

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR**

**REKONSTRUKCIJA VODOVODNEGA SISTEMA
IN NJEGOVIH PRIKLJUČKOV NA ČOPOVI
ULICI V CELJU**

Kandidatka: Katja Zdovc

Vrsta študija: študentka izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

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

Mentor v podjetju: Ivan Škorjanc, inž. grad.

Lektorica: Mija Čuk, univ. dipl. spl. jezikosl.

Maribor, 2024

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisana Katja Zdovc sem avtorica diplomskega dela z naslovom Rekonstrukcija vodovodnega sistema in njegovih priključkov na Čopovi ulici v Celju, ki sem ga napisala pod mentorstvom Bojana Dapčeviča.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbela, 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.

Laško, november 2024

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se vsem, ki so mi stali ob strani in me podpirali pri nastajanju diplomskega dela.

Še posebej se zahvaljujem mentorju Bojanu Dapčeviću, somentorju Ivanu Škorjancu in Jožetu Jelencu, ki so mi nudili strokovno podporo, mi dajali dragocene nasvete in bili potrpežljivi skozi celoten proces učenja, kot tudi pisanja diplomskega dela. Posebej se moram zahvaliti podjetju Vodovod-Kanalizacija Celje in Maticu Hriberniku za pomoč pri dobivanju ključnih podatkov za dokončanje diplomskega dela, pa tudi podjetju Coma commerce Maribor za vsesplošno pomoč pri pridobivanju potrebnih informacij.

Veliko zahvalo dolgujem tudi svojim družinskim članom, partnerju in prijateljem, ki so me spodbujali in mi nudili neprecenljivo podporo v času študija. Njihova vera vame, razumevanje in vztrajnost so mi dali motivacijo in moč za uspešen zaključek tega pomembnega poglavja v mojem življenju.

Zahvaljujem se tudi podjetju Brahigradnje, d. o. o., vključno z vsemi sodelavci in strokovnjaki, ki so sodelovali pri izvedbi projekta ter prispevali s svojim znanjem in izkušnjami.

Hvala vsem, ki ste bili del te poti in mi omogočili, da sem uspešno zaključila diplomsko delo.

.

POVZETEK

Rekonstrukcija vsakega projekta, še posebej vodovodnega omrežja, je ključnega pomena zaradi več vidikov, ki neposredno vplivajo na kakovost in zanesljivost oskrbe z vodo. Primarni cilj takšnih projektov je zmanjšanje vodnih izgub, ki nastajajo zaradi dotrajanih cevi in slabih priključkov, ter povečanje zanesljivosti oskrbe z vodo za vse uporabnike. Stari cevovodi in priključki so pogosto izpostavljeni okvaram, puščanju in uhajanju, kar prinaša nepotrebne stroške vzdrževanja, hkrati pa zmanjšuje učinkovitost celotnega sistema.

Ta specifičen projekt rekonstrukcije je vključeval celovito zamenjavo dotrajanih cevi z novimi, naprednejšimi materiali, ki so znani po boljših mehanskih lastnostih in večji odpornosti na korozijo. Z uvajanjem sodobnih materialov, kot so polietilenske cevi, se znatno podaljša življenjska doba cevovodov in zmanjša pogostost okvar. Poleg tega je bila v raziskavo vključena tudi uporaba naprednih tehnologij, kot so kontrolni merilniki, ki omogočajo natančnejše spremljanje porabe vode in hitrejša zaznavanje morebitnih puščanj. Takšna tehnologija omogoča boljše upravljanje omrežja, kar prispeva k trajnostnemu zmanjšanju vodnih izgub, ki so vedno večji problem ob naraščajočih okoljskih izzivih in pomanjkanju vodnih virov.

Poleg povečane učinkovitosti je rekonstrukcija izboljšala tudi kakovost oskrbe z vodo. Z novimi cevmi, ki so odporne na zunanje vplive in kontaminacijo, je zmanjšana možnost onesnaženja vode, kar izboljšuje varnost in kakovost za vse uporabnike.

Rekonstrukcija je poleg tega vključevala tudi posodobitev priključkov za več stanovanjskih objektov in prestavitev merilnikov porabe vode v zunanje jaške. To ne samo omogoča lažji dostop do merilnikov za vzdrževanje, ampak tudi boljši nadzor nad porabo vode. Takšna organizacija prispeva k boljšemu upravljanju in optimizaciji sistema na ravni posameznih stavb. Ta projekt poudarja pomen pravilne izbire materialov in tehnologij pri rekonstrukciji vodovodnih sistemov. Dolgoročno bo projekt prinesel večjo trajnost in učinkovitost celotnega vodovodnega omrežja v Celju, s tem pa boljšo in bolj zanesljivo oskrbo z vodo. Zmanjšani stroški vzdrževanja in učinkovitejša uporaba virov prispevajo k večji okoljski odgovornosti in krepitvi trajnostnega razvoja na področju oskrbe z vodo.

Ključne besede: rekonstrukcija vodovoda, vodne izgube, pametni merilniki, trajnostno upravljanje, kakovost vode.

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF THE WATER SUPPLY SYSTEM AND IT'S CONNECTIONS ON ČOPOVA STREET IN CELJE

The reconstruction of any project, particularly of water supply networks, is crucial for multiple reasons, directly impacting the quality and reliability of water supply. The primary goal of such projects is to reduce water losses that occur due to old, deteriorated pipes and faulty connections, and to improve the reliability of the water supply for all users. Old pipelines and connections are often prone to failures, leaks, and ruptures, leading to unnecessary maintenance costs while also decreasing the overall efficiency of the system.

This specific reconstruction project involved the comprehensive replacement of deteriorated pipes with modern, advanced materials known for better mechanical properties and higher resistance to corrosion. In addition to upgrading materials, the introduction of advanced technologies, such as control meters, allows for more precise monitoring of water consumption and quicker detection of leaks. This technology enables better network management and contributes to the sustainable reduction of water losses, which is becoming increasingly important in the face of growing environmental challenges and water shortages.

Beyond improved efficiency, the reconstruction also enhanced the quality of water supply. With new pipes resistant to external influences and contamination, the risk of water contamination is minimized, improving the safety and quality of water for all users.

The reconstruction also included the modernization of connections to several residential buildings and the relocation of water consumption meters to external shafts. This change not only facilitates easier access to the meters for maintenance but also provides better control over water consumption. Such an organizational improvement contributes to better management and optimization of the system at the individual building level.

This project highlights the importance of choosing the right materials and technologies when reconstructing water supply systems. In the long run, it will contribute to greater sustainability and efficiency of the entire water supply network in Celje, ensuring a better and more reliable water supply. Reduced maintenance costs and more efficient use of resources will enhance environmental responsibility and support sustainable development in the field of water management.

Keywords: Water Supply Reconstruction, water losses, smart meters, sustainable management, water quality.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	11
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	12
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	12
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	13
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	13
2	DELO V PROJEKTNI SKUPINI	14
3	ZGODOVINA VODOVODNIH OMREŽIJ NA CELJSKEM	17
4	STANJE VODOVODNIH SISTEMOV NA CELJSKEM	20
5	ŠTUDIJA PRIMERA	27
5.1	PREDSTAVITEV PRIMERA IZ PRAKSE	27
5.2	OCENA USPEŠNOSTI PROJEKTA	37
6	GRADNJA VODOVODNEGA OMREŽJA	41
6.1	IZBIRA USTREZNIH MATERIALOV CEVI	41
6.1.1	<i>Cevi iz nodularne litine (NL)</i>	<i>41</i>
6.1.2	<i>Polietilenske (PE) cevi</i>	<i>45</i>
6.1.3	<i>Primerjava različnih cevi</i>	<i>50</i>
6.2	DIMENZIONIRANJE VODOVODA	52
6.3	PRIPRAVA TERENA IN IZVEDBA IZKOPOV	55
6.4	POLAGANJE CEVI IN NAMESTITEV SESTAVNIH ELEMENTOV	56
7	IMPLEMENTACIJA VODOVODNEGA SISTEMA	62
7.1	TESTIRANJE IN ZAGON SISTEMA	62
7.2	IZVEDBA PRIKLJUČITEV KONČNIH UPORABNIKOV	64
8	HIPOTEZA 4 - TEHNOLOŠKA OPTIMIZACIJA VODOVODA	65
9	SKLEPI	71
10	VIRI IN LITERATURA	73
11	PRILOGE	75

KAZALO SLIK

SLIKA 1: MONTAŽNA SHEMA PREVEZAVE NA LJUBLJANSKI CESTI	14
SLIKA 2: PRIMER Približne razporeditve starih zasunov s 4 pritrdilnimi vijaki	15
SLIKA 3: PRIMER NOVEGA ZASUNA Z 8 PRITRDILNIMI VIJAKI	15
SLIKA 4: PRIMER FAZONskega ELEMENTA Z VRTLJIVO PRIROBNICO.....	16
SLIKA 5: Rimska keramična cev	17
SLIKA 6: OBSTOJEČE VODOVODNO OMREŽJE V CELJU IN OKOLICI.....	21
SLIKA 7: NAVEZAVA NA OBSTOJEČI CEVOVOD NA LJUBLJANSKI CESTI	27
SLIKA 8: PROJEKTIRAN NAČRT REKONSTRUKCIJE VODOVODA	28
SLIKA 9: PRIMER VGRAJENIH FAZONskih ELEMENTOV	30
SLIKA 10: PRIMER NAVRTAV NA SEKUNDARNEM VODOVODU ZA IZVEDBO HIŠNIH PRIKLJUČKOV	32
SLIKA 11: PRIMER VGRAJENEGA VODOMERNEGA JAŠKA ZA HIŠNI PRIKLJUČEK.....	32
SLIKA 12: LOKACIJA IN IZGLED VODOMERNEGA MERILCA PRED OBNOVO	33
SLIKA 13: MONTAŽNA SHEMA VODOMERNEGA JAŠKA DN50 NA ČOPOVI ULICI.....	33
SLIKA 14: HIŠNI PRIKLJUČEK V NOTRANJOSTI OBJEKTA PO OBNOVI	34
SLIKA 15: VGRAJENI ELEMENTI V VODOMERNEM JAŠKU DN50 NA ČOPOVI ULICI.....	34
SLIKA 16: VODOVODNO OMREŽJE PRED OBNOVO.....	36
SLIKA 17: VODOVODNO OMREŽJE PO KONČANI REKONSTRUKCIJI	36
SLIKA 18: PRIMER VGRAJENE REPARATURNE SPOJKE NA LOKACIJI PUŠČANJA CEVI	38
SLIKA 19: PREREZ CEVI IZ NODULARNE LITINE	43
SLIKA 20: KLJUČNI ELEMENTI PRI SPAJANJU CEVI IZ NODULARNE LITINE- VRS SPOJ	44
SLIKA 21: PRIMER POLIETILENSKIH (PE100) CEVI	45
SLIKA 22: PRIMERJAVA RC CEVI, GEROFIT R IN GEROFIT REX.....	48
SLIKA 23: PRIMER ELEKTROFUZIJSKEGA VARJENJA NA GRADBIŠČU	49
SLIKA 24: PROFIL POLAGANJA CEVODOVODA	55
SLIKA 25: PRIMER PRIROBIČNEGA ZASUNA	57
SLIKA 26: PRIMER KOLENA Z OBOJČNIM SPOJEM (MMK)	57
SLIKA 27: PRIMER KOLENA S PRIROBNICAMI (FFK Q)	58
SLIKA 28: NADZEMNI HIDRANT	58
SLIKA 29: MULTIJoint SPOJKA- DVOJNA	59
SLIKA 30: MULTIJoint SPOJKA- ENOJNA	59
SLIKA 31: PRIMER VODOMERNEGA JAŠKA-TIP ZAGOŽEN	60
SLIKA 32: AVTOMATSKI ZRAČNIK.....	61

KAZALO TABEL

TABELA 1: INFORMACIJE O VODOVODNIH SISTEMIH PODJETJA VODOVOD-KANALIZACIJA CELJE ZA LETO 2023	22
TABELA 2: PRIKAZ KOLIČIN VODNIH IZGUB.....	25
TABELA 3: PRIKAZ VODNIH IZGUB CELOTNEGA OMREŽJA ZA MESEC MAREC IN NOVEMBER.....	39
TABELA 4: POSPLOŠENA PRIMERJAVA VODNIH IZGUB PRED IN PO OBNOVI ZA OBNOVLJEN ODSEK	40
TABELA 5: LASTNOSTI CEVI IZ NODULARNE LITINE	42
TABELA 6: KARAKTERISTIKA MATERIALA PE100	46
TABELA 7: LASTNOSTI POLIETILENSKIH CEVI (PN 10 IN PN 16).....	47
TABELA 8: PREGLED PODATKOV IZGUBE PRED IN PO VGRADNJI PAMETNIH MERILCEV	69

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: VODNE IZGUBE CELJSKEGA OMREŽJA V LETU 2023	24
GRAFIKON 2: ŠTEVILO OKVAR PO LETIH.....	37
GRAFIKON 3: CENOVNA PRIMERJAVA MATERIALOV V RAZLIČNIH DIMENZIJAH.....	51
GRAFIKON 4: KOLIČINA IZGUBE PRED IN PO UVEDBI PAMETNIH MERILCEV	69

1 UVOD

Voda je že od nekdaj ključna za življenje, zato je z njo treba ravnati racionalno. Vodovodno omrežje je osnovna infrastruktura, ki zagotavlja dostop do čiste pitne vode in s tem bistveno prispeva k zdravju in kakovosti življenja prebivalcev. V današnjem času, ko se soočamo z izzivi, kot so rast prebivalstva, urbanizacija in podnebne spremembe, so načrtovanje, gradnja in vzdrževanje učinkovitih vodovodnih sistemov pomembnejši kot kadar koli prej.

Diplomsko delo se osredotoča na gradnjo oziroma obnovo vodovodnega omrežja, pri čemer bo obravnavalo vse faze projekta, od načrtovanja in izbire materialov do izvedbe in vzdrževanja. Cilj omenjenega dela je zagotoviti celovit pregled nad procesom gradnje vodovodnega omrežja ter identificirati ključne dejavnike, ki vplivajo na uspešnost tovrstnih projektov. Poleg tehničnih vidikov bo delo raziskalo tudi okoljske vplive, ki jih ima ta infrastruktura na lokalno skupnost.

Eden največjih izzivov sodobnih vodovodnih sistemov so vodne izgube in stroški, povezani s popravili. Vodne izgube lahko dosežejo visoke vrednosti, kar vodi do finančnih izgub in neučinkovite porabe virov. Po podatkih Svetovne banke se v povprečju izgubi 25–30 % vode zaradi puščanj in defektov, v Celju pa te številke presegajo celo 40 %. Te izgube povzročajo ne le finančno škodo, temveč tudi okoljske in družbene posledice.

S kakovostnejšimi materiali v vodovodnih sistemih je mogoče zmanjšati pogostost popravil in napak ter povečati učinkovitost omrežja za 20 %. Redno vzdrževanje in obnova starih sistemov lahko v kombinaciji z ustreznim dimenzioniranjem zmanjšata vodne izgube za 10 %. Materiali, kot so cevi iz polietilena in nodularne litine, igrajo pomembno vlogo, pri čemer so polietilenske cevi cenovno bolj dostopne.

V svetu modernizacije in tehnoloških napredkov lahko tudi pri vodovodu sodobna tehnologija, kot so pametni merilniki vode, omogoča natančno spremljanje porabe in hitro zaznavanje napak. To pripomore k zmanjšanju izgub vode in optimizaciji delovanja omrežja za vsaj 20 %. Uporaba teh tehnologij izboljšuje učinkovitost oskrbe z vodo, zmanjšuje stroške vzdrževanja in povečuje zanesljivost sistema.

V diplomskem delu bodo predstavljeni tudi primeri dobre prakse in slabosti projekta na Čopovi ulici v Celju. Tema je izbrana na podlagi pridobljenih izkušenj na področju vodovodnih omrežij. Dosedanje delo v različnih projektih mi je omogočilo vpogled v realne izzive pri upravljanju vodovodnih sistemov. Verjamem, da lahko s to raziskavo prispevam k iskanju rešitev za trajnostno in učinkovito oskrbo s pitno vodo.

Trditve, ki jih bom preverila skozi diplomsko delo, so naslednje:

Hipoteza 1: Implementacija kakovostnejših materialov v vodovodne sisteme zmanjšuje pogosta popravila in napake na sistemu, kar povečuje učinkovitost omrežja za 20 %.

Hipoteza 2: Redno vzdrževanje in obnova starih vodovodnih sistemov z ustreznim dimenzioniranjem zmanjšujeta vodne izgube za 10 %.

Hipoteza 3: Uporaba vodovodnih polietilenskih cevi je v primerjavi z duktilnimi cenejša za vsaj 30 %

Hipoteza 4: Implementacija sodobnih tehnologij v vodovodne sisteme lahko zmanjša vodne izgube za vsaj 20 %.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Področje optimizacije vodovodnih sistemov se osredotoča na izboljšanje učinkovitosti, zanesljivosti in ekonomičnosti pri oskrbi z vodo. Eden glavnih izzivov je starajoča se infrastruktura, ki skupaj z vodnimi izgubami in visokimi stroški vzdrževanja zahteva uvedbo naprednih tehnologij in materialov. Ena izmed ključnih težav je zmanjšanje učinkovitosti sistema, saj pogosta popravila in napake vodijo v motnje oskrbe. Hipoteza, da bi uvedba kakovostnejših materialov, bolj odpornih na korozijo in mehanske poškodbe, povečala učinkovitost za 20 %, je v tej smeri pomemben korak. Drugi izziv predstavlja izguba vode, ki jo povzroča zastarela infrastruktura. Redno vzdrževanje in zamenjava cevi z ustreznim dimenzioniranjem lahko te izgube zmanjšata za približno 10 %, kar pozitivno vpliva na ekonomičnost sistema. Poleg tega je izbira materialov ključna za stroškovno učinkovitost, saj lahko uporaba polietilenskih cevi namesto duktilnih občutno zniža stroške gradnje in vzdrževanja sistemov.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Z raziskavo želim dokazati, da je mogoče z uporabo kakovostnejših materialov in naprednih tehnologij, z optimalnimi pristopi in sistematičnim vzdrževanjem znatno zmanjšati vodne izgube in optimizirati stroške popravila defektov, kar bo prispevalo k boljšemu upravljanju vodovodnih sistemov in trajnostni rabi virov.

1.3 Predpostavke in omejitve

Pri vsakem projektu se srečujemo z morebitnimi omejitvami in predpostavkami, tako tudi izdelava diplomskega dela ni izjema. Izbira specifičnega projekta pomeni, da pridobljenih podatkov ni smiselno posploševati ali neposredno prenesti na druge projekte, saj je vsak projekt specifičen in postavlja različne izzive. Dodatna težava se lahko pojavi zaradi nepripravljenosti nekaterih udeležencev za sodelovanje ter težko dostopnih podatkov zaradi poslovnih skrivnosti vključenih podjetij.

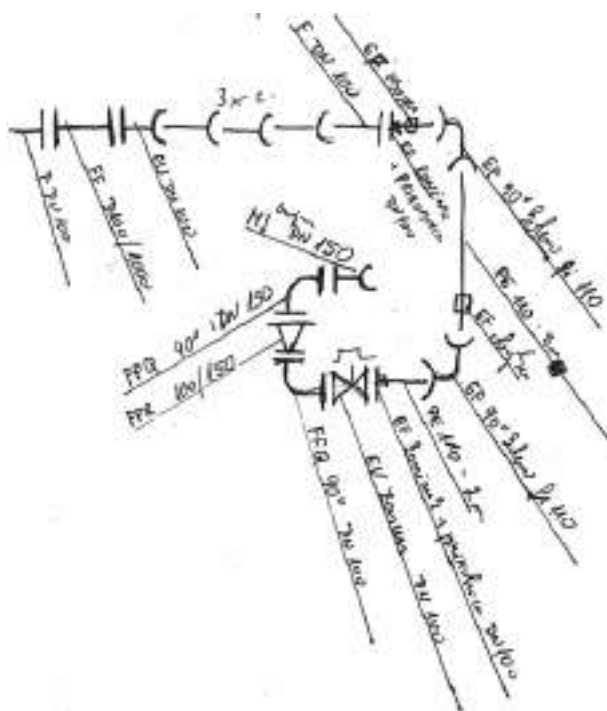
1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Za izdelavo diplomskega dela se bom posluževala tako teoretičnih izhodišč kot tudi raziskovalno-aplikativnih del. Pri pregledu teoretičnih izhodišč se bom posvetila pregledu teoretičnih znanj, konceptov, modelov in metod, ki so relevantni za obravnavano temo. Sem sodijo osnovne definicije, ključni pojmi, pregled literature in predstavitev obstoječih študij ter morebitnih raziskav na tem področju. V raziskovalnem delu bom uporabila metode opazovanja, analize dokumentacije kot tudi študije primerov, vse skupaj bom analizirala, interpretirala rezultate ter izoblikovala zaključek in priporočila.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Pri pripravi diplomskega dela o rekonstrukciji vodovoda sem bila del delovne skupine, kjer so se izražale različne osebnosti in pristopi k delu. Moja vloga v skupini je temeljila na lastnostih, ki izhajajo iz rezultatov Belbinovega testa (Rastlina in Zaključevalec) in Myers-Briggsovega testa osebnosti (INFP).

V skupini smo najprej razdelili vloge, in sicer pri vsakem projektu je treba vključiti koordinatorja, preiskovalca virov, izvajalca in zaključevalca. Specifika rekonstrukcije vodovoda kljub dobro projektiranemu načrtu skoraj vedno zahteva potrebo po spremembah oziroma po dodatnih uskladitvah. Skupaj smo dobro proučili načrt izvedbe rekonstrukcije ter zaradi lažje predstave in pravočasne zagotovitve potrebnega materiala skicirali montažni načrt predvidene izvedbe prevezave na obstoječi vodovod, ki ga vidimo na Sliki 1.



Slika 1: Montažna shema prevezave na Ljubljanski cesti

Vir: (Lastni vir)

Omenjena prevezava je zajemala veliko raziskav, kajti obstoječi cevovod je star in dotrajan. Vgrajeni zasuni pogosto ne delujejo več, kar pomeni, da ne tesnijo. To predstavlja velik izziv pri dejanski prevezavi. Poleg tega so se v preteklosti vgrajevali elementi z drugačnimi specifikacijami oziroma so bili normativi, kar se tiče tlačnih obremenitev materiala. To pomeni,

da so tudi razporeditve pritrdilnih elementov na prirobnici drugače razporejene, kar lahko vidimo na Slikah 2 in 3.

Zaradi omenjene problematike smo se soočili s problemom, kako kljub nefunkcionalnosti ventilov ter neujemanju starih in novih armaturnih elementov izvesti kakovostno in trajnostno prevezavo na omenjenem odseku.



Slika 2: Primer približne razporeditve starih zasunov s štirimi pritrdilnimi vijaki

Vir: (IKA, TRGOVSKO PODJETJE, ŽIRI, D.O.O)



Slika 3: Primer novega zasuna z osmimi pritrdilnimi vijaki

Vir: (PLANTEH, Janez Penko s. p.)

Kot si na podlagi slik lažje predstavljamo, vidimo, da se pripravljene luknje z vijaki nikakor ne ujemajo. Zasuni morajo vedno stati v pokončni legi, saj je na njih vgrajena vgradilna garnitura. Ta se nahaja od vrha zasuna do hodne površine (po navadi so njene dolžine med 0,8 do 2 m). V primeru, da zasun vgradimo pod kotom, bo to onemogočalo pravilno vgradnjo vgradilne garniture za zapiranje in odpiranje zasuna, kot tudi njeno funkcionalnost.

S skupnimi močmi, iskanjem idej in preverjanjem trga glede obstoječih elementov, ki bi nam omogočili izvedbo prevezave, smo našli idejno rešitev, in sicer vgradnjo vmesnega elementa z vrtljivima prirobnicama. Tako smo rešili težavo različnih položajev pritrdilnih elementov.



Slika 4: Primer fazonskega elementa z vrtljivo prirobnico

Vir: (Armex armature d.o.o.)

Ker sem bila opredeljena kot zaključevalec, je bila moja vloga v skupini odgovornost za skrbno preverjanje vseh podrobnosti in zagotavljanje, da je bilo vse delo opravljeno dosledno in natančno. Ko smo skupaj dobili zamisli in različne ideje, sem se posvetila preverjanju le-teh, da so bile vse informacije natančne. Kot skupina pa smo skupaj stremeli k napredku, da smo lahko dosegli vse pomembne roke.

Zame ni bilo pomembno le, da smo opravili nalogo, temveč da smo med seboj vzdrževali dober odnos in razumeli pomembnost projekta za širšo skupnost. Trudila sem se, da bi sodelavci začutili smisel našega dela, ter spodbujala odprt in podporen dialog, kjer smo lahko vsi izrazili svoje ideje in pomisleke. V skupini sem pogosto delovala kot mediator, ko so se pojavila nesoglasja, saj sem naravno usmerjena k iskanju ravnovesja in harmonije v skupinskem delu.

Na koncu so se vse naše lastnosti lepo povezale in prispevale k uspešni izvedbi projekta, tako z inovativnimi predlogi kot tudi z natančno izvedbo nalog in skrbjo za kakovost. Naša vloga je bila ključna pri tem, da smo dosegli vse cilje, obenem pa smo se trudili, da je delo potekalo v prijetnem in konstruktivnem vzdušju.

3 ZGODOVINA VODOVODNIH OMREŽIJ NA CELJSKEM

Rimska Celeia, današnje Celje, je bila pomembno mesto v rimskem imperiju, znano po svoji napredni infrastrukturi, ki je vključevala tudi izpopolnjen vodovodni sistem. Ta sistem je bil ključen za zagotavljanje sveže pitne vode prebivalcem in je bil primer visoke ravni inženiringa, značilnega za rimsko civilizacijo.

Vodovodni sistem v Celeii je bil zasnovan za optimalno oskrbo mesta z vodo. Uporabljene so bile različne vrste cevi, narejene iz kamna oziroma svinca, uporabo keramičnih cevi dokazujejo najdbe iz leta 1947, ko so bile na Trgu mučenikov v Celju najdene omenjene cevi. Že takrat so ugotovili, da se cevi namestijo pod zemljo, zaradi zaščite pred poškodbami in onesnaženjem. Gradnja teh cevi je zahtevala veliko mero načrtovanja in natančno izvedbo, da bi zagotovili nemoten pretok vode.

Celeia je za oskrbo z vodo uporabljala bližnje izvire in reke, verjetno tudi reko Savinjo. Rimljani so bili mojstri gradnje akvaduktov, ki so omogočali transport vode na dolge razdalje. Ti akvadukti so bili zgrajeni tako, da je voda tekla po gravitaciji, kar je omogočalo učinkovit transport brez potrebe po dodatni energiji. Čeprav akvadukti v Celeii niso dokumentirani, je verjetno, da je mesto uporabljalo za dobavo vode podobne strukture.



Slika 5: Rimska keramična cev

Vir: (https://zac.si/wp-content/swift-ai/images/wp-content/uploads/2018/09/IMG_4636-scaled-jpg.webp)

Ko je voda prišla v Celeio, je bila distribuirana po mestu skozi omrežje cevi, vodnjakov in javnih fontan. Javni vodnjaki in fontane so bili dostopni prebivalcem za vsakodnevne potrebe. Poleg tega so bile v mestu terme, ki so služile kot kraji za kopanje in druženje, ter javne kopeli, ki so bile del rimskega življenjskega sloga.

Vodovodni sistem je imel velik vpliv na kakovost življenja v Celeii. Z zagotavljanjem sveže pitne vode je sistem prispeval k javnemu zdravju in preprečevanju bolezni. Prav tako je omogočal razvoj drugih ključnih infrastrukturnih projektov, kot so terme, ki so bile pomembne za socialno življenje in higieno prebivalcev.

Vodovodni sistem rimske Celeie je bil impresivno inženirsko dosežek, ki je omogočal učinkovito oskrbo z vodo in s tem pomembno prispeval k blaginji mesta. Ostanki tega sistema danes nudijo vpogled v napredne tehnike gradnje in upravljanja, ki so bile značilne za rimsko civilizacijo. Celeia tako predstavlja pomemben primer rimske inovativnosti in sposobnosti pri zagotavljanju osnovnih življenjskih potreb skozi napredne infrastrukturne rešitve.

Kljub dosedanjim raziskavam ostanki, ki bi jih lahko povezali z antičnim mestnim vodovodom, še niso bili odkriti. Prebivalci Celeie so bili očitno v veliki meri odvisni od vodnjakov in bližnje reke za oskrbo z vodo. V osrčju mesta so našli le dva rimska vodnjaka. Prvega, okrogle oblike, so leta 1978 izkopali na vogalu Stanetove in Miklošičeve ulice, na dvorišču ob rimski hiši. Ta kamniti vodnjak, ki je črpal podtalnico, je bil v uporabi v 2. in 3. stoletju, v 4. stoletju pa so ga zasuli, ko so hišo obnovili. Drugi vodnjak, prav tako okrogle oblike in zgrajen iz rečnih prodnikov, so odkrili na Gubčevi ulici; bil je v uporabi do 4. stoletja.

Edina večja ohranjena vodovodna infrastruktura je bila odkrita na lokaciji Herkulovega svetišča. Južno od svetišča je bil najden vodnjak, obit z lesenimi deskami, globok približno 16 metrov. Lesene cevi, dolge pet metrov, so povezovale vodnjak s svetiščem in oskrbovale stavbo z vodo. Del sistema je vključeval tudi hrastovo korito, izklesano iz enotnega kosa debla.

Prvi moderni vodovod v Celju je bil zgrajen leta 1896. Do takrat je prebivalstvo mesta uporabljalo predvsem vodo iz reke Savinje in iz lokalnih vodnjakov. Ta vodovod je bil zgrajen predvsem zaradi hitre industrializacije in naraščajočega števila prebivalcev, ki so potrebovali zanesljivo oskrbo z vodo.

Po prvi svetovni vojni je mesto Celje doživelo več pomembnih posodobitev svojega vodovodnega omrežja. V tridesetih letih prejšnjega stoletja je bila zgrajena nova vodovodna infrastruktura, ki je omogočila boljšo in zanesljivejšo oskrbo prebivalcev z vodo.

Obdobje po drugi svetovni vojni je prineslo nadaljnje izboljšave vodovodnega omrežja. Te so vključevale razširitev omrežja in modernizacijo infrastrukture, kar je omogočilo učinkovitejšo oskrbo z vodo in zmanjšanje izgub (Bausovac M., 2018).

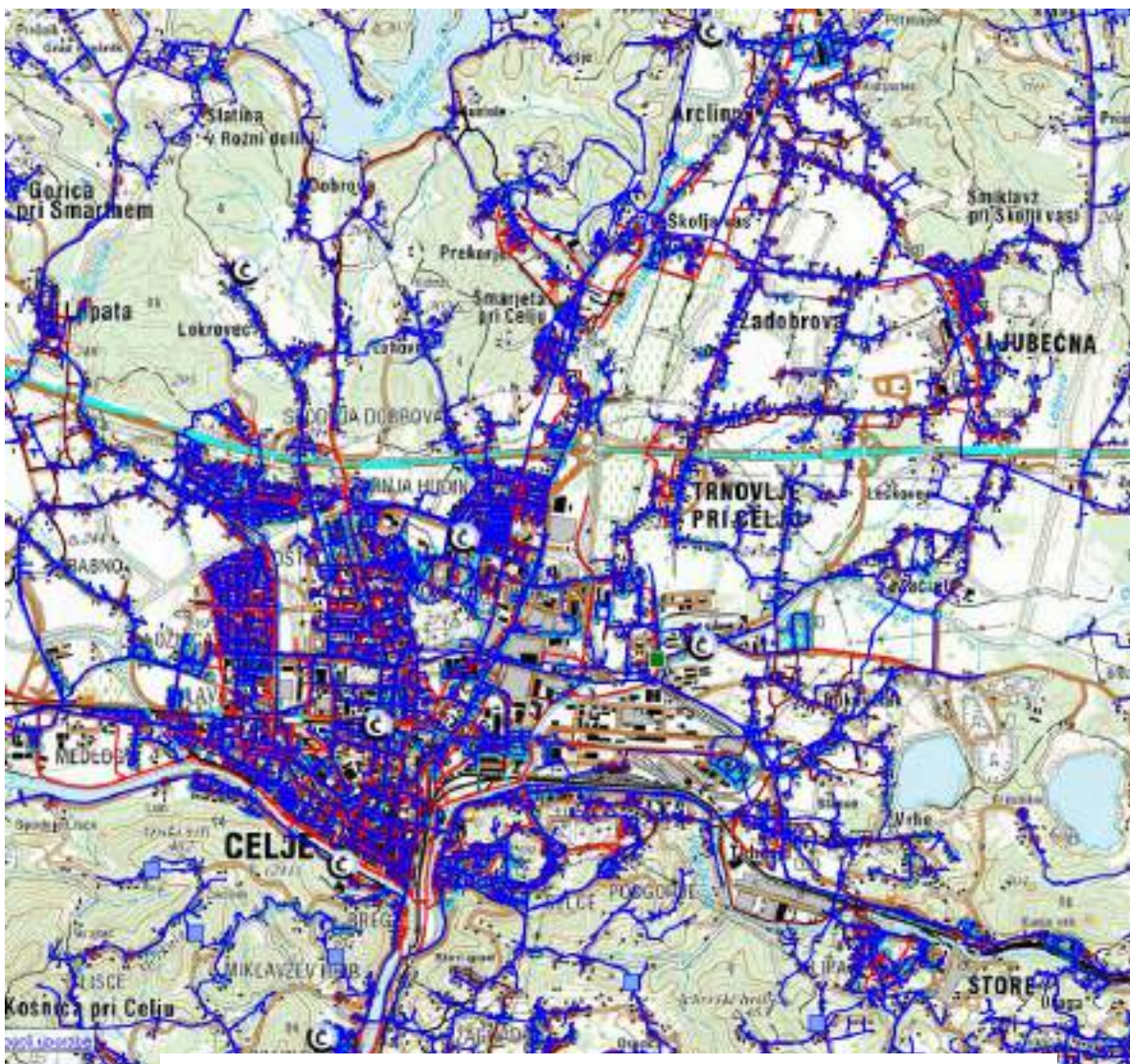
4 STANJE VODOVODNIH SISTEMOV NA CELJSKEM

Na območju Celja za oskrbo s pitno vodo skrbi podjetje Vodovod – kanalizacija Celje. V upravljanju podjetja so vodovodni sistemi, iz katerih se z vodo oskrbuje okoli 60.000 prebivalcev občin Celje, Vojnik, Štore, Žalec, Velenje in Dobrna, manjše količine pitne vode pa prodajo tudi za potrebe občin Šentjur, Slovenske Konjice in Laško.

Do leta 2023 je skupna dolžina vodovodnega omrežja na Celjskem znašala približno 932 km. Primarnega voda je 94 km in sekundarnega voda 602 km. Poleg glavnega vodovoda je na območju tudi 15.494 vodovodnih priključkov s skupno dolžino 227 km. Od lokacij, kjer je možna priključitev na javni vodovodni sistem, je priključenih 95,5 % prebivalcev.

Za zagotavljanje potrebne oskrbe z vodo je na celotnem vodovodnem sistemu zgrajenih 212 objektov za oskrbo z vodo:

- 7 vodnjakov,
- 34 zajetij,
- 9 vodarn,
- 31 črpališč,
- 74 vodohranov,
- 53 razbremenilnikov,
- 2 zbirni komori,
- 2 klorirni postaji.



Slika 6: Obstoječe vodovodno omrežje v Celju in okolici

Vir: (GIS Celje)

Zaradi naraščajočih potreb po porabi vode je pomembno, da so na voljo zadostne količine vode. Težave pa predstavljajo vodne izgube, ki jih lahko izračunamo kot razliko med načrpano in prodano vodo. Trenutno stanje vodovodnega sistema v Celju prikazuje visok odstotek izgubljene vode, kar je razvidno iz Grafikona 1 (VODOVOD KANALIZACIJA CELJE, 2024).

Tabela 1: Informacije o vodovodnih sistemih podjetja Vodovod-Kanalizacija Celje za leto 2023

VODOVODNI SISTEM	oskrbovalno območje	število uporabnikov	distribucija v m ³ /dan	način priprave pitne vode
CELJE	Osrednje oskrbovalno območje	53.881	9720	filtracija, adsorpcija z aktivnim ogljem, UV dezinfekcija, ozonacija, ultrafiltracija, redna dezinfekcija s plinskim klorom, redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Toplica	903	108	ultrafiltracija, adsorpcija z aktivnim ogljem, redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Laška vas - Bojansko	445	53	flokulacija, filtracija, redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Košnica - Tremerje	965	114	redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Svetina	283	33	filtracija, adsorpcija z aktivnim ogljem, redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Beli potok	603	88	ultrafiltracija, redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Kapelca	661	65	redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Lahka peč	128	14	redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
DOBRNA	Hudičev graben - Lanšperg	1.146	307	ultrafiltracija, adsorpcija z aktivnim ogljem, redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
	Parož	729	89	redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom
BRDCE NAD DOBRNO	Brdce	12	4	filtracija, redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom

Vir: (https://www.vo-ka-celje.si/wp-content/uploads/2024/04/Porocilo-o-izvajanju-oskrbe-s-pitno-vodo-in-odvajanju-2023_1.pdf)

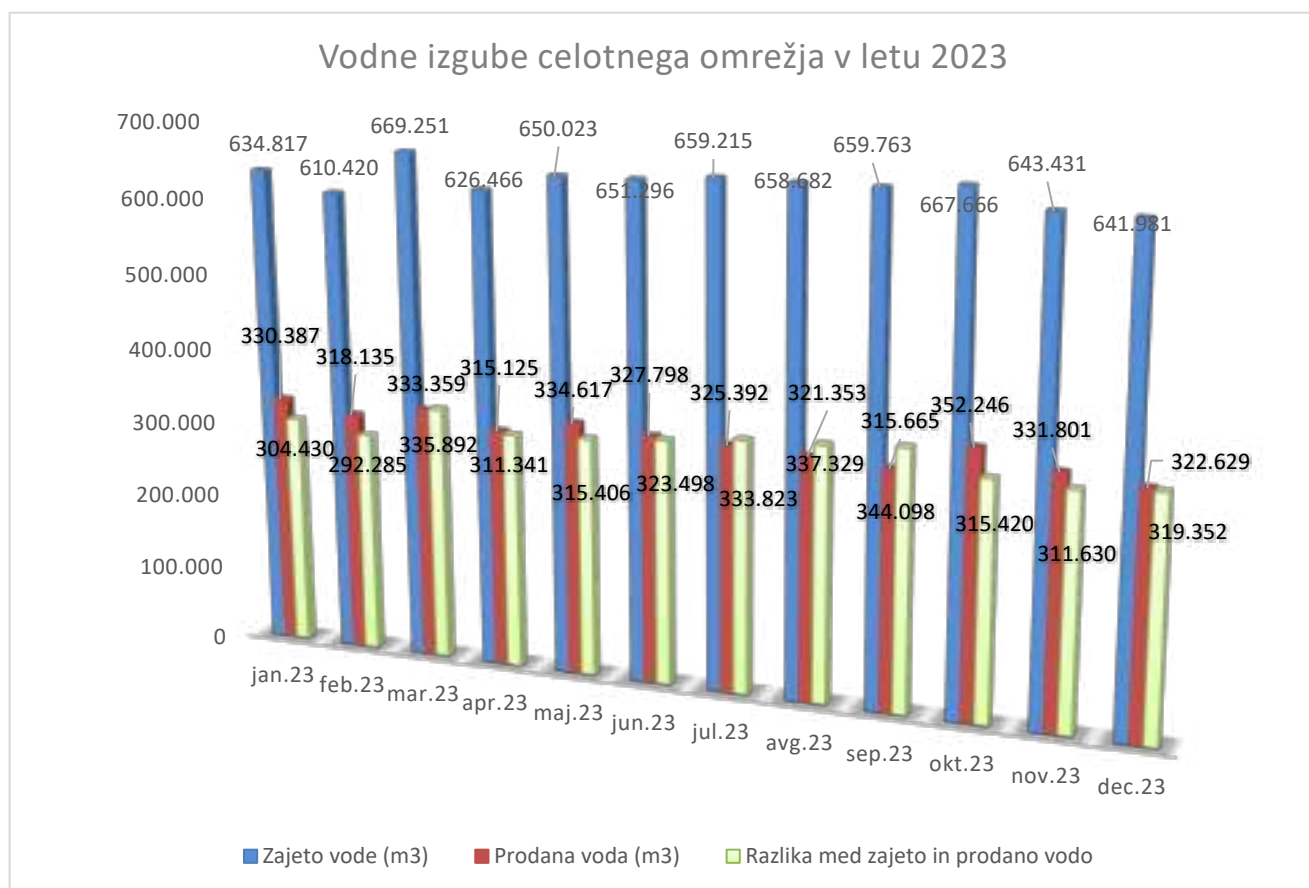
Tabela 1 prikazuje podatke o vodovodnih sistemih in oskrbovalnih območjih, ki jih upravlja podjetje Vodovod-Kanalizacija iz Celja. Med temi sistemi izstopa osrednje oskrbovalno območje Celja, ki z vodo oskrbuje največ uporabnikov, in sicer kar 53.881 ljudi. Povprečna dnevna distribucija v tem območju znaša 9720 m³ vode. Pitna voda se pripravlja z različnimi tehnologijami, vključno s filtracijo, adsorpcijo z aktivnim ogljem, UV-dezinfekcijo,

ozonizacijo in ultrafiltracijo. Redna dezinfekcija se izvaja z uporabo natrijevega hipoklorita in plinskega klora.

Manjši sistemi, kot je vodovodni sistem Toplica, oskrbujejo 903 uporabnikov z 108 m^3 vode na dan, pri čemer uporabljajo ultrafiltracijo in adsorpcijo z aktivnim ogljem za pripravo pitne vode. Podobno vodovodni sistem Laška vas – Bojansko, ki oskrbuje 445 uporabnikov s 53 m^3 vode dnevno, uporablja postopke flokulacije, filtracije in dezinfekcije z natrijevim hipokloritom. Večina manjših sistemov, kot so Košnica – Tremerje, Svetina, Beli potok, Kapelca in Lahka peč, z dnevno distribucijo med 14 in 114 m^3 , uporablja preprosto redno dezinfekcijo z natrijevim hipokloritom.

V vodovodnem sistemu Dobrna sta dve oskrbovalni območji. Hudičev graben – Lanšperg oskrbuje 1146 uporabnikov s 307 m^3 vode na dan, za pripravo pitne vode pa se uporabljajo napredne metode, kot sta ultrafiltracija in adsorpcija z aktivnim ogljem. Podobno se v Parožu, kjer je 729 uporabnikov, distribucija vode izvaja z uporabo redne dezinfekcije z natrijevim hipokloritom. Najmanjši vodovodni sistem Brdce nad Dobrno oskrbuje le 12 uporabnikov, z dnevno distribucijo 4 m^3 vode, pri čemer uporablja filtracijo in redno dezinfekcijo z natrijevim hipokloritom.

Vsi sistemi uporabljajo različne tehnike priprave pitne vode, ki so prilagojene velikosti in potrebam posameznih oskrbovalnih območij, pri čemer se v večini primerov uporablja natrijev hipoklorit kot glavni dezinfekcijski agent (VODOVOD KANALIZACIJA CELJE, 2024).



Grafikon 1: Vodne izgube celjskega omrežja v letu 2023

Vir: (Vodovod kanalizacija Celje)

Tabela 2: Prikaz količin vodnih izgub

	<i>Zajeto vode (m³)</i>	<i>Prodana voda (m³)</i>	<i>Razlika med zajeto in prodano vodo (m³)</i>	<i>Razlika v %</i>	<i>Dejanska izgube na km omrežja na dan (m³)</i>
<i>Jan. 23</i>	634.817	330.387	304.430	47,96	10,32
<i>Feb. 23</i>	610.420	318.135	292.285	47,88	10,96
<i>Mar. 23</i>	669.251	333.359	335.892	50,19	11,42
<i>Apr. 23</i>	626.466	315.125	311.341	49,7	10,93
<i>Maj 23</i>	650.023	334.617	315.406	48,52	10,69
<i>Jun. 23</i>	651.296	327.798	323.498	49,67	11,35
<i>Jul. 23</i>	659.215	325.392	333.823	50,64	11,29
<i>Avg. 23</i>	658.682	321.353	337.329	51,21	11,46
<i>Sep. 23</i>	659.763	315.665	344.098	52,15	12,1
<i>Okt. 23</i>	667.666	352.246	315.420	47,24	10,66
<i>Nov. 23</i>	643.431	331.801	311.630	48,43	10,82
<i>Dec. 23</i>	641.981	322.629	319.352	49,74	10,82

Vir: (Vodovod kanalizacija Celje)

Podatki za leto 2023 prikazujejo zajeto in prodano vodo ter razliko med njima, ki odraža izgube vode v vodovodnem omrežju. Opazimo lahko precejšen razkorak med zajeto in prodano vodo, kar nakazuje na izgube vode v sistemu. Razlika med zajeto in prodano vodo se giblje med 47,24 in 52,15 %, kar pomeni, da je približno polovica zajete vode izgubljena v omrežju. V januarju 2023 je bilo zajetih 634.817 m³ vode, prodanih pa 330.387 m³, kar pomeni, da je bilo izgubljenih 304.430 m³ vode, kar znaša 47,96 %. Najvišja razlika je bila zabeležena v septembru, ko je bilo izgubljenih 52,15 % vode oziroma 344.098 m³. Najnižja izguba je bila v oktobru, ko je razlika znašala 47,24 %, kar pomeni 315.420 m³ izgubljene vode. Poleg tega podatki prikazujejo tudi izgube na kilometer omrežja na dan, ki se gibljejo med 10,32 in 12,1 m³. Najmanjše izgube so bile zabeležene januarja, medtem ko so septembra izgube dosegle najvišjo raven (Vodovod kanalizacija Celje, 2024).

Skupni trend kaže na stabilno količino izgubljene vode skozi celotno leto, s povprečnimi izgubami okoli 48–50 %. Kljub temu te izgube predstavljajo pomemben izziv za upravljanje vodovodnega omrežja, saj skoraj polovica zajete vode ne pride do uporabnikov.

Seveda so vodne izgube zadeva z negativnim prizvokom, pa vendar moramo pojasniti, kaj dejansko pomenijo vodne izgube pri postavljanju cen oziroma kaj te izgube pomenijo v finančnem vidiku.

Cena vode temelji na vseh stroških, povezanih s pripravo, črpanjem, čiščenjem in distribucijo celotne zajete količine vode. Ti stroški vključujejo elektriko, delo, gorivo, material, kemična sredstva ipd. Poleg tega vključujejo tudi vodno povračilo, ki se plača državi za vso zajeto vodo (s strani upravljalca vodovodov), ki je leta 2023 znašalo 0,0638 €/m³.

Da pridemo do prodajne cene vode, skupen strošek delimo s količino prodane vode. Trenutna prodajna cena vode v Celju tako znaša 0,8488 €/m³. Podjetje Vodovod-Kanalizacija Celje pri tem nima dobička, če proda več vode, niti izgube, če proda manj, saj spremembe vplivajo le na ceno na enoto.

Za primerjavo stroškov v januarju 2023, ko je bilo zajete 330.387 m³ vode, znašajo skupni stroški:

$$330.387 \text{ m}^3 \times 0,8488 \text{ €/m}^3 = 280.432,5 \text{ € (vseh stroškov z vso zajeto vodo v januarju 2023).}$$

Cena na enoto za celotno količino zajete vode, vključno z vodnim povračilom, bi znašala:

$$280.432,5 \text{ €} / 634.817 \text{ m}^3 = \mathbf{0,44175 \text{ €/m}^3}$$

V hipotetičnem primeru, da ne bi bilo vodnih izgub in bi prodali vse zajete količine, bi prodajna cena teoretično znašala 0,44175 €/m³. Ker pa nekateri stroški ostajajo fiksni in niso odvisni od količine zajete vode, bi realna cena vode verjetno presegla 0,5€/m³, kar pa bi še vedno predstavljalo precej nižjo ceno v primerjavi s sedanjimi 0,8488€/m³ (VODOVOD KANALIZACIJA CELJE, 2024).

5 ŠTUDIJA PRIMERA

5.1 *Predstavitev primera iz prakse*

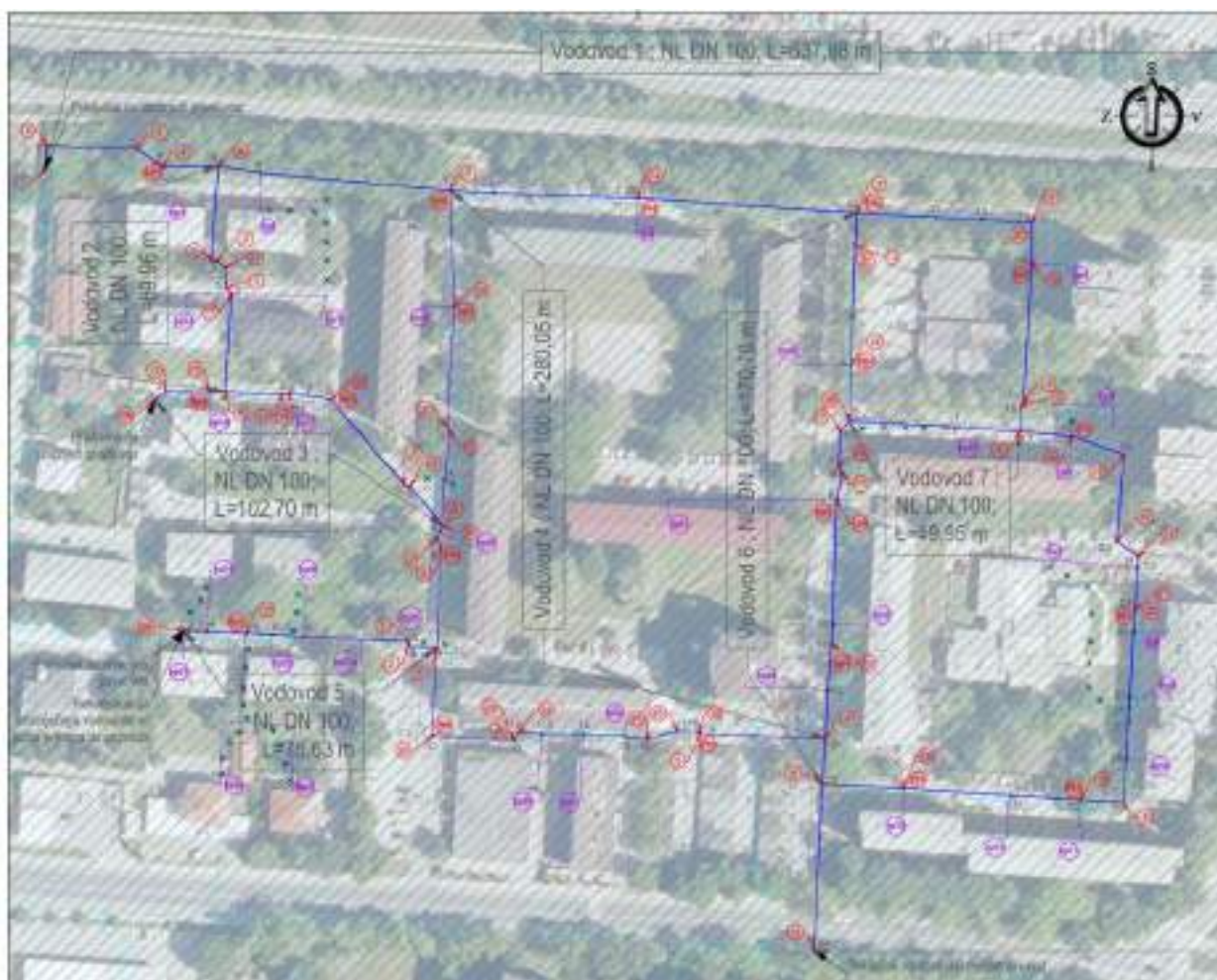
V Celju je na območju med Čopovo in Škvarčevo ulico ter železniško progo na severni strani in Ljubljansko ulico na južni strani potekal dotrajan in nezanesljiv vodovod, na katerem je pogosto prihajalo do okvar, zato je bila nujno potrebna njegova obnova. Obstoječi vodovod je bil zgrajen iz sive litine, ki velja za precej obstojni material, pa vendar je po več desetletjih dotrajal in postal porozen (HIDROSVET, 2021).

Zaradi velike stroškovne obremenitve pri odpravi defektov in napak na omrežju je bilo treba celoten odsek obnoviti, kot tudi v celoti obnoviti hišne priključke. Priključki do objektov so bili v večini primerov precej dotrajani, interes investitorja je bil odpraviti morebitne slabše kakovostne materiale, predstavitev merilnikov porabe v zunanosti objekta. Za obnovo je bilo predvidenih 34 hišnih priključkov.



Slika 7: Navezava na obstoječi cevovod na Ljubljanski cesti

Vir: (Lastni vir)



Slika 8: Projektiran načrt rekonstrukcije vodovoda

Vir: (Hidrosvet d.o.o.)

Projekt se je pričel s pripravo in zaščito gradbišča. Večji del obnove vodovoda je potekal na asfaltirani površini, v posameznih odsekih pa tudi na površini zelenic. Pred pričetkom izvajanja gradbenih del mora izvajalec naročiti zakoličbo za vse obstoječe podzemne instalacije na območju gradbenega posega. Upravljalce je treba obvestiti o pričetku del v skladu z navedenimi pogoji v podanih soglasjih. Količenje se mora zavarovati, in sicer tako, da omogoča kontrolo nivelete.

Za izgradnjo vodovoda so bile uporabljene cevi iz nodularne litine, ki ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 545:2011 – Cevi, fittingi, pribor in spoji iz nodularne litine za vodovodno omrežje – Zahteve in preskusne metode. Vsi materiali, vključno s tesnili, ki so v stiku z vodo, morajo biti skladni z normativi glede fizikalnih, kemijskih in mikrobioloških lastnosti, kar je potrjeno z ustreznimi certifikati (SIST EN 805:2000).

Na tem območju ni pričakovati povečanja porabe vode, saj je območje že v celoti pozidano, zato ni predvidena širitev. Obnovljeni odsek vodovoda zagotavlja enako hidravlično prevodnost kot prejšnji, kar pomeni, da požarna zaščita ostaja ustrezna. Cevovod na tem odseku je izveden z duktilnimi cevmi dimenzije DN 100. Njegova prevodnost je ocenjena na podlagi hidravličnega dimenzioniranja, izračunanega po formuli Darcy-Weissbach, pri čemer je upoštevan koeficient hrapavosti $n_G = 0,012$.

Za cevi DN 100 mm so značilne naslednje hidravlične lastnosti: presek cevi je $78,54 \text{ cm}^2$, koeficient K znaša 0,3193. Pri hitrosti pretoka vode 1 m/s so linijske izgube ocenjene na 19,70 m/km, pretočna sposobnost pa znaša 7,85 l/s. Minimalni požarni odvzem 10 l/s je mogoč pri hitrosti vode 1,4 m/s, kar omogoča pretočnost 11,0 l/s in linijske izgube 38,61 m/km.

Za zagotovitev tehničnih in hidravličnih standardov, skladno s Pravilnikom o tehničnih normativih za hidrantno omrežje, so bile za izgradnjo uporabljene cevi iz nodularne litine DN 100 mm, skladne s standardom SIST EN 545:2011. Za vodovodne dele manjših premerov od DN 80 mm so bile uporabljene polietilenske cevi PE 100. Zaradi zahtev upravljalca Vodovod–Kanalizacija Celje, ki ne dovoljuje uporabe zobatih nabijalnih spojk, so bile pri spajanju uporabljene elektrofuzijske spojke.

Delovni tlak na tem odseku znaša štiri bare, kar zagotavlja pravilno delovanje sistema. Dinamični tlak je prav tako primeren za neposredno gašenje požarov, saj ustreza minimalnemu kriteriju 2,5 bara (HIDROSVET, 2021).

Obnova približno 1390 metrov dolgega odseka vodovoda se je začela pri veji vodovoda 1, v bližini temena številka 29, in se usmerila proti veji vodovoda 6 v smeri severa. Trasa je nato zavila v odsek vodovoda 7 s povezavo nazaj do vodovoda 1. Pri vodovodu 6 se je nadaljevala do odseka vodovoda 1 ob železnici pri temenu 10, od koder je zavila proti vzhodu, nato pa proti jugu v temenu 13, kjer se je v vozlišču 17 priključila na vodovod 7.

Sledila je povezava celotnega odseka vodovoda 1 vse do temena 29, kjer se je pričel izkop. V predelu vodovoda 1, obstoječem hidrantu pri temenu 13, smo izvedli izkop obratujočega vodovoda, ki je predstavljal prvi dovod vode v nov vodovodni sistem. Priključitev seveda ni mogla biti izvedena, dokler niso bili uspešno opravljeni tlačni preizkus in potrjena ustreznost analize mikrobiološkega testiranja vzorcev vode. Na omenjenem odseku je bilo vgrajenih devet nadzemnih hidrantov in trije zračniki, ki skrbijo za odzračevanje cevovoda.

Ob dokončani izvedbi vzhodnega dela trase se je izvedel tlačni preizkus z vodo po predpisu oziroma standardu EN 805.

Na omenjenem projektu se je tlačni preizkus zaradi velike dolžine in različnih odcepov izvajal štirikrat.

Po zaključku gradnje vsakega odseka se je tako kot tlačni preizkus tudi javni vodovod dezinficiral v štirih ločenih odsekih v skladu standarda SIST EN 805:2000. Dezinfekcijo je izvedla pooblaščen organizacija. Dezinfekcija je obvezna in se izvede po vsaki izgradnji celotnega ali delnega cevovoda kot tudi pri večjih popravilih cevovoda. Dezinfekcija se lahko izvede šele po uspešno opravljenem tlačnem preizkusu vodovodnih cevi in namestitvi vseh potrebnih armatur. Postopek dezinfekcije lahko izvaja le strokovno usposobljena in pooblaščen organizacija.

V primeru, da rezultati ne ustrezajo zahtevam veljavne zakonodaje o zdravstveni ustreznosti pitne vode, se postopek dezinfekcije ponavlja, vse dokler se ne doseže mikrobiološka neoporečnost. Novo vodovodno omrežje se lahko vključi v obratovanje šele po pridobitvi ustreznih rezultatov mikrobioloških preizkusov pitne vode.

Po uspešno izvedenih testiranjih smo začeli s prevezavo in obnovo hišnih priključkov. Vodovodni hišni priključek obsega cevovod od javnega vodovodnega omrežja do vodovodnega števca, ki ga upravlja upravljavec javnega vodovoda. Cevovod za števcom pa je v lasti in upravljanju lastnika vodovodnega števca. Natančna trasa in sestavni deli posameznega priključka so bili prilagojeni dejanskim razmeram na terenu.



Slika 9: Primer vgrajenih fazonskih elementov

Vir: (Lastni vir)

Prva faza izvedenega vodovoda je bila v dolžini približno 750 m, na katerega smo priključili 20 hišnih priključkov. Priključitev posameznega hišnega priključka se je izvedla z uporabo navrtanega zasuna, primerne za priklop na duktilne cevi. Ta zasun omogoča hitro priključitev manjših uporabnikov na glavni vod, ne glede na prisoten tlak v cevovodu. V predelih, kjer se priključujejo večji uporabniki, se je na glavnem cevovodu vgradil odcepni element, ki pa je moral zaradi tlačnega preizkusa in preprečevanja vstopa nečistočam biti ustrezno zaščiteno z vgradnjo zasuna in X – kosa vse do dejanske prevezave. V obdobju projektiranja so bili sprva za vse priključke predvideni odcepni fazoni (MMA), v fazi izgradnje glavnega dela je prišlo do odločitve, da se omenjeni odcepi vgradijo le za večje odjemalce, priključke z manjšimi premeri pa izvedemo s t. i. navrtavami.

Zaradi lažjega dostopa do merilnih elementov so se vsi merilci prestavili v zunanost objektov. Objekti z manjšim številom uporabnikov so se opremili z vodomernimi jaški tipa Zagožen, pri stolpnicah, kjer je številka odjemalcev vode večja, pa so se vgradili betonski škatlasti jaški, v katere se je vgradila potrebna oprema po navodilih investitorja. Zaradi prestavitve merilnih mest in obnove celotnega dela priključka je bilo treba obnoviti vodovodne inštalacije tudi po objektu do samega merilnega mesta, kar vključuje tudi odstranjevanje posameznih delov malte, betona, tlakov ... Ravno zaradi tega je bilo med izvedbami obnove vodovodnih priključkov potrebno usklajevanje z lastniki in obveščanje omenjenih o začasni motnjah dobave vode. Bistveno je, da so odjemalci utrpeli najmanjši možni izpad vode, predvsem zato, ker je obnova na omenjenem območju potekala predvsem v več stanovanjskih objektih. Po končani obnovi priključka je bilo treba vse povrniti nazaj v prvotno stanje.



Slika 10: Primer navrtav na sekundarnem vodovodu za izvedbo hišnih priključkov

Vir: (Lastni vir)



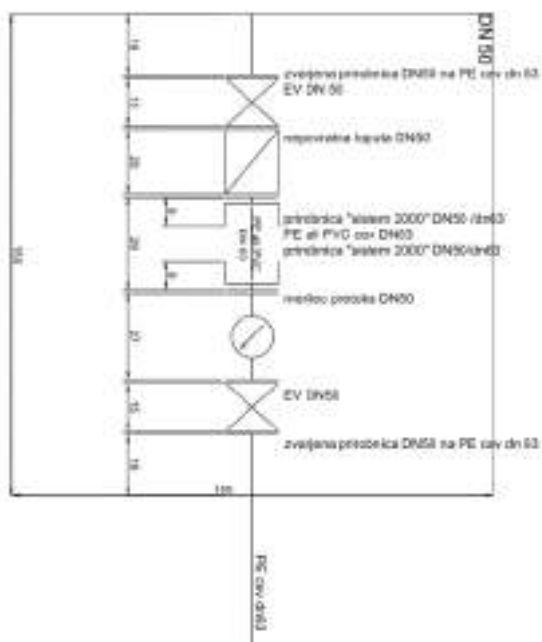
Slika 11: Primer vgrajenega vodomernega jaška za hišni priključek

Vir: (Lastni vir)



Slika 12: Lokacija in videz vodomernega merilca pred obnovo

Vir: (Lastni vir)



Slika 13: Montažna shema vodomernega jaška DN50 na Čopovi ulici

Vir: (Vodovod kanalizacija Celje)



Slika 14: Hišni priključek v notranjosti objekta po obnovi

Vir: (Lastni vir)



Slika 15: Vgrajeni elementi v vodomernem jašku DN50 na Čopovi ulici

Vir: (Lastni vir)

Po vseh izvedenih obnovah priključkov na prvem odseku se je nadaljevala rekonstrukcija odseka vodovod 1 ob železnici od vzhodne smeri proti zahodni. Odseka prvega dela obnove nismo smeli prevezati, vse dokler ni bil izveden celoten predel, kot tudi tlačni preizkus in dezinfekcija. Izvedenih je bilo nekaj odcefov za potrebe veje vodovoda 4 in vodovoda 2. Preostali odsek vodovoda 1 je bil položen v dolžini približno 250 m. Tlačni preizkus in dezinfekcija sta se izvedla po istem postopku kot v prvi fazi. Sledili sta dve glavni prevezavi na obstoječi vodovod, in sicer prva pri povezavi na vodovodu 1 v bližini temena 10, druga prevezava pa se je izvedla na čisto vzhodnem delu pri isti veji 1 na vozlišču 1. Omenjeno obstoječe vozlišče je bilo treba preurediti, da je bilo mogoče narediti prevezavo. S tem smo vzpostavili nov odsek vodovoda v obratovanje in na njem izvedli dva hišna priključka ter dve začasni prevezavi, da so končni uporabniki brez dobave vode kar se da malo časa. Vgradil se je tudi hidrant, ki je potreben za požarno varnost.

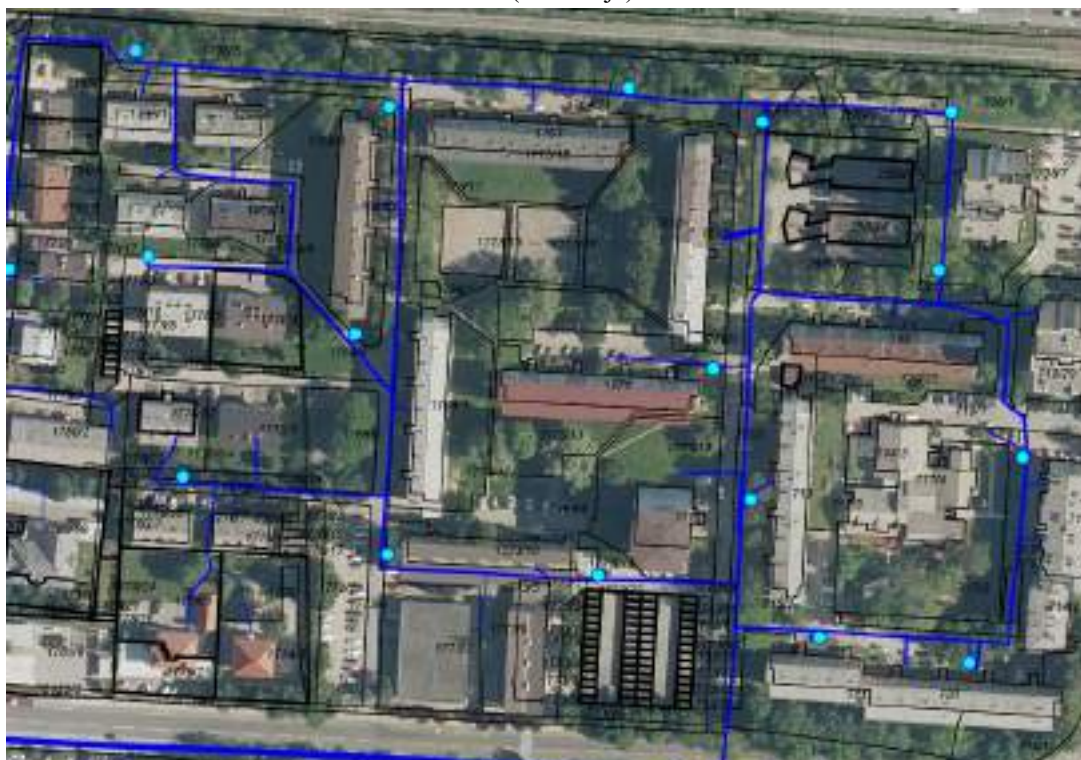
Naslednja faza se je pričela z izvedbo odseka vodovoda 2 proti južni smeri do vozlišča 5, kjer zavije proti vzhodu, v temenu 6 pa zopet proti južni smeri do temena 8 na odseku vodovoda 3. Na omenjenem temenu 8 je izvedeno vozlišče, ki povezuje krak v zahodno smer in se namesto slepega dela vozlišča 1 izpelje v hidrant, ki preprečuje mrtvi rokav, kar je lahko nevarno za razvoj škodljivih mikroorganizmov. Smer polaganja vodovoda se je nadaljevala od vozlišča 8 proti vodovodu 4, in sicer v jugovzhodni smeri, kjer smo izvedli vozlišče 5 na vodovodu 4, predvidene odcepe začasno zaščitili z litoželeznimi X kosi in začasno končali omenjeni predel. Z izkopom za vodovod smo nadaljevali pri že vgrajenem odcepu na vodovodu 1, temenu 7 od severa proti jugu. Izvedla se je veja vodovoda 4 do vozlišča 9, kjer se je izvedel odcep in nadaljeval vodovod 5 v vzhodni smeri ter se zaključil v vozlišču 1 s hidrantom. Vrnili in nadaljevali smo z vodovodom 4, vozliščem 9 v južni smeri in v temenu 10 zavili proti vzhodu vse do že izvedenega kraka vodovoda 4 temena 17, kjer je bil lociran stari podzemni hidrant, na omenjenem delu pa je v novi trasi vodovoda postavljen nadzemni hidrant. Bistveni sta bili tudi vzpostavitev in izvedba prevezave na Ljubljanski cesti, kjer se je bilo treba navezati na obstoječi del, ki pa je predstavljal malo večji izziv ravno zaradi njegove starosti, le delne funkcionalnosti obstoječega zasuna in različnih dimenzij fazonskih elementov, ki so se tekom let spremenili. Pred dejansko izvedbo prevezave sta se zopet izvedla dezinfekcija in izpiranje omenjenega odseka, po prejetih ustreznih mikrobioloških analizah se je izvedla končna prevezava na obstoječi cevovod DN400, nato pa še preostali hišni priključki na omenjenih vejah.

Ob dokončanju vseh rekonstrukcijskih del so se izvršile še zadnje finalne prevezave in zapiranje kot tudi blindiranje starega vodovodnega sistema, ki zaradi obnove ni več v uporabi.



Slika 16: Vodovodno omrežje pred obnovo

Vir: (GIS Celje)



Slika 17: Vodovodno omrežje po končani rekonstrukciji

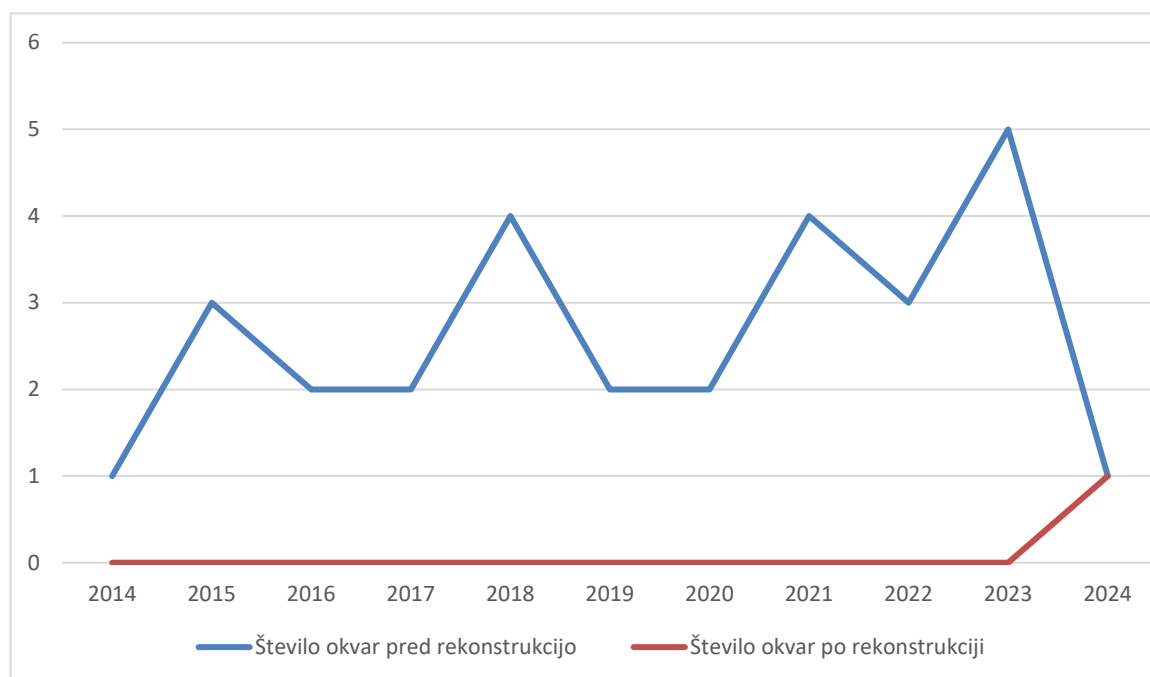
Vir: (GIS Celje)

5.2 Ocena uspešnosti projekta

Skozi celoten del izvedbe rekonstrukcije smo preverjali tako **hipotezo 1**, ki trdi, da z vgradnjo bolj kakovostnih materialov in rednimi obnovami povečamo učinkovitost omrežja za 20 %, kot tudi **hipotezo 2**, ki trdi, da redno vzdrževanje in obnova starih vodovodnih sistemov z ustreznim dimenzioniranjem zmanjšujeta vodne izgube za 10 %.

Projekt je bil izveden v približno 11 mesecih po pričetku del. Upoštevati moramo, da je izvajanje del v naselju z gosto poselitvijo precej bolj zahtevno, prilagajati je treba dovozne poti do posameznih objektov kot tudi ustrezno zaščititi gradbišče in paziti na morebitne mimoidoče, ki jih zanima dogajanje na gradbišču. Izziv so predstavljale tudi obstoječe komunalne inštalacije, ki so pogosto prekrižale novo traso vodovoda in jih je bilo treba ustrezno prečkati.

Kot že omenjeno, se je rekonstrukcija izvedla zaradi velikega števila defektov na tem območju. Po pridobljenih informacijah je že bilo omenjeno, da je na območju rekonstrukcije pred obnovo v obdobju 10 let prijavljenih in popravljenih 28 napak na sistemu. To je bilo pred obnovo odseka med Čopovo in Škvarčevo ulico v Celju. Po končani obnovi je v obdobju enega leta prišlo do ene napake, in sicer na spojnici vodomera v vodomernem jašku.



Grafikon 2: Število okvar po letih

Vir: (Vodovod kanalizacija Celje)

V Grafikonu 2 vidimo, kako so se tekom let pojavljale napake na omenjenem območju, v zadnjem letu po obnovi pa so se bistveno zmanjšale. Če posplošimo, dobimo povprečno število okvar za obdobje 10 let, 2,8 okvare na leto. Če to preračunamo, nam pridobljene informacije povedo, da se je po obnovi število okvar zmanjšalo za približno 64 %.

Na podlagi pridobljenih informacij s terena in upravljalcev vodovodnega omrežja smo potrdili trditve, da izbira ustreznega materiala prispeva k bolj vzdržljivemu omrežju, tako lahko z gotovostjo **potrdimo hipotezo 1**. Na dejanskem primeru vidimo, da obnove starih sistemov izboljšujejo stanje in zmanjšujejo odstotek napak na vodovodnem omrežju, saj se je v letu po obnovi odstotek okvar zmanjšal za približno 64 %.

Manjša pogostost napak pomeni manj stroškov in manjšo obremenitev omrežja. Edina napaka, ki se je zgodila v zadnjem letu, je bila zanemarljiva in odpravljena z minimalnimi stroški. Pred obnovo odseka so bile okvare pogostejše in bolj resne.

Pri manjših lokalnih okvarah, kot so luknje v steni cevi, je bila običajna uporabljena t. i. reparaturna objemka, ki je ukrivljen kos nerjavečega jekla, prevlečen z gumo in pritrjen okoli poškodovanega mesta z vijaki, da ga zatesni.



Slika 18: Primer vgrajene reparaturne spojke na lokaciji puščanja cevi

Vir: (andotehna.1286122589.jpg (470×265) (finance.si))

Pri večjih poškodbah pa se je poškodovani del cevi izrezal in zamenjal z novim, kar je zahtevalo uporabo univerzalnih spojk za povezavo z obstoječo infrastrukturo. Če je prišlo do puščanja na

spojih starejših litoželeznih cevi brez gumijastih tesnil, se je svinec v spoju ponovno zabil ali pa zamenjal s koncem nove cevi.

Vsako takšno popravilo je poleg gradbenih del izkopa, morebitnih lokalnih zapor cest, izpadov dobave vode in lociranja napake vključevalo tudi večje stroške za material in izvedbo popravila. Če vse naštet o ocenimo v vrednostih in pomnožimo s številom okvar, vidimo, da stroški popravil niso majhni. Kljub temu da okvare prinašajo stroške, manjše napake na cevovodu prinašajo vodne izgube, ki pa vplivajo na ceno vode. Ravno zaradi omenjenega je pomembno redno vzdrževanje in obnavljanje dotrajanih vodovodnih omrežij.

Tako smo tudi za **hipotezo 2** primerjali podatke o uspešnosti projekta, in sicer z izvedbo primerjave podatkov o količini celotnih vodnih izgub v marcu, pred rekonstrukcijo vodovoda (ko še ni bila izvedena nobena izmed prevezav) z novembrom, ko je v obratovanju samo novi odsek vodovoda, stari pa blindiran oziroma odstranjen.

Tabela 3: Prikaz vodnih izgub celotnega omrežja za marec in november

	<i>Zajeto vode (m³)</i>	<i>Prodana voda (m³)</i>	<i>Razlika med zajeto in prodano vodo (m³)</i>	<i>Razlika v %</i>	<i>Dejanska izguba na km omrežja na dan (m³)</i>
Mar. 23	669.251	333.359	335.892	50,19	11,42
Nov. 23	643.431	331.801	311.630	48,43	10,82

Vir: (Vodovod kanalizacija Celje)

Na podlagi pridobljenih podatkov o skupni količini načrpane vode in prodane vode dobimo informacije o vodnih izgubah, nato lahko izračunamo povprečno razliko po km omrežja na mesec pred in po končani rekonstrukciji. Omenjeno rekonstruirano območje je bilo v dolžini 1390 m. Če podatek posplošimo in preračunamo izgubo na dan za odsek v dolžini 1,39 km, znaša za marec 15,87 m³. Enako naredimo za november in dobimo 15,07 m³.

Tabela 4: Posplošena primerjava vodnih izgub pred obnovo in po obnovi za obnovljen odsek

Parameter	Vrednost
Izguba v marcu (m ³ /dan)	15,87
Izguba v novembru (m ³ /dan)	15,07
Razlika (m ³ /dan)	0,80
Procentualna razlika	5,04 %

Vir: (Vodovod kanalizacija Celje)

Pridobljeni podatki kažejo, da se je povprečna dnevna izguba vode zmanjšala s 15,87 m³/dan v marcu na 15,07 m³/dan v novembru, kar predstavlja absolutno zmanjšanje za 0,80 m³/dan ali relativno zmanjšanje za približno 5,04 %.

Kljub temu da nimamo natančnih podatkov o vodnih izgubah na obravnavanem odseku, smo podatke posplošili in jih preračunali na podlagi celotnih količin in jih preračunali za omenjeni odsek. Pridobljeni podatki kažejo na približno 5-odstotno zmanjšanje vodnih izgub, vendar naj ponovno opozorim, da so podatki posplošeni in bi dejanski merilci na posameznem odseku verjetno prikazali drugačne podatke. Tako lahko **hipotezo 2 le delno potrdimo**, saj je bilo pričakovano 10-odstotno izboljšanje, pa vendar vsak odstotek v smeri zmanjšanja vodnih izgub pomeni korak v pravo smer.

6 GRADNJA VODOVODNEGA OMREŽJA

6.1 *Izbira ustreznih materialov cevi*

Izbira ustreznih materialov cevi za javni vodovodni sistem je ključnega pomena za zagotavljanje zanesljive, trajnostne in učinkovite oskrbe s pitno vodo. Pravilno izbrani materiali neposredno vplivajo na življenjsko dobo sistema, zmanjšujejo potrebo po pogostih popravilih in vzdrževalnih posegih ter zagotavljajo visoko odpornost na zunanje vplive, kot so korozija, mehanske obremenitve in temperaturna nihanja. Uporaba kakovostnih materialov ne prispeva zgolj k stabilnosti omrežja, temveč tudi k dolgoročnemu zmanjšanju stroškov delovanja in večji varnosti oskrbe za vse uporabnike. V nadaljevanju tega poglavja bomo preverjali **hipotezo 3**, ki govori, da je uporaba vodovodnih polietilenskih cevi v primerjavi z duktilnimi cenejša za vsaj 30 %.

6.1.1 Cevi iz nodularne litine (NL)

Nodularna litina, znana tudi kot duktilna litina, je visokokakovostna železna litina z dodatkom magnezija, kar omogoča, da se ogljik v litini oblikuje v sferične delce grafitu. Ta posebna struktura litini zagotavlja kombinacijo lastnosti, ki vključujejo visoko livnost, značilno za sivo litino, in odlične mehanske lastnosti, primerljive z jeklom.

Tabela 5: Lastnosti cevi iz nodularne litine

Značilnosti	Enote	Vrednost
Natezna trdnost	N/mm ²	420
Meja tečenja (0,2 %)	N/mm ²	300
Raztezek po prelomu	%	≥ 10
Tlačna trdnost	N/mm ²	900
Modul elastičnosti	N/mm ²	170.000
Porušitvena trdnost	N/mm ²	300
Tlačna trdnost na kroni	N/mm ²	550
Upogibna togost v vzdolžni smeri	N/mm ²	420
Oscilacijska širina (DIN 50 100)	N/mm ²	135
Srednji koeficient toplotnega raztezanja	m/mK	10 x 10 ⁻⁶
Toplotna prevodnost	W/cmK	0,42
Specifična toplota	J/gK	0,55

Vir: (https://www.vonroll-hydro.world/files/content/downloads/kataloge/Rohre-und-Formstuecke/Werksmarken/Catalogue-drinking-water-dukus_e.pdf)

Med ključne lastnosti sodijo visoka meja elastičnosti, visoka natezna trdnost in dobra udarna žilavost, zaradi česar je material izjemno primeren za proizvodnjo cevi. Proizvajalci v svojih izdelkih zagotavljajo vrhunske mehanske lastnosti in odpornost proti obremenitvam, kar povečuje zanesljivost in vzdržljivost cevi (Vonroll-hydro world, 2020).

Zaradi izjemnih mehanskih lastnosti osnovnega materiala, široke palete fazonskih kosov in spojnih materialov ter enostavnosti tako spajanja kot tudi vgradnje se cevi iz nodularne litine ponajbolj z značilnostmi, ki so več kot dobrodošle pri uporabi v vodovodnih sistemih. Te lastnosti vključujejo:

- visoko hidravlično učinkovitost,
- zmožnost prenašanja visokih delovnih pritiskov,
- odlično odpornost proti koroziji zaradi kakovostne zunanje in notranje zaščite,
- veliko odpornost na zunanje mehanske obremenitve,
- visoko odpornost na seizmične vplive,
- faktor varnosti.

Med obratovanjem so cevi izpostavljene različnim mehanskim napetostim, kot so notranji tlak v cevi in zunanji mehanski vplivi. Medtem ko lahko predvidimo kratkoročne obremenitve, so dolgoročne obremenitve težje ocenljive. Zaradi tega večina proizvajalcev uporablja visok varnostni faktor pri izbiri cevi, kar zagotavlja dolgo življenjsko dobo cevovoda. Debelina sten cevi je zasnovana na podlagi teh varnostnih faktorjev, da se zagotovi zanesljivost sistema tudi v težkih razmerah (Vonroll-hydro world, 2020).



Slika 19: Prerez cevi iz nodularne litine

Vir: (Catalogue-drinking-water-duktus_e.pdf (vonroll-hydro.world))

Notranji pritisk:

- Uporablja se varnostni faktor 2 glede na mejo elastičnosti.
- Maksimalno dovoljeni tlak se lahko poveča za 20 %.

Zunanji pritisk:

- Varnostni faktor 2 se uporablja za zaščito pred morebitnimi poškodbami.
- Vertikalna deformacija cevi je omejena na največ 3 %.
- Izmerjeni porušitveni tlak je več kot dvakrat višji od dovoljenega obratovalnega tlaka.
- Varnostni faktor se spreminja glede na premer cevi.

Notranja zaščita

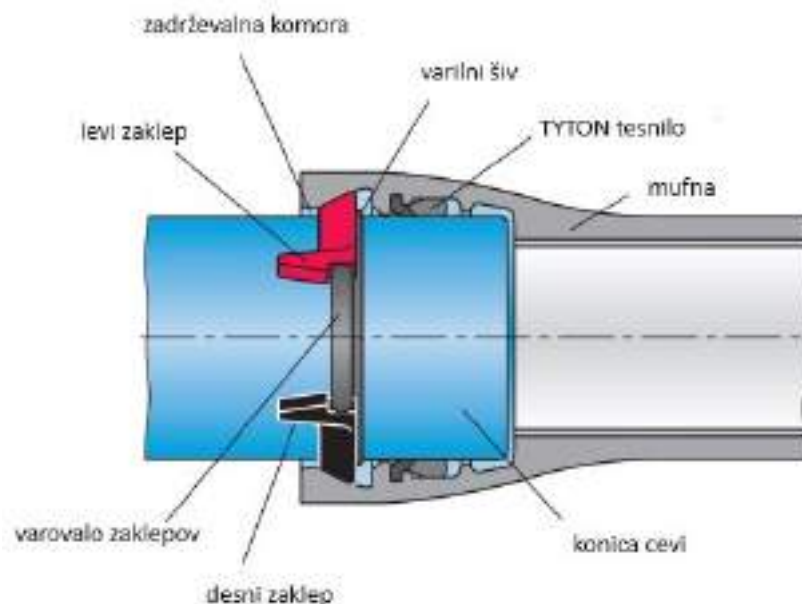
Cevi so v notranjosti strani zaščitene s cementno malto, z vsebnostjo 60–70 % žlindre. Ta cementna obloga je odporna na sulfat, kar predstavlja prednost v primerjavi s portlandskim cementom, zaradi hitrejše reakcije z vodo. Cementna malta se nanaša s centrifugiranjem, to omogoča odličen oprijem, trdnost in gladkost po površini. Ravno zaradi omenjenega imajo cevi izjemne hidravlične lastnosti, ki se skozi čas ne poslabšajo. Faktor hrapavosti cevi je nizek

($k = 0,1$ mm po Colebrook) in dejansko večji notranji premer od nominalnega zagotavljata tako dobre hidravlične karakteristike kot tudi nizke izgube v omrežju.

Zunanja zaščita

Cevi potrebujejo odporno zunanjo zaščito pred korozijo, saj so vgrajene v različne vrste tal. Glede na stopnjo agresivnosti tal so cevi opremljene z različnimi vrstami zunanjih zaščit. Na območjih, kjer je pričakovana večja stopnja korozije, se izvajajo meritve upornosti tal in kemične analize vzorcev. Na podlagi teh analiz se določi optimalna zunanja zaščita cevovoda (Vonroll-hydro world, 2020):

- 200 g/m^2 pocinkana prevleka in zaključni premaz, primeren za tla z upornostjo nad 2500 Ohm.cm oziroma do 1500 Ohm.cm , če so cevi nameščene nad stopnjo podtalnice.
- 400 g/m^2 zlitine Zn+ Al (v razmerju 85 % cinka in 15 % aluminija) ter modri epoksi premaz za tla z upornostjo med 500 in 2500 Ohm.cm .
- Polietilenska (poliuretanska) zaščita debeline 900 mikronov za tla z upornostjo manj kot 500 Ohm.cm .



Slika 20: Ključni elementi pri spajanju cevi iz nodularne litine – VRS-spoj

Vir: (Catalogue-drinking-water-duktus_e.pdf (vonroll-hydro.world))

6.1.2 Polietilenske (PE) cevi

Polietilenske (PE) cevi so ena izmed najpogostejše uporabljenih vrst cevi v sodobnih vodovodnih sistemih zaradi njihovih odličnih lastnosti in številnih prednosti. Narejene so iz polietilena, materiala, ki je izjemno odporen na kemikalije, korozijo in UV-žarke, kar jim omogoča dolgo življenjsko dobo, ki lahko preseže 50 let. Dve glavni vrsti polietilena, ki se uporabljata, sta PE80 za srednje tlačne sisteme in PE100 za visokotlačne sisteme.

V primerjavi s kovinskimi cevmi so polietilenske cevi stroškovno učinkovitejše. Njihova nizka teža omogoča enostavnejši transport in namestitev, kar posledično zmanjša stroške dela in logistike. Poleg tega so prilagodljive, kar pomeni, da se lahko uporabljajo tudi na terenih, kjer je namestitev otežena. Zaradi njihove elastičnosti so bolj odporne na premike tal in nizke temperature, kar zmanjšuje možnosti poškodb.



Slika 21: Primer polietilenskih (PE100) cevi

Vir: (https://doming.rs/cms_upload/catalog/product_images/2069701_hdpe_pipe.jpg)

Ena izmed ključnih prednosti PE-cevi je njihova varnost pri distribuciji pitne vode. Ker ne sproščajo škodljivih snovi in ne vplivajo na kakovost vode, so idealne za uporabo v vodovodnih sistemih. Poleg tega omogočajo enostavno namestitev z varjenjem ali uporabo spojk, kar dodatno zmanjša stroške vzdrževanja in popravila.

PE-cevi so tudi okolju prijazne, saj jih je možno reciklirati. Zaradi teh lastnosti so nepogrešljive v številnih sektorjih, kot so distribucija pitne vode, kmetijsko namakanje, industrijski sistemi in sanacija starih cevovodov.

Tabela 6: Karakteristika materiala PE100

Cevi so izdelane iz materialov z naslednjimi lastnostmi:	
MRS	$\geq 10,0 \text{ MPa}$
SPECIFIČNA MASA	$> 950 \text{ kg / m}^3$
LINEARNI RAZTEZNOSTNI KOEFICIENT	$\approx 0,15 \text{ mm / mK}$
TOPLOTNA PREVODNOST	$\approx 38 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$
MODUL ELASTIČNOSTI	$E (\text{1 min}) \geq 1100 \text{ MPa}$
POVRŠINSKA ELEKTRIČNA UPORNOST	$\geq 10^{14} \Omega$

Vir: (<https://www.totra.si/sl/prodajni-program/polietilenske-cevi-za-vodo>)

Tabela 7: Lastnosti polietilenskih cevi (PN 10 in PN 16)

Zunanji premer	Toleranca zunanjega		PN 10 (za delovni tlak do 10 bar)				PN 16 (za delovni tlak do 16 bar)			
			SDR 17,0				SDR 11,0			
			Debelina stene		Notranji premer	Masa cevi	Debelina stene		Notranji premer	Masa cevi
d (mm)	d min	d max	e min	e max	di (mm)	(kg/m)	e min	e max	di (mm)	(kg/m)
20	20,0	20,3	-	-	-	-	2	2,3	16,0	0,12
25	25,0	25,3	-	-	-	-	2,5	2,7	20,4	0,18
32	32,0	32,3	2,0	2,3	28,0	0,192	3,0	3,4	26,0	0,29
40	40,0	40,4	2,4	2,8	35,2	0,296	3,7	4,2	32,6	0,44
50	50,0	50,4	3,0	3,4	44,0	0,455	4,6	5,2	40,8	0,67
63	63,0	63,4	3,8	4,3	55,4	0,725	5,8	6,5	51,4	1,06
75	75,0	75,5	4,5	5,1	66,0	1,030	6,8	7,6	61,4	1,48
90	90,0	90,6	5,4	6,1	79,2	1,470	8,2	9,2	73,6	2,16
110	110,0	110,7	6,6	7,4	96,8	2,190	10,0	11,1	90,0	3,19
125	125,0	125,8	7,4	8,3	110,2	2,790	11,4	12,7	102,2	4,13
140	140,0	140,9	8,3	9,3	123,4	3,510	12,7	14,1	114,6	5,15
160	160,0	161,0	9,5	10,6	141,0	4,580	14,6	16,2	130,8	6,76
180	180,0	181,1	10,7	11,9	158,6	5,790	16,4	18,2	147,2	8,55
200	200,0	201,2	11,9	13,2	176,2	7,140	18,2	20,2	165,6	10,50
225	225,0	226,4	13,4	14,9	198,2	9,060	20,5	22,7	184,0	13,30
250	250,0	251,5	14,8	16,4	220,4	11,100	22,7	25,1	204,6	16,40

Vir: (<https://www.totra.si/sl/prodajni-program/polietilenske-cevi-za-vodo>)

PE100 je najvišji razred polietilenskega cevne materiala, ki se pogosto uporablja na področjih, kot so odvodnjavanje, plinovodi in druge aplikacije. V primerih zahtevnejših pogojev, kot so trša geološka sestava, otežena dostopnost ali nezmožnost priprave ustrezne posteljice za cev, pa se vse pogosteje uporablja cev PE100 RC, tudi kot preventivni ukrep.

PE100RC (Resist Crack) ima odlično odpornost proti počasnemu širjenju razpok, pri čemer ohranja tlačno zmogljivost materiala cevi PE100. Uporablja se lahko v zahtevnejših pogojih in okoljih, na primer, ko je cevna stena opraskana ali izpostavljena točkovnim obremenitvam, življenjska doba zasnove pa kljub temu lahko doseže sto let. PE100-RC ohranja tehnične prednosti cevi PE100 in se lahko uporablja za polaganje cevi brez peska, prenovo starih cevovodov, brezkopno vgradnjo in tehnologijo hitrega polaganja cevovodov. Polietilenski

material, odporen proti razpokam (PE100-RC), predstavlja najnovejšo tehnologijo in najvišjo raven uporabe polietilenskih cevni materialov.

Razvojna zgodovina PE100 in PE100RC prav tako odraža tehnološki napredek in širitev področij uporabe. PE100 predstavlja četrto razvojno stopnjo polietilenskih cevni materialov. Z napredkom v oblikovanju molekularne strukture, novih katalizatorjev in tehnologij polimerizacijskega procesa se je izboljšala zmogljivost cevi. Pojav PE100RC je namenjen reševanju težav z uhajanjem in poškodbami zaradi prask na zunanji steni cevi, ki jih povzročajo tradicionalna gradnja in točkovne obremenitve. S svojo izjemno odpornostjo proti počasnemu širjenju razpok zagotavlja varnost uporabe tudi v oteženih pogojih (Totrapipes, 2024).



Slika 22: Primerjava RC-cevi, GEROfit R in GEROfit REX

Vir: (Lastni vir)

Z vedno novimi odkritji in testiranjem novih materialov se vse več uporabljajo cevi z zaščitnim plaščem. Omenili smo že cevi RC, ki so odporne na praske in male razpoke, še kakovostnejša je PE-cev GEROfit R, ki ima zaščitni plašč in pri vgradnji ne potrebuje priprave posteljice in obsipa drobnozrnatega materiala, zato je primerna za uporabo v težko dostopnih območjih, skalnatih predelih kot tudi za uvlačenje cevi v vrtine. Cevi z dodatnim vmesnim plaščem GEROfit REX preprečuje prehajanje onesnaževal skozi steno cevi in tako trajno varuje pitno

vodo, ki se transportira. Primerne so za vgradnjo v onesnažena tla in nudi trajno zaščito pred nevarnostjo kontaminacije. Posebej zasnovan za vgradnjo na poplavnih območjih.

6.1.2.1 Spajanje PE-cevi

Polietilenske cevi spajamo bodisi z varjenjem bodisi z uporabo mehanskih spojk, pri čemer je varjenje prepoznano kot bolj kakovostna metoda, še posebej pri novih instalacijah ali tam, kjer ni prisotnosti vode. Varjenje je običajen postopek pri novih napeljavah, vključno s priključki za hišne odcepe. Kadar pa gre za popravila na delujočem vodovodu, kjer je prisotna voda, se uporabljajo mehanske spojke. Za spajanje cevi različnih zunanjih dimenzij so primerne univerzalne spojke, ki zagotavljajo zatesnitev z gumijastimi manšetami ali okroglimi tesnili.

Varjenje je najpogosteje izvedeno s čelnim varjenjem ali elektrofuzijskim varjenjem, pri čemer se čelno varjenje uporablja, ko se oba konca cevi poravnata, pogrejeta in stisneta skupaj. Elektrofuzijsko varjenje pa poteka s pomočjo elektrovarilnih obojk, ki imajo vgrajeno grelno žico, kar omogoča taljenje polietilena pri približno 190 °C.



Slika 23: Primer elektrofuzijskega varjenja na gradbišču

Vir: (Lastni vir)

Pri varjenju polietilenskih cevi sta ključnega pomena kakovost varilne opreme in usposobljenost varilcev. Šolanje varilcev in certificiranje poteka prek proizvajalcev, uradnih zastopnikov in pooblaščenih ustanov, kar zagotavlja visoko raven kakovosti izvedenih del (GF Piping Systems, 2024).

6.1.3 Primerjava različnih cevi

Pri izbiri materiala za cevi je ključno najprej določiti ustrezno dimenzijo cevi glede na število končnih uporabnikov in predvideno življenjsko dobo vodovoda. Na podlagi teh dejavnikov se izbere ustrezen material, pri čemer je pomembno upoštevati lokacijo namestitve in geološka stanja ter se prilagoditi njihovim značilnostim. Pri primerjavi bomo poleg materialov in življenjske dobe preverjali tudi trditev **hipoteze 3**, ki pravi, da so polietilenske cevi v primerjavi z duktilnimi cenejše za vsaj 30 %.

Življenjska doba različnih materialov cevi se lahko precej razlikuje in ni vedno preprosto napovedati, koliko časa bo posamezna cev delovala brez težav. Medtem ko proizvajalci pogosto poudarjajo dolgo življenjsko dobo svojih izdelkov, so materiali danes vse bolj odporni in dolgotrajni. Kljub temu pa še vedno obstajajo pomembne razlike med materiali. Na primer, cevi iz nodularne litine so znane po svoji izjemni vzdržljivosti, s pričakovano življenjsko dobo približno sto let. Po drugi strani pa imajo polietilenske cevi (PE) predvideno življenjsko dobo med 40 in 80 let.

V praksi se pogosto uporabljata oba materiala, saj se dopolnjujeta in ponujata različne prednosti. Na splošno pa se materiali za cevi stalno izboljšujejo, kar pomeni, da se tudi pričakovana življenjska doba posameznih vrst cevi podaljšuje.

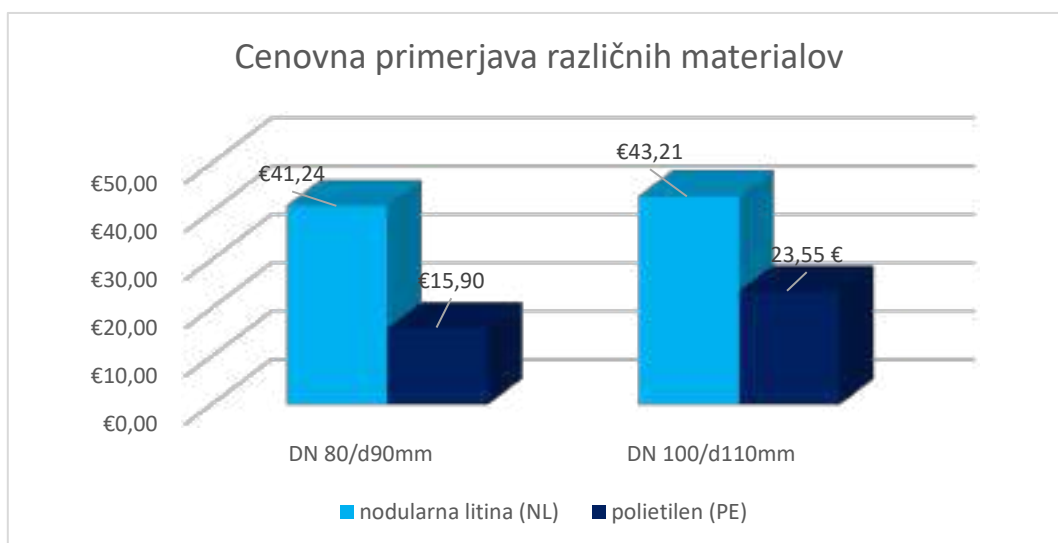
Pa vendar ne glede samo na izbrani material vedno obstajajo cenejše različice, ki jih posamezniki vgradijo zaradi manjših stroškov. Kot na primer pri uporabi polietilenskih cevi, ki niso narejene za večje obremenitve od 12 barov, lahko pri morebitnih nihanjih tlaka v vodovodnem sistemu pride do preobremenjenosti in cev poči. Razlika se pokaže tudi pri različnih proizvajalcih cevi iz nodularne litine, ki uporabljajo za spajanje cevi drugačne tehnologije, pa vendar se njihove življenjske dobe razlikujejo.

Da ne primerjamo samo materiala izdelave cevi, moramo primerjati tudi ceno, ki pa je vedno pogostejše tudi odločilni element.

Za cenovno primerjavo sem uporabila osnovne PE100 cevi d90mm in PE100 d110mm in ju primerjala s cevjo iz nodularne litine DN80 in DN100. V ponudbi so bile polietilenske cevi tlačne trdnosti 16 B v dveh dimenzijah: d90mm in d110mm (oziroma 3" in 3 ½"). Da bi bila primerjava čim bolj ustrezna, smo v ponudbi zaprosili za ceno 6-metrskih palic. Primerjavo smo opravili z duktilnimi cevmi oziroma cevmi iz nodularne litine, ki se prav tako dobavljajo v 6-metrskih kosih. Ponujene duktilne cevi so enakih dimenzij, vendar se njihov presek označuje s premerom (DN), in sicer DN80 in DN100.

V večini predračunov so cene izdelkov navedene za tekoči meter. Po priloženem predračunu je cena za en meter PE-cevi d90mm 15,90 €, za PE-cev d110mm pa 23,55 €. V primerjavi z duktilnimi cevmi, katerih cena po predračunu znaša 41,24 € za DN 80 in 43,21 € za DN 100 na tekoči meter, lahko ugotovimo, da so duktilne cevi občutno dražje od polietilenskih. Če omenjeno izrazimo v odstotkih:

- Duktilne cevi DN80 so približno 61,4 % dražje od cevi PE100 dimenzije d90mm.
- Duktilne cevi DN100 so približno 45,5 % dražje od cevi PE100 dimenzije d110mm.



Grafikon 3: Cenovna primerjava materialov v različnih dimenzijah

Vir: (Coma commerce d.o.o.)

Ugotovitve torej kažejo, da so duktilne cevi DN80 približno 61,4 % dražje od cevi PE100 d90mm. To pomeni, da je strošek na meter duktilnih cevi občutno višji, kar naredi polietilenske cevi ekonomsko bolj ugodno izbiro, še posebej pri projektih, kjer je potrebna večja količina cevi. Podobno so duktilne cevi DN100 za približno 45,5 % dražje od cevi PE100 d110mm.

Razlika v ceni tudi tukaj kaže na bolj stroškovno učinkovito izbiro polietilenskih cevi. Zaradi tega lahko zaključimo, da so PE-cevi ugodnejša možnost, kar je posebej pomembno pri daljših vodovodnih sistemih, kjer nižji stroški na meter pomembno vplivajo na skupne stroške materiala.

S pridobljenimi cenovnimi primerjavami smo potrdili **hipotezo 3**, ki trdi, da so polietilenske cevi v primerjavi z duktilnimi cenejše za vsaj 30 %. Omeniti je treba, da je cena odvisna od dimenzije cevi. Ugotovitve kažejo, da je pri manjšem premeru cevi razlika v ceni večja, z večjim premerom pa se manjša razlika v ceni.

6.2 Dimenzioniranje vodovoda

Dimenzioniranje vodovodnega sistema je ključni korak pri načrtovanju in gradnji učinkovite infrastrukture za oskrbo z vodo. Ustrezno določanje velikosti cevi, zmogljivosti črpalk in drugih sestavnih delov omrežja zagotavlja nemoteno oskrbo, optimalen pretok vode in zmanjšuje izgube. Pomembno je upoštevati trenutne in bodoče potrebe uporabnikov ter fizične in hidravlične lastnosti terena.

Kot že večkrat omenjeno, **hipoteza 2** predvideva, da redno vzdrževanje in obnova starih vodovodnih sistemov, skupaj z ustreznim dimenzioniranjem, lahko zmanjša vodne izgube za 10 %. S tem se izboljša učinkovitost omrežja, zmanjša nepotrebna poraba virov in se zagotovi trajnostna oskrba z vodo.

Nazivne dimenzije vodovodnih elementov (cevi, fazonski elementi, spojke) so določene z nazivnim premerom DN in se delijo na naslednji način:

- DN/ID = DN, kar označuje nazivni premer glede na notranji premer cevi – DN: 20, 25, 32, 40, 50, 80, 100, 150, 200, 250.
- DN/OD = d, kar označuje nazivni premer glede na zunanji premer cevi – d: 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 125.

Dimenzioniranje vodovoda se običajno izvaja s pomočjo Hazen-Williamsove enačbe ali Darcy-Weisbachove enačbe za določanje izgube tlaka in določanje premera cevi glede na pretok, tlak, hitrost in druge parametre. Prikaz uporabe Hazen-Williamsove enačbe:

$$Q = C \cdot A \cdot R^{0.63} \cdot S^{0.54}$$

Kjer je:

- Q je pretok (m³/s ali l/s),
- C je Hazen-Williamsov koeficient, ki je odvisen od materiala cevi (brezdimenzijski),
- A je prerez cevi (m²),
- R je hidravlični polmer (m),
- S je padec tlaka na enoto dolžine (m/m).

Za določanje premera cevi se lahko uporabijo različni pristopi, enostavna enačba, ki vključuje premer cevi (D), hitrost (v) in pretok (Q), pa je naslednja:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

Kjer je:

- D je notranji premer cevi (m),
- Q je pretok (m³/s),
- v je hitrost pretoka (m/s),
- π je matematična konstanta Pi, približno 3.14159.

Uporaba Darcy-Weisbachove enačbe:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Kjer je:

- h_f je izguba tlaka zaradi trenja (m),
- f je Darcyjev koeficient trenja (brezdimenzijski),
- L je dolžina cevi (m),
- D je premer cevi (m),
- v je hitrost pretoka (m/s),
- g je gravitacijski pospešek, približno 9,81 m/s².

Za določanje premera cevi s pomočjo Hazen-Williamsove enačbe se pogosto uporablja iterativni postopek, pri katerem se najprej predpostavi začetni premer cevi, nato pa se ta prilagaja glede na izračunane vrednosti tlaka in pretoka. Formule za dimenzioniranje vodovoda vključujejo vrsto spremenljivk, ki jih je treba natančno opredeliti v skladu s specifičnimi pogoji posameznega projekta. Natančno dimenzioniranje zahteva upoštevanje vseh pomembnih parametrov, pogosto pa se pri tem uporabljajo računalniška orodja za zagotavljanje natančnih izračunov (RCI, 2018).

Natančno dimenzioniranje vodovodnih cevi v javnem vodovodnem omrežju je ključnega pomena iz več razlogov. Prvič, zagotavlja zadostno oskrbo z vodo vsem uporabnikom na določenem območju. Tukaj lahko vidimo pomembnost in ponovno lahko potrdimo **hipotezo 2**, da redno vzdrževanje in obnova starih vodovodnih sistemov z ustreznim dimenzioniranjem zmanjšuje vodne izgube za 10 %.

Če so cevi premajhne, lahko pride do pomanjkanja vode in nizkega tlaka, kar povzroča nezadostno oskrbo za gospodinjstva, industrijo in javne objekte. Drugič, pravilno dimenzioniranje omogoča vzdrževanje ustreznega tlaka vode. Premajhne cevi povzročajo padec tlaka, kar vodi do težav na končnih točkah, medtem ko je težava pri prevelikih ceveh pomanjkanje zadostnega pretoka vode, kar vodi v zastajanje vode v cevovodih. To lahko negativno vpliva na kakovost vode, saj spodbuja razvoj mikroorganizmov, zvišuje temperaturo vode ter povzroča nalaganje usedlin na dnu cevi. Izgube vode, kot so puščanja, so odvisne od tlaka – višji tlak povečuje iztekanje vode skozi morebitne odprtine v sistemu.

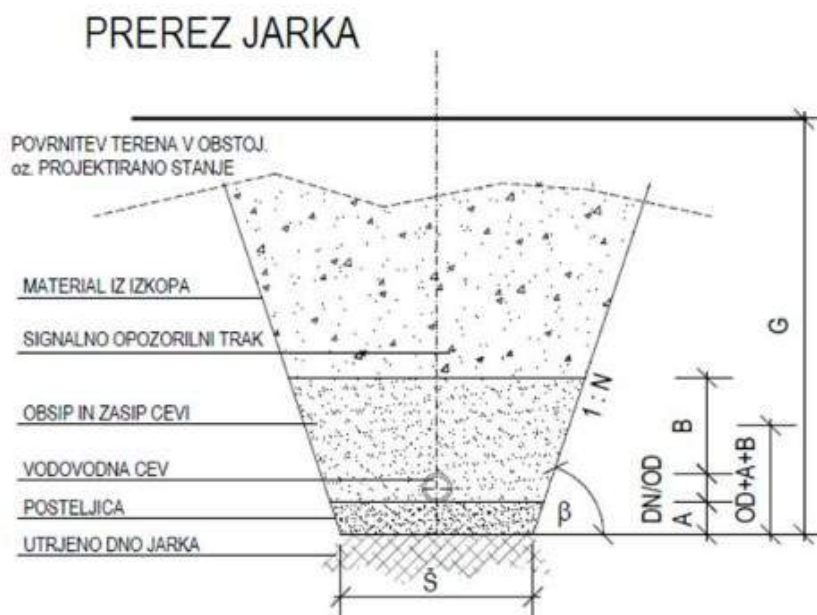
Dimenzioniranje vpliva tudi na energijsko učinkovitost, saj premajhne ali prevelike cevi zmanjšajo učinkovitost delovanja sistema. Premajhne cevi zahtevajo več energije za prečrpavanje vode, medtem ko prevelike cevi povzročajo nepotrebne izgube zaradi trenja in prekomerne količine vode v sistemu. Natančno dimenzioniranje pomaga tudi ohranjati hidravlično ravnovesje v omrežju, kar preprečuje težave, kot so zračne zapore, vibracije in vodni udari. Na koncu pa ima natančno dimenzioniranje tudi pomemben vpliv na ekonomičnost sistema, saj prevelike cevi povečujejo stroške izgradnje in materiala, medtem ko premajhne cevi zahtevajo večje vzdrževanje in morebitne nadgradnje. Vse to skupaj prispeva k učinkovitemu, varnemu in trajnostnemu delovanju javnega vodovodnega omrežja.

6.3 Priprava terena in izvedba izkopov

Priprava terena je ključni prvi korak pri gradnji vodovodnega omrežja, saj zagotavlja trdne temelje za nadaljnje gradbene aktivnosti. Postopek vključuje več faz, kot sta pregled in analiza terena, kjer se opravijo geološke in hidrološke raziskave za oceno stabilnosti tal in morebitnih ovir, kot so podzemne vode in kamnine. Po analizi sledi čiščenje terena, kjer se odstranijo vse naravne in umetne ovire, kar omogoča nemoten dostop do gradbišča in pripravo terena za izkope.

Po čiščenju se natančno zakoliči trasa vodovodnega omrežja, kar vključuje označevanje poteka cevi ter lokacije jaškov in drugih infrastrukturnih elementov. Nato se izvedejo izkopi, katerih globina in širina sta prilagojeni vrsti cevi in namenu omrežja. Pomembno je zagotoviti ustrezno globino za zaščito cevi pred zmrzaljo in mehanskimi poškodbami, hkrati pa mora širina izkopa omogočati enostavno polaganje cevi in dostop za delavce.

Med izkopi se uporabljajo zaščitni ukrepi, kot so opornice in opaži, da se preprečijo ugrezi tal in zaščitijo delavci pred nevarnostjo zrušitve sten izkopa. Prav tako je ključnega pomena urejanje drenaže za preprečevanje zbiranja vode, kar vključuje črpanje podtalnice in namestitvev drenažnih cevi.



Slika 24: Profil polaganja cevovoda

Vir: (http://www.lex-localis.info/files/485ec428-3d86-448b-ac88-7d9058832539/2544686137531874801_clip_image008.jpg)

Po dokončanju izkopa se položi vodovodne cevi. Cevi se položijo na posteljo iz drobljenca ali peska, ki zagotavlja stabilno podlago in preprečuje poškodbe. Cevi se nato povežejo in preizkusijo na tesnost.

Zasipanje in utrjevanje: Ko so cevi položene in preizkušene, se izkop zasipa z zemljo ali peskom. Postopno zasipanje in utrjevanje materiala zagotavlja, da ni praznin, ki bi lahko povzročile posedanje tal in poškodbe cevi.

Priprava terena in izvedba izkopov sta temeljna koraka pri gradnji vodovodnega omrežja. Skrbna priprava terena in natančna izvedba izkopov zagotavljata varno in učinkovito polaganje cevi, kar prispeva k zanesljivosti in dolgotrajni funkcionalnosti vodovodnega omrežja (RCI, 2018) (Vodovod Maribor, 2020).

6.4 Polaganje cevi in namestitve sestavnih elementov

Polaganje cevi je ključen korak pri gradnji vodovodnega omrežja, saj zagotavlja transport pitne vode od vira do končnih uporabnikov. Postopek vključuje več faz, vsaka s svojimi specifičnimi zahtevami.

Pred polaganjem se cevi pregledajo, da se zagotovi njihova brezhibnost. Po potrebi se odrežejo na pravo dolžino in pripravijo potrebne spojke. Dno izkopa se poravna in prekrije s plastjo drobljenca ali peska, kar zagotavlja stabilno in enakomerno podlago za cevi. Debelina posteljice je običajno med 10 in 15 cm, odvisno od tipa tal in premera cevi. Cevi se položijo na posteljico in se pazljivo usmerijo, da se zagotovi pravilna lega in naklon. Običajno se polagajo v ravnih odsekih, z rahlimi odkloni na mestih zavojev. Cevi se najpogosteje povežejo z uporabo multijoint spojk ali z varovalnimi objemkami. Pri vsakem spoju je pomembno zagotoviti, da je tesno zatesnjen, da preprečimo puščanje. Po polaganju cevi in preverjanju tesnosti se cev obsiplje z drobnozrnatim materialom, kar zagotavlja dodatno zaščito cevi. Nato se izkop zasipa s preostalim materialom, ki se ga utrdi v plasteh, da se prepreči posedanje tal (RCI, 2018).

Namestitve sestavnih elementov

Fazonski kosi in armatura morajo biti primerni za delovni tlak PN 16. Vertikalno in horizontalno zaščito lokov je treba izvesti z betonskimi ojačitvami. Lokacije, kjer se nahajajo glavni ventili in druga armatura, se morajo na terenu označiti z označevalnimi tablicami, nameščenimi izven območja oviranja cestišča. Vsa inštalacija, oprema in armatura morajo biti izdelani iz materiala, ki ustreza kakovosti, in dimenzij po standardu SIST EN 805. Montaža se

izvede skladno z navodili proizvajalca ter splošno uveljavljenimi navodili in priporočili, pri čemer se je treba ravnati skladno s Pravilnikom o pitni vodi (Ur. l. RS, 19/2004).

Najpogostejši elementi

Zasuni se namestijo na ključna mesta v omrežju, da omogočajo nadzor pretoka vode in prekinejo pretok delov omrežja med vzdrževalnimi deli ali v primeru okvar.



Slika 25: Primer prirobičnega zasuna

Vir: (Coma commerce d.o.o.)

Kolena: Pri morebitnih obstoječih inštalacijah ali naravnih prerekah, kot tudi pri zavojih vej vodovoda moramo cevovod prilagoditi. To lahko izvedemo z uporabo fazonskih elementov, ki jih dobimo s prirobičnim spojem (FFK) in obojičnim spojem (MMK) v različnih stopinjah kota.



Slika 26: Primer kolena z obojičnim spojem (MMK)

Vir: (Coma commerce d.o.o.)



Slika 27: Primer kolena s prirobnicami (FFK Q)

Vir: (Coma commerce d.o.o)

Hidranti se namestijo za potrebe gasilstva in čiščenja omrežja na območje, ki je vedno dostopno. Telo vgrajenega nadzemnega hidranta mora biti iz nerjavnega jekla, z dvema »C« priključkoma in enim »B« priključkom ter morajo ustrezati standardu DIN 3222.



Slika 28: Nadzemni hidrant

Vir: (Coma commerce d.o.o)

Spojke: Navezave oziroma prevezave novega vodovoda s starim se najpogosteje izvedejo s t. i. multijoint spojkami. Obstaja več različnih možnosti pri izbiri le-teh, in sicer lahko se jo uporabi v različnih kombinacijah. Izvede se lahko prevezava z enojno multijoint spojko iz PE-cevi na cev iz nodularne litine (NL), kjer se PE-cev potisne v spojko in zatesni z za vijačenjem vijakov, medtem ko drugo stran pritrdimo skupaj s prirobnico. Pri uporabi dvojne multijoint spojke pa se na obeh straneh cev namesti in potisne v spojko ter zatesni z nameščenimi vijaki.



Slika 29: Multijoint spojka – dvojna

Vir: (Coma commerce d.o.o)



Slika 30: Multijoint spojka – enojna

Vir: (Coma commerce d.o.o)

Priključki za uporabnike: Priključki za posamezne uporabnike se namestijo na mestih, kjer se cevi povežejo z objekti. To vključuje namestitve priključnih cevi, vodomeroval in ventilov za nadzor pretoka vode v posamezne objekte.

Jaški: Jaški omogočajo dostop do ključnih sestavnih delov omrežja, kot so ventili in spojke, za potrebe vzdrževanja in popravil.



Slika 31: Primer vodomernega jaška – tip Zagožen

Vir: (Coma commerce d.o.o)

Odzračevalna garnitura je tehnična naprava, ki združuje ohišje z zapornim elementom in odzračno-dozračni ventil (BEV). Njena glavna funkcija je omogočanje učinkovitega odzračevanja in dozračevanja vodovodnih ali drugih tlačnih sistemov, kjer se lahko zrak nabere ali je potrebno izpuščanje zraka za nemoteno delovanje sistema. Uporablja se v infrastrukturnih sistemih, kjer je treba preprečiti kopičenje zraka v ceveh, kar bi lahko povzročilo hidravlične udarce in zmanjšalo učinkovitost pretoka. Patentirana valjasta membrana in vzmeti omogočajo blaženje hidravličnih udarcev, kar podaljšuje življenjsko dobo sistema in izboljšuje njegovo zanesljivost.



Slika 32: Avtomatski zračnik

Vir: (Coma commerce d.o.o)

Polaganje cevi in namestitve sestavnih elementov sta ključna koraka pri gradnji vodovodnega omrežja, ki zagotavljata zanesljivo in učinkovito oskrbo z vodo. Skrbno načrtovanje in natančna izvedba vseh faz zagotavljata dolgo življenjsko dobo in minimalne motnje pri oskrbi uporabnikov (RCI, 2018).

7 IMPLEMENTACIJA VODOVODNEGA SISTEMA

7.1 *Testiranje in zagon sistema*

Testiranje in zagon vodovodnega sistema sta izjemno pomembni fazi, ki zagotavljata pravilno, učinkovito in varno delovanje sistema. Med gradnjo vodovodnega sistema je ključno skrbno spremljanje vizualnega pregleda vseh komponent, vključno s cevmi, ventili, spoji in drugimi deli, da se pravočasno odkrijejo morebitne poškodbe ali neskladnosti s projektnimi specifikacijami.

Po zaključeni namestitvi odseka vodovoda sledi tlačni preizkus, znan tudi kot hidrotest. Ta preizkus služi za preverjanje, ali vodovodni sistem prenese predpisani tlak brez puščanja. Sistem se najprej napolni z vodo, pri čemer je ključnega pomena, da se popolnoma odstrani zrak. Nato se v sistemu vzpostavi in vzdržuje določen tlak (po navadi višji od obratovalnega) za določeno obdobje, v katerem se spremlja morebitni padec tlaka, kar bi lahko kazalo na puščanje.

Izvedba tlačnega preizkusa mora biti izvedena skladno z zahtevami SIST EN 805:2000, ob upoštevanju dodatnih smernic. Preizkus cevovoda se izvede po tem, ko je cevovod že zasut. Pred polnjenjem sistema z vodo je treba zatesniti oba konca odseka, ki se preizkuša. Zasidrati je smiselno tudi vse odcepne veje in krivine, da preprečimo morebitne premike med preizkusom. Podpore na koncih vodovoda morajo ostati na svojem mestu skozi celoten čas izvajanja preizkusnega tlaka. Ravni odseki se sidrajo na vsakih 100 metrov, po potrebi se lahko cevovod pred preizkusom razdeli na več odsekov. Odsek, ki ga preizkušamo, se napolni s čisto vodo in temeljito odzrači. Na vsaki strani cevovoda se pritrdita dva manometra za merjenje pritiska, pri čemer mora biti eden nameščen v najnižji točki preizkusnega odseka. Količina vode, potrebna za dosego preizkusnega tlaka, se natančno izmeri na posodi tlačne črpalke. Preizkus morata spremljati strokovno usposobljena oseba izvajalca in nadzorni organ investitorja. Pred začetkom preizkusa mora biti cevovod napolnjen z vodo vsaj 24 ur in pod tlakom sedem barov.

Tlačni preizkus se izvaja v skladu z internimi navodili upravljavca, pri čemer so glavni parametri preizkusa opisani v nadaljevanju (RCI, 2018).

Pred glavnim preizkusom se izvede predpreizkus, ki traja 24 ur pri najvišjem obratovalnem tlaku sedem barov. Po tem sledi glavni preizkus, ki se izvaja v skladu s standardom DIN 4279.

Trajanje glavnega preizkusa je odvisno od nazivnega premera cevovoda.

Premier cevi (DN):

Do 200 mm: 3 ure

Nad 200 mm: 6 ur

Preizkusni tlak sistema mora biti usklajen s projektom. Za cevovode, narejene iz nodularne litine, PE-cevovode in jeklene cevovode s cementno oblogo se upoštevajo naslednje formule (po EN 805):

MDP = sistemski obratovalni tlak, opredeljen kot največji možni obratovalni tlak v sistemu.

STP = sistemski preizkusni tlak za vse cevovode.

Za cevovode iz nodularne litine, jeklene cevovode s cementno oblogo in PE-cevovode velja (po EN 805):

$STP = MD \text{ Pa} + 500 \text{ kPa}$ oziroma

$STP = MD \text{ Pa} \times 1,5$, pri čemer se uporabi nižja vrednost.

Preizkus je treba izvesti v skladu z navedenimi smernicami. Če se med tlačnim preizkusom odkrijejo netesnosti na spojih, je treba preizkus takoj ustaviti, cevovod izprazniti, odpraviti napake in ponoviti preizkus. O preizkusu je treba voditi zapisnik po obrazcu, prilagojenem standardu DIN 4279, ki ga morajo podpisati nadzornik, izvajalec preizkusa in predstavnik izvajalca, ki vodi gradnjo vodovoda. Omenjeni podpisani zapisnik je ključni del dokumentacije, ki potrjuje zanesljivost sistema.

Pri tesnilnih mestih na koncu preizkusnega dela cevovoda je potrebna posebna pozornost, saj na teh mestih nastajajo velike obremenilne sile, konstrukcija pa mora te učinkovito prenesti. Upoštevati je treba predpise o varstvu pri delu, da se zagotovi varna izvedba.

Če pride do padca tlaka, je verjetno, da sistem pušča. Pri že položenih vodovodnih ceveh se za enostavnejšo detekcijo puščanja uporablja posebna oprema, vključno s slušalnimi napravami in detektorji. Pregledajo se vsi spoji, ventili in drugi kritični deli sistema. Sledi preizkus delovanja ventilov in opreme, pri katerem se preveri njihovo pravilno delovanje. Vsak ventil in

komponenta se večkrat odpre in zapre, da se zaznajo morebitne nepravilnosti, ki jih je treba odpraviti.

Naslednji korak je izpiranje sistema, katerega cilj je odstraniti vse ostanke in nečistoče. Sistem se izplakne z veliko količino čiste vode, da se odstranijo pesek, kovinski delci in drugi materiali, ki bi lahko vplivali na kakovost vode.

Kloriranje in dezinfekcija sta pomembna koraka za zagotavljanje higienske neoporečnosti sistema. Sistem se napolni z vodo, ki vsebuje določeno koncentracijo klora, in se pusti učinkovati za določen čas. Po tem se sistem temeljito izpere s čisto vodo, dokler koncentracija klora ne doseže sprejemljive ravni. Preizkus kakovosti vode zagotavlja, da voda izpolnjuje zdravstvene in varnostne standarde. Voda se mora obvezno testirati na različne parametre, vključno s kemičnimi in mikrobiološkimi analizami, preden se izvede prevezava na obratovalni vodovod ali hišni priključek. Ko so vsi testi pozitivni, se lahko izvedejo prevezave do končnih uporabnikov.

Na koncu se pripravi podrobno poročilo o izvedenih testiranjih, rezultatih in opravljenih popravkih. Dokumentacija se predloži naročniku in arhivira za morebitno prihodnjo uporabo. S temi koraki testiranja in zagona se zagotovi, da je vodovodni sistem varen, zanesljiv in pripravljen za uporabo ter da učinkovito izpolnjuje svoj namen (HIDROSVET, 2021).

7.2 Izvedba priključitev končnih uporabnikov

Vodovodni hišni priključek zajema cevovod od javnega vodovoda do vodovodnega števca, ki ga upravlja upravljavec javnega vodovodnega omrežja. Cevovod za števce pa je v lasti in upravljanju lastnika vodovodnega števca. Premer priključka za gospodinjske uporabnike je običajno DN 20 (3/4"), lahko pa je tudi večji, do DN 25 (1"). Pri negospodinskih uporabnikih je premer priključka treba določiti v dogovoru z upravljavcem vodovodnega sistema. Priključitev hišnega priključka se izvede z navrtnim zasunom, ki je primeren za priklop na duktilne cevi. Ta omogoča hiter priklop manjših uporabnikov na glavni cevovod tudi ob prisotnosti tlaka v sistemu. Točna lega posameznega priključka ni vedno razvidna iz načrtov, zato je potrebno natančno preverjanje trase in elementov priključka na terenu (RCI, 2018).

8 HIPOTEZA 4 – TEHNOLOŠKA OPTIMIZACIJA VODOVODA

Uvedba tehnoloških novitet v javni vodovod je več kot dobrodošla za zagotavljanje varne, zanesljive in učinkovite oskrbe s pitno vodo. V tem poglavju bomo proučili različne tehnološke pristope in strategije, ki lahko izboljšajo delovanje vodovodnega sistema, in preverjali **hipotezo 4**, ki pravi, da se z implementacijo sodobnih tehnologij v vodovodne sisteme lahko zmanjša vodne izgube za vsaj 20 %.

Implementacija pametnih merilnikov vode omogoča natančno spremljanje porabe vode v realnem času. Ti merilniki zaznavajo nenavadno porabo ali puščanje, kar omogoča hitro odzivanje na morebitne težave. Pametni merilniki prispevajo k zmanjšanju vodnih izgub, optimizaciji delovanja omrežja in zmanjšanju stroškov vzdrževanja.

Sodobni sistemi daljinskega upravljanja in nadzora omogočajo takojšnje ukrepanje v primeru okvar. Ti sistemi omogočajo stalno spremljanje stanja vodovodnega omrežja, kar povečuje zanesljivost in učinkovitost oskrbe z vodo. Daljinsko upravljanje omogoča tudi hitro identifikacijo in odpravljanje napak, kar zmanjšuje čas izpada sistema. Splošno znano je, da vodne izgube predstavljajo enega največjih izzivov sodobnih vodovodnih sistemov.

Kot že omenjeno, se v povprečju izgubi več kot 30 % vode zaradi puščanj in defektov, v nekaterih primerih pa so te izgube še precej večje. Uvajanje kakovostnejših materialov, redno vzdrževanje in obnova starih vodovodnih sistemov lahko bistveno zmanjšajo te izgube. Pravilno dimenzioniranje in zanesljiva izvedba tesnilnih mest prav tako prispevata k zmanjšanju izgub vode. Optimizacija vodovodnih sistemov ne prispeva le k izboljšanju učinkovitosti, temveč tudi k zmanjšanju okoljskega vpliva. Zmanjšanje vodnih izgub pomeni manjšo porabo naravnih virov in manjši vpliv na okolje. Prav tako se zmanjšajo stroški proizvodnje in distribucije vode, kar prispeva k trajnostni rabi virov.

Tehnološka optimizacija javnega vodovoda je bistvena za zagotavljanje učinkovite, zanesljive in trajnostne oskrbe s pitno vodo. Uvajanje naprednih materialov, pametnih merilnikov, sistemov daljinskega upravljanja in nadzora ter redno vzdrževanje so ključni dejavniki za doseg tega cilja. S tem se ne izboljša le kakovost oskrbe, temveč se tudi zmanjšajo stroški in okoljski vplivi, kar prispeva k boljšemu življenjskemu standardu prebivalcev (Vodovod Maribor, 2020).

Tehnološka optimizacija vodovodnih sistemov predstavlja ključno področje v sodobnem upravljanju z vodo, ki se osredotoča na izboljšanje učinkovite rabe, zmanjšanje izgub in zagotavljanje visoke kakovosti vode. V tem kontekstu bomo podrobneje obravnavali prednosti in slabosti tovrstne optimizacije.

Prednosti tehnološke optimizacije vodovoda

Povečana učinkovitost: Tehnologija omogoča boljše upravljanje vodovodnih omrežij. S pomočjo naprednih analitičnih orodij in senzorjev je mogoče natančno spremljati in regulirati porabo vode ter zaznati puščanja v realnem času. Na primer, sistem pametnega merjenja omogoča takojšnje obveščanje upravljavcev o nenadnih spremembah v tlaku, kar lahko vodi do hitrejšega odpravljanja težav in zmanjšanja izgub vode.

Izboljšana kakovost vode: Tehnologije, kot so senzorski sistemi za spremljanje kakovosti vode, omogočajo natančno zaznavanje onesnaževal in nepravilnosti. S tem se povečuje zaupanje uporabnikov v kakovost pitne vode. Na primer, sistem za kontinuirano spremljanje kakovosti lahko takoj opozori na prisotnost bakterij ali kemikalij, kar omogoča hitro ukrepanje in zaščito javnega zdravja.

Zmanjšani operativni stroški: Avtomatizacija procesov, kot so črpanje in razporeditev vode, lahko znatno zmanjša stroške delovanja. Sodobni algoritmi optimizirajo delovanje črpalk in zmanjšujejo porabo energije, kar zagotavlja dolgoročne prihranke. Na primer, optimizacija delovanja črpalk v sistemu lahko zmanjša stroške za elektriko tudi do 25 %.

Trajnost in varčevanje z vodo: Uporaba pametnih merilnikov in sistemov za analizo podatkov spodbuja trajnostno rabo vode. Uporabniki so bolj ozaveščeni o svoji porabi in lahko prilagodijo svoje navade, kar vodi do zmanjšanja celotne porabe vode. Na primer, v nekaterih mestih je uvedba pametnih merilnikov povečala zavedanje o porabi vode in tako zmanjšala porabo.

Slabosti tehnološke optimizacije vodovoda

Visoki začetni stroški: Uvedba naprednih tehnologij zahteva znatne začetne investicije, kar lahko predstavlja izziv, zlasti za manjša mesta ali občine z omejenimi proračuni. Stroški za nakup opreme, inštalacijo in usposabljanje osebja se lahko hitro povečajo.

Tehnološke odvisnosti: Povečanje uporabe tehnologije prinaša tudi večjo odvisnost od teh sistemov. Napake v sistemu lahko povzročijo obsežne motnje v oskrbi z vodo. Na primer, če pride do izpada električne energije ali napake v programski opremi, lahko to vodi do prekinitve oskrbe s pitno vodo.

Potrebna usposobljenost osebja: Z uvedbo novih tehnologij se povečuje potreba po usposabljanju zaposlenih. To vključuje dodatne stroške in čas, potrebne za obvladovanje novih sistemov. Kakovost delovanja vodovodnih sistemov je neposredno povezana z znanjem in sposobnostmi osebja.

Pomanjkanje standardizacije: Različne tehnologije in sistemi morda niso medsebojno združljivi, kar lahko oteži njihovo integracijo in delovanje. Ta pomanjkljivost lahko vodi do dodatnih težav pri upravljanju in koordinaciji med različnimi vodovodnimi omrežji.

Tehnološka optimizacija vodovodnih sistemov prinaša številne koristi, ki lahko bistveno izboljšajo učinkovitost in kakovost oskrbe z vodo. Kljub temu je pomembno, da se zaveda tudi izzivov, ki jih uvajanje takšnih sistemov prinaša. Uspešna implementacija zahteva dobro načrtovanje, ustrezno usposabljanje osebja in trajnostno proračunsko podporo, da se zagotovi dolgoročna uporabnost in zanesljivost teh tehnologij.

V letu 2020 so v Mariboru začeli intenzivno vgrajevati kontrolne merilnike v vodovodno omrežje, kar omogoča nadzor in spremljanje podatkov na manjših oskrbovalnih območjih (conah). Merilniki so opremljeni s komunikacijskimi moduli, ki so povezani z informacijskim sistemom, kar omogoča hitro zaznavanje nepravilnosti in neskladij v porabi vode. To omogoča hitrejšo reakcijo in takojšnje posredovanje vzdrževalcev za iskanje in odpravo napak. Do konca leta je bilo v sistemu vgrajenih 320 kontrolnih merilnikov, od katerih 191 pošilja podatke vsaj dvakrat dnevno, z merjenji vsakih 15 minut. Ti merilniki se uporabljajo v sistemu za upravljanje vodnih izgub, kjer je omrežje razdeljeno na posamezna merilna območja (DMA) (Vodovod Maribor, 2020).

Na podlagi uporabe lokalnih merilnikov in pametne tehnologije lahko kritično ocenimo potencial za zmanjšanje vodnih izgub v vodovodnih sistemih. Pametni merilniki omogočajo natančno spremljanje porabe vode v realnem času in hitro zaznavanje puščanj, kar prispeva k učinkovitejšemu vzdrževanju omrežja.

Iz preteklih primerov uvajanja takšne tehnologije lahko sklepamo, da bi lokalni merilniki in sistemi za daljinsko spremljanje porabe lahko prispevali k zmanjšanju vodnih izgub za približno 10–15 %. Ključni razlogi za to so hitra identifikacija puščanj in nenavadnih sprememb v porabi, kar omogoča hitro ukrepanje in zmanjšanje trajanja vodnih izgub. V nekaterih optimiziranih omrežjih se poročila o uspešnih implementacijah pametne tehnologije gibljejo tudi proti 20-odstotnemu zmanjšanju vodnih izgub. V poročilu Mariborskega vodovoda za leto 2020, objavljenem na njihovi uradni spletni strani, so navedeni dosežki pri uporabi kontrolnih

merilnikov, ki omogočajo natančno spremljanje podatkov o porabi vode na manjših območjih. V tem poročilu so poudarili, da so na koncu leta 2020 v sistem vključili 320 kontrolnih merilnikov, od katerih 191 pošilja podatke minimalno dvakrat dnevno, kar omogoča učinkovito upravljanje vodnih izgub. Z uporabo teh merilnikov so uspeli izboljšati nadzor in optimizirati delovanje omrežja, kar kaže na potencialno zmanjšanje izgub vode.

Če bi v našem projektu vključili vgradnjo pametnih merilcev, bi lahko natančneje in sprotno spremljali porabo ter hitreje odkrili puščanja.

Primer, kako bi lahko z vključevanjem sodobne tehnologije prispevali k zmanjšanju izgub in kaj bi to pomenilo v odstotkih

Pametni merilci omogočajo stalno spremljanje pretoka vode in lahko hitro zaznajo nepričakovane spremembe, kot je nenadni porast pretoka ali stalni odtok, tudi takrat, ko porabe ne bi smelo biti (na primer ponoči). Z zgodnjim opozorilom na potencialno puščanje se lahko intervencija izvede hitreje in prepreči nadaljnje izgube. Uvedba pametnih merilcev bi lahko zmanjšala izgube zaradi neodkritih puščanj za približno 10–15 %, saj bi se čas med zaznavo puščanja in odpravo napake bistveno skrajšal.

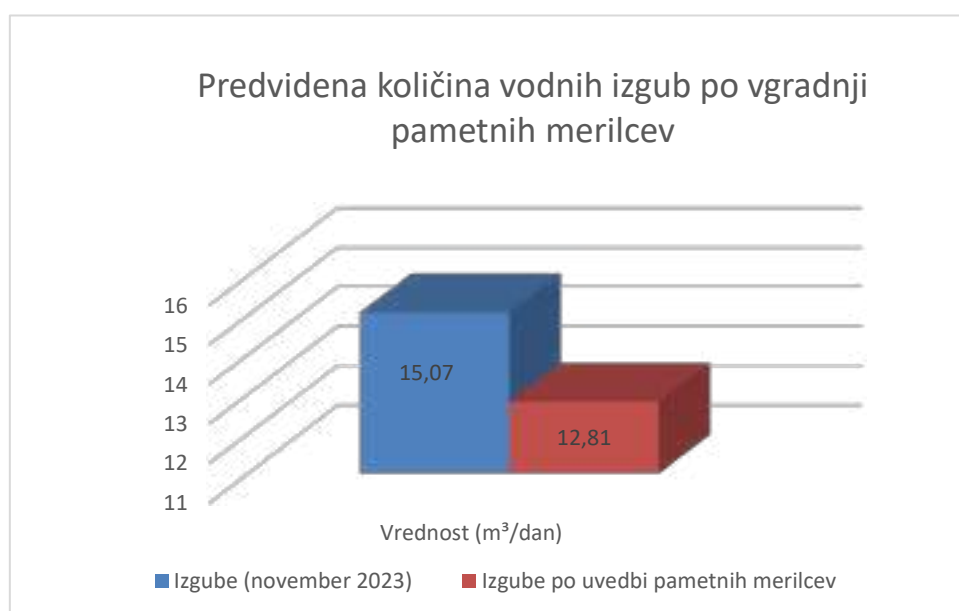
Pametni merilci omogočajo zbiranje podatkov po različnih odsekih omrežja (odvisno je od števila vgrajenih merilcev), kar pomeni, da je mogoče ugotoviti, kje točno se izgube pojavljajo. S to tehnologijo bi operaterji lahko osredotočili sredstva na kritične točke z največ izgubami in proaktivno izvajali popravila in izboljšave. S segmentiranjem težavnih območij bi lahko zmanjšali izgube za dodatnih 3–4 %, saj bi se ukrepi bolj natančno usmerili.

Če združimo vse pozitivne učinke vgradnje, predvidevamo, da bi pametni merilci lahko pripomogli k zmanjšanju vodnih izgub na odseku za skupno približno 15 %. Končna vrednost se lahko razlikuje glede na začetno stanje omrežja in učinkovitost izvajanja ukrepov. Če so izgube trenutno $15,07 \text{ m}^3/\text{dan}$, bi zmanjšanje za 15 % znižalo izgube na približno $12,81 \text{ m}^3/\text{dan}$. To pomeni, da bi zmanjšanje znašalo $2,26 \text{ m}^3/\text{dan}$. Omenjeno je za lažjo predstavbo izrisano tudi v Grafikonu 4.

Tabela 8: Pregled podatkov izgube pred vgradnjo in po vgradnji pametnih merilcev

Parameter	Vrednost (m ³ /dan)
Izgube (november 2023)	15,07
Zmanjšanje izgub za 15 %	2,26
Izgube po zmanjšanju (predvideno)	12,81

Vir: (Lastne ocene in predvidevanja na podlagi predhodnih analiz)



Grafikon 4: Količina izgube pred uvedbo in po uvedbi pametnih merilcev

Vir: (Lastne ocene in predvidevanja na podlagi poročil)

To poročilo ilustrira uspešno uporabo lokalnih merilnikov in pametne tehnologije v praksi in **delno potrjuje hipotezo 4**, da se z implementacijo sodobnih tehnologij v vodovodne sisteme lahko zmanjša vodne izgube za vsaj 20 %. Zmanjšanje vodne izgube z vključevanjem sodobne tehnologije zaenkrat res ne dokazuje 20-odstotnega zmanjšanja, pa vendar so na podlagi dejansko že izvedenih implementacij in pa na predvidevanih odstotkih, ki se gibljejo okrog 15 %, še vedno zadovoljive.

Seveda je zmanjšanje odvisno od trenutnega stanja vodovodnega omrežja, pogostosti puščanj in hitrosti odzivanja na zaznane težave, kar poudarja pomembnost sodobne tehnologije pri upravljanju vodovodnih sistemov.

9 SKLEPI

Zaključni del te raziskave potrjuje, da je rekonstrukcija vodovodnega sistema izjemno pomemben korak k zagotavljanju trajnostne in učinkovite oskrbe z vodo. Primarni cilj projekta je bil zmanjšanje vodnih izgub in izboljšanje zanesljivosti oskrbe z vodo, kar je ključnega pomena za vsako skupnost. Stari cevovodi in priključki, ki so pogosto izpostavljeni okvaram, koroziji in puščanju, povzročajo znatne stroške vzdrževanja in vodijo do velikih izgub vode. Na določenih območjih so te izgube dosegle celo več kot 40 %, kar je pomenilo resno finančno in okoljsko breme. Projekt rekonstrukcije, ki je vključeval zamenjavo dotrajanih cevi z novimi materiali, kot sta nodularna litina in polietilen (PE100), je prinesel izboljšave v zanesljivosti sistema in zmanjšal izgube vode.

Z uporabo sodobnih materialov se je zmanjšala potreba po pogostem vzdrževanju, hkrati pa se je izboljšala tudi kakovost pitne vode. Stare cevi so pogosto bile vir kontaminacije, zlasti zaradi korozije in drugih poškodb, kar je ogrožalo varnost vode. Zamenjava s cevmi iz nodularne litine in PE-materialov, ki so zelo odporni na notranje in zunanje vplive, je močno zmanjšala tveganje za onesnaženje vode. To je pomembno prispevalo k zagotavljanju boljše kakovosti pitne vode in zaščiti zdravja prebivalcev. Z omenjenim smo potrdili **hipotezo 1**, ki pravi, da implementacija kakovostnejših materialov v vodovodne sisteme zmanjšuje pogosta popravila in napake na sistemu, kar povečuje učinkovitost omrežja za 20 %. Hkrati pa delno potrjujemo tudi **hipotezo 2**, ki pravi, da redno vzdrževanje in obnova starih vodovodnih sistemov z ustreznim dimenzioniranjem zmanjšujeta vodne izgube za 10 %. Iz praktičnega primera je razvidno, da se je stanje vodnih izgub izboljšalo, pa vendar samo za polovico pričakovanega.

Ugotovitve raziskave prav tako kažejo na ekonomske prednosti uporabe polietilenskih cevi. Primerjava stroškov je pokazala, da so PE-cevi ekonomsko ugodnejša rešitev v primerjavi z duktilnimi cevmi. Polietilenske cevi premera 90 mm so za približno 61,4 % cenejše od duktilnih cevi DN 80, PE-cevi premera 110 mm pa za približno 45,5 % cenejše od duktilnih cevi DN 100. Ta razlika v ceni je še posebej pomembna pri večjih projektih, kjer je potrebna večja količina cevi, saj se stroški na dolgi rok bistveno znižajo. Vendar pa duktilne cevi kljub višji ceni ponujajo izjemne mehanske lastnosti in odpornost na korozijo, kar podaljšuje njihovo življenjsko dobo na več kot 50 let, kar jih naredi primerno izbiro za specifične pogoje, kjer so obremenitve visoke. S pridobljenimi podatki smo ugotovili, da **hipoteza 3**, ki trdi, da je razlika med vodovodnimi polietilenskimi cevmi v primerjavi z duktilnimi cenejša za vsaj 30 %, drži in da je odstotek razlike v ceni celo večji kot prvotno predviden.

Vključevanje tehnologije ni izboljšalo zgolj učinkovitosti vodovodnega sistema, temveč tudi hitrejše zaznavanje večjih odstopanj pri porabi vode. Slednje je z uvedbo novih tehnologij, kot so kontrolni merilniki vode ali ponekod tudi pametni merilniki pretoka vode. Pametni merilniki so opremljeni s komunikacijskimi moduli, ki omogočajo sprotno spremljanje porabe vode in odkrivanje morebitnih napak ali anomalij v omrežju. S tem se je zmanjšal čas odziva na napake, kar je bistveno pripomoglo k zmanjšanju stroškov vzdrževanja in popravil ter hitrejšemu odpravljanju puščanj. Upravljavci vodovodnega omrežja zdaj lahko bolj natančno spremljajo stanje sistema in hitro reagirajo v primeru nenormalnih odtokov, kar dodatno zmanjšuje nepotrebne izgube vode in s tem povezane stroške.

Eden od ključnih okoljskih dosežkov projekta je bil zmanjšanje ekološkega odtisa vodovodnega sistema. Zaradi bolj učinkovitega delovanja sistema in zmanjšanja potrebne energije se je zmanjšala poraba virov, kar ima pozitiven vpliv na trajnostno upravljanje z vodo. Po ocenah bi se lahko letne izgube vode, ki so bile leta 2023 ocenjene na okoli 50 %, zmanjšale za več milijonov evrov, s čimer bi se dolgoročno izboljšala finančna vzdržnost omrežja. Žal so raziskave pokazale, da **hipoteza 4** ne drži v celoti in ne dosega izboljšanja izgub za 20 %, temveč zgolj za 10–15 %. Seveda pa je odstotek odvisen od dejanskega stanja obstoječega omrežja in še več drugih dejavnikov, ki pa jih je težko predvideti.

V zaključku lahko potrdimo, da so bili cilji rekonstrukcije doseženi, kot tudi v večini vse postavljene trditve potrjene. Postavljena hipoteza, da bo uvedba novih materialov in tehnologij znatno izboljšala učinkovitost in trajnost vodovodnega sistema, je bila potrjena, vendar ne v pričakovanem odstotku. Ključne ugotovitve kažejo, da pravilna izbira materialov, kot so PE in duktilne cevi, ter vpeljava naprednih tehnologij, kot so pametni merilniki, pomembno prispevajo k trajnostni oskrbi z vodo in zmanjšanju stroškov. Z vidika upravljanja vodovodnega sistema so ti ukrepi omogočili ne le večjo zanesljivost in učinkovitost, temveč tudi zmanjšanje negativnih okoljskih vplivov.

Glede na pridobljena spoznanja bi bilo smiselno nadaljevati z uvajanjem novih tehnologij in materialov, saj te omogočajo dolgoročne prihranke in povečujejo zanesljivost delovanja omrežja. Trajnostni razvoj vodovodnih sistemov, zlasti v urbanih središčih, kot je Celje, zahteva kombinacijo ekonomskih in tehnoloških rešitev, ki omogočajo optimalno upravljanje virov in zmanjšanje obremenitev na okolje. Raziskava jasno nakazuje, da lahko pravilno načrtovana rekonstrukcija vodovodnih omrežij bistveno prispeva k boljši oskrbi prebivalcev z vodo, obenem pa zagotavlja večjo trajnost in nižje stroške delovanja.

10 VIRI IN LITERATURA

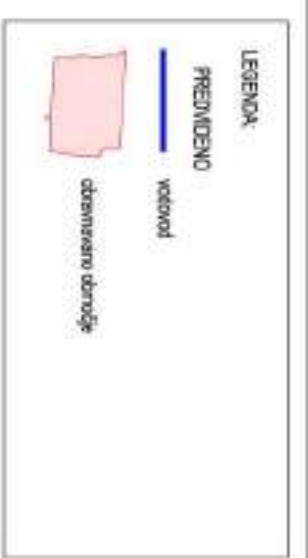
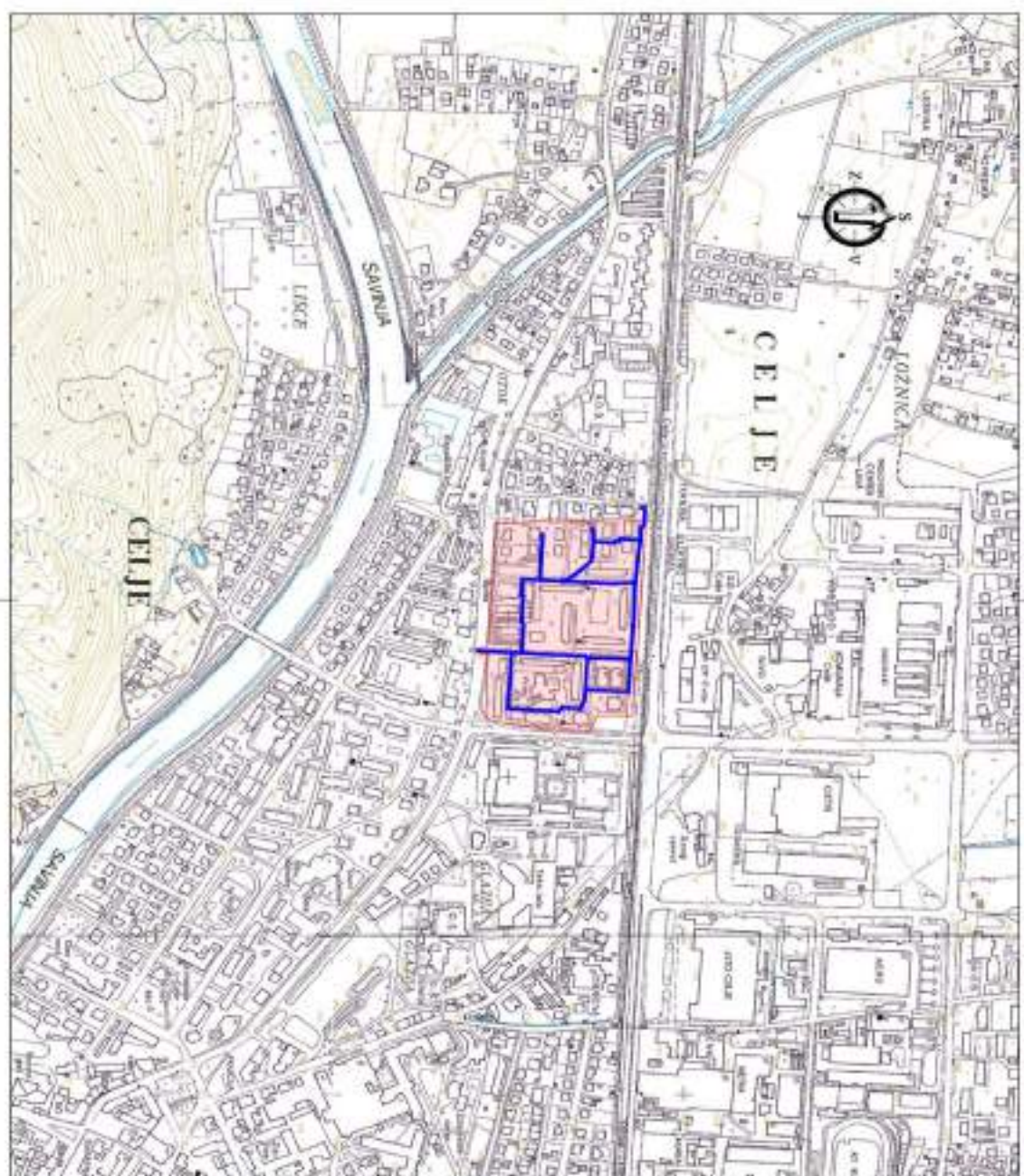
- Alvisi, S. F. (2014). *Heuristic procedure for the automatic creation of district metered areas in water distribution systems*.
- Bausovac M., K. J. (2018). *Celjsko podzemlje: Kanalizacija v Celju od antike do danes Celje*. Zgodovinski arhiv, Pokrajinski muzej, Vodovod – kanalizacija.
- GF Piping Systems. (1. oktober 2024). Pridobljeno iz <https://www.gfps.com/content/dam/gfps/com/product-ranges/en/gfps-9211-product-range-pe-systems-en.pdf>
- HIDROSVET. (2021). *Tehnično poročilo- Obnova vodovoda in vodovodnih priključkov na območju med Čopovo in Škvarčevo ulico v Celju*. Ljubljana.
- Malcolm J. Brandt, K. M. (2017). *Twort's Water Supply -Seventh Edition*.
- RCI. (2018). *Tehnično poročilo- Obnova vodovoda v Šercerjevi in Škvarčevi ulici v Celju*. Celje.
- Slokan, I. (2003. Nizke zgradbe). *Nizke zgradbe*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, d. d.
- Totrapipes. (1. oktober 2024). Pridobljeno iz Vir: <https://www.totra.si/sl/prodajni-program/polietilenske-cevi-za-vodo>
- Uredba o pitni vodi - Uradni list RS, št.24/05. (2023).
- VODOVOD KANALIZACIJA CELJE. (2023). Pridobljeno iz Poročilo o izvajanju oskrbe s pitno vodo ter odvajanju in čiščenju odpadne vode v letu 2023: https://www.vo-ka-celje.si/wp-content/uploads/2024/04/Porocilo-o-izvajanju-oskrbe-s-pitno-vodo-in-odvajanju-2023_1.pdf
- VODOVOD KANALIZACIJA CELJE. (1. oktober 2024). Pridobljeno iz VODOVOD KANALIZACIJA CELJE: <https://www.vo-ka-celje.si/dejavnosti/oskrba-s-pitno-vodo/informacije-o-vodovodnih-sistemih/vodovodni-sistem-celje/osrednje-oskrbovalno-obmocje/>
- Vodovod Maribor. (2020). *Letno poročilo*. Pridobljeno iz <https://www.mb-vodovod.si/wp-content/uploads/2020/letna-porocila/letno-porocilo-2020-MBV.pdf>
- Vodovod Maribor. (1. oktober 2024). *PRAVILNIK za projektiranje, tehnično izvedbo in uporabo javnega vodovoda*. Pridobljeno iz: [Tehnicni_pravilnik.pdf\(mb-vodovod.si\)](#)

Vonroll-hydro world. (2020). Pridobljeno iz Ductile iron pipe systems: https://www.vonroll-hydro.world/files/content/downloads/kataloge/Rohre-und-Formstuecke/Werksmarken/Catalogue-drinking-water-duktus_e.pdf

11 PRILOGE

PRILOGA 1: Pregledna situacija

PRILOGA 2: Rezultati mikrobioloških raziskav



 MESTNA OBČINA CELJE Trg odlošnih ljudi 3000 Celje		Datum: 1. 2020 Stran: 1 od 1	
HIDROSVEČ Prijetna ekipa		Datum: 1. 2020 Stran: 1 od 1	
Projekt: Prijetna ekipa		Datum: 1. 2020 Stran: 1 od 1	
Opis: Obnova vodovoda in vodovodnih priključkov na območju med Čopovo in Števerno ulico v Celju		Datum: 1. 2020 Stran: 1 od 1	
Izvedba: Obnova vodovoda in vodovodnih priključkov na območju med Čopovo in Števerno ulico v Celju		Datum: 1. 2020 Stran: 1 od 1	
Datum: 1. 2020 Stran: 1 od 1		Datum: 1. 2020 Stran: 1 od 1	



PODJETJE ZA DEZINFEKCIJO, DEZINSEKCIJO, DERATIZACIJO
IN SANITARNO SVETOVANJE Z NADZOROM

ZALOŠKA 155,

1000 LJUBLJANA

Tel: (01) 546 36 90

Tel. & fax: (01) 540 80 48

Datum: 23.10. 2022

Št. 2022 - 39

Brahi gradnje d.o.o.

Podgorje 5

3000 CELJE

ZADEVA: POROČILO O OPRAVLJENI DEZINFEKCIJI

Pošiljamo vam poročilo o preskusu vode, odvzete po opravljeni dezinfekciji vodovodnih naprav, na objektu - **OBNOVA VODOVODA ČOPOVA ULICA – 1.FAZA. Faza.**

Iz rezultatov mikrobioloških laboratorijskih preiskav (izvid št.22/21533) je razvidno, da vzorec vode ustreza Pravilniku o pitnih vodah (Ur. List RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06) v obsegu rednih preiskav. Zato ocenjujemo vzorec pitne vode kot zdravstveno ustrezen in vodovodno omrežje primerno za prevajanje pitne vode.

Poročilo je napisano v dveh izvodih in služi kot priloga k vlogi za izdajo sanitarnega soglasja.

Priloga: Izvidi: št.: 22/21533

Obveščeni: -naslov
-arhiv

Pripravil:

Za LEKS d.o.o.

Janež Kopač, prokurist

LEKS
podjetje za čiščenje objektov,
dezinfekcijo, dezinskekcijo in deratizacijo
ter sanitarno svetovanje, d.o.o.
LJUBLJANA, ZALOŠKA 155





NACIONALNI LABORATORIJ ZA
ZDRAVJE, OKOLJE IN HRANO
CENTER ZA MIKROBIOLOŠKE ANALIZE ŽIVIL, I
DRUGIH VZORCEV OKOLJA

2022.10.21 12:27:01
KATJA KASTELIC
OMA LJ
Preverjanje istovetnosti dokumenta
<http://www.nizoh.si/istovetnost>



SLOVENSKA
AKREDITACIJA
SIST EN ISO/IEC 17025
LP-014

Evidenčna oznaka: 4009-17/26011-22/105016-M

Poročilo o mikrobiološkem preskušanju

Vzorec: Pitna voda, obnova vodovoda, Čopova ulica, Celje - 1. faza
Matriks: Pitna voda
Številka vzorca: 22/105016; Lab. št.: 22/21533
Namen: Kontrola dezinfekcije
Naloga: Leks d.o.o.
Skrbnik vzorca: Katja Kastelic, univ.dipl. mikrobiol.
Naročnik: LEKS D.O.O., ZALOŠKA CESTA 155, 1000 Ljubljana
Naročilo: PG-4009-17/26011-19/14255 in Dopis, z dne 02.02.2022
Mesto odvzema: Vodovod Celje
Stanje vzorca: Vzorec ustreza kriterijem za sprejem

Odvzem vzorca

Datum in ura: 17.10.2022 08:12
Odvzel: LEKS (Kopač Janez)

Sprejem vzorca

Datum in ura: 17.10.2022 13:45
Sprejel: Vilma Rozman

Datum poročila: 21.10.2022

Podatki odvzemnika navedeni na poročilu o preskušanju so naslednji: podatki o vzorcu, podatki o odvzemu vzorca (mesto odvzema, datum in ura odvzema, vzorčevalec).

Rezultati preskušanja

Parameter	Metoda, Kraj izvedbe	Rezultat	Enota	Začetek / zaključek analize
Enterokoki	ISO 7899-2:2000, LJ	ni najdeno	CFU/100 mL	18.10.2022 20.10.2022
Skupno število mikroorganizmov pri 22°C	ISO 6222:1999, LJ	< 10	CFU/mL	18.10.2022 21.10.2022
Skupno število mikroorganizmov pri 37°C	ISO 6222:1999, LJ	< 10	CFU/mL	18.10.2022 20.10.2022
Escherichia coli MPN	ISO 9308-2:2012, LJ	<1	MPN/100 mL	18.10.2022 19.10.2022
Koliiformne bakterije MPN	ISO 9308-2:2012, LJ	<1	MPN/100 mL	18.10.2022 19.10.2022

Naročnik / lastnik vzorca: Brahi gradnje d.o.o.

Analitik:
Elizabeta Zagorc, san. inž.

Elektronsko podpisal Elizabeta Zagorc, san. inž. ob 21.10.2022 10:56:42

Odgovorna oseba:
Katja Kastelic, univ.dipl. mikrobiol.

Elektronsko podpisal Katja Kastelic, univ.dipl. mikrobiol. ob 21.10.2022 12:27:01

Rezultati se nanašajo izključno na preskušani vzorec. Poročilo se brez pisanega dovoljenja oddelka ne sme reproducirati, razen v celoti. Ne sme se uporabljati v reklamne namene.
Vzorec je bil v času od sprejema vzorca do začetka analiz ustrezno hranjen. Rezultati se nanašajo na prejeti vzorec.
Vse dodatne informacije o opravljenem preskušanju so dostopne na oddelku.
Preverjanje istovetnosti dokumenta: <http://www.nizoh.si/istovetnost>.

Oddelk za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja Ljubljana
Gribovčeva ulica 44, 1000 Ljubljana, T:01 52 05 726, E:statjana.rupel@nizoh.si
Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Prvomajska ulica 1, 2000 Maribor
ID za DDV: SI19051295; TRR: SI5601100-6000043285; BIC: BSLJIS2X, Banka Slovenije

Stran: 1/1

Orbita®LIMS ver.: 1.8.9.0
verzija predloge poročila: 1.1



PODJETJE ZA DEZINFEKCIJO, DEZINSEKCIJO, DERATIZACIJO
IN SANITARNO SVETOVANJE Z NADZOROM

ZALOŠKA 155,

1000 LJUBLJANA

Tel: (01) 546 36 90

Tel. & fax: (01) 540 80 48

Datum: 27.2.2023

Št. 2023 - 5

Brahi gradnjed.o.o.
Podgorje 5

3000 CELJE

ZADEVA: POROČILO O ODVZEMU VZORCA VODE

Pošiljamo vam poročilo o presku vode, odvzete po opravljeni dezinfekciji cevovoda med Čopovo in Škvarčevo ulico v Celju

Iz rezultatov mikrobioloških laboratorijskih preiskav (izvid št.23/3188) je razvidno, da vzorec ustreza Pravilniku o pitnih vodah (Ur. List RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06) v obsegu rednih preiskav. Zato ocenjujemo vzorec pitne vode kot zdravstveno ustrezen in vodovodno omrežje primerno za prevajanje pitne vode.

Poročilo je napisano v dveh izvodih in služi kot priloga k vlogi za izdajo sanitarnega soglasja.

Priloga: Izvidi: št.: 23/3188

Obveščeni: -naslov
-arhiv

Pripravil:

Za LEKS d.o.o.

Janez Kopač, prokurist

LEKS
podjetje za čiščenje objektov,
dezinfekcijo, dezinspekcijo in deratizacijo
ter sanitarno svetovanje, d.o.o.
LJUBLJANA, ZALOŠKA 155





NACIONALNI LABORATORIJ ZA
ZDRAVJE, OKOLJE IN HRANO
CENTER ZA MIKROBIOLOŠKE ANALIZE ŽIVIL,
DRUGIH VZORCEV OKOLJA

2025.02.27 06:43:55
TATJANA RUPEL
OMA LJ
Preverjanje sklopnosti dokumenta
<http://www.riztrih.si/slovelnost>



SLOVENSKA
AKREDITACIJA
SIST EM ISO/IEC 17025
LP-014

Evidenčna oznaka: 4009-17/26011-23/15852-M

Poročilo o mikrobiološkem preskušanju

Vzorec: Pitna voda, obnova cevovoda med Čopovo in Škvarčevo ulico
Matriks: Pitna voda
Številka vzorca: 23/15852; Lab. št.: 23/G188
Namen: Kontrola dezinfekcije
Naloga: LEKS d.o.o.
Vodja naloge: Tatjana Rupel, univ. dipl. biol., spec. med. mikrobiol.
Naročnik: LEKS D.O.O., ZALOŠKA CESTA 155, 1000 Ljubljana
Naročilo: PO-4009-17/26011-23/80024, z dne 10.01.2023
Mesto odvzema: Vodovod Celje
Stanje vzorca: Vzorec ustreza kriterijem za sprejem

Odvzem vzorca

Datum in ura: 21.02.2023 09:45

Odvzel: LEKS (Kopač Janez)

Sprejem vzorca

Datum in ura: 21.02.2023 14:05

Sprejel: Vilma Rozman

Datum poročila: 25.02.2023

Podatki odvzemnika navedeni na poročilu o preskušanju so naslednji: podatki o vzorcu, podatki o odvzemu vzorca (mesto odvzema, datum in ura odvzema, vzorčevalec).

Rezultati preskušanja

Parameter	Metoda, Kraj izvedbe	Rezultat	Enota	Začetek / zaključek analize
Enterokoki	ISO 7899-2:2000, LJ	ni najdeno	CFU/100 mL	22.02.2023 24.02.2023
Skupno število mikroorganizmov pri 22°C	ISO 6222:1999, LJ	< 10	CFU/mL	22.02.2023 25.02.2023
Skupno število mikroorganizmov pri 37°C	ISO 6222:1999, LJ	< 10	CFU/mL	22.02.2023 24.02.2023
Escherichia coli MPN	ISO 9308-2:2012, LJ	< 1	MPN/100 mL	22.02.2023 23.02.2023
Koliformne bakterije MPN	ISO 9308-2:2012, LJ	< 1	MPN/100 mL	22.02.2023 23.02.2023

Naročnik / lastnik vzorca: Brahi Gradnje d.o.o.

Analitik:
Elizabeta Zagorc, san. inž.

Elektronsko podpisal Elizabeta Zagorc, san. inž. ob 25.02.2023 09:19:59

Odgovorna oseba:
Tatjana Rupel, univ. dipl. biol., spec. med. mikrobiol.

Elektronsko podpisal Tatjana Rupel, univ. dipl. biol., spec. med. mikrobiol. ob 27.02.2023 06:43:55

Rezultati se nanašajo izključno na preiskovani vzorec. Poročilo se brez pomena dovoljenja oddelka ne sme reproducirati, razen v celoti. Ne sme se uporabljati v reklamne namene.
Vzorec je bil v času od sprejema vzorca do začetka analize ustrezno hramjen. Rezultati se nanašajo na prejeti vzorec.
Vse dodatne informacije o opravljenem preskušanju so dostopne na oddelku.
Preverjanje sklopnosti dokumenta: <http://www.riztrih.si/slovelnost>

Oddelka za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja Ljubljana
Grabljeva ulica 44, 1000 Ljubljana, T:01 52 05 726, E:tatjana.rupel@riztrih.si
Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Povovarska ulica 1, 2000 Maribor
ID za DDV: SI19051295; TRR: SI56011006000043285; BIC: BSLJIS12X, Banka Slovenije

Stran: 1/1
Orbita[®]LIMS ver.: 1.8.9.4
verzija predloge poročila: 1.1



**PODJETJE ZA DEZINFEKCIJO, DEZINSEKCIJO, DERATIZACIJO
IN SANITARNO SVETOVANJE Z NADZOROM**

ZALOŠKA 155,

1000 LJUBLJANA

Tel: (01) 546 36 90

Tel. & fax: (01) 540 80 48

Datum: 22.5.2023

Št. 2023 - 20

**Brahi gradnjed.o.o.
Podgorje 5**

3000 CELJE

ZADEVA: POROČILO O ODVZEMU VZORCA VODE

Pošiljamo vam poročilo o preskusu vode, odvzete po opravljeni dezinfekciji cevovoda med Čopovo in Šerčerjevo ulico v Celju (3 faza).

Iz rezultatov mikrobioloških laboratorijskih preiskav (izvid št.23/9630) je razvidno, da vzorec ustreza Pravilniku o pitnih vodah (Ur. List RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06) v obsegu rednih preiskav. Zato ocenjujemo vzorec pitne vode kot zdravstveno ustrezen in vodovodno omrežje primerno za prevajanje pitne vode.

Poročilo je napisano v dveh izvodih in služi kot priloga k vlogi za izdajo sanitarnega soglasja.

Priloga: Izvidi: št.: 23/9630

Obveščeni: -naslov

-arhiv

Pripravil:

Za LEKS d.o.o.

Janez Kopač, prokurist

LEKS
podjetje za čiščenje objektov,
dezinfekcijo, dezinskekcijo in deratizacijo
in sanitarno svetovanje d.o.o.
LJUBLJANA, ZALOŠKA 155





NACIONALNI LABORATORIJ ZA
ZDRAVJE, OKOLJE IN HRANO
CENTER ZA MIKROBIOLOŠKE ANALIZE ŽIVIL, I
DRUGIH VZORCEV OKOLJA

2025.05.29 12:52:51
TATJANA RUPEL
OBR LJ
Priloge: laboratorni dokumenti
http://www.zlil.si/letoizdaja



SLOVENSKA
AKREDITACIJA
SIST EN ISO/IEC 17025
LP-014

Evidenčna oznaka: 4009-17/26011-23/49439-M

Poročilo o mikrobiološkem preskušanju

Vzorec: Pitna voda
Matriks: Pitna voda
Številka vzorca: 23/49439; Lab. št.: 23/9630
Namen: Kontrola dezinfekcije
Naloga: LEKS d.o.o.
Vodja naloge: Tatjana Rupel, univ. dipl. biol., spec. med. mikrobiol.
Naročnik: LEKS D.O.O., ZALOŠKA CESTA 155, 1000 Ljubljana
Naročilo: PO-4009-17/26011-23/80024, z dne 10.01.2023
Mesto odvzema: Vodovod Celje
Stanje vzorca: Vzorec ustreza kriterijem za sprejem

Odvzem vzorca

Datum in ura: 18.05.2023
Odvzel: LEKS (Kopač Janez)

Sprejem vzorca

Datum in ura: 18.05.2023 13:30
Sprejel: Vilma Rozman

Datum poročila: 22.05.2023

Podatki odzemnika navedeni na poročilu o preskušanju so naslednji: podatki o vzorcu, podatki o odvzemu vzorca (mesto odvzema, datum odvzema, vzorčevalec).

Rezultati preskušanja

Parameter	Metoda, Kraj izvedbe	Rezultat	Enota	Začetek / zaključek analize
Enterokoki	ISO 7899-2:2000, LJ	ni najdeno	CFU/100mL	19.05.2023 22.05.2023
Skupno število mikroorganizmov pri 22°C	ISO 6222:1999, LJ	< 10	CFU/mL	19.05.2023 22.05.2023
Skupno število mikroorganizmov pri 37°C	ISO 6222:1999, LJ	< 10	CFU/mL	19.05.2023 22.05.2023
Escherichia coli MPN	ISO 9308-2:2012, LJ	< 1	MPN/100mL	19.05.2023 20.05.2023
Koliformne bakterije MPN	ISO 9308-2:2012, LJ	< 1	MPN/100mL	19.05.2023 20.05.2023

Mesto vzorčenja: Vodovod Celje

Odvzemno mesto: Obnova cevovoda med Čopovo in Šercerjevo ulico 3. faza

Naročnik / lastnik vzorca: Brahi Gradnje d.o.o.