

METODOLOGIJA UMANJENJA VRIJEDNOSTI IZVEDENIH RADOVA NA IZGRADNJI KANALIZACIJSKE MREŽE ZBOG NEKVALITETNE IZVEDBE

DOMAGOJ NAKIĆ ¹, DRAŽEN VOUK ²

¹ Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra. Andrije Kačića Miošića 26, 10000 Zagreb, R. Hrvatska, domagoj.nakic@grad.unizg.hr

² Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra. Andrije Kačića Miošića 26, 10000 Zagreb, R. Hrvatska, drazen.vouk@grad.unizg.hr

Sažetak

Rad se bavi razvojem metodologije za procjenu umanjenja vrijednosti izvedenih radova na izgradnji kanalizijske mreže u slučajevima nekvalitetne izvedbe. Povod razvoju ovakve metodologije proizlazi iz sve češćih uočenih defekata na novoizgrađenim kanalizijskim sustavima u sklopu projekata aglomeracija u Republici Hrvatskoj, koji mogu negativno utjecati na funkcionalnost, trajnost i troškove održavanja sustava. Metodologija je definirana na temelju pregleda relevantne znanstvene i stručne literature te analize tržišta vezane uz trajnost i održavanje cjevovoda s različitim vrstama defekata, uključujući deformacije cijevi, neispravne spojeve i naknadno izvedene točkaste sanacije. Primjena metodologije prikazana je na primjeru jedne komponente aglomeracije u izgradnji duljine oko 1,6 km od ukupnih oko 200 km, pri čemu su razrađene tri varijante umanjenja vrijednosti ovisno o raspodjeli rizika i obveza između Izvođača i Naručitelja. Dobiveni rezultati pokazuju značajne razlike u iznosima umanjenja, što upućuje na važnost jasno definirane odgovornosti i kriterija procjene. Predložena metodologija je primjenjiva i na druge projekte te se može prilagoditi specifičnim okolnostima i dodatnim vrstama defekata.

Ključne riječi

kanalizijska mreža, nekvalitetna izvedba, umanjenje vrijednosti radova, deformacije cjevovoda, TOP-hat, stent, CCTV inspekcija, trajnost i održavanje

1 Uvod

Tijekom posljednjih desetak godina na području Republike Hrvatske provodi se značajan broj projekata aglomeracija, s naglaskom na izgradnju i modernizaciju kanalizijskih mreža. Ova ulaganja predstavljaju važan korak u unapređenju komunalne infrastrukture i zaštite okoliša. Međutim, paralelno s intenzivnom provedbom radova, uočava se i sve veći broj nedostataka u izvedbi. Česti su slučajevi u kojima novoizgrađena kanalizijska mreža ne ispunjava osnovne tehničke uvjete, poput vodonepropusnosti, maksimalno dopuštenih deformacija i minimalno potrebnih uzdužnih padova. Osim toga, nerijetko se bilježe i neadekvatno izvedeni spojevi cjevovoda, kućnih priključaka te druge izvedbene nepravilnosti, što dugoročno može dovesti do smanjene funkcionalnosti sustava i povećanih troškova održavanja.

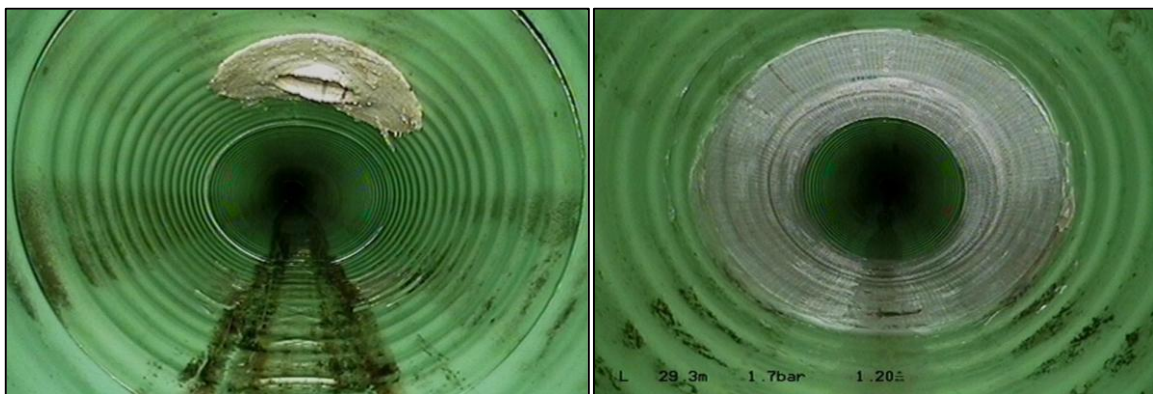
Pouzdanost i dugoročna funkcionalnost kanalizijskih sustava u velikoj mjeri ovise o kvaliteti izvedbe, kako kod novogradnje tako i kod sanacija postojećih cjevovoda. U praksi se sve češće uočava da pojedini elementi kanalizijske mreže, osobito spojevi cjevovoda i kućni priključci, predstavljaju kritične točke sustava s povećanim rizikom od infiltracije, smanjene vodonepropusnosti i ubrzanog propadanja. Takvi nedostaci mogu dovesti do povećanih troškova održavanja, narušavanja statičke stabilnosti tla te negativnih okolišnih učinaka.

Rezultati neovisnih ispitivanja Instituta za podzemnu infrastrukturu (IKT) ukazuju da ni suvremene metode sanacije, poput CIPP obloga i robotiziranih točkastih sanacija priključaka, ne jamče u svim slučajevima postizanje projektiranih tehničkih svojstava. Prema IKT LinerReportu (IKT, 2020.), oko 12,5 % ispitanih CIPP uzoraka nije zadovoljilo barem jedan od četiri ključna kriterija kvalitete (vodonepropusnost, modul elastičnosti, savojna čvrstoća i debljina stijenke), što predstavlja najlošiji rezultat u posljednjih šest godina. Time se potvrđuje da kvaliteta izvedbe i kontrola radova imaju presudnu ulogu u osiguranju trajnosti sustava. Dodatna ispitivanja IKT-a, provedena kroz komparativne testove metoda sanacije kućnih priključaka, pokazala su izrazito velike razlike u uspješnosti između pojedinih izvođača i primijenjenih tehnologija. Iako je dokazano da je trajno brtvljenje priključaka tehnički izvedivo, udio sanacija s uočenom infiltracijom nakon dugotrajnog opterećenja podzemnom vodom iznosio je i do 20–25 %, ovisno o scenariju i metodi. Takvi rezultati potvrđuju da vizualno prihvatljiva sanacija ne mora nužno značiti i dugoročno pouzdano rješenje, osobito bez sustavne kontrole i naknadnog monitoringa (IKT, 2016.).

U kontekstu novih infrastrukturnih projekata, posebice velikih aglomeracija, ovakvi nalazi nameću pitanje kako objektivno vrednovati izvedene radove kod kojih su uočeni defekti, ali nisu nužno odmah sanirani ili zamijenjeni. Ključno je pritom sagledati ne samo trenutnu funkcionalnost, već i utjecaj defekata na trajnost sustava, buduće troškove održavanja te raspodjelu rizika između ugovornih strana. Upravo iz tog razloga javlja se potreba za razvojem transparentne i primjenjive metodologije za procjenu umanjivanja vrijednosti izvedenih radova, utemeljene na tehničkim kriterijima, iskustvima iz prakse i rezultatima dugoročnih ispitivanja.

2 Metode

U radu je temeljem pregleda dostupne znanstvene i stručne literature, kao i provedene analize tržišta vezano uz trajnost i održavanje cjevovoda s uočenim defektima, kao i cjevovoda naknadno saniranih primjenom točkastih sanacija (TOP-hat ili stent – slika 1) definirana nova metodologija za procjenu umanjivanja vrijednosti izvedenih radova. Primjena metodologije prikazana je na primjeru jedne komponente aglomeracije u izvedbi. Pritom su kao razlozi za umanjivanje vrijednosti sagledani sljedeći slučajevi: pretjerane deformacije cjevovoda, točkasto sanirane dionice cjevovoda i ostali uočeni defekti temeljem izvještaja o provedenoj CCTV inspekciji (uzdužni pomaci na spoju cijevi, radijalno pomaknuti spojevi, oštećeni – nepotpuno vezani priključci i otvori između priključka i cjevovoda). Kao otegotna okolnost istaknut je nedostatak statičkog proračuna cijevi u glavnom i izvedbenom projektu, zbog čega su definirana različita postupanja ovisno o rasponu uočenih deformacija, pri čemu su se u obzir uzimale preporuke proizvođača cijevi. Za svaki od uočenih defekata sagledane su potrebe pojačanog održavanja i s njim povezanih povećanih troškova te je dana procjena umanjivanja trajnosti dionica s uočenim defektima u odnosu na ispravno ugrađene cjevovode. Svođenjem dodatnih troškova održavanja i umanjivanja vrijednosti zbog smanjene trajnosti na neto sadašnju vrijednost definiran je ukupan iznos umanjivanja vrijednosti izvedenih radova kroz tri varijante u odnosu na dodatni rizik i obvezu provedbe naknadnog monitoringa (CCTV inspekcije) koje na sebe preuzima Izvođač.



Slika 1. Primjeri primijenjenih točkastih sanacija cjevovoda (TOP hat – lijevo i stent – desno)

3 Rezultati

3.1 Rezultati analize tržišta RH i pregleda literature vezano uz trajnost te održavanje cjevovoda saniranih primjenom stenta i TOP-hata

Na temelju prikupljenih mišljenja i dostupnih podataka, trajnost kvalitetno izvedene sanacije PEHD korugiranih kanalizacijskih cijevi primjenom stenta i/ili TOP-hata procjenjuje se do približno 50 godina, što je usporedivo s očekivanim vijekom trajanja novoizgrađenih cjevovoda. Većina relevantnih privrednih subjekata ističe da se, uz primjenu kvalitetnih materijala i pravilnu izvedbu, ne očekuje smanjenje projektiranog vijeka trajanja cijevi niti cijevnih priključaka.

U pogledu održavanja, navodi se umjereno povećanje troškova u odnosu na nesansirane, pravilno ugrađene cjevovode, i to u rasponu od 10–20 %. To se okvirno očituje kroz jedinični trošak održavanja od oko 1,1–1,2 €/m za dionice sa stentovima i TOP-hatovima, u odnosu na približno 1,0 €/m za dionice bez sanacija. Povećanje troškova povezuje se s mogućom potrebom za nižim tlakovima ispiranja, duljim trajanjem ispiranja te detaljnijim pregledima cjevovoda. Pojedini sudionici tržišta, međutim, navode da se u praksi mogu primjenjivati jednaki uvjeti održavanja neovisno o postojanju sanacija, bez utjecaja na jedinične troškove.

Prema dobivenim mišljenjima, ne očekuje se značajnije zadržavanje krupne ili suspendirane tvari uzvodno od točkastih sanacija, pod uvjetom da su radovi izvedeni kvalitetno i bez formiranja neravnina ili oštih rubova. Garantni rok koji se na tržištu najčešće nudi za sanacije stentovima i TOP-hatovima iznosi do 5 godina. Kao ključni potencijalni izvor problema vodeći izvođači ističu kvalitetu ugrađenih materijala i sam postupak ugradnje. Prednost se daje kvalitetnim epoksidnim materijalima u odnosu na slabije silikatne sustave. Kvalitetno ugrađeni elementi ostvaruju trajno prijanjanje uz osnovni cijevni materijal, dok se kod nekvalitetnih materijala ili loše izvedbe može pojaviti odvajanje sanacije, što zahtijeva ponavljanje zahvata ili, u krajnjem slučaju, zamjenu cjevovoda.

Podaci prikupljeni na tržištu Republike Hrvatske u velikoj su mjeri usklađeni s međunarodnom literaturom, iako su dugoročni podaci o trajnosti sanacija stentovima, TOP-hatovima i srodnim tehnologijama još uvijek ograničeni zbog relativno kratkog razdoblja njihove primjene. U razvijenim državama, ponajprije SAD-u i Njemačkoj, ove se tehnologije koriste već 30–40 godina, što omogućuje preliminarne procjene njihova životnog vijeka.

Ključnu ulogu u analizi ima United States Environmental Protection Agency (US EPA). Izvještaji US EPA (2011.) i US EPA (2014.) naglašavaju važnost ranih i ponovljenih CCTV pregleda prije isteka jamstvenog roka te zaključuju da se kod saniranih cjevovoda ne uočava značajno pogoršanje kvalitete tijekom razdoblja od 5 do 34 godine. Utvrđeni nedostaci uglavnom su povezani s fazom ugradnje, a ne s dugoročnom degradacijom materijala. Očekivani životni vijek sanacija procjenjuje se na oko 50 godina, uz visoku vjerojatnost njegova prekoračenja.

Slične zaključke donose i Caradot i sur. (2020.), koji na temelju mehaničkih ispitivanja i vizualnih pregleda cjevovoda starijih od 30 godina ne utvrđuju značajnije smanjenje kvalitete sanacija, uz pretpostavku krajnjeg uporabnog vijeka linera od približno 60 godina.

Izdvojeno mišljenje u odnosu na prethodne nalaze daju njemački autori Bosseler i Kaltenhäuser (2005.), temeljem rezultata IKT-Product-Test ispitivanja koje provodi IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur. Istraživanje je provedeno na više operativnih sustava odvodnje u Njemačkoj, uključujući sanacije izvedene primjenom TOP-hat linera i robotskih sustava. Rezultati ispitivanja ukazuju na izraženu abraziju te djelomično odvajanje sanacijskog materijala od osnovne cijevi pri izlaganju visokotlačnom ispiranju, osobito uz dodatak granulata. Ispitivanja vodonepropusnosti, provedena neposredno nakon sanacije i ponovljena nakon visokotlačnog ispiranja, pokazala su da je na većini lokacija došlo do propuštanja, pri čemu je visokotlačno ispiranje dodatno pogoršalo stanje i na dijelu inicijalno vodonepropusnih sanacija. Prema objavljenim

rezultatima, više od 70 % standardnih, te preko 90 % ekstremnih oštećenja saniranih linerima pokazalo je propuštanja pod vanjskim ili unutarnjim tlakom vode, a u pojedinim slučajevima zabilježena su i veća mehanička oštećenja sanacijskih elemenata. Važno je naglasiti da se istraživanje pretežito odnosi na keramičke, betonske te djelomično GRP cijevi, dok se za plastične cijevne materijale mogu očekivati povoljniji rezultati zbog bolje prionjivosti sanacijskih sustava. Također, u objavljenim radovima nisu dostupni detaljni podaci o korištenim sanacijskim materijalima (npr. epoksidni ili silikatni sustavi), što predstavlja ograničenje u interpretaciji i usporedbi rezultata.

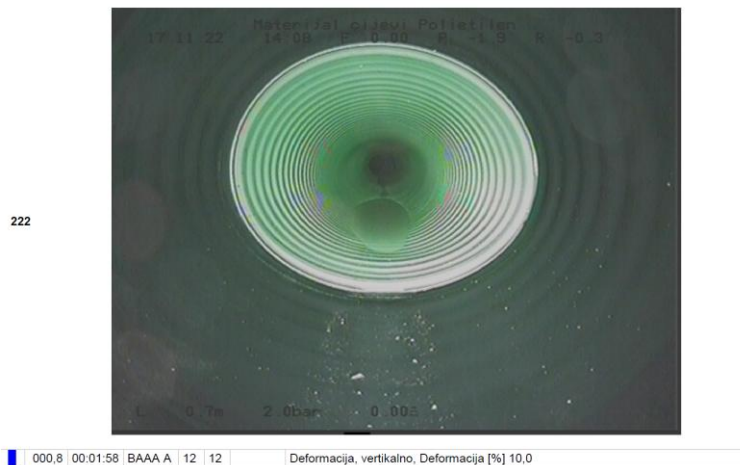
3.2 Razvijena metodologija vrednovanja izvedenih radova te uvrđivanje umanjivanja vrijednosti zbog nekvalitetne izvedbe

Uzimajući u obzir prethodno opisane rezultate provedenog ispitivanja relevantnih privrednih subjekata na RH tržištu, kao i najbitnije rezultate provedenih studija i analiza na svjetskoj razini u odnosu na očekivana svojstva sanacija kanalizacionih cjevovoda primjenom stenta i/ili TOP-hat-a, u nastavku se daje prijedlog metodologije za prihvaćanje i preuzimanje izvedenih radova te potencijalno umanjivanje vrijednosti istih, a temeljem uočenih nedostataka na jednoj komponenti aglomeracije u izvedbi. Cilj metodologije je definirati jednoznačne kriterije za prihvatljivost izvedenih cjevovoda, potrebu dodatnih zahvata, umanjivanje očekivane trajnosti te posljedičnu korekciju vrijednosti izvedenih radova.

3.2.1 Deformacije cijevi

Ocjena deformacija provodi se temeljem izmjerene relativne deformacije presjeka cijevi (δ), pri čemu se razlikuju tri razine postupanja.

Na lokacijama s uočenim deformacijama $\delta \geq 10\%$ (kao na slici 2), u kontinuiranoj duljini od 6 m zahtijeva se potpuna zamjena cijevi iskopom. Duljina od 6 m odgovara standardnoj duljini korugiranih PEHD cijevi, zbog čega se u praksi pretpostavlja zamjena cijelog segmenta.



Slika 2. Primjer zabilježene pretjerane vertikalne deformacije cjevovoda ($\delta = 10\%$)

Za deformacije u rasponu $5\% \leq \delta < 10\%$ zahtijeva se dodatni monitoring u razdoblju od 2–3 godine, a obavezno prije isteka garantnog roka. Kao mjerodavne granične vrijednosti prihvaćaju se ograničenja proizvođača cijevi (5–6 %), kao i vrijednosti navedene u izvještaju Izvođača o provedenoj sanaciji, s obzirom da statički proračun cijevi nije bio sastavni dio Glavnog i Izvedbenog projekta. Ako deformacije nakon ponovljenog snimanja ostanu stabilne ($\pm 10\%$ u odnosu na početno mjerenje), ne zahtijeva se dodatno tehničko postupanje, ali se očekivani vijek trajanja cijevi umanjuje s 50 na 30 godina zbog povećanih dugoročnih naprezanja. U slučaju daljnje propagacije deformacija primjenjuje se postupanje kao za deformacije $\delta \geq 10\%$.

3.2.2 Točkaste sanacije primjenom stenta i TOP-hata

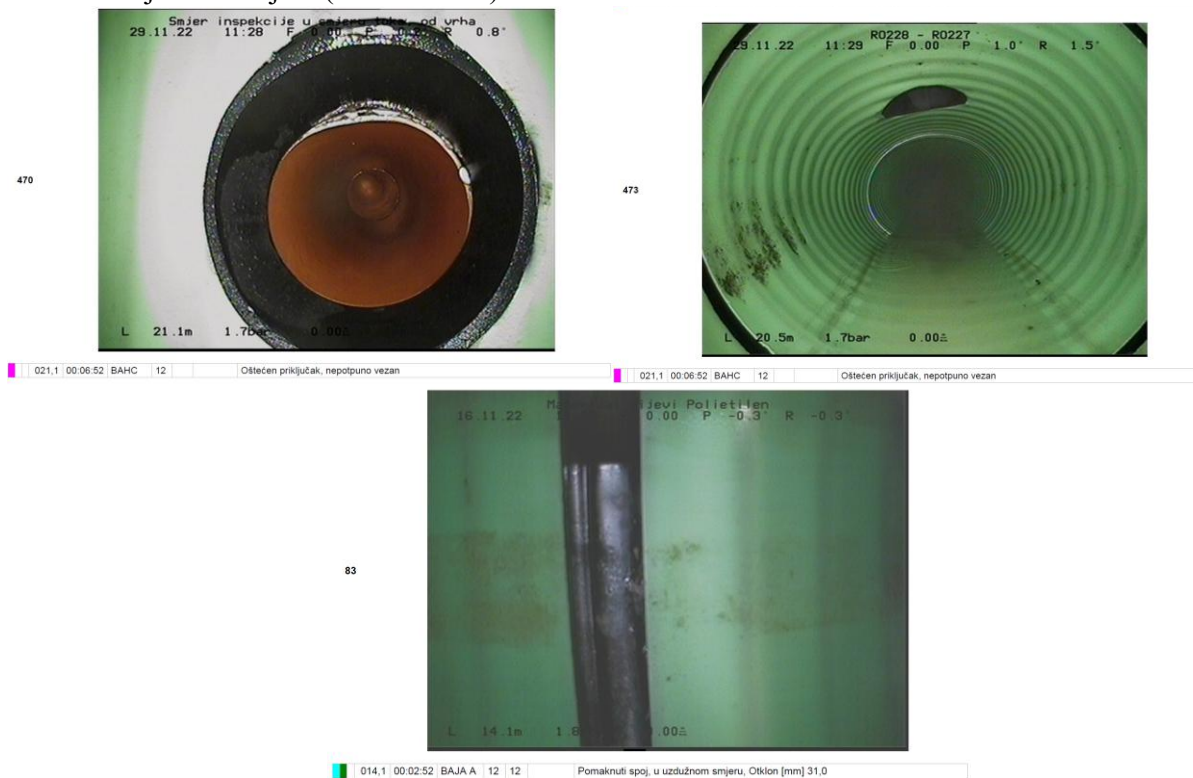
Metodologija ocjene točkastih sanacija primjenjuje se uz pretpostavku da je na temelju ovjerenih izjava Izvođača ili podizvođača moguće jednoznačno utvrditi tip sanacije, korištene materijale i uvjete izvedbe. Kao prihvatljive smatraju se isključivo sanacije izvedene u skladu s pravilima struke, uz primjenu epoksidnih ljepila i odgovarajuće debljine sanacijskog elementa (≈ 2 mm), koje po mehaničkim svojstvima odgovaraju GRP cijevima.

Sanacije izvedene silikatnim materijalima ili bez mogućnosti dokazivanja korištenih materijala ne smatraju se trajnim rješenjem te zahtijevaju ponovljenu sanaciju odgovarajućim sustavom ili zamjenu kompletnog segmenta cijevi iskopom, jer takva rješenja dodatno ograničavaju uvjete održavanja i smatraju se neprihvatljivima.

Za sve pravilno izvedene točkaste sanacije propisuje se obveza dodatnog CCTV monitoringa neposredno prije isteka garantnog roka. Time se obuhvaćaju rijetki, ali mogući slučajevi popuštanja lijepljenog spoja uslijed različitih deformacijskih i elastičnih svojstava sanacijskog elementa i osnovne cijevi. Prema iskustvima iz literature, eventualni problemi ovog tipa uobičajeno se pojavljuju unutar 2–5 godina od izvedbe. U slučaju uočenih nepravilnosti, Izvođač je dužan ponoviti sanaciju o vlastitom trošku, uz ponovno jamstvo ispravnosti. Dodatni razlog obveznog monitoringa jest mogućnost pojave infiltracije na susjednim dijelovima cjevovoda, pri čemu se problem ulaska tuđih voda nakon sanacije može premjestiti uzvodno ili nizvodno od lokacije točkaste sanacije primjenom stenta ili TOP-hata.

3.2.3 Ostali uočeni defekti

Osim deformacija i točkastih sanacija, metodologija obuhvaća i druge defekte identificirane CCTV pregledom, a koji negativno utječu na uporabljivost i trajnost sustava, uključujući: uzdužne i radijalne pomake spojeva iznad definiranih graničnih vrijednosti, oštećene ili nepotpuno vezane priključke, otvorene spojeve označene klasom stanja 2 ili lošijom (kao na slici 3).



Slika 3. Primjeri ostalih uočenih defekata – oštećen, nepotpuno vezan priključak (gore) i pomaknut spoj u uzdužnom smjeru (31 mm) (dolje)

Za navedene defekte predviđa se zamjena zahvaćenih segmenata cijevi ili njihova sanacija točkastim metodama, uz daljnje postupanje i monitoring sukladno pravilima definiranim za točkaste sanacije.

3.2.4 Pojačano održavanje i korekcija vrijednosti izvedenih radova

Za dionice cjevovoda na kojima su izvedene točkaste sanacije predviđa se pojačano održavanje, prvenstveno u dijelu ispiranja cjevovoda. Osnovna cijena ispiranja definira se na 1,0 €/m, dok se za dionice s točkastim sanacijama primjenjuje: povećanje od 10 % ($\approx 1,1$ €/m) za do tri sanacije između dva okna; povećanje od 20 % ($\approx 1,2$ €/m) za više od tri sanacije između dva okna.

Ukupni povećani trošak održavanja računa se za pretpostavljeni uporabni vijek od 30 godina i svodi na neto sadašnju vrijednost (NPV). Tako dobiveni iznos predstavlja osnovu za umanjeње vrijednosti izvedenih radova, s obzirom na trajno povećane troškove održavanja koje snosi korisnik sustava.

3.3 Prikaz primjene metodologije na konkretnom primjeru

Prikaz primjene definirane metodologije dan je na komponenti koja obuhvaća izgradnju oko 1,6 km nove kanalizacijske mreže (od ukupno oko 200 km predviđenih na razini cijele aglomeracije u izgradnji). Procjena je provedena kroz tri varijante koje se razlikuju prema stupnju odgovornosti Izvođača i obvezi provedbe naknadnog monitoringa prije isteka garantnog perioda.

Varijanta 1 daje ukupno umanjeње od 13.475 EUR te uključuje zamjenu segmenata s deformacijama $\geq 10\%$ i povećane troškove održavanja na dionicama s točkastim sanacijama. Za sve ostale detektirane defekte Izvođač se obvezuje provesti dodatno ispitivanje (monitoring koji se sastoji od CCTV snimanja i ispitivanja vodonepropusnosti) prije isteka garantnog perioda te u slučaju dodatno otkrivenih defekata iste sanirati o svom trošku ili nadoknaditi Naručitelju temeljem prethodno opisane metodologije.

Varijanta 2 predstavlja maksimalistički pristup koji predviđa potpunu zamjenu svih segmenata s uočenim defektima, u slučaju da Izvođač ne preuzima nikakav dodatni rizik izvan osnovnog Ugovora, a umanjeње iznosi 95.268 EUR, a cjelokupan iznos odnosi se na zamjenu svih segmenata cijevi s uočenim defektima.

Varijanta 3 kao kombinirano rješenje, predviđa umanjeње vrijednosti izvedenih radova koje se odnosi na zamjenu segmenata cijevi s uočenim deformacijama $\geq 10\%$ (kao i u varijanti 1) te dodatno obuhvaća: trošak izvedbe točkastih sanacija (stent/TOP-hat) na dodatnim lokacijama (ostali uočeni defekti prema poglavlju 3.2.3), trošak naknadnog snimanja (CCTV snimanje + ispitivanje vodonepropusnosti) na svim dionicama s uočenim defektima (sve dionice s deformacijama 6-9% i/ili provedenim točkastim sanacijama), trošak zamjene 6-metarskih segmenata cijevi na 12,5% od ukupnog broja lokacija s provedenim točkastim sanacijama (stent/TOP-hat), a temeljem literaturnog podatka IKT-a o postotku zadovoljenja svih kriterija kroz provedena ispitivanja sanacija CIPP liner-ima (IKT, 2020.). Uz navedeno, umanjeње vrijednosti dano ovom varijantom obuhvaća i umanjeње zbog smanjenog vijeka trajanja cijevi s deformacijom 6-9%. Naime, proizvođač cijevi deklarira deformaciju od 6% kao maksimalno dopuštenu uz zadržavanje karakteristika cijevi i postizanje očekivane trajnosti od 50 godina. U uvjetima deformacija iznad 6%, cijevni materijal trpi dodatna naprezanja uslijed čega neminovno dolazi do smanjenja vijeka trajanja takve cijevi. Na temelju dosadašnjih iskustava, u uvjetima pojačanih deformacija i naprezanja cijevi procijenjeno je smanjenje njihova očekivanog trajanja s 50 na 30 godina, odnosno stopa amortizacije umjesto 2% godišnje, iznosi 3,33% godišnje. Temeljem razlike u stopi amortizacije (1,33%) tijekom novo očekivanog vijeka trajanja ugrađenih cijevi (30 godina) i svođenjem ukupno dobivenog iznosa na neto sadašnju vrijednost (NPV) izračunato je umanjeње vrijednosti temeljem stavke smanjene očekivane trajnosti ovih cijevi. Dodatno umanjeње vrijednosti i u ovoj varijanti čini i stavka zbog potrebe pojačanog (skupljeg) održavanja dionica s provedenim točkastim sanacijama (ugrađen stent i/ili TOP-hat). Ukupna vrijednost umanjeња izvedenih radova temeljem ovako definirane metodologije (varijanta 3) iznosi 47.449,05 EUR, od čega se 12.426,07 EUR odnosi na obveznu zamjenu segmenata cijevi s uočenim

deformacijama $\geq 10\%$, 9.510,00 EUR na provedbu točkastih sanacija (stent/TOP-hat) na dodatne 23 lokacije na kojima su uočeni ostali defekti prema opisanom u poglavlju 3.2.3, 16.272,33 EUR na provedbu dodatnog snimanja (monitoringa) prije isteka garantnog perioda te potom zamjenu 6-metarskih segmenata cijevi na 12,5% od ukupnog broja pregledanih lokacija (u konkretnom slučaju 6 lokacija: ukupan broj lokacija točkastih sanacija je 50 (od čega 20 postojećih stent-ova, 7 postojećih TOP-hat-ova, 13 novo predviđenih stent-ova i 10 novo predviđenih TOP-hat-ova), od čega 12,5% iznosi 6,25, odnosno zaokruženo na cijeli broj iznosi 6). Dodatno umanjene vrijednosti izvedenih radova čini i 8.255,99 EUR na stavku smanjenja očekivane trajnosti s 50 na 30 godina za cijevi s deformacijama 6-9%. Dodatno se i ovom varijantom obvezuje Izvođača na potpunu zamjenu segmenata cijevi za koje se naknadnim monitoringom (prije isteka garantnog perioda kojeg u ovom slučaju provodi sam Naručitelj budući je kroz umanjenu vrijednost izvedenih radova predviđen trošak provedbe snimanja) utvrde deformacije $\geq 10\%$.

Kao primjer provedenih izračuna dan je izvadak prikazan na slici 4, gdje su u posljednja dva stupca vidljivi ukupni iznosi umanjnja za varijantu 1 i varijantu 2.

Kolektor	Oznaka lokacije (fotografija)	Opis defekta / razlog umanjnja	Dionica	Pozicija (udaljenost od početka dionice) [m]	Dužina dionice [m]	Pojaćano održavanje		Umanjenje uz naknadno snimanje [EUR]	Puno umanjnje (bez naknadnog snimanja) [EUR]
						Jedinični iznos dodatne cijene održavanja [EUR/m/god]	Razlika zbog dodatne cijene održavanja [EUR/god]		
K1	151/152	Ugrađen stent	RO190 - RO192	17.4	20.06	0.1	2.01		1380.70
K2	14	Uzduno pomaknuti spoj, otklon 31 mm (O2)	RO196 - R197	21.7	23.64	-	-		1380.70
	8/13	Oštećen priključak, nepotpuno vezan (O2)	RO198 - RO197	0.8	10.00	-	-		1380.70
	12	Uzduno pomaknuti spoj, otklon 31 mm (O2)	RO200 - RO199	17.6	19.09	-	-		1380.70
	163	Deformacija, vertikalno, 9%		14.2					1380.70
	163/166	Ugrađen stent	RO205 - RO167	31.9	40.38	0.1	4.06		1380.70
	618	Deformacija, vertikalno, 10%		12.4					1380.70
	622	Deformacija, vertikalno, 7%		15.0				1380.70	1380.70
	626/630	Ugrađen top-hat		28.2					1380.70
...									
K3	793/794	Ugrađen stent		0.0					1380.70
	800	Deformacija, vertikalno, 8%	RO247 - RO233	11.2	29.24	0.1	2.92		1380.70
	53/54	Radialno pomaknuti spoj, otklon 7 mm	RO248 - RO247	24.1	30.73	-	-		1380.70
	285/286	Ugrađen stent	RO251 - RO250	11.1	15.41	0.1	1.54		1380.70
UKUPNO:						EUR/god	60.68		
						EUR/30god	1.820.40	12.426.27	95.268.08
						NPV [EUR/30god]	1.049.28		
SVEUKUPNO [EUR]:								13.475.55	95.268.08

Slika 4. Izvadak iz proračunske Excel tablice za definiranje iznosa umanjnja vrijednosti izvedenih radova

4 Zaključak

Definirana metodologija za procjenu umanjnja vrijednosti izvedenih radova primijenjena na pokaznoj komponenti (oko 1,6 km) aglomeracije u izvedbi daje značajne razlike u ukupnim iznosima umanjnja, ovisno o načinu raspodjele rizika između Izvođača i Naručitelja, odnosno postojanja ili ne obveze provedbe dodatnih ispitivanja i davanja dodatnih garancija od strane Izvođača. Analizirane su tri varijante s dobivenim vrijednostima umanjnja 13.475 EUR, 95.268 EUR i 47.449 EUR. Ako bi se navedeni iznosi proporcionalno preslikali na cjelokupnu aglomeraciju (cca 200 km), raspon mogućih financijskih učinaka raste na 1,68 do 11,91 milijuna EUR, pri čemu svaka varijanta predstavlja različit pristup raspodjeli odgovornosti i rizika. Odabir prikladnog modela umanjnja vrijednosti ovisi u prvom redu o dogovoru ugovornih strana i razini prihvatljivog rizika u konkretnom projektu. U praktičnoj primjeni pojedine varijante mogu biti prikladnije ovisno o ugovornim odnosima, raspodjeli rizika te tehničkom stanju izvedenih radova. Varijanta 1 prikladna je u situacijama kada Izvođač prihvaća obvezu dodatnog monitoringa i eventualnih naknadnih sanacija tijekom garantnog razdoblja, čime se omogućuje prihvaćanje dijela izvedenih radova uz kontrolirani tehnički rizik. Varijanta 2 predstavlja konzervativni pristup koji je primjeren u projektima u kojima Naručitelj ne prihvaća povećani operativni rizik ili kada Izvođač ne preuzima obvezu dodatnog monitoringa, pa se zahtijeva potpuna zamjena svih segmenata s uočenim defektima. Varijanta 3 može se smatrati kompromisnim modelom koji kombinira tehničke sanacije, dodatni monitoring i financijsku korekciju vrijednosti radova te je posebno primjenjiv u projektima velikog opsega gdje bi potpuna zamjena svih spornih segmenata imala nerazmjernu tehničku i financijsku posljedice. Takav pristup omogućuje uravnoteženu raspodjelu tehničkog i financijskog rizika između ugovornih strana te olakšava praktičnu primjenu predložene metodologije i na drugim sličnim

infrastrukturnim projektima. Prikazana metodologija je, dakle, direktno primjenjiva i na drugim aglomeracijama, a u slučaju pojave dodatnih tipova defekata koji utječu na umanjenje cijene moguće ju je dodatno prilagoditi specifičnim okolnostima pojedinog slučaja.

Literatura

Bosseler, B. and Kaltenhäuser, G. (2005) Testing Top Hat Liners and Robotic Systems for Repair of Lateral Connections. Ikt - Institute for Underground Infrastructure, Exterbruch 1, 45886 Gelsenkirchen, Germany.

Caradot, N., Sampaio, Ph. R., Guilbert, A. S., Sonnenberg, H., Perez, V. Dimova, V. (2020) 'Using deterioration modelling to simulate sewer rehabilitation strategy with low data availability', *Water Science and Technology*, 83(1), pp. 631-640.

US EPA (2011) Quality Assurance and Quality Control Practices for Rehabilitation of Sewer and Water Mains. EPA/600/R-11/017. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory - Water Supply and Water Resources Division, Edison NJ. February 2011.

US EPA (2014) National Database Structure for Life Cycle Performance Assessment of Water and Wastewater Rehabilitation Technologies (Retrospective Evaluation). EPA/600/R-14/251. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory - Water Supply and Water Resources Division, Edison NJ. August 2014.