, metrojev, podzemnih projektov, kanalizacij, električnih vodov, plinskih vodov, informacijsko-komunikacijske tehnologije ipd. (Mishra, 2013). Stalno dograjevanje in obnavljanje infrastrukture sta edini rešitvi za doseganje visoke stopnje napredka, hkrati posegi na infrastrukturi in gradbena dela pogosto začasno ovirajo obstoječe družbene tokove. Prizadevanja na področju sodobnih metod gradnje se tako usmerjajo v razvoj rešitev, ki zagotavljajo čim hitrejšo in tudi stroškovno učinkovite realizacije projektov. Temeljni posegi v okviru projektov vzdrževanja, posodabljanja in dograjevanja družbene infrastrukture so izkopavanja in zakopavanja, saj večino vodov nameščamo pod zemljo. Ker infrastrukturne mreže neizogibno prečkajo ceste in druge javne površine v primeru izkopavanja zaradi gradbenih del, so kritično moteni družbeni tokovi: ceste in druge javne površine so v času posegov neuporabne ali delno uporabne. Alternativa izkopavanju za vzdrževanje, posodabljanje in dograjevanje družbene infrastrukture predstavlja vrtanje, ki praviloma predstavlja stroškovno in časovno učinkovitejšo metodo, ki omogoča nemoteno ali manj moteno nadaljnjo uporabo javnih površin (Tihec, 2012). V diplomskem delu bomo primerjali podvrtavanje s pnevmatsko iglo in radijsko vodeno podvrtavanje, z namenom spodbuditi prehajanje na učinkovitejše metode gradnje.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je z različnih vidikov primerjati podvrtavanje in izkop cest. V ta namen zastavljamo naslednje cilje diplomskega dela:

- predstaviti projekte, v katerih uporabljamo podvrtavanja s pnevmatsko iglo in radijsko vodeno podvrtavanje;

- predstaviti postopke in tehnologije podvrtavanja;
- pripraviti primerjalno študijo primera;
- predstaviti rezultate teoretične in praktične primerjave podvrtavanja s pnevmatsko iglo in radijsko vodeno podvrtavanje.

Hipoteze oziroma trditve diplomskega dela:

- H1: Podvrtavanje s pnevmatsko iglo je za 50 % stroškovno ugodnejše od radijsko usmerjenega podvrtavanja.
- H2: Podvrtavanje s pnevmatsko iglo je za 30 % manj natančno od radijsko usmerjenega podvrtavanja.
- H3: Radijsko vodeno podvrtavanje je možno izvesti v zemljinah, ki so za 30 % trdnjše od tistih, ki jih je možno prebijati s pnevmatsko iglo.

1.3 Predpostavke in omejitve

V empiričnem delu smo pripravili študijo primera: pridobili smo podatke o projektu oskrbne infrastrukture in pripravili izračune stroškov, časa izvedbe, dejavnosti in omejitve za dve možnosti: izvedbo projekta z izkopom in izvedbo projekta z izkopavanjem. V empiričnem delu smo na ta način opravili primerjalno analizo, ki temelji na realnem projektu in realnih družbenih potrebah, pri čemer je bila ena od izvedb realizirana, medtem ko druga predstavlja simulacijo izvedbe v namen primerjave. Primer je bil izbran na predpostavki, da je za utemeljitev potenciala vpliva radijsko vodenega podvrtavanja na sodobne metode gradnje za kontinuirano spreminjanje industrije najprimernejši realni primer iz prakse, s katerim je mogoče ponazoriti prednosti predstavljene naprednejše tehnologije v primerjavi s konservativnejšimi.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Diplomsko delo je sestavljeno iz teoretičnega in empiričnega dela. V teoretičnem delu smo uporabili deskriptivne metode povzemanja in sinteze teoretičnih virov. V empiričnem delu smo pripravili študijo primera: pridobili smo podatke o projektu oskrbne infrastrukture ter pripravili izračune stroškov, časa izvedbe, dejavnosti in omejitve za dve možnosti: izvedbo

projekta z izkopom in izvedbo projekta z izkopavanjem. V empiričnem delu smo tako opravili primerjalno analizo.

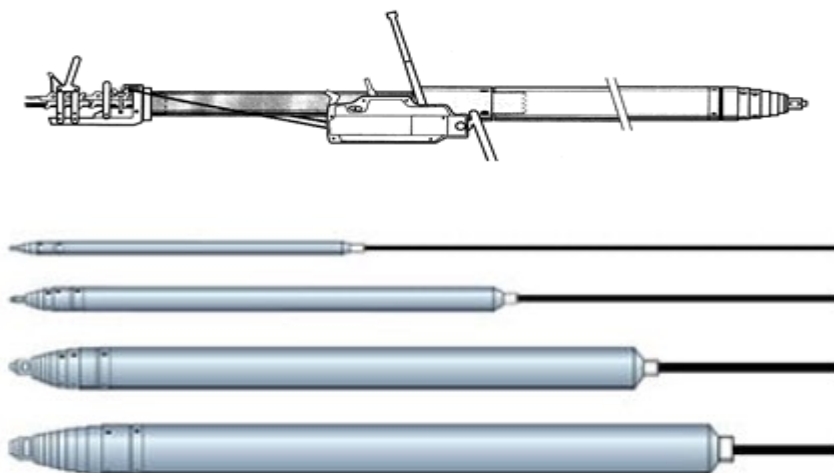
»Za pisanje diplomskega dela uporabljajte računalnik. Izpis naj bo izveden z laserskim ali enakovrednim tiskalnikom.«

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

V prostorih Academie smo imeli pred začetkom izdelave diplomskega dela srečanje, ki so ga vodili profesorji, pri čemer smo študentje rešili Myerssov test osebnosti in Belbinov popis tima. Rezultati testov so nam pokazali, kakšne osebnosti smo, nato smo se razdelili v skupine, v katerih smo na skupnih srečanjih pripravljali diplomska dela. Skupine so bile sestavljene iz treh članov, in sicer vodje projekta, projektanta in osebe, ki je bila zadolžena za pripravo dela. Rezultati osebnosti so me določili za vodjo, saj znam dobro opazovati, logično razmišljati in presoјati.

Skupini sem na prvem srečanju predstavil temo svojega diplomskega dela, s katerim želim na praktičnem primeru primerjati tehnologiji podvrtavanja s pnevmatsko iglo in z radijsko vodenim podvrtavanjem. Tehnologiji podvrtavanja smo primerjali z vidika stroškov in časa.

Pnevmatske igle sem predstavil kot razmeroma robustna orodja z dolgo življenjsko dobo za prebijanje terena, ki delujejo na zračni kompresor in med prodiranjem skozi zemljino odrivajo material na stran. Pojasnil sem, da so na razpolago igle različnih dimenzij in kapacitet, ki se razlikujejo po premeru, dolžini, teži, frekvenci, vrednosti vibracij, porabi zraka, ravni hrupa itn. Opise sem podkrepil s shematskimi prikazi orodja.



Slika 2.1: Pnevmatška igla

Vir: Fedotoff idr., 2018

Najprej smo v skupini raziskali različne tehnologije podvrtavanja in njihovo uporabo ter jih primerjali z najpogostejšo metodo gradnje, sanacije in zamenjave infrastrukture – prekopi. Nadaljevali smo tako, da smo natančno opisali in opredelili različne tehnologije podvrtavanj ter predstavili njihovo uporabo in potek dela.

Kasneje smo prišli do glavne teme diplomskega dela, in sicer stroškovne in časovne primerjave med podvrtavanjem s pnevmatsko iglo in radijsko vodenim podvrtavanjem. Predstavili smo prednosti in slabosti obeh tehnologij ter ju primerjali na praktičnem primeru.

Tabela 2.1: Prednosti in slabosti podvrtavanja s pnevmatsko iglo

Prednosti	Slabosti
Hitrost izvedbe Nizki stroški izvedbe Prijaznost okolju zaradi minimalnega posega in nesporne tehnologije Potreba po razmeroma majhni gradbeni jami Tehnologija ne odvzema ali razkriva podlage, zato ne prihaja do posedanja ali raztezanja Možnost izvedbe preboja v težavnih okoliščinah Možnost izvedbe v vseh zemljinah II., III. in IV. kategorije Razmeroma natančna izvedba Možnost izvedbe na minimalni globini Možnost vzporednega vrtanja brez horizontalne in vertikalne razdalje	Omejitve dolžine Omejitve natančnosti Omejitve zahtevnosti Možnost udara Visok varnostni faktor globine (najmanj desetkratnik premera cevi) Nujno potrebna je vpeljava zaščitne kovinske cevi Natančnost nivelete preboja je omejena Tehnologija ni porabna v kamninah V. ali višje kategorije

Vir: lasten

Tabela 2.2: Radijsko usmerjeno podvrtavanje

Prednosti	Slabosti
Ekonomičnost postopka Hitra izvedba Majhen poseg v okolje Ekološki poseg Možnost izvedbe vrtine v večjih globinah Možnost izvedbe vrtine pod gradbenimi in naravnimi objekti ter ovirami, kot so ceste, železnice, reke, ekološko ranljiva okolja Izvedba vrtine do 1,5 km Možnost izvedbe brez gradbene jame	Potrebne veliko napredne in drage opreme Postopek je dražji zaradi potrebnega zahtevnejšega načrtovanja Postopek je lahko dražji, ker se običajno kombinira z naprednejšimi načini podvrtavanja

Vir: lasten

Projektna skupina je delovala zelo uspešno, čeprav smo imeli točno določene naloge, smo sodelovali in skupaj iskali optimalne rešitve. Na koncu smo ugotovili, da sta za delo v skupini zelo pomembni dobra organizacija in koordinacija znotraj ekipe.

3 PREKOPI IN TEHNOLOGIJE BREZ PREKOPOV

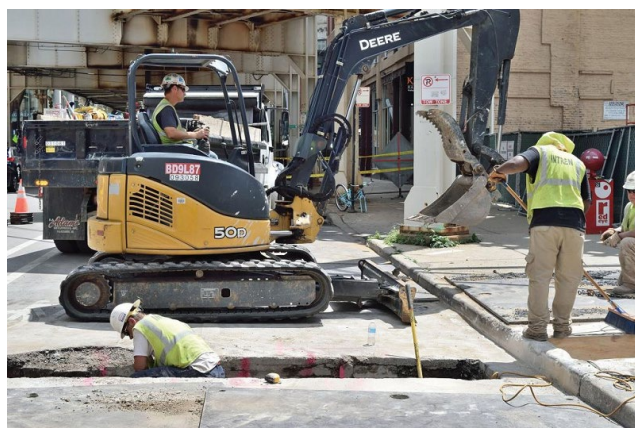
Tradicionalna in še vedno najbolj razširjena metoda gradnje, sanacije in zamenjave infrastrukture pod površino je prekopavanje (open cut excavation). Odprt izkop jarka zajema izkop jarka, ročno namestitev vsakega od elementov infrastrukture in zakopavanje na novo sestavljene ali popravljene oziroma zamenjane infrastrukture. Metoda prekopa zahteva izkop zemlje do globine in širine obstoječe infrastrukture, da je ta toliko izpostavljena, da jo je mogoče popraviti ali zamenjati ter nato zasuti. Izkop lahko v ta namen zahteva poškodovanje večjega dela površine nad in v okolici infrastrukture. Gre za kratkoročno najcenejšo metodo, predvsem ko je infrastruktura nameščena pod površino, ki ni posebej obdelana in ni v uporabi. Če je izkop realiziran na območju brez določenega tlaka, izkopan jarek po delu preprosto zasujemo z zemljo in površinsko vegetacijo obnovimo s semeni ali sadikami. Med posegom ne motimo dejavnosti, ki se sicer odvija na mestu gradbenih. Če je izkop jarka realiziran na mestu, kjer je tlak kako drugače obdelan, je treba površino na različne načine najprej odstraniti in nato nadomestiti. Če gre za asfalt, ga je denimo treba razžagati in odstraniti, izkop napolniti z granuliranim zasipom (strnjen kamen ali pesek, da se prepreči usedanje), na koncu popravila infrastrukture je treba namestiti novi asfalt in ga ustrezno povezati z okoliškim obstoječim. Prekopavanje je lahko v tem primeru relativno drago, z dodatnimi stroški so lahko povezane motnje dejavnosti, ki sicer potekajo na mestu izkopavanja (Tatiya, 2013).



Slika 2.2: Oviranje prometa zaradi izkopov

Vir: Pod svojo streho, 2021, https://www.podsvojostreho.net/spletniki/veliko-tega-kar-ste-ze-od-nekdaj-zeleli-vedeti-o-prikljucitvi-na-vodovodno-omrezje-na-cesti_1788

Zaradi različnih omejitev prekopavanja s tehnološkim napredkom in novimi možnostmi vse pogostejše uporabljamo tehnologije nameščanja, vzdrževanja, sanacije in zamenjave infrastruktur pod površino brez prekopov. Tehnologije brez prekopov so vrsta podzemnih gradbenih del, ki zahtevajo nič ali malo izkopov oziroma ne potrebujejo neprekinjenih jarkov. Gre za izjemno hitro rastoč sektor gradbeništva in inženirske industrije, saj prinašajo prihranke na področju stroškov in časa. Opredelimo jih lahko kot družino metod, materialov in opreme, ki se lahko uporabijo za namestitev nove ali zamenjavo ali sanacijo obstoječe podzemne infrastrukture z minimalnimi motnjami v površinskem prometu, poslovanju in drugih dejavnostih. Tehnologije izkopavanja omogočijo dostop do lokacije infrastrukture, ne da odstranjujemo površino nad to infrastrukturo (Najafi, 2005). Podzemno izgradnjo infrastrukture brez izkopa lahko realiziramo s potiskanjem, uvlečenjem, vtiskovanjem ali nabijanjem v vrtino. Vrtino izvedemo z vrtanjem, ki ga izvedemo s pomočjo različnih namenskih orodij (Končan, 2019).



Slika 2.3: Tehnologije izkopavanja

Vir: Scanprobe, 2021, <https://www.scanprobe.com/open-cut-trench-excavation-when-does-it-become-the-only-option>



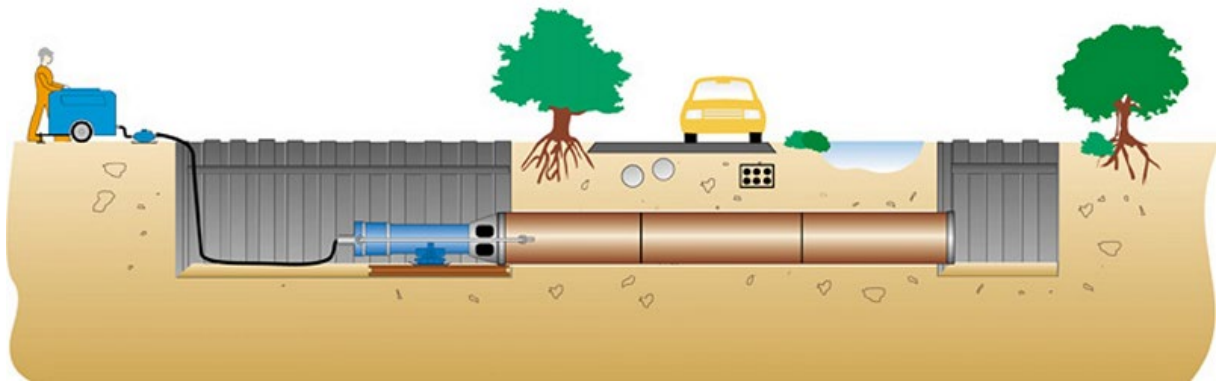
Slika 2.4: Uporaba tehnologije izkopavanja na vodotoku

Vir: Trap, 2021, <https://detroittrap.com/open-cut-streams-pipeline-projects>

Tehnologije brez prekopavanja, ki temeljijo na uvlečenju, potiskanju, pritiskanju, nabijanju vključujejo različne konstrukcijske metode, kot so tuneliranje, mikrotuneliranje (MTM, microtunneling), vodoravno usmerjeno vrtanje (HDD, horizontal directional drilling), znano tudi kot usmerjeno vrtanje, zabijanje cevi (PR, pipe ramming), dviganje cevi (PJ, pipe jacking), vrtanje, vodoravno vrtanje s polžem (HAB, horizontal auger boring) ter druge metode za nameščanje cevovodov in kablovodov pod površino z minimalnim izkopom. Predori velikega premera, kot jih je izdelamo s stroji za vrtanje predorov (TBM, tunnel boring machine), ter druge tehnike vrtanja in peskanja so večje različice podzemne gradnje. Razlika med brezrovovskimi in drugimi podzemnimi gradbenimi tehnikami je odvisna od velikosti potrebnega prehoda v gradnji (Najafi, 2005).

Tehnologije brez prekopavanja uporabljamo tudi pri vzdrževalnih in sanacijskih delih. Sanacija in vzdrževanje brez izkopavanja vključujeta gradbene metode, kot so drsno nameščanje (sliplining), toplotno oblikovanje cevi (thermoformed pipe), razbijanje cevi (pipe bursting pipe bursting), brizgalno betoniranje (shotcrete), notranje oblaganje cevi (CIPP, cured-in-place pipe), notranje brizganje cevi (grout-in-place pipe), mehansko popravljanje posameznih mest in druge metode za popravila, sanacije ali zamenjave obstoječih zakopanih cevi in konstrukcij brez izkopa ali vsaj z minimalnim izkopom. Mehansko popravilo na mestih okvare se uporablja tam, kjer poškodovani cevovodi zahtevajo ponovno vzpostavitev strukturne celovitosti. Drsno nameščanje, notranje oblaganje cevi in toplotno oblikovanje cevi

zajemajo vlečenje ali nameščanje nove obloge v obstoječo cev, nato uporabo toplote in/ali pritiska, da se obloga razširi in se napolni v obstoječo cev. Tehnologije notranjega oblaganja zahtevajo uporabo nosilca (klobučevine ali steklene volne), ki s toplotno impregnacijo, ultravijolično svetlobo ali utrjeno smolo tvorijo cev v cevi. Pri razbijanju cevi v staro cev potiskamo novo, tako da stara cev razpoka in se zlomi. Druge metode so namenjene predvsem odpravljanju poškodb in okvar na kraju samem. Metode sanacije brez izkopov so na splošno stroškovno učinkovitejše od tradicionalnih metod izkopavanja (Najafi, 2005).



Slika 2.5: Tehnologije brez prekopov

Vir: Gradnje Polak, 2021, <http://gradnje-polak.com/vrtine>

Tehnologije brez izkopa ponujajo številne prednosti, ki potrjujejo upravičenost njihove uporabe v sodobni gradnji, rekonstrukcijah in sanacijah infrastrukture. Najpomembnejše prednosti so: (1) krajši čas, potreben za dokončanje dela; (2) znižanje stroškov gradnje v primerjavi s tradicionalnimi pristopi do 50 % in več; okolju prijazne tehnologije, ki (3) ne ustvarjajo motenj v okolju, (4) dosegajo nizke ravni hrupa, (5) ne zahtevajo radikalnih posegov v obstoječo gradnjo, (6) ne povzročajo gradbenih odpadkov itd.; (7) ne zahtevajo dragih posegov na zasebnem zemljišču. Kakovost opravljenega dela je na enaki ravni ali boljša kot pri klasičnih metodah. Naslednja slika pojasnjuje osnovne ideje in postopke. Tehnologije brez izkopa postajajo vse obsežnejše in vključujejo številne povsem različne tehnološke pristope. Na splošno je to ena izmed gradbenih panog, ki je med najhitreje razvijajočimi se, kar kaže na naraščajoče potrebe tako na lokalnem kot na svetovnem trgu. Pomembno je vedeti, da gre za razmeroma mlado tehnologijo.

Osnovna metoda brez izkopa, horizontalno vrtanje se je začelo razvijati pred 100 leti. Tehnologija je bila v gradbeništvo prenesena iz takrat precej bolj razvitega rudarstva. Med leti 1970 in 1980 so se postopoma razvijali pnevmatski pristopi vrtanja. Leta 1986 je bilo v ZDA ustanovljeno nacionalno združenje podjetij za kanalizacijske storitve NASSC (ational Association of Sewer Service Companies), kar pomeni začetek dejavnega razvoja tehnologije NO-DIG. Te beležijo eksplozivni razvoj v zadnjih 20 letih in danes po svetu deluje več kot 25 nacionalnih združenj tehnologij brez izkopa, ki dejavno skrbijo za popularizacijo industrije in sistemov brez izkopa (Vilkograd, 2021).

4 PODVRTAVANJE

Tehnologije gradnje, vzdrževanja, sanacije in zamenjave podzemne infrastrukture zahtevajo izdelavo vrtine. Vrtina omogoča realizacijo različnih metod vgradnje, kot so uvlečenje, potiskanje, pritiskanje in nabijanje. Uvlečenje elementov infrastrukture zajema potek infrastrukturnih elementov v vrtino, lahko sočasno z izdelavo vrtine ali naknadno. Uvlečenje elementov infrastrukture se lahko realizira tudi v že obstoječo infrastrukturo, in sicer bodisi kot zamenjava bodisi kot dogradnja. Potiskanje predstavlja podobno metodo, le da sila nameščanja deluje iz smeri nameščanja, medtem ko pri uvlečenju deluje iz nasprotnne smeri nameščanja. Nekateri stroji torej realizirajo uvlečenje in drugi potiskanje. Pritiskanje zajema metodo, pri kateri vrtina nastaja sočasno s potiskanjem oziroma nabijanjem infrastrukture. Enako deluje nabijanje, ki se od pritiskanja razlikuje v nabijalnem orodju (Vilkograd, 2021).

Metode brez prekopavanja zahtevajo, da zelo dobro identificiramo in upoštevamo značilnosti tal ter obremenitev na površino. Kadar gre za peščeno zemljo, kadar je gladina podzemnih voda na majhni globini ali pričakujemo velike obremenitve, kot je mestni promet, mora biti globina izkopa takšna, da pritisk tovora na površino ne vpliva na izvrtino, v nasprotnem primeru obstaja nevarnost, da se površina udre.



Slika 4.1: Tehnologije podvrtavanja

Vir: Gobain, 2021, <https://www.pamline.com/types-laying/trenchless-pipe-laying>

Poznamo različne metode podvrtavanja, kot so preboj s pnevmatsko iglo, preboj s kovinsko cevjo in radijsko usmerjeno vrtanje. Posamezne tehnologije podvrtavanja se razlikujejo v

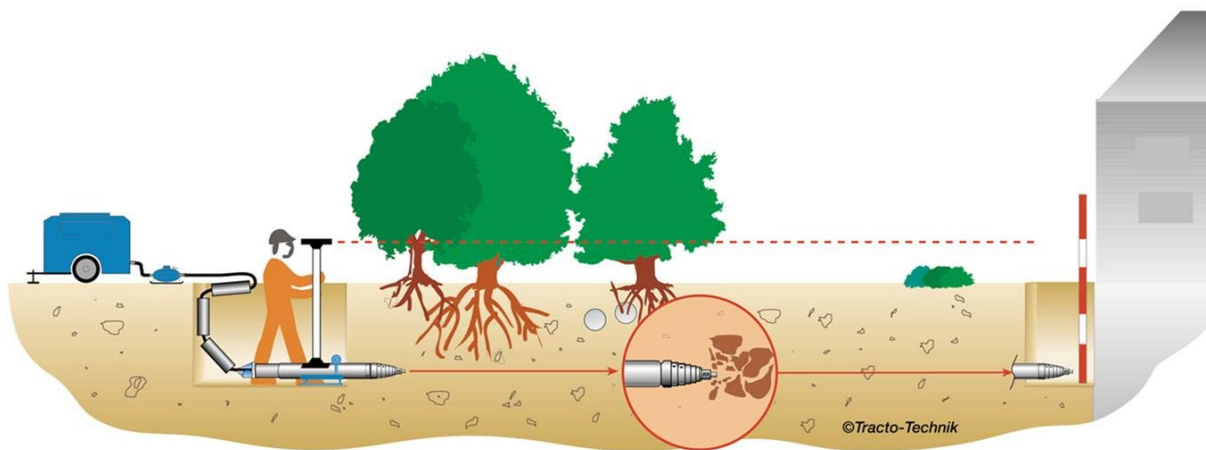
potrebni opremi in postopkih, ki so lahko bolj ali manj ekonomični, počasnejši in hitrejši ter bolj ali manj kompleksni. Pri odločanju med tehnologijami se je tako treba odločati glede na posebnosti vsakega projekta, saj so lahko naprednejše tehnologije slabša izbira za preproste projekte, za določene projekte na splošno bolj ekonomične tehnologije povzročijo manj stroškov (Mishra, 2013).

4.1 Preboj s pnevmatsko iglo

Preboj s pnevmatsko iglo je ena izmed najpreprostejših tehnologij podvrtavanja in je redno v rabi pri manjših in preprostejših projektih. Uporabljamo jo lahko pri ustvarjanju krajših prehodnih vrtin za telekomunikacijsko, vodovodno, plinovodno, električno, kanalizacijsko infrastrukturo. Metoda ni natančna, zato ni primerna za daljše vrtine, osnovna oprema je posledično razvita za vrtine do največ 25 metrov in premera od 32 mm do 160 mm. Za vrtine večjih dimenzij je potrebna oprema, ki bistveno zmanjša ekonomičnost postopka. Na smiselne dolžine vrtin v praksi vplivajo še premeri in vrste elementov infrastrukture ter sestava zemljine. Tudi vzdolžni naklon vrtine ne more presegati 1 %. Sestava prsti in kamenja, drevesne korenine, podzemeljski vodni tokovi, morebitna že obstoječa infrastruktura na danem mestu so pomembni dejavniki, ki vplivajo na odločanje o uporabi metode, ker vplivajo na hitrost in natančnost vrtanja (Končan, 2019). Pri izvedbi je pomembno upoštevanje varnostnega faktorja globine izvedbe vrtine, ki znaša vsak 10-kratnik premera vrtine. Za preboj vrtine s premerom 160 mm moramo vrtino izvajati vsaj 1,6 metra pod površjem, da ne pride do ugrezanja. Vrtanje globlje pod površino pogojuje zahtevnejše pogoje. Glede na sestavo zemljine imamo nekaj različnih možnosti konic igle: poznamo premične oblike in oblike z udarno konico na vrhu ter konusne in stopničaste oblike ali kombinirane oblike (Najafi, 2005).

Pri izvedbi vrtine na način preboja s pnevmatsko igro je potreben izkop vertikalnega jaška oziroma gradbene jame na mestu vstopa in izstopa do globine predvidene vrtine. Vstopni in izstopni jašek izkopljemo na lokacijah in v globini glede na preračun projektanta. V vstopni jašek namestimo t. i. posteljico igle in jo naravnamo vodoravno ali pod želenim (do 1 %) naklonom. Pnevmsko iglo nato vpne v ležaj, katerega funkcija je ohranjanje smeri igle, dokler se ta do treh četrtin ne vkoplje v zemljo. Pnevmsko iglo nato priključimo ter na vhodu in izhodu nadzorujemo napredek vrtanja vrtine. Preboj s pnevmatsko iglo izvaja pnevmatski cilinder v pnevmatski igli, ki v enakomernih intervalih iglo potiska od vstopne do

izstopne točke. Če gre za manjše premere infrastrukture, lahko istočasno z ustvarjanjem vrtine uvlečemo tudi elemente infrastrukture. V primeru večjih vrtin sprva izvedemo le pilotno vrtino, nato iglo skozi vrtino pošljemo drugič in tokrat uvlečemo elemente infrastrukture (Končan, 2019).



Slika 4.2: Enostavni preboj s pnevmatsko iglo

Vir: Vilkograd, d. o. o.

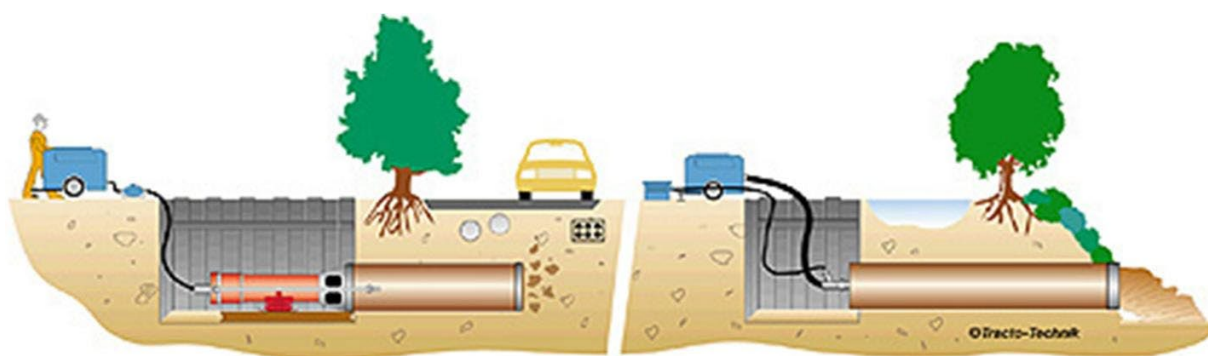
4.2 Preboj s kovinsko cevjo

Preboj s kovinsko cevjo je tehnologija, ki zajema potisk odprte jeklene cevi v zemljino s pnevmatskim nabijačem. Tehnologija omogoča izvedbo vrtin v bistveno težjih pogojih kot preboj s pnevmatsko iglo, tudi v pesku, gramozu, glini ipd. Ključna prednost preboja s kovinsko cevjo je, da pri metodi ne pride do razrinjanja ali odstranjevanja materiala, kar površino varuje pred neželenimi učinki. Ker vrtina ne spreminja konstrukcije okoliške zemljine, je mogoče izvesti več vrtin vzporedno brez odmika (Najafi, Trenchless technology piping: installation and inspection, 2010). Natančnost tehnologije je nekoliko večja kot pri tehnologiji s pnevmatsko iglo, prav tako je mogoče izvesti širše vrtine, in sicer take s premerom od 114 do 2020 mm (Končan, 2019).

Za izvedbo preboja s kovinsko cevjo je prav tako kot pri preboju s pnevmatsko iglo potreben izkop vstopnega in izstopnega jaška. Omogoča tehnologija tudi alternativno izravnavo tal na zahtevani globini. V jašek oziroma na izravnana tla namestimo kovinska vodila, ki usmerjajo, nastavljajo padec in stabilizirajo kovinsko cev ter služijo kot podlaga za varjenje zaporednih kovinskih cevi. Kovinska vodila nastavimo na ustrezen padec in smer. Da se kovinska vodila

ne bi premaknila, lahko dno jaška zalijemo z betonom in vodila vanj privijamo. Ko pripravimo vse potrebno, začetno kovinsko cev namestimo v vodila in na njen konec z zateznimi trakovi namestimo pnevmatski nabijač. Da pnevmatski nabijač med nabijanjem ne bi deformiral kovinske cevi, ima ta poseben nastavek za namestitev cevi in je konusno oblikovan. Pnevmski nabijač nato povežemo s kompresorjem in krmilno enoto ter vključimo delovanje. Ko nabijač prvo cev skoraj do konca nabije v zemljino, nabijač izklopimo in ga odstranimo s konca cevi, medtem ko na začetno cev privarimo naslednjo. Ko sta cevi zvarjeni, pnevmatski nabijač po istem postopku namestimo in aktiviramo na naslednji cevi. Postopek ponavljamo, dokler s kovinsko cevjo ne dosežemo izstopnega jaška (Najafi, 2005).

V primerjavi z vrtanjem s pnevmatsko iglo je po zaključenem preboju potrebno še odstranjevanje zemljine iz cevi. Za odstranjevanje zemljine iz kovinske cevi uporabljamo različne metode, in sicer odstranjevanje z zrakom pod tlakom, vodo pod tlakom in z jeklenimi svedri. Pristop odstranjevanja materiala iz kovinske cevi izberemo predvsem glede okolja vrtine. Če vrtino izvajamo v naseljenih in drugače ranljivih območjih, ni primerna metoda čiščenja s stisnjenim zrakom, ker visok zračni tlak povzroča veliko nevarnega letečega materiala. Zaradi letečega materiala pred začetkom vpihovanja zaščitimo jašek in okolico. Varnejša in primernejša metoda za uporabo v urbanih in uporabnih okoljih je metoda čiščenja z vodo, vendar je ta postopek dražji in okolju manj prijazen. Prav tako varna, vendar precej zamudna metoda je čiščenje z jeklenimi svedri, s katerimi material izvrtamo iz jeklene cevi (Končan, 2019).



Slika 4.3: Preboj s kovinsko cevjo

Vir. Vilkograd, d. o. o.

4.3 Radijsko usmerjeno vrtanje

Pnevmatični pristopi vrtanja, kot sta vrtanje s pnevmatsko iglo in preboj s kovinsko cevjo, sta cenovno ugodnejši alternativni od usmerjenega vrtanja. Vendar predstavljeni metodi omogočata zgolj vrtanje linearnih ali po nesreči nelinearnih vrtn. Proces vrtanja poteka brez nadzora in ne omogoča sprotnega urgiranja ali načrtovanja odklonov od ravne linije vrtnice. Tehnologije usmerjenega vrtanja omogočajo nadzor na lokacijo in vodenje vrtnega orodja pod zemljo, ko to ni vidno s površine. Ključna sestavina usmerjenega vrtanja je komunikacijska povezava med vrtno napravo in usmerjevalcem nad površjem (Vilkograd, 2021); (Pehlivan-türk, 2019). Natančno lociranje in vodenje vrtnega orodja med procesom izdelovanja vrtnice odpravljata tveganja napak nenadzorovanega vrtanja in razširjata možnosti oblike vrtn. Usmerjeno vrtanje lahko izvajamo z različnimi usmerjanimi podzemnimi vrtnimi stroji, ki uporabljajo mokre (gladko vrtanje, blatno vrtanje) ali suhe metode (vrtanje s svedrom, prebijanje in vrtanje). Radijsko usmerjeno vodenje sodi med načela usmerjenega vodenja (Fedotoff, 2018) (Polak, 2021).

Obstajajo trije tipi usmerjevalne opreme za nadzor in vodenje vrtanja: sistemi prehodnega usmerjanja, sistemi žičnega lociranja in sistemi vodenega vrtanja z žiroskopom, kjer je na vrtnem orodju nameščen popoln inercialni navigacijski sistem (Dupuis, 2018); (Polak, 2021); (Wu, 2018).

V sistemu prehodnega usmerjanja deluje sonda ali oddajnik za vrtnim orodjem registrira podatke o kotu, vrtenju, smeri in temperaturi. Te informacije se kodirajo v elektromagnetni signal in se po sistemu prehoda pošiljajo na površino. Na površini je sprejemnik (običajno ročni lokator) ročno nameščen nad sondo, ki signal dekodira in smer krmiljenja posreduje upravljavcu vrtnice.

Sistem žičnega lociranja temelji na magnetnem sistemu vodenja. Z magnetnim sistemom vodenja orodje odčitava naklon in azimut. Sistem ima tudi sekundarno sredstvo za preverjanje lokacije z uporabo žičnih mrež, položenih na površino tal. Gre za edini sistem, ki je zmožen neposredno preverjati lokacijo vrtnega orodja. Te informacije prenaša po žičnih vodih, nameščenih znotraj vrtnice. Navigator v vrtni kabini na površini izvede potrebne izračune, da potrdi, ali proces vrtanja izpolnjuje predvidene parametre. Sistem žičnega lociranja je tudi brez uporabe žične mreže natančen na več kot 2 km z natančnostjo 2 % v

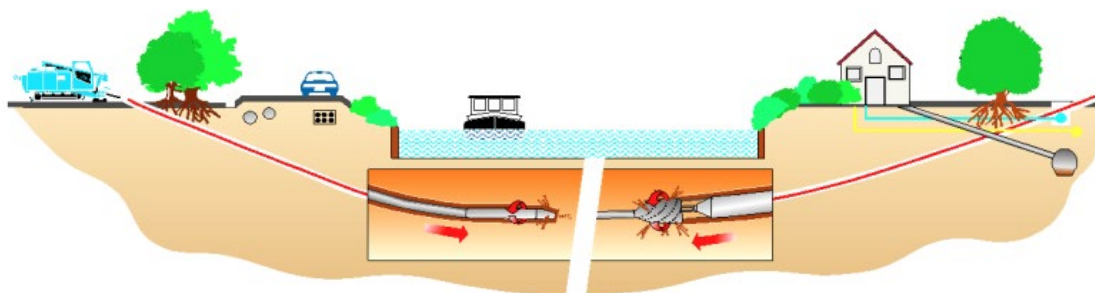
globino. Upravljalavec sistema komunicira z vrtalnikom in ga vodi po vnaprej določeni inženirski poti vrtanja.

Lokacijski sistemi na osnovi žiroskopov so povsem avtonomni in eni izmed najnatančnejših sistemov, kjer imamo na razpolago zadosten premer (200 mm) in kjer je treba z minimalnim odstopanjem prevrtati dolge razdalje (do 2 km) (manj kot 1-metrška napaka položaja). Trenutno sistemi ne morejo preverjati dejanske globine brez uporabe površinskih tuljav, bližnjega oddajnika ali sonde, ki se uporablja v prehodnih sistemih.

Tehnologija temelji na osnovni usmeritvi in vodenju vrtalne glave, kar pomeni, da lahko izvedemo različno oblikovano načrtovano izvrtino v skladu s predhodno pripravljenim projektom. Dolžine posameznih izvrtin so pogojene z geološko sestavo terena in posameznimi geografskimi značilnostmi. Objektivno lahko največja dolžina posamezne izvrtine dosega 1.500 m, odvisno od premera izvrtine in geološko-geografskih razmer. Klasična izvedba vrtanja poteka v različnih tipih zemljin in mogoče je tudi delo v izjemno zahtevnih pogojih, ki zahtevajo vrtanje v kamnine z uporabo posebnih vrtalnih orodij. Po zaključku izdelave vrtine se vanjo običajno potegnejo PE/HD ali zaščitne kovinske cevi s premerom 500 mm ali več. Tehnologija omogoča sočasno vlečenje več cevi. Bistveno je, da je mogoče vsako izvrtino izvesti z vodoravnimi in navpičnimi krivuljami polmera do 0,4 m, kar omogoča nemoteno izvajanje podzemnega vrtanja vseh vrst vodne, komunalne, cestne in druge infrastrukture.

Postopek dela s tehnologijo radijskega vodenja obsega vrsto tehnoloških korakov. Prvi zajema pripravo projekta izvrtine, ki vključuje izdelavo geodetskega posnetka terena. Na temelju pridobljenih podatkov oblikujemo vzdolžni profil poti ter pripravimo projekt izvrtine z zahtevanimi parametri investitorja in vsemi podrobnostmi. Projekt nato predložimo v pregled in potrditev. Po potrditvi izvrtino izvedemo z največjim odstopanjem od načrtovanih zračnosti 5 %. Izvajanje izvrtine poteka v treh fazah, in sicer (1) izvedemo pilotno izvrtino, (2) razširitev oziroma ponovno vrtanje izvrtine na želeni premer, (3) vlečenje cevi. Vrtalno glavo pilotske izvrtine vodimo po predhodno pripravljenem projektu, kar omogoča sprotno spremljanje natančnosti smeri in globine vrtanja. Vrtanje izvajamo z vbrizgavanjem mešanice bentonita in vode v realnem času, ki služi za zaščito vlečene cevi pred morebitnimi poškodbami. Po izvedbi pilotne izvrtine na izvrtino namestimo razvrtalec, da izvrtino razširi na načrtovani premer, ki mora biti vsaj 30 % večji od premera vlečenih cevi. Tudi vnovično vrtanje oziroma širitev izvrtine zahteva dodajanje mešanice bentonita, ki služi za stabilizacijo

izvrtine in zaščito cevi pred poškodbami. Tako se okoli vlečenih cevi ustvari bentonitna obloga, debela med 5 in 10 cm (Pehlivan Türk, 2019); (Vilkograd, 2021).



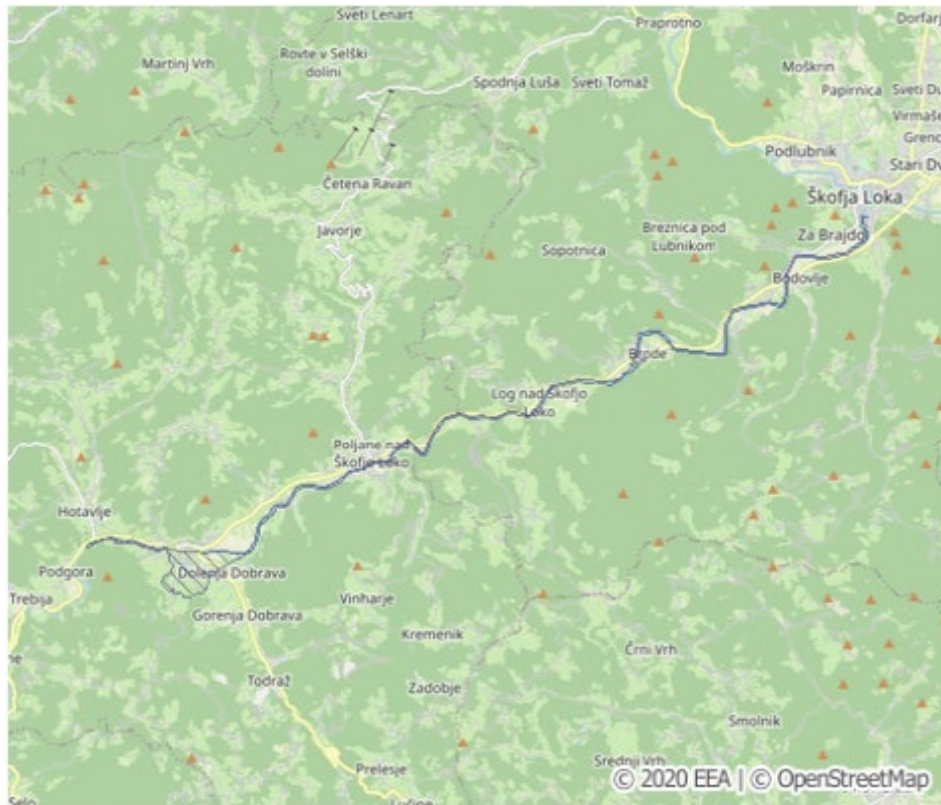
Slika 4.4: Radijsko vodeno podvrtavanje

Vir: Vilkograd, 2021

4.4 Praktični primer podvrtavanja

Uporaba tehnologij podvrtavanja postaja stalna praksa v gradnji, vzdrževanju, sanaciji in zamenjevanju infrastrukture različnih tipov. Med drugimi primeri je bil s tehnologijo podvrtavanja izveden tudi projekt posodobitve oskrbe s pitno vodo v Škofji Loki. Primer je zajemal nadomestitev stare vodovodne infrastrukture z novo, ustreznih materialov in dimenzij. Projekt sta izvajali podjetji Hidrosvet d. o. o., ki je specializirano za projektiranje na področju nizkih gradenj, in Vilkograd d. o. o., ki izvaja projekte brez izkopa. Celotna trasa infrastrukture poteka od enega združitvenega jaška in se zaključi na drugem obstoječem jašku obnovljenega vodovoda ter poteka pod kmetijskimi zemljišči, poljskimi potmi, lokalnimi cestami in vodnem svetu. Trasa devetkrat prečka reko Soro, kjer je bilo potrebno vodeno podvrtavanje z uvlečenjem cevi v izvrtino. Podvrtavanje je potekalo v štirih korakih: (1) Izvajalec projekta je na terenu najprej izvedel posnetek terena in pripravil vzdolžni profil trase. (2) Na osnovi rezultatov posnetkov in vzdolžnega profila je izvajalec pripravil projekt izvrtin s potrebnimi parametri ter dal projekt v pregled in potrditev. (3) Po potrditvi projekta je izvajalec del začel z izvedbo vodene pilotne vrtine z maksimalnim odstopanjem 5 %. Ob izvajanju pilotne vrtine je dejansko stanje spremljalo s sprotnim posnetkom in izvrtino neposredno primerjano s projektom. Izvedena sta bila prva faza vrtanja in nato razširjanje vrtine. (4) Po izvedbi pilotne vrtine so bile vanjo ob vbrizgavanju betonita uvlečene zaščitene

PE-cevi. Betonit je zmanjševal trenje med cevjo in zemljino ter bo ščitil cevi pred obrabo (Hidrosvet, 2013); (Vilkograd, 2013).



Slika 4.5: Reka Sora (porečje 2 km²)

Vir: European Nature Information System, 2021, <https://eunis.eea.europa.eu/sites/SI3000237#tab-designations>

Pri pripravi projektne dokumentacije sta osrednje mesto zavzemala identifikacija ter upoštevanje topografije in geologije mest vrtanja. Analiza je bila opravljena s pomočjo geološke karte in z ogledi lokacij podvrtavanj. Zemljino na mestu del sestavljajo predvsem aluvialne naplavine reke ter nekoherentna mešanica prod in peska ter tudi melja in gline, pod naplavinami hribina različne sestave in trdote. Na osnovi sestave je bila izbrana primerna vrtalna garnitura za prvo fazo vrtanja in nato za razširjevanje. Z izdelavo projekta so bili določeni vstopni in izstopni koti ter smeri in nakloni vrtin. Globina vrtine je bila določena na osnovi premeta vrtine in lastnosti zemljine, in sicer je znašala na najnižji točki 3,5 m od struge do temena vrtine. Dizajnirana globina je bila sicer določena glede na lastnosti zemljine na različnih mestih (glina, gramoz, kamnina). Pred začetkom izvedbe del je bila opravljena računalniška simulacija vrtin (Hidrosvet, 2013).

Začetek del je najprej zahteval pripravo gradbišča, ki je zajemala ureditev dovoznih poti z obračališči in parkirišči ter zakoličenje komunalnih voda. Ko je bilo delovišče pripravljeno, je izvajalec del za vsako vrtino začel s pripravo vstopne in izstopne jame. Vstopne jame so bile velikosti med 1 in 2 m³ ter izstopne jame med 10 do 15 m³ zaradi potreb recikliranja in začasnega shranjevanja vrtalne tekočine v fazi razširjevanja. Pred začetkom izvedbe pilotne vrtine je izvajalec skalibriral sondo vrtalne glave manjše garniture za prvo fazo vrtanja, ki se je začela pod nastavljenim kotom ter nato nadaljevala s sledenjem smeri in globine. Vrtanje je potekalo z vrtalno tekočino, ki jo je črpalka vzdrževala na zahtevanem pretoku, da je zagotovila ustrezen iznos materiala in ustrezno stabilnost vrtine. Ob prenehanju izlivanja vrtalne tekočine je izvajalec vrtalno glavo vračal nazaj na točko, kjer je bilo nazadnje zabeleženo ustrezno stanje (Vilkograd, 2013).

Povrtavanje je potekalo v različnih talnih sestavah. Pojavljale so se rahle do srednje goste zemljine, grobe prodno-peščene zemljine in talne vode. Na različnih mestih je tako vrtanje potekalo z različno hitrostjo in ob različnih pretokih vrtalne tekočine. Vrtalna tekočina ob stiku z okoliško zemljino ustvarja filter pogačo, ki zagotavlja stabilnost stene, s tem, ko na eni strani preprečuje vdor talne vode v vrtino in na drugi strani izgubo vrtalne tekočine v okoliško zemljino. Med vrtanjem je bilo treba vzdrževati zadosten iznos ter čvrstost stene izvrtine ob precej nestabilni in raznoliki zemljini. Izvajalec je moral v ta namen ob upravljanju vrtalne garniture pozorno spremljati okoliščine, da je ohranjal ustrezno razmerje med hitrostjo vrtanja, količino izmeta, pretokom vrtalne tekočine, trdoto in grobostjo zemljine ter prisotnostjo talnih voda. Spremljanje poteka je vključevalo tudi stalni nadzor trdote vode, merjenje iznosa in koncentriranje količine dodatkov (Vilkograd, 2013).

Ključni korak postopka podvrtavanja je priprava vrtalnih tekočin, ki temelji na podatkih geološke sestave ter dolžine in premeta vrtin. Pri vrtanju in širjenju so bili v uporabi betonit in različni dodatki, s katerimi vplivamo na lastnosti vrtalne tekočine, kot so viskoznost, želirna moč, ustvarjanje filter pogače. Vrtalna tekočina je v rabi tako ob prvi fazi vrtanja kot v fazi razširjevanja. Razširjevanje je potekalo v treh prehodih, in sicer prvi prehod z razširjevalcem premera 350 mm, drugi prehod z razširjevalcem premera 500 mm in tretji prehod z razširjevalcem premera 750 mm. Vsak prehod je potekal pod različnimi pretoki vrtalne tekočine. Četrty prehod je bil namenjen čiščenju, ko je bil uporabljen razširjevalec premera

650 mm in večji pretok vrtalne tekočine, da je bil izpraznjen material, ki je ostal v vrtini (Vilkograd, 2013).

Zadnja faza podvrtavanja je zajemala uvleko cevi, ki je bila realizirala z zadnjim razširjevalcem. Cev je izvajalec namestil na rotirajoče valjčke, ki so zagotavljali drsenje cevi ob uvleku. Na cev je bil nameščen cevni vlačilec, ki je bil na drugi strani privijačen na vrtljivi vlačilec in ta na razširjevalec. Razširjevalec je bil predhodno privarjen na kovinsko zaščitno cev, ki je ščitila prostor med razširjevalcem in cevnim vlačilnem. Ko je bila cev uvlečena, jo je bilo treba še na obeh straneh zaščititi pred vdori voda ali drugih neželenih materialov. Nazadnje so bili vizualno pregledani vsi vidni deli cevi, da je bila izključena možnost deformacij (Vilkograd, 2013).

Izvajalec se je pri podvrtavanju srečal z nekaj težavami. Problematici so bili prehodi med različnimi sestavami tal, kjer se je na enem mestu zagozdila cev. Cev je bilo treba potegniti nazaj in na mestu dodatno razširiti izvrtino. Nekaj težav je povzročala tudi slaba dostopnost do lokacij, zaradi katere je bilo treba urejati dovozne poti in zanje pridobivati soglasja lastnikov zemljišč, prek katerih so te potekale. Urejanje dovoznih poti je zaradi sestave tal zahtevalo odstranitev humusa, položitev filca in navoz tampona, da so bile poti ustrezno široke in utrjene za vožnjo težjih kamionov. Po končanih delih je bilo treba lokacije povrniti v osnovno stanje s humuzacijo (Vilkograd, 2013).

4.5 Primerjava podvrtavanja s pnevmatsko iglo in radijsko usmerjenega podvrtavanja

Podvrtavanje s pnevmatsko iglo velja za enega izmed najpreprostejših pristopov podvrtavanja, ki zahteva malo opreme in je stroškovno učinkovit, vendar tudi omejen na manjše kapacitete. Radijsko usmerjeno podvrtavanje nasprotno predstavlja eno od naprednejših tehnologij, ki se običajno kombinira z naprednejšimi metodami podvrtavanja, čeprav je radijski sistem praviloma mogoče vgraditi na katero koli vrtalno orodje.

Pnevmatsko vrtanje ima nekatere pomanjkljivosti, ki omejujejo njegovo uporabo in lahko povzročijo težave pri dokončanju vrtine. Omejena je razdalja vrtine, ki jo lahko ustvari pnevmatska igla, predvsem je omejena oblika vrtine, saj pnevmatska igla ni vodljiva. Ko igla vstopi v zemljino, operater nad njenim gibanjem nima več nadzora. Iglo lahko med vrtanjem preusmerijo različne ovire, kot sta kamenje in gostota zemljine, kar ustvarja odklone od

načrtovane poti vrtine in/ali onemogoči namestitvev infrastrukture. Če odklon smeri poteka v smeri površine, lahko prihaja do ugrezanja ali igla celo doseže površino in poškoduje objekte na njej. Če odklon smeri poteka navzdol, se lahko igla pogrezne do nepopravljive globine. Odkloni od začrtane smeri lahko pomenijo tudi sovpadanje z že nameščenimi infrastrukturami pod površino. Ovire v zemljini lahko povzročajo tudi druge težave procesa, kot so zastoj pnevmatske igle, bodisi zaradi prerahle strukture bodisi zaradi pretrde strukture. Te pomanjkljivosti je mogoče odpraviti z usmerjenim vrtanjem.

Tabela 4.1: Prednosti in slabosti podvrtavanja s pnevmatsko iglo

Prednosti	Slabosti
Hitrost izvedbe Nizki stroški izvedbe Prijaznost okolju zaradi minimalnega posega in nesporne tehnologije Potreba razmeroma majhne gradbene jame Tehnologija ne odvzema ali razkriva podlage, zato ne prihaja do posedanja ali raztezanja Možnost izvedbe preboja v težavnih okoliščinah Možnost izvedbe v vseh zemljinah II., III. in IV. kategorije Razmeroma natančna izvedba Možnost izvedbe na minimalni globini Možnost vzporednega vrtanja brez horizontalne in vertikalne razdalje	Omejitve dolžine Omejitve natančnosti Omejitve zahtevnosti Možnost udara Visok varnostni faktor globine (najmanj desetkratnik premera cevi) Nujno potrebna je vpeljava zaščitne kovinske cevi Natančnost nivelete preboja je omejena Tehnologija ni uporabna v kamninah V. ali višje kategorije

Vir: lasten

Postopek vrtanja s tehnologijo radijskega vodenja se od običajnih postopkov razlikuje predvsem po možnosti nadzora in usmerjanja vrtalnega orodja. Postopek je lahko sicer prav tako ekonomičen in predvsem hiter, ne vpliva na okolje med in po izvedbi ter ne pušča

okoljskih posledic. Po zaključku vrtanja je mogoče brez večjih posegov obnoviti prvotno stanje, saj običajno omogoča še večjo prilagodljivost v pripravi podvrtavanja. Radijsko voden vrtanje je mogoče izvajati povsod, kjer dela s klasičnim izkopom niso mogoča, stroškovno učinkovita ali kako drugače izvedljiva. Glavne prednosti radijsko vodenega vrtanja so:

- da je izvrtine po potrebi mogoče izvesti na večjih globinah, pod grajenimi in drugimi objekti ter pod različnimi naravnimi pregradami, npr. pod rekami, kjer je zagotovljena hidroizolacija;
- da delo ne povzroča nobenega vpliva dejavnosti v okolici dela, tako da te naprej potekajo brez prekinitev med gradnjo;
- da je mogoče dela opravljati v okolju občutljivih območij, kjer bi kakršen koli drug način dela pustil nesprejemljivo škodo.

Tabela 4.2: Radijsko usmerjeno podvrtavanje

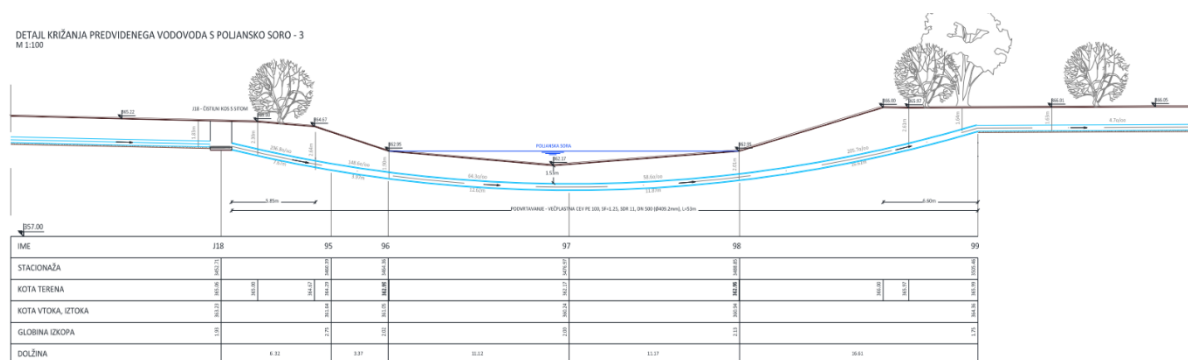
Prednosti	Slabosti
Ekonomičnost postopka Hitra izvedba Majhen poseg v okolje Ekološki poseg Možnost izvedbe vrtine v večjih globinah Možnost izvedbe vrtine pod gradbenimi in naravnimi objekti ter ovirami, kot so ceste, železnice, reke, ekološko ranljiva okolja Izvedba vrtine do 1,5 km Možnost izvedbe brez gradbene jame	Potrebne veliko napredne in drage opreme Postopek je dražji zaradi potrebnega zahtevnejšega načrtovanja Postopek je lahko dražji, ker se običajno kombinira z naprednejšimi načini podvrtavanja

Vir: lasten

5 ŠTUDIJA PRIMERA

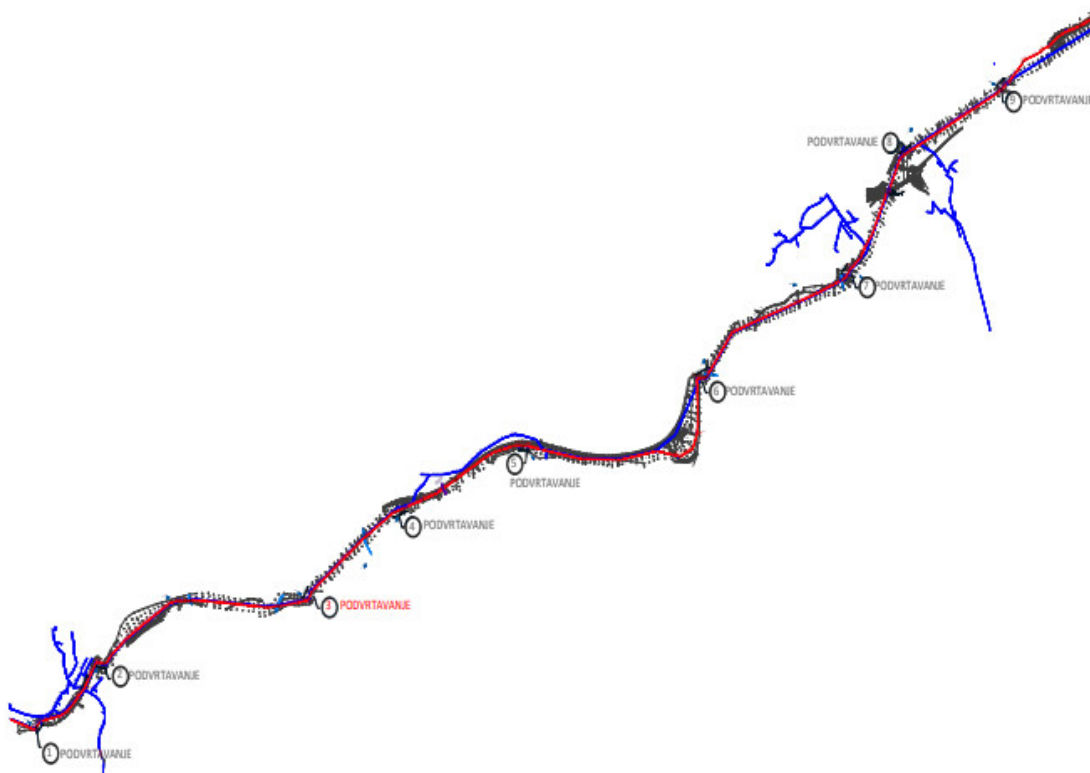
V študiji primera uporabljamo pridobljene realne podatke izbranega projekta prenove oskrbne infrastrukture in podajamo nabor dejavnosti, izračune stroškov in časa izvedbe ter omejitve za dve alternativni izvedbi: izvedbo vrtanja s pnevmatsko iglo in izvedbo vrtanja z radijsko vodenim podvrtavanjem. Za izračune je izbran eden od odsekov vodovodne infrastrukture na lokaciji Visoko–Škofja Loka, ki sta ga izvajala podjetje za projektiranje na področju nizkih gradenj Hidrosvet d. o. o. in podjetje za izvedbo projektov brez izkopa Vilkoograd d. o. o. Na lokaciji se je v namen boljše in varnejše oskrbe s kakovostno pitno vodo pojavila potreba po večjem premeru vodovodne napeljave z večjimi kapacitetami. Občina se je odločila za prenovo okrog 10 kilometrov vodovodne oskrbne infrastrukture s pretokom 120 l/s. Trasa napeljave poteka po kmetijskih zemljiščih, poljskih poteh, lokalnih cestah ob levem in desnem bregu reke Poljanska Sora z devetimi križanji. Za študijo primer je izbran tretji odsek trase, in sicer zaradi dolžine, na kateri bi bilo kot alternativo najbolj mogoče uporabiti obe alternativni izvedbi.

Skupna dolžina odseka infrastrukture znaša 48,59 m in sega do globine 3,92 m. V vrtino je vstavljena ena cev premera 0,4 m ali dve cevi s premerom 0,4 m s prevodno zmožnostjo 120 l/s.



Slika 5.1: Skica izbranega odseka

Vir: Hidrosvet d. o. o.



Slika 5.2: Zemljevid izbranega odseka

Vir: Vilkograd d. o. o.

V izračune zajemamo neposredne časovne in finančne stroške izbranih tehnologij, medtem ko za posredne stroške, ki jih ne povezujemo neposredno s tehnologijo, predpostavljamo, da so pri obeh tehnologijah enaki. V namen varovanja poslovnih skrivnosti so izračuni prirejeni na osnovi enakih faktorjev, ki zagotavljajo realno primerljivost.

5.1.1 Podvrtavanje s pnevmatsko iglo

Podvrtavanje s pnevmatsko iglo uporabljamo za vgrajevanje cevovodov pod cestami, železnicami, vodotoki in drugimi ovirami. Tehnologija podvrtavanja s pnevmatsko iglo omogoča v najboljših pogojih premera cevi in zemljine ter ob uporabi najnaprednejše opreme izvedbo vrtin do 100 metrov. Visokokakovostne pnevmatske igle omogočajo izvedbo horizontalnih prebojev do 0,25 m, zato sta v našem primeru potrebni dve vrtini. Podvrtavanje s pnevmatsko iglo velja za najbolj ekonomičnega od vseh postopkov podvrtavanja, ker zahteva najpreprostejšo opremo in najpreprostejšo tehnologijo. Na vhodu in izhodu cevi izkopljemo najem za opremo, nato s pnevmatsko iglo izvrtamo horizontalno vrtino. Skozi

vrtno nato potegnemo cev. Preprostost postopka pogojuje manjšo natančnost ter precejšnje omejitve v širini in dolžini vrtin (Brown, 2021).



Slika 5.3: Podvrtavanje s pnevmatsko iglo

Vir: Vilkoograd, d. o. o.

5.1.2 Radijsko vodeno podvrtavanje

Radijsko vodeno vrtanje uporabljamo za horizontalno podzemno vrtanje z radijskim usmerjanjem. Radijsko vodeno vrtanje omogoča vzdolžno vrtanje s horizontalnimi in vertikalnimi zaokrožitvami ter vstavljanje ene ali več cevi. Vrtamo lahko različne premere in dolžine v različne zemljine ter tudi razmeroma ekstremne gabarite. Pri vrtanju uporabljamo kompleksnejšo opremo, in sicer računalniško podporo, radijsko vodenje in vrtno tekočino. Tehnologija je kompleksnejša in zato dražja, vendar omogoča več prilagodljivosti in ima večje kapacitete (Brown, 2021).

5.2 Pripravljanje in postavljanje

Pred začetkom izvedbe vrtine na en ali drugi način so potrebne določene priprave, ki zajemajo načrtovanje izvedbe, pripravo terena in pripravo orodja.

5.2.1 Pripravljanje in postavljanje pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo

Podvrtavanje s pnevmatsko iglo zahteva izračun potrebne globine vrtanja in gradbenih jam ter zaris poti vrtine. Pnevmatika igla se pomika v horizontalni in vertikalni ravni liniji pod predpostavko, da na poti ne naleti na ovire, zaradi katerih skrene z načrtovane poti. Nekatere sodobnejše tehnologije pnevmatskih igel v teh primerih omogočajo povratek orodja, v nasprotnem primeru lahko pride do velike škode in izgube orodja. V izogib temu tveganju je kritična komponenta načrtovanja analiza zemljine in potrditev odsotnosti večjih ovir na poti.

Postavljanje in pilotno vrtanje pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo nadalje zahtevata izračun in izkop vstopne in izstopne gradbene jame, v katero namestimo posteljico za pnevmatsko iglo. V danem primeru so potrebne izjemno globoke gradbene jame, saj vrtino izvajamo na globini 3,92 metra do pete kategorije zemlje. Namesto klasičnega izkopa je zaradi tega smiselno izvajati široko vertikalno vrtino. Izkop dovolj globoke klasične jame bi namreč zahteval neracionalno velik poseg, ki izničuje siceršnjo ekonomičnost postopka. Zaradi dveh vrtin sta potrebna dva para gradbenih jam. Priprava gradbenih jam povzroča pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo nesorazmerno velik strošek.

Tabela 5.1: Dejavnosti, čas in stroški podvrtavanja s pnevmatsko iglo v fazi pripravljanja in postavljanja

Dejavnost	Čas	Stroški
Geomehanske raziskave	2 h	120 €
Izračun koordinat gradbenih jam	4 h	240 €
Izračun globine gradbenih jam	1 h	5 €
Izkop gradbenih jam (vrtin)	32 h	5.240 €
Namestitev posteljic	2 h	60 €
Dostava orodja: posteljica, kompresor, igla	1 h	60 €
Skupaj	42 ur	5.725 €

Vir: lasten

5.2.2 Pripravljanje in postavljanje pri radijsko vodenem podvrtavanju

Pred začetkom pilotnega vrtanja radijsko vodenega vrtanje zahteva izdelavo projektne dokumentacije vrtine, ki izhaja iz geomehanskih raziskav in računalniške simulacije vrtine. Za radijsko vodenega vrtanje ne potrebuje nujno gradbene jame, ampak lahko poteka od vhodne do izhodne vrtalne površine. V danem primeru smo se za izkop gradbenih jam odločili, saj je bil izkop jame bolj ekonomičen od podaljšane trase vrtanja.

Za vrtanje potrebujemo vrtalno garnituro, katere sistem delovanja temelji na potiskanju ali vlečenju ter vrtenju vrtalne glave. Za realizacijo vrtanja potrebujemo še vnaprej pripravljeno vrtalno tekočino, ki podpira proces prodiranja skozi zemljino in iz vrtine iznaša izvrtani material. Vrtalna tekočina je v mešalnih sistemih, iz katerih jo v vrtino potiska visokotlačna črpalka.

Tabela 5.2: Dejavnosti, čas in stroški radijsko vodenega podvrtavanja v fazi pripravljanja in postavljanja

Dejavnost	Čas	Stroški
Geomehanske raziskave	2 h	120 €
Računalniška simulacija vrtine	1 h	30 €
Izračun globine gradbenih jam	1 h	5 €
Izkop gradbenih jam	2 h	60 €
Dostava orodja: mešalna naprava, črpalka, vrtalna garnitura, čistilna naprava	3 h	240 €
Priprava mešalne tekočine	2 h	850 €
Skupaj	11 ur	1.305 €

Vir: lasten

5.2.3 Primerjava

Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi pripravljanja in postavljanja kaže, da zahteva podvrtavanje s pnevmatsko iglo bistveno več časa in stroškov.

Tabela 5.3: Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi pripravljanja in postavljanja

	Podvrtavanje s pnevmatsko iglo	Radijsko vodenog podvrtavanje
Čas	42 ur	11 ur
Stroški	5.725 €	1.305 €

Vir: lasten

5.3 Pilotno vrtanje in razširjanje vrtine

Vrtanje večjih vrtin večinoma pri vseh metodah poteka v več korakih. Pogosto se najprej izvede pilotno vrtanje z manjšim vrtnim orodjem, nato vrtino razširjamo. Pilotno vrtanje zagotavlja hitrejšo identifikacijo napak in nepredvidenih ovir ali drugih zapletov. Vrtanje z manjšim orodjem poteka hitreje in je lahko hkrati natančnejše. Manjša orodja lažje prebijajo odpor zemljine in takojšnji preboji z večjimi orodji so večinoma neprimerno težji in lahko celo neizvedljivi.

5.3.1 Pilotno vrtanje in razširjanje vrtine pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo

Podvrtavanje s pnevmatsko iglo je relativno dolgotrajen postopek, saj igla zlasti pri širših premerih izjemno počasi napreduje skozi zemljino. Hitrost vrtanja v danem primeru iz prakse znaša 5 m/h. Pri manjših vrtinah je mogoče neposredno z vrtanjem uvleči tudi cev, v našem primeru je treba za uvlek cevi iglo skozi vrtino poslati ločeno. V drugem vrtanju igla potuje hitreje, vendar je postopek zaradi daljše distance prav tako dolgotrajen. Če hkrati uporabljamo dve igli, lahko obe potrebni vrtini vrtamo istočasno, s čimer prepolovimo potreben čas.

Tabela 5.4: Dejavnosti, čas in stroški podvrtavanja s pnevmatsko iglo v fazi pilotnega vrtanja in razširjanja vrtine

Dejavnost	Čas	Stroški
Pilotno vrtanje	10 h	4.250 €
Razširjevalno vrtanje	8 h	450 €
Skupaj	18 h	4.700 €

Vir: lasten

5.3.2 Pilotno vrtanje in razširjanje vrtine pri radijsko vodenem podvrtavanju

Radijsko vodenno vrtenje se izvaja s pilotno vrtino, ki mu sledijo vnovična vrtanja na želeni premer. Vrtanje poteka z vbrizgavanjem vrtalne mešanice, ki olajša vrtanje, iznaša material in ob vnovičnem vrtanju stabilizira izvrtino. V danem primeru je razširjevanje potekalo v treh prehodih, in sicer prvi prehod z razširjevalcem premera 350 mm, drugi prehod z razširjevalcem premera 500 mm in tretji prehod z razširjevalcem premera 750 mm. V vseh primerih se porablja vrtalna tekočina, ki predstavlja dodatni strošek podvrtavanja. Poleg materiala je potrebna energija za poganjanje mešalne, brizgalne in čistilne naprave.

Tabela 5.5: Dejavnosti, čas in stroški radijsko vodenega podvrtavanja v fazi pilotnega vrtanja in razširjanja vrtine

Dejavnost	Čas	Stroški
Pilotno vrtanje	4 h	1.450 €
Prvo razširjevalno vrtanje	3 h	1.560 €
Drugo razširjevalno vrtanje	2 h	1.560 €
Poraba vrtalne tekočine	9 h	850 €
Čiščenje	9 h	1.560 €
Skupaj	27 h	6.980 €

Vir: lasten

5.3.3 Primerjava

Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi pilotnega vrtanja in razširjanja vrtine kaže, da več časa in stroškov v tej fazi zahteva radijsko voden podvrtavanje.

Tabela 5.6: Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi pilotnega vrtanja in razširjanja vrtine

	Podvrtavanje s pnevmatsko iglo	Radijsko voden podvrtavanje
Čas	18 h	27 h
Stroški	4.700 €	6.980 €

Vir: lasten

5.4 Uvlek cevi

Zadnja faza izgradnje infrastrukture s podvrtavanjem se nanaša na uvlek cevi. Uvlek cevi se lahko izvede z dejanskim vlečenjem ali potiskanjem cevi v vrtino. Uvlek običajno opravljamo z istim orodjem kot vrtino.

5.4.1 Uvlek cevi pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo

Pri tehnologiji s pnevmatsko iglo cev vpnemo na iglo. Pri manj zahtevnih vrtinah lahko cev uvlečemo že ob prvem vrtanju. Pri zahtevnejših, kot je to v našem primeru, iglo s cevjo pošljemo skozi vrtino po tem, ko je vrtina že izdelana. Postopek v danem primeru zahteva dve uri časa in 400 € stroškov.

Tabela 5.7: Dejavnosti, čas in stroški podvrtavanja s pnevmatsko iglo v fazi uvleka cevi

Dejavnost	Čas	Stroški
Uvlek cevi	2 h	400 €
Skupaj	2 h	400 €

Vir: lasten

5.4.2 Uvlek cevi pri radijsko vodenem podvrtavanju

Uvlek cevi je pri radijsko vodenem podvrtavanjem potekal z zadnjim razširjevalcem. Tako kot predhodno, je bilo treba pri pošiljanju vrtalnika skozi vrtino dovajati mešalno tekočino.

Tabela 5.8: Dejavnosti, čas in stroški radijsko vodenega podvrtavanja v fazi uvleka cevi

Aktivnost	Čas	Stroški
Tretje razširjevalno vrtanje in uvlek cevi	2 h	250 €
Skupaj	2 h	250 €

Vir: lasten

5.4.3 Primerjava

Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi uvleka cevi ne kaže razlike v času, vendar zahteva podvrtavanje s pnevmatsko iglo nekoliko več stroškov.

Tabela 5.9: Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi v fazi uvleka cevi

	Podvrtavanje s pnevmatsko iglo	Radijsko vodenopodvrtavanje
Čas	2 h	2 h
Stroški	400 €	250 €

Vir: lasten

5.5 Zaključna dela

Zaključna dela se nanašajo na pregled napeljave ter pospravljanje in odstranjevanje naprav in orodja.

5.5.1 Zaključna dela pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo

Zaključna dela pri podvrtavanju s pnevmatsko iglo niso obsežna, saj je naprav in orodja malo.

Tabela 5.10: Dejavnosti, čas in stroški podvrtavanja s pnevmatsko iglo v fazi zaključnih del

Dejavnost	Čas	Stroški
Pospravljanje in odvoz opreme in orodja	2 h	50 €
Skupaj	2 h	50 €

Vir: lasten

5.5.2 Zaključna dela pri radijsko vodenem podvrtavanju

Zaključna dela pri radijsko vodenem podvrtavanju so obsežnejša, saj tehnologija zahteva več naprav in orodij, poleg vrtalne garniture tudi mešalne, brizgalne in čistile naprave za mešanje, dovajanje in čiščenje vrtalne tekočine.

Tabela 5.11: Dejavnosti, čas in stroški radijsko vodenega podvrtavanja v fazi zaključnih del

Dejavnost	Čas	Stroški
Pospravljanje in odvoz opreme in orodja	8 h	250 €
Skupaj	8 h	250 €

Vir: lasten

5.5.3 Primerjava

Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi zaključnih del kaže na večjo ekonomičnost podvrtavanja s pnevmatsko iglo.

Tabela 5.12: Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo ter radijsko vodenega podvrtavanja v fazi zaključnih del

	Podvrtavanje s pnevmatsko iglo	Radijsko vodenopodvrtavanje
Čas	2 h	8 h
Stroški	50 €	250 €

Vir: lasten

5.6 Končni izračuni

Primerjava skupnega časa in skupnih stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo in radijsko vodenega podvrtavanja na izbranem primeru kaže, da je radijsko vodenopodvrtavanje kljub načeloma dražjemu postopku bolj ekonomična alternativa. Podvrtavanje s pnevmatsko iglo v danem primeru ni najprimernejša izbira, saj je potrebno povdrtavanje dolge in širše vrtine, za katero so primernejše naprednejše tehnologije. Rezultati s tem ne potrjujejo prve hipoteze diplomskega dela (H1), da je podvrtavanje s pnevmatsko iglo za 50 % stroškovno ugodnejše od radijsko usmerjenega podvrtavanja.

Tabela 5.13: Primerjava časa in stroškov podvrtavanja s pnevmatsko iglo in radijsko vodenega podvrtavanja

	Podvrtavanje s pnevmatsko iglo	Radijsko vodenopodvrtavanje
Skupni čas	64 ur	48 ur
Skupni stroški	10.845 €	8.785 €

Vir: lasten

Primerjava podvrtavanja s pnevmatsko iglo in radijsko usmerjenega podvrtavanja tudi kaže, da na natančnost tehnologije pomembno vplivajo pogoji dela. Če pnevmatska igla na vrtalni liniji ne naleti na večje ovire, ne prihaja do večjih odklonov. Odkloni so tako odvisni predvsem od vsebine zemljine, s čimer podatki ne potrjujejo druge hipoteze (H2), da je podvrtavanje s pnevmatsko iglo za 30 % manj natančno od radijsko usmerjenega podvrtavanja. Primerjalni pregled obeh tehnologij nadalje odkriva, da lahko radijsko vodenje uporabljamo za vodenje različnih orodij in da je kapaciteta vrtanja odvisna od uporabljene tehnologije vrtanja, a ne od tehnologije radijskega vodenja samega. S tem ni mogoče potrditi

tretje hipoteze (H3), da je radijsko voden podvrtavanje možno izvesti v zemljinah, ki so za 30 % trdnjše od tistih, ki jih je možno prebijati s pnevmatsko iglo.

6 POTENCIAL VPLIVA RADIJSKO VODENEGA PODVRTAVANJA NA SODOBNE METODE GRADNJE ZA KONTINUIRANO SPREMINJANJE INDUSTRIJE

Radijsko vodenno podvrtavanje predstavlja način gradnje brez izkopavanja, ki se uporablja za vgradnjo večjih infrastrukturnih elementov pod zemljo brez poseganja v procese in objekte na površini. Vrtalno napravo po vnaprej pripravljenem načrtu poti sprožimo z enega konca vrtine in jo pošljemo na drugi konec, medtem jo nadzorujemo ali tudi usmerjamo z radijskim vodenjem. Razen mesta vhoda in izhoda vrtalne naprave ter priprave okoljskega prostora za uporabo strojev celoten postopek poteka pod zemljo, medtem ko radijsko vodenje omogoča nadzor realizacije in usmerjanje vrtalnih strojev večjih kapacitet. Radijsko vodenno podvrtavanje postaja tako pomembna alternativna izbira običajnim metodam polaganja infrastrukture, ki zahtevajo odpiranje zemeljske površine do globine vgradnje za celotno infrastrukturno traso in tudi tehnologijam podvrtavanja z manjšimi kapacitetami. Tehnologija je primerna za uporabo v večjih projektih, kjer se je bodisi treba izogibati izkopavanju, na primer pod železnicami, nasipi, avtocestami, ali izkopavanje niti ni mogoče, na primer pod jezери in rekami. Z napredno tehnologijo krmiljenja je tako mogoče namestiti tudi cevovode pod prometnimi mestnimi ulicami, ne da bi pri tem motili promet in vplivali na družbene procese.

Začetke razvoja tehnologije radijsko vodenega podvrtavanja lahko zasledimo že na začetku 20. stoletja z odkritjem, da je prihajalo pri navidezno navpičnih izvrtinah do odmikov do 50 stopinj. Leta 1926 so žiroskopi začeli meriti naklon vrtin in azimut in pojavili so se magnetni instrumenti, ki so lahko merili naklon kot smer vrtnja. S tem se je začela doba nadzorovanega usmerjenega vrtnja, ki je bilo natančnejše in ga je bilo mogoče namerno usmerjati. V zgodnjih 60. letih so se pojavile prve osnovne in lahke samostojne vrtalne naprave, v osemdesetih letih je bila razvita krmilna tehnologija, ki je spodbudila hiter razvoj vodenega vrtnja z možnostjo realizacije srednje velikih do zelo velikih projektov (Willoughby, 2005). Danes predstavlja radijsko vodenno vrtenje zlati standard večjih projektov, saj ima minimalni učinek na okolje in je izjemno učinkovita metoda v okoljsko občutljivih območjih, kot so barja, reke, izlivi rek, jezera ipd. Gre za hitro in natančno

metodo, ki operaterjem omogoča doseganje visoke natančnosti, tudi če so poti vrtin zapletene. Neprekinjeno spremljanje in nadzor med delovanjem operaterju omogočata krmarjenje v razmeroma omejenem prostoru med različnimi ovirami in že nameščeno infrastrukturo. Vrtanje je mogoče izvajati na večjih globinah in v celoti obiti obstoječe ovire gospodarske javne službe, saj realizacija zahteva le en vhodni jašek na vstopni točki in en izhodni jašek na izstopni točki (Mishra, 2013).

Prikaz študije primera podvrtavanja s pnevmatsko iglo in radijsko vodeno tehnologijo kaže pomemben prispevek novih tehnologij na kapacitete gradbene industrije. Predstavljeni primer se nanaša na posodobitev izbranega odseka okrog 10 km vodne infrastrukture, ki poteka ob vodnem svetu in zahteva podvrtavanje pod vodnim tokom. Čeprav gre za majhen vodni tok s pretokom $10,3 \text{ m}^3/\text{s}$, se preboj s preprosto in ekonomično tehnologijo pnevmatske igle kaže kot manj ekonomičen od naprednejšega, in sicer dražjega preboja z radijsko vodenim podvrtavanjem. Čeprav radijsko vodeno podvrtavanje zahteva veliko dražjo opremo in višjo usposobljenost izvajalcev, v izbranem primeru povrtavanja predstavlja stroškovno učinkovito alternativo zaradi večjih potreb vrtine. Potrebna globina vrtine zahteva v primeru podvrtavanja s pnevmatsko iglo izkop izjemno globokih gradbenih jam, potrebna dolžina dolg čas vrtanja in potrebna širina vrtine dvojno vrtino. V praksi izbira tehnologije pnevmatske igle za konkretni primer podvrtavanja ni le neracionalna, ampak zaradi nesorazmerno visokih stroškov in časa izvedbe tudi neizvedljiva. Rezultati primerjalne analize s tem kažejo, da uvedba novih tehnologij prinaša rešitve za primere, ki jih s starejšo tehnologijo ni mogoče realizirati. S tem zagotavlja rešitve za realizacijo prej neizvedljivih projektov ter bolj optimalne rešitve v primerih večjih in kompleksnejših projektov.

Radijsko vodeno podvrtavanje omogoča predvsem horizontalno in vertikalno ukrivljeno podvrtavanje, kar zmanjšuje potrebo po izkopu gradbenih jam in omogoča usmerjanje vrtine okoli morebitnih ovir. Z radijsko vodenim podvrtavanjem lahko tako umeščamo infrastrukturne elemente v zemljino z naravnimi ovirami, ki sekajo ravno pot vrtine, in tudi znotraj že obstoječih infrastrukturnih elementov. Radijsko vodenje pri tem zagotavlja nadzor nad vrtno glavo, da ne zaide bodisi v naravne ovire bodisi v že obstoječo infrastrukturo, kar bi lahko povzročilo poškodbo opreme ali poškodbo naravnih elementov oziroma že obstoječe infrastrukture. Ukrivljena vrtina radijskega vodenja poleg tega skrajša pot napeljave, medtem ko radijsko vodenje zagotavlja pregled nad nastajanjem vrtine v realnem času, kar je še posebej pomembno pri daljših vrtinah skozi kompleksno zemljino. Preprostejši preboji s

pnevmatsko iglo ne omogočajo nadzora nad nastajanjem vrtine in nad pozicijo orodja med vrtanjem, prav tako zagotavljajo zgolj možnost linijske vrtine. Radijsko vodeno podvrtavanje s tem bistveno razširja možnosti vgradnje podtalne infrastrukture, in sicer tako na ravni velikosti projektov kot na ravni zahtevnosti z vidika poteka vrtine.

Svetovni trg radijsko vodenega podvrtavanja je bil leta 2020 ocenjen na več kot 8 milijard ameriških dolarjev in bo do leta 2028 predvidoma rasel s skupno letno stopnjo 6,7 %. Pomembno k vse večji uporabi radijsko vodenega podvrtavanja prispevajo naraščajoča skrb glede posegov v okolje in potrebe po čim manjši okoljski škodi, ki jo povzroča hiter razvoj infrastrukture po vsem svetu. Radijsko vodeno podvrtavanje zagotavlja razvoj gradbene industrije v smeri okolju prijaznejših metod, ki ustvarjajo manj odpadkov in manj invazivnih posegov. Nekateri drugi dejavniki, ki prispevajo k hitremu razvoju in rasti radijsko vodenega podvrtavanja, so rast komunalnih naprav, rastoče naložbe v projekte razvoja plina iz skrilavca in naraščajoči izdatki, namenjeni različnim razvojem v telekomunikacijskem sektorju, ki ponujajo hitro povezljivost. Možnosti rasti te tehnologije v gradbeni industriji so predmet velikih naložb, saj je oprema, ki je potrebna za vrtanje, veliko dražja in kompleksnejša od opreme preprostejših metod, kot je npr. podvrtavanje s pnevmatsko iglo. Izkušnje iz preteklosti in sedanjosti ter projekcije prihodnosti kažejo, da se bodo investicije v razvoj in poslovanje na tem področju obratovale še z večjimi faktorji.

Pomembne priložnosti za nadaljnji razvoj tehnologije radijsko vodenega podvrtavanja ponujajo sodobne digitalne tehnologije, vključno s 3D-vizualizacijo, 3D-modeli zemlje in avtomatizacijo, ki bodo omogočile še hitrejšo implementacijo, še večje zmanjšanje hrupa in odpadkov ter večje dostopnosti pod zemljo. Te tehnologije inženirjem, geoznanstvenikom in drugim strokovnjakom omogočajo natančnejšo vizualizacijo in optimizacijo stopnje penetracije in poti vrtine. Splošni tehnološki napredek tako spodbuja nadaljnji razvoj metode in zagotavlja, da radijsko vodeno vrtanje dosega vse pomembnejši položaj tudi pri vrtanju na naftnih poljih, pri raziskovanju obnovljivih plinov in pri nameščanju optičnih vlaken na dolge razdalje ter na lokacijah na morju. S tem gradbeni industriji ponuja pomembne možnosti okoljsko in gospodarsko ekonomičnih realizacij vse zahtevnejših projektov.

7 SKLEP

Gradnja in obnova infrastrukture zagotavlja nemoteno delovanje številnih družbenih procesov. Velik del vodov, kot so električne, komunikacijske, vodne, kanalizacijske napeljave, se pri tem vgrajuje pod površino. Tako pri instalacijah kot pri prenovah takšna infrastruktura zahteva odločitev glede dostopanja do mesta instalacije. Medtem ko standardni posegi z izkopavanji pri tem pogosto invazivno spreminjajo okolje in lahko ovirajo običajno delovanje uporabe lokacije, sodobnejše tehnologije omogočajo neposredno podzemno delo, ki ne zahteva sprememb na površju. V ta namen se razvija vse več tehnologij podvrtavanja, ki zagotavljajo različne funkcionalnosti za različne vrste in zahtevnosti izkopov. Med preprostejšimi alternativami urejanja podzemne infrastrukture je podvrtavanje s pnevmatsko iglo, medtem ko radijsko vodeno povrtavanje predstavlja zahtevnejši pristop, ki zagotavlja več funkcionalnosti. Pri vsakokratnem odločanju med alternativnimi tehnologijami je pomembno, da pretehtamo vse aktualne prednosti in slabosti alternativnih tehnologij za konkretni primer projekta.

Preboj s pnevmatsko iglo je običajno v rabi pri manjših in preprostejših projektih, kot je ustvarjanje krajših prehodnih vrtin različnih tipov infrastruktur. Metoda ni natančna ter ni primerna za daljše in širše vrtine ali vrtine večjih naklonov, vendar je ekonomična in ne zahteva napredne opreme. Za izvedbo vrtine s prebojem izvedemo izkop vertikalnega jaška oziroma gradbene jame na mestu vstopa in izstopa, v vhodno gradbeno jamo namestimo posteljico igle in iglo pošljemo proti izhodni gradbeni jami. Najprej lahko izvedemo pilotno vrtino, nato iglo skozi vrtino pošljemo vnovič za namen širjenja in z zadnjim vrtanjem uvlečemo elemente infrastrukture. Če potrebujemo daljšo, širšo, neravno vrtino, ki vodi skozi zemljine višjih stopenj, lahko uporabimo tehnologijo radijsko usmerjenega vrtanja. Ključna komponenta tehnologije je komunikacijska naprava, ki vodi in nadzira pot vrtalne naprave, medtem ko je vrtalna glava lahko večja in ima bistveno večje kapacitete. Z razvojem tehnologije imamo na razpolago vse več različnih tipov vrtalnih strojev, npr. za mokre in suhe metode vrtanja. Postopek radijskega vrtanja zahteva obsežnejše priprave, naprednejšo opremo in kompleksnejše znanje dela s tehnologijami. Tudi v primeru vrtanja z radijskim vodenjem izvedemo pilotno vrtino, ki jo nato s ponavljanjem vrtanja širimo in nazadnje uvlečemo element infrastrukture.

Namen diplomskega dela je bil z različnih vidikov in na konkretnem praktičnem primeru primerjati podvrtavanje s pnevmatsko iglo v primerjavi z radijsko vodenim podvrtavanjem. Za primerjalno analizo smo izbrali projekt napeljevanja vodovoda pod vodotokom, za katerega smo dostopali do dokumentacije in posebnosti del. Primerjava podvrtavanja s pnevmatsko iglo v primerjavi z radijsko vodenim podvrtavanjem na praktičnem primeru kaže, da je izbira tehnologije odvisna od posebnosti projekta. Medtem ko je podvrtavanje s pnevmatsko iglo bolj ekonomično, ni primerno za zahtevnejše projekte, ki zahtevajo daljše in neravne preboje v večjih globinah. Podvrtavanje s pnevmatsko iglo omogoča izdelavo krajše in manjše horizontalne vrtine, v katero ni mogoče napeljati večjih cevi. V primeru podvrtavanja večjih naravnih ali umetnih ovir lahko podvrtavanje s pnevmatsko iglo zahteva preglobok izkop gradbene jame, zaradi česar postopek ni ekonomsko upravičen ali je v praksi celo neizvedljiv. Radijsko vodeno podvrtavanje nasprotno omogoča horizontalne ali vertikalne zaokrožitve vrtine, kar dovoljuje podvrtavanje s plitkejšo gradbene jame ali celo brez nje. Tehnologija omogoča tudi izgradnjo širše in veliko daljše vrtine. Za radijsko vodeno podvrtavanje pri tem potrebujemo naprednejšo tehnologijo, ki zajema računalniško podporo, radijski sistem vodenja, pilotno vrtanje, zmogljivejše vrtalne naprave, vključno z mešalnimi in čistilnimi sistemi.

Kot vodilo pri doseganju namena smo zastavili tri hipoteze. Primerjalna analiza prve hipoteze, da je podvrtavanje s pnevmatsko iglo za 50 % stroškovno ugodnejše od radijsko usmerjenega podvrtavanja, ne potrjuje. Rezultati primerjalne analize na izbranem primeru kažejo, da je stroškovno ugodnejša tehnološka alternativa v veliki meri odvisna od projekta. Čeprav je podvrtavanje s pnevmatsko iglo samo po sebi ugodnejše, morda uporaba te tehnologije v večjih in kompleksnih projektih ni ekonomsko upravičena. Pri projektih, ki zahtevajo večje kapacitete vrtanja, je bolj ekonomično uporabiti sicer dražjo tehnologijo, saj ne zahteva izvedbe dodatnih obsežnih gradbenih del in zahteva manj časa. Tudi druge hipoteze, da je podvrtavanje s pnevmatsko iglo za 30 % manj natančno od radijsko usmerjenega podvrtavanja, podatki primerjalne analize ne potrjujejo. Na natančnost tehnologije pomembno vplivajo pogoji dela, in če pnevmatska igla na vrtalni liniji ne naleti na večje ovire, ne prihaja do večjih odklonov. Odkloni so tako odvisni predvsem od vsebine zemljine. Tudi tretje hipoteze, da je radijsko vodeno podvrtavanje možno izvesti v zemljinah, ki so za 30 % trdnjše od tistih, ki jih je možno prebijati s pnevmatsko iglo, ne potrjujemo. Pregled tehnologij kaže, da lahko radijsko vodenje uporabljamo za vodenje različnih orodij in da je

kapaciteta vrtanja odvisna od uporabljene tehnologije vrtanja, ne od tehnologije radijskega vodenja.

Rezultati primerjave različnih tehnologij podvrtavanja kažejo predvsem na veliko odvisnost ekonomičnosti od konkretnih okoliščin, zaradi česar je treba pri načrtovanju projektov veliko pozornosti nameniti izbiri najprimernejše metode za konkretni primer. Različne alternative podvrtavanja nadalje niso čiste kategorije, saj je kapaciteta posamezne tehnologije odvisna od uporabljenih orodij in delovnih pristopov, ki se lahko med seboj razlikujejo in kombinirajo. Tehnologije, ki so primerne za manjše in preprostejše projekte, pri velikih projektih zahtevajo dodatna dela in čas, zaradi katerih postanejo manj ekonomična. Zahtevnejše tehnologije z večjimi kapacitetami nasprotno niso ekonomične pri manjših projektih, zaradi česar lahko v prihodnosti predvidevamo nadaljnji razvoj tehnologij podvrtavanja z različnimi kapacitetami.

8 BIBLIOGRAFIJA

- Academia. (18. december 2015). *Gostujoče predavanje sodelavcev časopisa Večer*. Pridobljeno iz Academia Novice: <http://academia.si/novice/gostujoce-predavanje-sodelavcev-casopisa-vecer/>
- Brown, S. A. (2021). Trenchless construction. *SUDAS Design Manual*, 326-245.
- Bučar, F. (2012). *Rojstvo države*. Ljubljana: Didakta.
- Dupuis, D. (2018). Trenchless International. *HDD: Guidance, accuracy and safety*, str. 29-32.
- Fedotoff, R. C. (2018). *Trenchless techniques for pipeline installation, renovation and replacement*. New York: ASCE.
- Hidrosvet. (2013). *Projekt izvedbe del: posodobitev vodovoda Visoko – Škofja Loka*. Ljubljana: Hidrosvet d.o.o.
- Končan, L. (2019). *Vpliv gradnje cevovodov pod prometno infrastrukturo na promet in okolje*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Mishra, A. K. (Julij 2013). Journal of mines, metals and fuel. *Innovative developments in drilling and blasting techniques for rapid excavation of drivages in mines*, str. 194-201.
- Najafi, M. (2005). *Trenchless Technology : Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal*. New York: McGraw-Hill Education.
- Najafi, M. (2010). *Trenchless technology piping: installation and inspection*. New York: McGraw-Hill Education.
- Najafi, M. (2010). *Trenchless technology piping: installation and inspection*. New York: McGraw-Hill Education.
- Pehlivantürk, C. D. (2019). Slide Drilling Guidance System for Directional Drilling Path Optimization. *SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition*. Haag.
- Polak, G. (2021). *Gradnje Polak*. Pridobljeno iz Spletno mesto Gabrijel Polak s.p.: <http://gradnje-polak.com/vrtine/>

- Tatiya, R. R. (2013). *Surface and Underground Excavations Methods, Techniques and Equipment*. New York: CRC Press.
- Tihec, S. (5. Januar 2012). *Varčevanje energije*. Pridobljeno iz Spletno mesto podjetja Ekart marketing, Andrej Ekart s.p.: <https://www.varcevanje-energije.si/napredne-gradbene-resitve/vrtanje-namesto-izkopavanja.html>
- Vilkograd. (2013). *Tehnološki elaborat izvedbe horizontalno usmerjenega vrtanja z uporabo radijskega vodenja: posodobitev vodovoda Visoko – Škofja Loka*. Ljubljana: Vilkograd d.o.o.
- Vilkograd. (2021). Pridobljeno iz Spletno mesto podjetja Vilkograd d.o.o.: <https://www.vilkograd.com/activities/directional-drilling-with-radio-control-hdd-method/horizontal-directional-drilling-with-radio-control/?lang=en>
- Willoughby, D. (2005). *Horizontal directional drilling: utility and pipeline applications*. New York: McGraw-Hill Education.
- Wu, L. W. (15. Februar 2018). Sensors. *Enhanced Automated Guidance System for Horizontal Auger Boring Based on Image Processing*, str. 18(2), 595.

9 PRILOGE

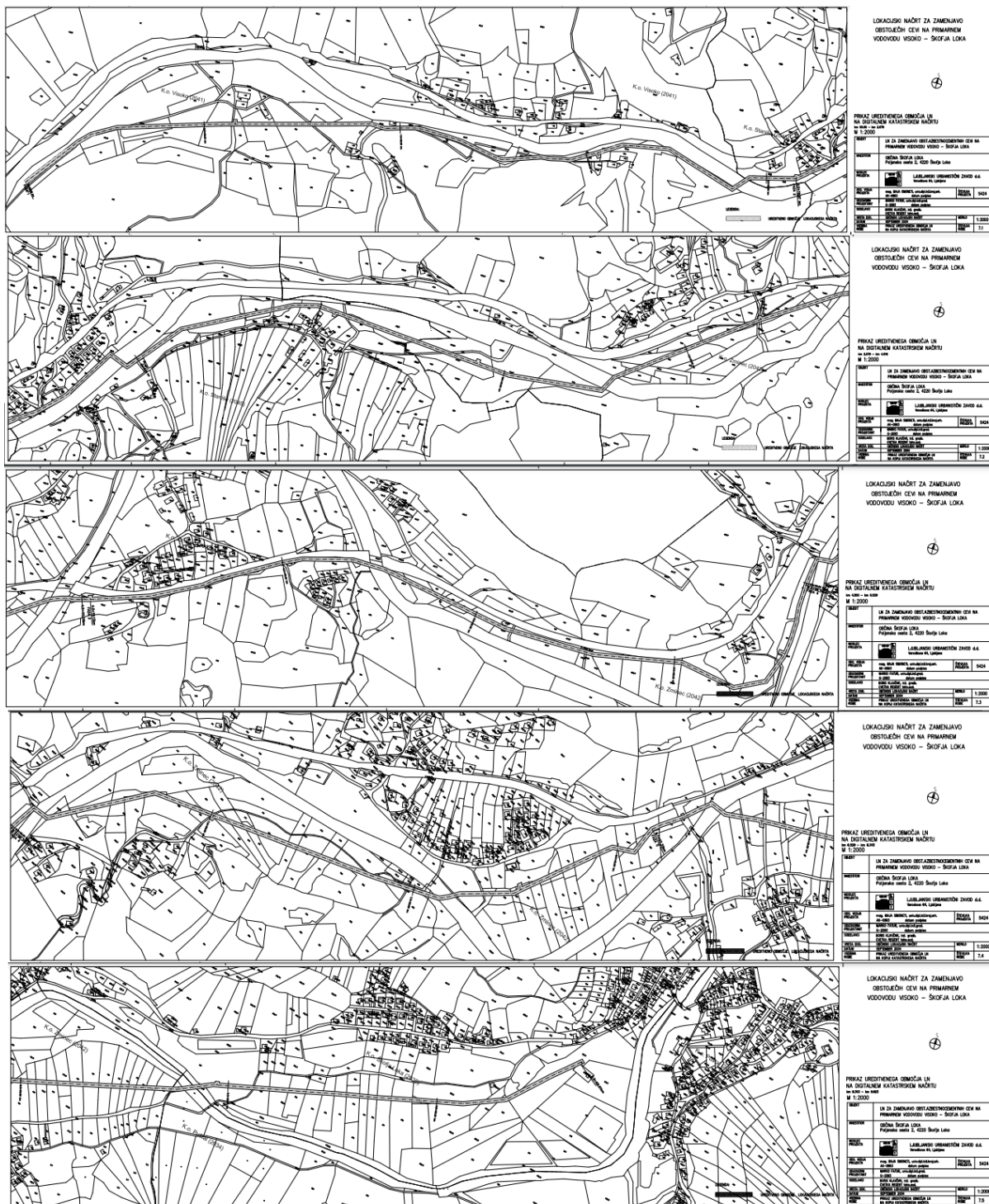
Priloga 1: »Lokacijski načrt za zamenjavo cevi na vodovodu«

Priloga 2: »Opis projektne rešitve v razpisni dokumentaciji«

Priloga 3: »Križanje celotnega vodotoka z vodotoki«

Priloga 4: »Načrt delovišča«

Priloga 1: Lokacijski načrt za zamenjavo cevi na vodovodu



Priloga 2: Opis projektne rešitve v razpisni dokumentaciji

5. OPIS PROJEKTHNIH REŠITEV

Posodobitev vodovoda Visoko – Škofja Loka bo v skupni dolžini 9.592 m.

5.1. CEVOVOD VISOKO – ŠKOFJA LOKA, OPIS TRASE

Trasa novega transportnega vodovoda načeloma sledi obstoječem, z določenimi korekcijami, ki so jih večinoma narekemale zahteve lastnikov zemljišč, po katerih poteka cevovod. Slednja se prične neposredno za združitvenim jaškom v katerem se združijo cevovodi iz črpalnih vrtin Visoko in transportni vodovod iz Trebije oz. Hotovelj in se zaključi s priključkom na že obnovljeni vodovod na koncu Kopališke ulice v Škofji Loki (ob obstoječem vodovodnem jašku). Vmes poteka trasa večinoma po kmetijskih zemljiščih in vodnem svetu (deloma tudi poljskih poteh in lokalnih cestah), izmenoma po levem in desnem bregu reke Sore. Predvideno je 9 križanj Sore. Trasa novega vodovoda bo potekala ob trasi starega v oddaljenosti 2 do 3 m. Pri takem trasnem poteku novega vodovoda se pustijo stare cevi v zemlji, obstoječi vodovod obratuje ves čas gradnje, vse do izvedbe prevezav. Izjema je le odsek, kjer smo utesnjeni v kanjon Sore (cca 80 m od novega mostu čez Soro proti hišni številki Visoko pri Poljanah 4a - dolžina odseka 130 m). Na slednjem je skalnat teren, vodovod pa je mogoče polagati le v traso obstoječega (po makadamski cesti), zato bo potrebno odstraniti stare cevi in jih nadomestiti z novimi.

Na tem odseku je predviden začasni vodovod (provizorij) za oskrbo z vodo za čas gradnje.

Trasa projektiranega vodovoda se odmakne od trase obstoječega vodovoda na odsekih:

- Visoko pri Poljanah od hišne številke 2 proti Loki v dolžini cca 400 m,
- skozi celotno vas Brode, vse do križanja s Soro v dolžini cca 800 m,
- pod Zmincem, hišne številke 24 – 25, do križanja s Soro v dolžini cca 530 m,
- pod Podpulfrco, hišna številka 1a, do Škofje loke, Poljanska cesta 27 v dolžini cca 720 m.

V območju prečkanja Sore se opusti obstoječe cevi za prehode (Mannesman cevi 368x8 mm) in se na mestu prečkanja položi nove PE cevi z zaščitnim plaščem (glej tudi - gradnja vodovodov).

5.2. PREDVIDENA UREDITEV IN DIMENZIJE CEVI

Predvidena je zamenjava obstoječih cevi DN 350 mm z novimi cevmi iz nodularne litine DN 400 mm na celotni trasi, ki je predmet tega razpisa.

Predvideni vodovod nodularna litina DN 400 mm se bo v Visokem povezal z obstoječim transportnim vodovodom ACC DN 350 mm (v PGD-ju Posodobitev vodovoda Hotovlja (Klorirna postaja) –Visoko (1. FAZA), št. proj. 168/11, november 2011, izdelovalca Hidrosvet d.o.o., je predvidena zamenjava s cevmi iz nodularne litine DN 400 mm za del te trase vodovoda) predvidena iz smeri Hotovelj (slednji nastane po združitvi obstoječih cevi ACC DN 250 mm in ACC DN 350 mm neposredno pod Hotovljami cca 980 m pred odsekom, ki je predmet projektne dokumentacije) in nodularna litina DN 300 mm cevovoda iz vrtin Visoko.

Cevovod DN 250 mm prihaja iz vodnega vira Trebija. Vir je kapacitete do 25 l/s, voda občasno kali. Višina zajetja je 457,0 m nad morjem.

Zamenjava obstoječih ACC cevi DN 350 mm z novimi nodularna litina DN 400 mm je predvidena na odseku med Visokim in Škofjo Loko do jaška ob Kopališki Ulici (črpalnišču Viršk, glej še opis trase, podpoglavje 6.1). Od tam dalje se vodovod naveže na obstoječe vodovodno omrežje v Škofji Loki, ki vodi (glavni cevovod) v obstoječi vodohran Kamnitnik (dva vodohrana, manjši 400 m³ in večji 3200 m³).

Vir: Občina Škofja Loka

Priloga 3: Križanje celotnega vodotoka z vodotoki

Projektiran vodovod križa struge vodotokov. Osnovni podatki o križanjih so zbrani v spodnji tabeli.

Križanje z vodotokom	Lokacija križanja med lomnimi točkami vodovoda	Odmik križanja: dno (niveleta) struge – teme vodovoda (cm)	Obdelano v detajlu	Opomba
Krniška grapa	14 - 15	130	5.5.11	
Sora – križanje 1	41 - 45	152	5.5.6	Izkop s podvrtanjem
Sora – križanje 2	59 - 63	155	5.5.6	Izkop s podvrtanjem
Jarek	76 - 77	121	5.5.15	
Hribovska grapa	81 - 82	122	5.5.16	
Močilniška grapa	89 - 91	130	5.5.12	
Sora – križanje 3	95 - 99	150	5.5.7	Izkop s podvrtanjem
Gabrški potok	104	120	5.5.13	
Sora – križanje 4	106 -113	151	5.5.7	Izkop s podvrtanjem
Jarek	129	120	5.5.15	
Sora – križanje 5	139 - 143	156	5.5.8	Izkop s podvrtanjem
Jarek	148	120	5.5.15	
Sora – križanje 6	160 - 164	153	5.5.9	Izkop s podvrtanjem
Sovpat	167	120	5.5.9	Izkop z podvrtanjem
Jarek	175 - 176	121	5.5.15	
Vragovčev graben	180 - 181	121	5.5.14	
Sora – križanje 7	184 - 188	152	5.5.8	Izkop s podvrtanjem
Sora – križanje 8	202 - 206	152	5.5.10	Izkop s podvrtanjem
Sora – križanje 9	210 - 214	154	5.5.10	Izkop s podvrtanjem

Priloga 4: Načrt delovišča

