

PROCES REHABILITACIJE CIJEVI U VODOVODNIM SISTEMIMA

THE PIPE REHABILITATION PROCESS IN WATER SUPPLY SYSTEMS

GORAN SEKULIĆ¹
MILENA OSTOJIĆ²

Stručni rad
DOI: 10.5937/VIK24263S

Rezime: Vodovodni sistemi predstavljaju ključnu gradsku infrastrukturu koja zahtjeva redovno održavanje i rehabilitaciju kako bi se osigurala efikasna i pouzdana isporuka vode stanovništvu. Ovaj rad pruža pregled procesa rehabilitacije cijevi u vodovodnim sistemima, fokusirajući se na procjenu stanja cijevi, izbor metoda rehabilitacije i njihovim efektima. Naglašava se značaj tačnih tehnika procjene, nakon čega je dat pregled različitih tehnika rehabilitacije koje se često koriste, kao što su beziskopne tehnologije, postavljanje obloga i strukturna obnova cjevovoda. Razmatrane su ekonomske i ekološke prednosti rehabilitacije cijevi, a prikazani su i primjeri kako bi se ilustrovale uspješne primjene.

Ključne reči: vodovodni sistemi, rehabilitacija cjevovoda, beziskopne tehnologije, tehnoe ekonomska analiza

Abstract: Water supply systems represent key urban infrastructure that requires regular maintenance and rehabilitation to ensure efficient and reliable water delivery to the population. This paper provides an overview of the pipe rehabilitation processes in water supply systems, focusing on pipe condition assessment, selection of rehabilitation methods, and their effects. The importance of accurate assessment techniques is emphasized, followed by a review of various rehabilitation techniques commonly used, such as trenchless technologies, lining installation, and structural pipeline renewal. The economic and environmental benefits of pipe rehabilitation are discussed, with examples provided to illustrate successful applications.

Key Words: water supply systems, pipeline rehabilitation, trenchless technologies, techno-economic analysis

¹ Goran Sekulić. Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b. Podgorica, Crna Gora, sgoran2000@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0530-4199

² Milena Ostojić. Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b. Podgorica, Crna Gora, milenaostojic95@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6793-3994

1. Uvod

Vodovodni sistemi su od ključnog značaja za isporuku dovoljne količine vode, dovoljno dobrog kvaliteta, krajnjim korisnicima. Međutim, zastarjela vodovodna mreža i njeno propadanje vremenom, mogu dovesti do curenja cijevi, pucanja i smanjenog protoka i pritiska, kao i narušavanja kvaliteta vode u njima. Da bi se riješili ovi problemi, rehabilitacija cijevi se pojavila kao neizbježni i može se reći ključni proces eksploatacije vodovodnih sistema tokom vremena. Posljednjih decenija razvijen je veliki broj metoda za rehabilitaciju cijevi, koje su primjenjivane u skladu sa stanjem i vrstom cjevnog materijala, kao i njihovog koštanja, pošto su evidentirane primjetne razlike u cijeni pojedinih metoda.

Rehabilitacija cijevi igra ključnu ulogu u osiguranju održivosti vodovodnih sistema jer se time smanjuje rizik od curenja, pucanja i samim tim prekida usluge isporuke vode krajnjim potrošačima. Rješavanjem problema kao što su korozija, pukotine i propadanje materijala ponovo se uspostavlja stabilnost cijelog sistema isporuke vode i odlaže potreba za skupim zamjenama cijevi. Iskustva su pokazala da rehabilitacija propalih cijevi može značajno produžiti njihov vek trajanja [1]. Ovo pruža značajne uštede za vodovodna preduzeća jer izborom određenih dijelova distributivne mreže za rehabilitaciju, preduzeća mogu efikasno rasporediti svoje resurse. Smanjeni troškovi iskopavanja, instalacije i potrošnje materijala doprinose ukupnoj isplativosti rehabilitacije cijevi.

Jedna od ključnih potreba rehabilitacije cijevi jeste poboljšanje hidrauličkih performansi u vodovodnim sistemima, koje se vremenom neizostavno mijenjaju tj. smanjuju. Rehabilitovane cijevi pokazuju povećanje kapaciteta protoka i smanjene gubitake pritiska, jer se rehabilitacijom uklanjaju naslage koje se vremenom stvaraju u cijevima. To dalje vodi i do smanjenja energije koja se koristi za transport vode i sveukupnoj optimizaciji rada vodovodnog sistema [4].

U borbi protiv gubitaka vode u vodovodnim mrežama rehabilitacija cijevi je neizbježni dio procesa jer se prije svega njome rješava curenje i prsline i pore na cjevovodina. Na taj način se takođe ne samo štedi voda, već i smanjuju operativni troškovi povezani sa preradom, pumpanjem i distribucijom vode kroz sistem.

Rehabilitacija cijevi pruža ekološke koristi minimiziranjem uticaja na životnu sredinu koji je povezan sa zamenom cijevi. Rehabilitacijom postojećih cijevi eliminiše se potreba za opsežnim iskopavanjem i građevinskim radovima, smanjujući emisiju ugljenika, potrošnju resursa i poremećaj okoline [4].

2. Procjena stanja cijevi

Procjena stanja cijevi je prvi i ključni korak u procesu rehabilitacije cijevi u vodovodnim sistemima. Tačna procjena omogućava identifikaciju oštećenih cijevi i

pomaže u određivanju najprikladnijih tehnika rehabilitacije. Postoje različite metode procjene stanja cijevi, kao i različite tehnike koje se koriste u tu svrhu.

Tehnike tzv. nedestruktivnog ispitivanja (NDE) široko se koriste za procjenu stanja cijevi bez izazivanja oštećenja infrastrukture. Ove tehnike pružaju vrijedne informacije o unutrašnjem i spoljašnjem stanju cijevi. Akustičko detektovanje curenja podrazumjeva korišćenje senzora za detektovanje i lociranje curenja na osnovu zvuka koji proizvodi voda koja izlazi iz cijevi. Analizom akustičnih signala može se identifikovati prisustvo curenja, omogućavajući pravilan izbor metoda rehabilitacije. Ground Penetration Radar (GPR) koristi elektromagnetne talase za stvaranje podzemnih slika, omogućavajući detekciju defekata i nepravilnosti na cijevima [7] GPR pruža prilično pozdane informacije o lokaciji, dubini i veličini različitih stanja cijevi, kao što su korozija, pukotine ili zapušenja cijevi.

Infracrvena termografija mjeri površinsku temperaturu cijevi kako bi se identifikovale temperature anomalije povezane sa curenjima cijevima, smanjenim profilom, odnosno blokadom ili strukturnim defektima [3] Pomoću termalnih slika, mogu se precizno locirati područja od interesa, olakšavajući donošenje odluka koja dionica treba da bude predmet rehabilitacije. Tehnike merenja debljine zidova cijevi, uključujući ultrazvučno merenje debljine, pomažu u procjeni debljine zidova cijevi koja vremenom može da se promijeni [4]. Identifikovanjem područja sa smanjenom debljinom zidova zbog korozije ili nekog drugog uzroka propadanja, mogu se sprovesti odgovarajuće strategije rehabilitacije.

Destruktivne tehnike procjene podrazumevaju fizički pristup samoj cijevi i detaljno ispitivanje njenog stanja. Iako invazivnije, ove metode pružaju tačnije informacije o unutrašnjem i spoljašnjem stanju cijevi. Iskopavanje i vizuelna inspekcija podrazumevaju iskop rovova i pristup cijevi kako bi se stekao direktan vizuelni uvid u njeno stanje [8]. Na taj način najsigurnije mogu da se uoče problemi kao što su pukotine, korozija, razdvajanje spojeva ili propadanje materijala cijevi. Laboratorijsko testiranje podrazumeva vađenje uzoraka cijevi i podvrgavanje različitim testovima kako bi se procenio njihov strukturni integritet, hemijski sastav i druga svojstva cijevnog materijala [6]. Na taj način stiče se detaljan uvid u stanje cijevi i pomaže u određivanju najprikladnijeg metoda rehabilitacije Analiza uzoraka cijevi podrazumeva ispitivanje izvađenih uzoraka cijevi pod mikroskopom ili dalje analize kako bi se procijenili faktori kao što su propadanje materijala, mehanizmi korozije ili hemijske interakcije [7].

3. Izbor metoda rehabilitacije

Izbor odgovarajućih metoda rehabilitacije zavisi od različitih faktora, uključujući stanje cijevi, pristupačnost i hidrauličke uslove tečenje u njima [1].

Beziskopne tehnologije, kao što su postavljanje obloga cijevi tzv. metodom „izvrnute čarape“ (CIPP metoda) [5], uvlačenje cijevi manjeg prečnika u cijev koja se sanira [7] i metoda cijepanja postojeće cijevi sa novom cijevi [9], imaju svoje prednosti u smislu minimalnih poremećaja, smanjenog iskopavanja i brže instalacije. Tehnika postavljanja obloge, CIPP metoda, ugradnjom fleksibilne, smolom impregnirane cijevi, koja se uslijed pritiska vode oblikuje po originalnom cjevovodu, pojačava strukturu zidova cijevi i poboljšava njene hidrauličke karakteristike. Metoda uvlačenja cijevi manjeg prečnika, po pravilu od PEHD, primenljiva je na svim materijalima postojećih cijevi i odlikuje je veoma brza instalacija i obnavljanje potpunog strukturnog integriteta propalih cijevi. Isto se odnosi i na primjenu metoda cijepanja starih cijevi sa uvlačenjem nove cijevi u nju [5].

Iskustva sa primjenom rehabilitacije cjevovoda, zadnjih par decenija, pokazuju uglavnom pozitivne rezultate. Obzirom da se pomenute tehnologije razvijaju unazad više od 40 godina, ostvaren je velik napredak u kvalitetu izvršenih radova, a povećan je i broj specijalizovanih kompanija sposobnih da odgovore i najtežim izazovima [5]. Veliki je broj primjera uspješne rehabilitacije cjevovoda ispod glavnih gradskih saobraćajnica kojima prođe i do nekoliko hiljada automobila dnevno, u gusto naseljenim kvartovima, ispod različitih objekata i postrojenja, u zemljištu sa visokim nivoom podzemnih voda, itd.

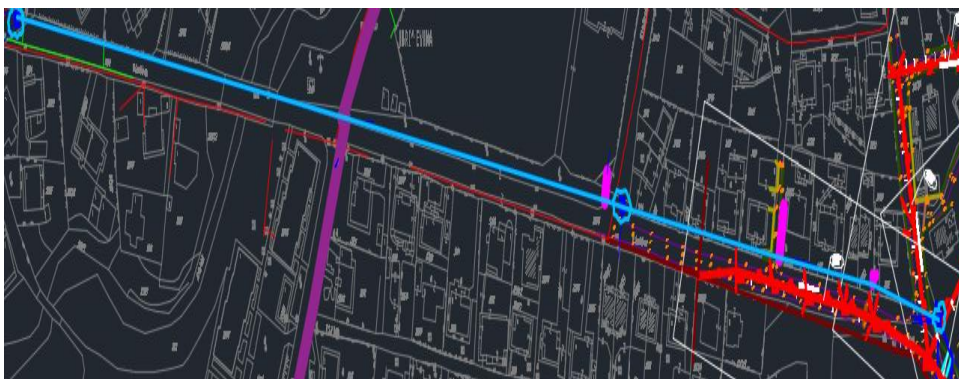
4. Analiza mogućnosti rehabilitacije cjevovoda - primjer

Praksa i može se reći tržište za rehabilitaciju cijevi metodama beziskopnih tehnologija u Evropi i šire pokazuje snažan rast, pri čemu Njemačka, Francuska i Velika Britanija prednjače zbog velike potražnje potrošača. Italija i Španija takođe značajno doprinose, podstaknute tehnološkim napretkom i sve većim ulaganjima [1]. Skandinavske zemlje i zemlje Beneluksa pokazuju stabilan rast, s naglaskom na održivost i inovacije. U Crnoj Gori do sada su poznati samo sporadični slučajevi primjene ovih metoda rehabilitacije (slučaj jedne kratke dionice regionalnog vodovoda crnogorskog primorja) i može se reći da smo tu na samom početku.

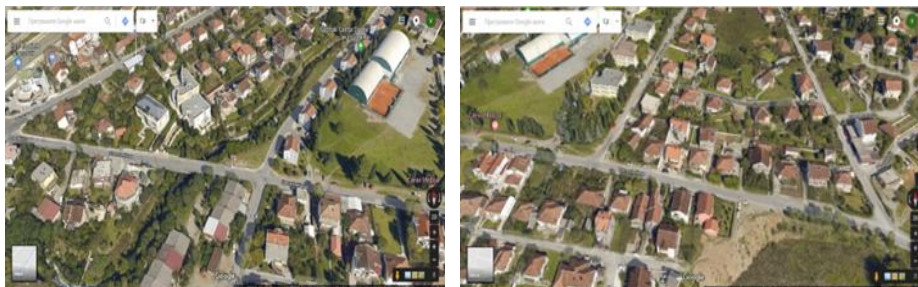
Za potrebe uporedne analize mogućnosti rehabilitacije postojećeg cjevovoda uzet je dio vodovodne mreže naselja Ibričevina u Podgorici. Konkretno u pitanju je azbestcementna vodovodna cijev prečnika 250 mm sa koje se ovaj dio grada snabdijeva vodom i koja prolazi ulicom Goce Delčeva, koja predstavlja najvažniju ulicu u naselju. Cjevovod je star preko 40 godina, u prilično lošem stanju i česti su prekidi u snabdijevanju izazvani tim njegovim stanjem.

Uobičajena praksa vodovodnog preduzeća podrazumjeva klasični pristup rehabilitacije ove dionice cjevovoda koji podrazumjeva iskop cijevi i njenu kompletnu zamjenu. U ovom slučaju pribjeglo se poređenju mogućnosti rehabilitacije

klasičnim pristupom i nekom od pomenutih tzv. bezrovovskih metoda rehabilitacije. Primjer je interesantan i iz razloga što je na njemu moguće sagledati i druge aspekte i troškove odnosno dobiti, obzirom da se iz ulice Goce Delčeva prilazi i osnovnoj školi koju pored djece iz naselja pohađa i velik broj đaka iz okolnih naselja. Osim toga dio cjevovoda prolazi ispod dvorišta privatnih kuća.



Slika 1. Dionica cjevovoda vodovodne mreže u ulici Goce Delčeva - Podgorica
Figure 1. Section of the pipeline in the water supply network on Goce Delčeva Street - Podgorica



Slika 2. Snimak lokacije u ulici Goce Delčeva
Figure 2. Location footage on Goce Delčeva Street

Izvršena je analiza koštanja rehabilitacije cjevovoda klasičnim metodom iskopa i metodom pipe-burstinga (uvlačenja cijevi u već postojeću azbest cementnu cijev).

Na osnovu ponuda renomiranih građevinskih firmi, koje rade klasične građevinske i montažne radove, cijena koštanja rehabilitacije pomenute dionice tradicionalnom metodom iznosi oko 150.000 eura. Kompletan posao uz angažovanje opreme i ljudstva bio bi gotov za 40 radnih dana. U cijenu radova nisu ušli troškovi koji bi bili posledica iskopa, kao što je rušenje ograda privatnih objekata koji se nalaze uz ulicu, kao i uzurpacije određenih privatnih parcela tokom izvođenja. Osim

ovih troškova javili bi se i troškovi na sanaciji ulične rasvjete i elektro i telekomunikacione mreže na koju su povezani objekti u ovoj ulici. Procjena je da bi ti troškovi bili u rasponu između 10% i 20% od ukupne cijene radova (15.000,00€ - 30.000,00€). Navedena cijena ne bi uzela u obzir izradu bajpasa koji bi omogućio neometano snabdijevanje električnom energijom domaćinstava u toku izvođenja radova.

Kao alternativa tradicionalnoj metodi na ovom projektu bi mogla biti korištena metoda pipe-burstinga (uvlačenja cijevi u već postojeću azbest cementnu cijev). U sklopu troškova koji su obuhvaćeni cijenom tog projekta uračunata je nabavka materijala, iznajmljivanje mehanizacije, troškovi radova na instalaciji novog cjevovoda kao i ugradnja privremenog bajpasa koji bi omogućio kontinuitet snabdijevanja potrošača vodom koji su povezani na cjevovod, za vrijeme izvođenja radova. Ukupna cijena za ovu metodu bi bila 162.000,00 eura. U ovu cijenu je uračunata i izrada pomenutog bajpas cjevovoda. Kompletan posao bi bio gotov za 30 dana nakon završene mobilizacije (priprema gradilišta, dovoz mašine za uvlačenje cijevi).

Finansijska analiza na ovom primjeru pokazuje da bi konkretan posao izveden bezrovovskom metodom bio skuplji za nekih 12.000 eura. Međutim, ukoliko bi u obzir bili uzeti troškovi nadoknade štete na privatnim objektima, imovini Elektro distribucije i Telekomu dobili bi da je realizacija projekta bezrovovskom metodom jeftinija.

Treba imati u vidu da se visoka cijena radova bezrovovskom metodom dobija zbog toga što u Crnoj Gori ne postoji kompanija specijalizovana za ovu vrstu radova, a troškovi transporta mašine (privremenog uvoza, izvoza) nose veliki procenat u ukupnoj cijeni radova.

U obzir treba uzeti i to da bi u slučaju izvođenja radova tradicionalnom metodom ulica bila zatvorena u toku čitavog perioda trajanja radova, otežan je pristup osnovnoj školi i pristup privatnim objektima stanovništva, čije kuće se nalaze na tom potezu. Neophodno bi bilo obezbjediti prostor za privremeni parking stanovnicima koji bi bili direktno pogođeni izvođenjem radova na ovoj trasi. Primjenom bezrovovske metode za vrijeme trajanja radova u funkciji bi uvijek bila jedna kolovozna traka u ulici, nivo zagađenja okoline (buka i izduvni gasovi) bio bi minimalan i ne bi bilo mogućnosti oštećenja elektro ili kanalizacione instalacije.

5. Komentari i zaključak

Na osnovu analize predstavljene u ovom radu, rehabilitacija cjevovoda pokazuje se kao ključna strategija za održavanje efikasnosti i pouzdanosti vodovodnih sistema. Primjena naprednih tehnika procjene stanja cijevi, kao i izbor odgovarajućih metoda rehabilitacije, doprinosi smanjenju operativnih troškova i minimiziranju ekološkog

uticaja. Iako su tradicionalne metode često ekonomski prihvatljive, bezrovnoske tehnologije nude značajne prednosti u smislu smanjenja poremećaja za lokalnu zajednicu i dugoročne održivosti sistema. Pretpostavka da su savremene tehnologije rehabilitacije cjevovoda bez iskopa rovova preskupe nije tačna. Iako početni troškovi mogu biti viši u nekim slučajevima, ukupne finansijske koristi postaju očigledne kada se uzme u obzir smanjena potreba za radnom snagom, kraći rokovi za završetak projekata i izbegavanje troškova obnove pejzaža.

Konkretna studija slučaja iz Podgorice ukazuje na to da, iako inicijalni troškovi mogu biti viši, bezrovnoske metode predstavljaju ekonomski i operativno povoljniju opciju kada se uzmu u obzir svi faktori, uključujući i socijalne i ekološke aspekte. S obzirom na globalne trendove i potrebu za održivim upravljanjem vodnim resursima, dalji razvoj i primjena ovih tehnologija je neophodan za unapređenje infrastrukture vodovodnih sistema.

6. Literatura

- [1] Annus I, Kändler N, Vaksmann M, Kaur K, Truu M, Koor M, ... Kütt U. Pipeline rehabilitation combined strategy for urban water systems. *Urban Water Journal*, 21(2), 155–167. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2273535>, 2023.
- [2] Apeldoorn S. International society for trenchless technology (ISTT). Comparing the costs – trenchless versus traditional methods. In *International Society for Trenchless Technology Conference*, Australian Society for Trenchless Technology, Sydney, 8, Sydney, Australia, 2010.
- [3] Hongyuan Fang, Bin Li, Fuming Wang, Yuke Wang, Can Cui, The mechanical behaviour of drainage pipeline under traffic load before and after polymer grouting trenchless repairing, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 74, Pages 185-194, 2018.
- [4] M. O Engelhardt, P. J Skipworth, D. A Savic, A. J Saul, G. A Walters, Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective, *Urban Water*, Volume 2, Issue 2, Pages 153-170, 2000.
- [5] Matthews J. C. Selvakumar A. Condit W. 2012b Demonstration and evaluation of an innovative water main rehabilitation technology: cured-in-place pipe (CIPP) lining. *Water Practice and Technology* 7(2). doi:10.2166/wpt.2012.028, 2012.
- [6] Rogers J. W. Louis G. E. Risk and opportunity in upgrading the US drinking water infrastructure system. *Journal of Environmental Management* 87(1), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.002>, 2008.
- [7] Selvakumar A. Matthews J. C. Condit W. Sterling R. Innovative research program on the renewal of aging water infrastructure systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA* 64(2), 117–129. doi:10.2166/aqua.2014.103, 2015.

- [8] Woo Seok Chin, Dai Gil Lee, Development of the trenchless rehabilitation process for underground pipes based on RTM, *Composite Structures*, Volume 68, Issue 3, 2005, Pages 267-283,
- [9] Xuefeng Yan, Xuehao Wang, Caiying Deng, Yahong Zhao, Shuang Mei, Jianhui Bai, Baosong Ma, Testing and analysis of CIPP liner under simulated groundwater pressure, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 152, 2024,