

ZNAČAJ PRIMENE NB-IoT TEHNOLOGIJE ZA DALJINSKO OČITAVANJE VODOMERA I SMANJENJE GUBITAKA

Tehničko-ekonomska metodologija, specifikacija sistema i terenska analiza mernih mesta

"If you cannot measure it, you cannot manage it."

Sažetak

Tačno merenje potrošnje vode i pravovremena dostupnost mernih podataka predstavljaju osnovu za upravljanje vodovodnim sistemom, kontrolu komercijalnih gubitaka, smanjenje neobračunate vode i finansijsku stabilnost javnog isporučioaca. Rad prikazuje metodološki okvir za uvođenje daljinskog očitavanja vodomera zasnovanog na NB-IoT komunikaciji, sa naglaskom na tehničku sanaciju mernih mesta, pravilan izbor vodomera, obradu prioritetne grupe potrošača i dokazivu poslovnu opravdanost ulaganja.

Osnovna pretpostavka je da digitalna komunikacija ne može nadoknaditi greške nastale usled predimenzionisanog, zaprljanog, potopljenog, blokirano ili hidraulički neispravno ugrađenog vodomera. Zbog toga se NB-IoT uvodi kao deo celovitog mernog sistema: vodomer, hidraulički sklop, zaštita mernog mesta, radio-veza, bezbedan prenos podataka, centralna platforma, obračun, alarmiranje i zonska analitika. Poseban značaj ima prioriteta grupa potrošača, jer ograničen broj mernih mesta nosi dominantan udeo ukupne potrošnje. Na toj grupi se najbrže postižu efekti povećanog fakturisanja, nižih troškova očitavanja i bržeg otkrivanja curenja.

Rad sadrži tehničku specifikaciju NB-IoT sistema, metodologiju proračuna koristi i troškova, kriterijume za izbor mernih mesta, prihvatne testove, rizike i priloge sa terenskim podacima. Rezultati ukazuju da se daljinsko očitavanje mora tretirati kao projekat smanjenja gubitaka i upravljanja imovinom, a ne kao izolovana nabavka komunikacionih modula.

Ključne reči

vodomeri; NB-IoT; daljinsko očitavanje; komercijalni gubici; stvarni gubici; zonsko merenje; prioritetni potrošači; analiza koristi i troškova; merno mesto

1. Uvod

Voda za piće je tehnički proizvod sa merljivim troškovima zahvatanja, prečišćavanja, transporta, pritiska regulacije, održavanja i kontrole kvaliteta. Kada se isporučena količina ne meri tačno ili se ne očitava dovoljno često, vodovodni sistem gubi deo prihoda, deo operativne kontrole i sposobnost pravovremene reakcije. Merenje na mestu potrošnje zato nije samo obračunska aktivnost, već osnovni upravljački podatak.

U praksi se problemi javljaju na više nivoa: nepravilno odabran prečnik vodomera, rad izvan tačnog mernog područja, nepostojanje hvatača nečistoće, talog i pesak u cevovodu, potopljeni šahtovi, nemoguć pristup, blokada ili usporen rad mehanizma, neusklađena baza korisnika i kasno uočavanje curenja. Daljinsko očitavanje je efikasno tek kada se ti uzroci sistematski kontrolišu.

Predmet rada je primena NB-IoT tehnologije za daljinsko očitavanje vodomera. NB-IoT je izabran kao jedinstvena komunikaciona osnova zbog rada u mreži mobilnog operatora, male količine podataka po uređaju, pogodnosti za baterijski rad i mogućnosti komunikacije sa uređajima u teškim radio-uslovima. Tehnički cilj je pouzdana dostava validnih mernih podataka. Poslovni cilj je smanjenje komercijalnih gubitaka, niži trošak očitavanja i brže otkrivanje stvarnih gubitaka.

2. Polazni tehnički problem

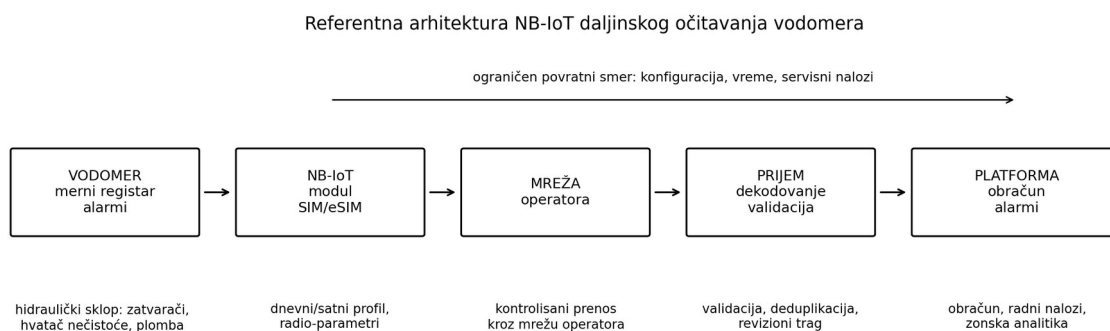
Kod akumulativnog vodomera svaki novi podatak predstavlja novo stanje brojačnika. Potrošnja za obračunski period dobija se razlikom novog i prethodnog stanja. Ako vodomer meri usporeno, ako je predimenzionisan ili ako je mehanizam oštećen nečistoćama, obračun ostaje formalno uredan, ali materijalno pogrešan. Daljinsko očitavanje takvog vodomera samo ubrzava dostavu pogrešnog podatka.

Zbog toga se projekat daljinskog očitavanja mora razvijati kroz četiri povezane discipline: metrologiju, hidrauliku, komunikacije i poslovnu analitiku. Metrologija potvrđuje da je vodomer odgovarajući i overen. Hidraulika potvrđuje da je ugrađen u uslovima u kojima može tačno da meri. Komunikacija obezbeđuje da se podaci prenesu bez terenskog obilaska. Poslovna analitika pretvara meri podatak u obračun, alarm, radni nalog ili investicionu odluku.

3. NB-IoT kao komunikaciona osnova sistema

NB-IoT, odnosno internet stvari uskog opsega, predstavlja celularnu komunikacionu tehnologiju namenjenu uređajima koji šalju male pakete podataka, rade na bateriju i uglavnom su stacionarni. Kod vodomera je osnovni komunikacioni obrazac jednostavan: uređaj periodično šalje kumulativno stanje, intervalni profil, alarme i tehničke parametre rada. Komunikacija od servera ka uređaju koristi se ograničeno, prvenstveno za konfiguraciju, sinhronizaciju i potvrđene servisne postupke.

Za vodovodni sistem je bitno da NB-IoT ne zahteva lokalno prikupljanje podataka vozilom, ručni prolazak pored vodomera niti mrežu lokalnih koncentratora u vlasništvu vodovoda. Uređaji koriste mrežu mobilnog operatora, a podaci se uvode u kontrolisan informacijski sistem. Time se smanjuje terenski rad, a povećava učestanost merenja i raspoloživost podataka za analitiku.



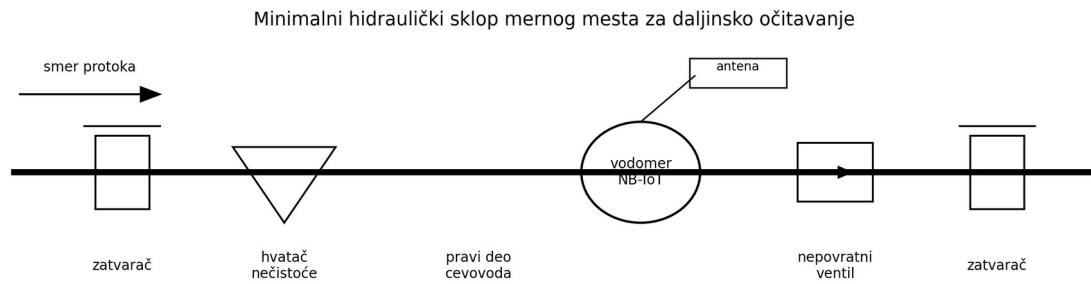
Slika 1. Referentna arhitektura sistema daljinskog očitavanja vodomera preko NB-IoT komunikacije.

Element	Zahtev	Dokaz
Radio-tehnologija	NB-IoT prema 3GPP specifikacijama, u mreži mobilnog operatora.	Potvrda operatora, lista podržanih opsega i terenski izveštaj.
Učestanost slanja	Standardno jednom dnevno sa satnim profilom; za prioritete potrošače podesivo na više slanja dnevno.	Konfiguracija uređaja i izveštaj platforme.
Lokalna memorija	Najmanje 90 dana satnih profila ili 180 dana dnevnih zapisa.	Test čitanja posle simuliranog prekida veze.
Dostava podataka	Najmanje 98,5% dnevnih paketa primljeno u pilotu u definisanom roku.	Dnevni izveštaj sa brojem očekivanih i primljenih paketa.
Baterijski vek	Projektovani vek najmanje 10 godina za ugovoreni režim slanja.	Proračun potrošnje i pilot sa stvarnim radio-parametrima.
Bezbednost	Zaštićen identitet uređaja, šifrovan ili aplikaciono zaštićen prenos, upravljanje ključevima i revizioni trag.	Bezbednosni zapisnik i test odbijanja neovlašćenog pristupa.

Tabela 1. Minimalni komunikacioni i operativni zahtevi za NB-IoT vodomere.

4. Preduslovi na mernom mestu

Merno mesto je najkritičniji deo sistema. Podatak može biti obračunski relevantan samo ako su vodomer, armature, smer protoka, zaštita od nečistoća, pristup za održavanje i uslovi komunikacije kontrolisani. Ugradnja hvatača nečistoće ima poseban značaj, jer pesak i talog posle havarija, ispiranja mreže ili radova na cevovodu direktno ugrožavaju meri mehanizam i mogu izazvati blokadu ili usporen rad.



Slika 2. Minimalni hidraulički sklop mernog mesta za pouzdano merenje i NB-IoT očitavanje.

Oblast	Tehnički zahtev	Merljiv dokaz
Dimenzionisanje	Nominalni prečnik i opseg vodomera biraju se prema stvarnom profilu protoka, broju korisnika i vršnim zahtevima.	Proračun Q1, Q3, Q4, odnos R, profil potrošnje ili istorijski podaci.
Prava ugradnja	Ugradnja mora poštovati smer protoka, položaj, dužine smirenja i preporuke proizvođača.	Zapisnik sa fotografijom i početnim stanjem.
Hvatač nečistoće	Ugrađuje se ispred vodomera kada to zahtevaju uslovi mreže i proizvođač; mora biti dostupan za čišćenje.	Fotografija, kontrola smera i plan održavanja.
Armature	Zatvarači, spojnice, nepovratni ventil kada je potreban, plombiranje i mogućnost demontaže bez oštećenja instalacije.	Montažni zapisnik i kontrolna lista.
Šaht ili prostorija	Merno mesto ne sme biti trajno potopljeno, zatrpno ili nepristupačno.	Terenski pregled, fotografija i oznaka stanja.
Radio-uslov	Na poziciji uređaja ili antene moraju se izmeriti parametri NB-IoT veze.	RSRP, RSRQ, SINR i broj uspešnih slanja u probnom periodu.

Tabela 2. Kontrolni zahtevi za prijem mernog mesta u sistem.



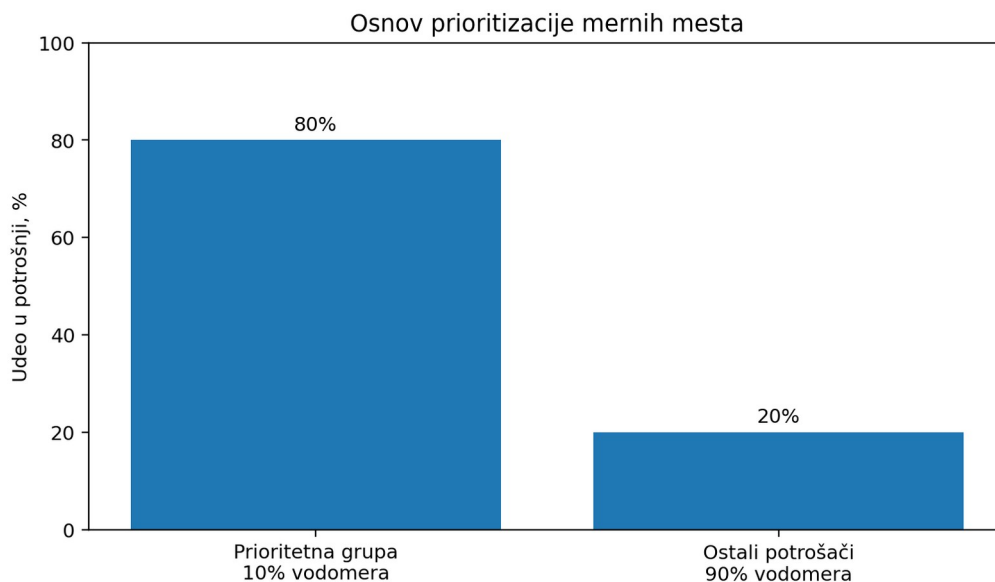
Slika 3. Primer mernog mesta sa neodržavanim skloništem i povećanim rizikom od netačnog rada vodomera.



Slika 4. Potopljeno vodomerno sklonište kao primer uslova koji ugrožavaju čitanje, održavanje i pouzdanost komunikacionog sklopa.

5. Prioritetna grupa potrošača

Kod vodovodnih sistema sa velikim brojem korisnika nije racionalno da se masovna ugradnja započne jednakim tretmanom svih vodomera. Terenski podaci pokazuju da relativno mala grupa mernih mesta nosi dominantan deo obračunate potrošnje. Zato se prvi investicioni ciklus usmerava na potrošače sa najvećom godišnjom potrošnjom, najstarijim i najrizičnijim vodomernima, nenormalno malom specifičnom potrošnjom i strateškim položajem u zonama merenja.



Slika 5. Princip prioritetne grupe: mali udeo vodomera nosi dominantan udeo ukupne potrošnje.

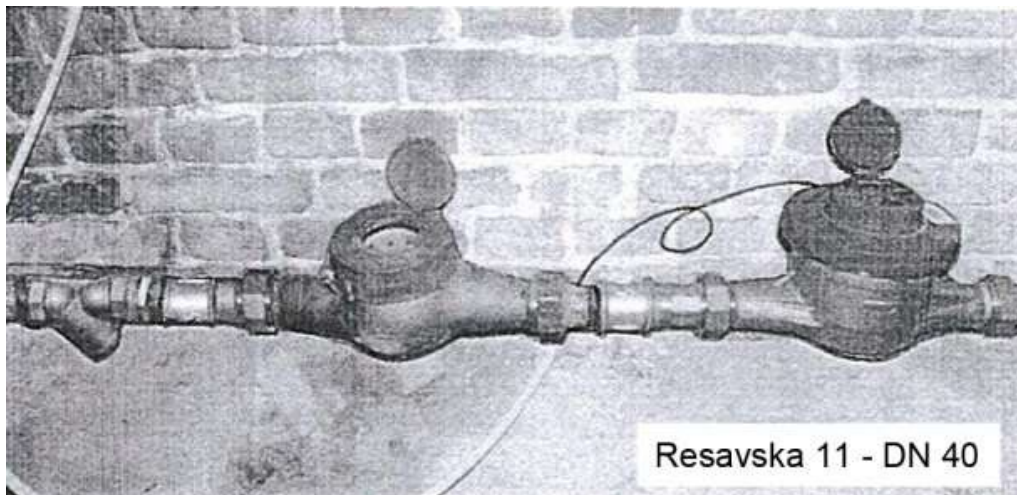
Kriterijum	Pravilo	Dokaz
Godišnja količina	Merno mesto ulazi u rang-listu prema registrovanoj potrošnji za najmanje 12 meseci.	Lista gornjih 10% potrošača po m ³ /god.
Metrologijski rizik	Stari, često menjani, predimenzionisani ili blokirani vodomerni dobijaju veći prioritet.	Starost, broj zamena, zapisnici o kvaru.
Specifična potrošnja	Nenormalno mala potrošnja po članu	Poređenje sa referentnim rasponom i

Kriterijum	Pravilo	Dokaz
	domaćinstva ili po jedinici delatnosti označava rizik mernog gubitka.	istorijom korisnika.
Zonska vrednost	Prednost imaju vodomeri u zonama gde postoji ulazno merenje i mogućnost bilansa zone.	Veza sa District Metered Area zonom.
Montažna izvodljivost	Pilot bira lokacije na kojima su moguća sanacija, ugradnja i dokaz radio-uslova.	Terenski zapisnik i fotografija.

Tabela 3. Kriterijumi za formiranje prioritete grupe mernih mesta.

6. Terenski nalazi o kvalitetu merenja

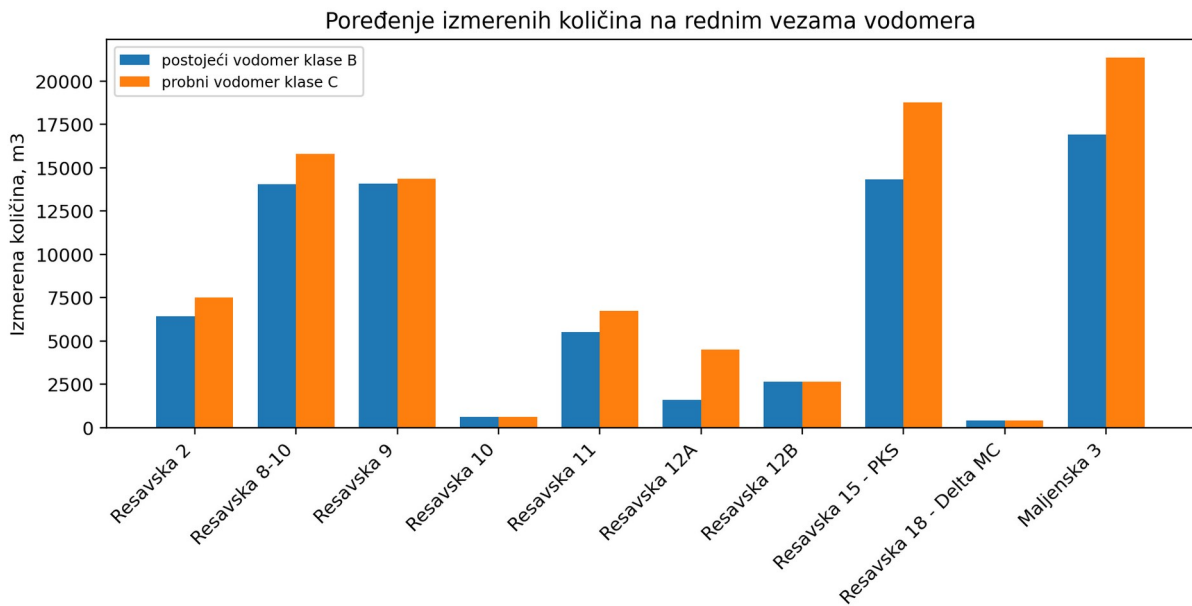
Poređenje vodomera u rednoj vezi omogućava da se proceni efekat tačnijeg ili pravilnije izabranog merila na istom hidrauličkom režimu. Rezultati pokazuju da pravilno dimenzionisani manji prečnici daju iste ili veoma bliske vrednosti, dok predimenzionisana merna mesta daju znatna odstupanja. To je neposredan dokaz da projekat daljinskog očitavanja mora početi od izbora i sanacije vodomera, a ne od same komunikacije.



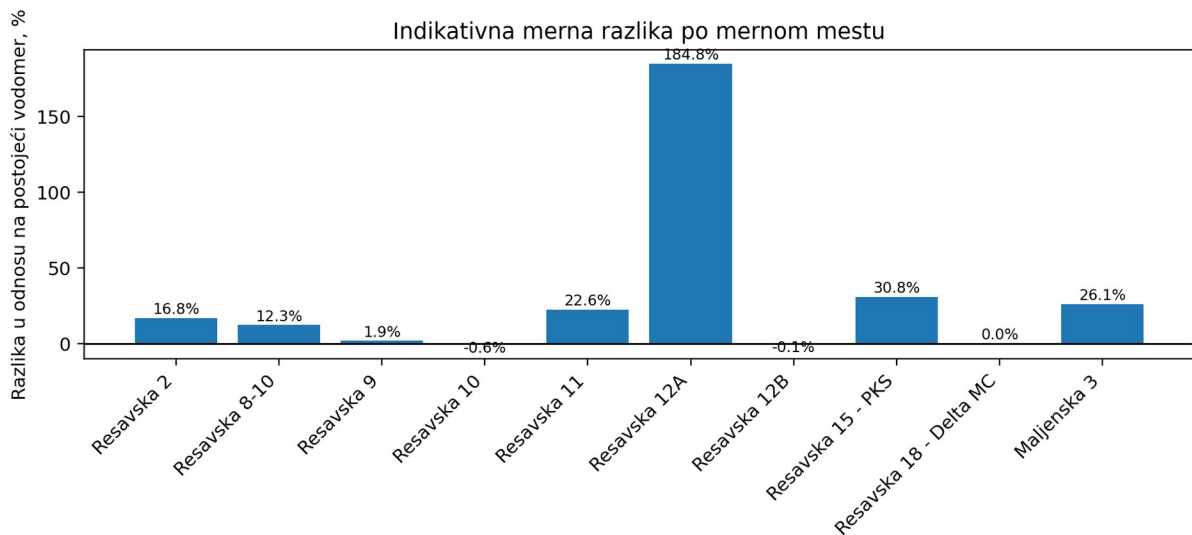
Slika 6. Redna veza postojećeg i probnog vodomera u terenskom ispitivanju.

Mesto	Stanovi	Stanari	DN ugrađen	DN predložen	B klasa m3	C klasa m3	Razlika m3	Razlika %
Resavska 2	19	35	40	20	6 416	7 493	1 077	16,80
Resavska 8-10	28	50	40	20	14 054	15 779	1 725	12,30
Resavska 9	27	78	25	20	14 097	14 365	268	1,90
Resavska 10	16	37	20	20	622	618	-4	-0,60
Resavska 11	16	21	40	20	5 512	6 756	1 244	22,60
Resavska 12A	16	49	50	20	1 586	4 517	2 931	184,80
Resavska 12B	5	10	20	20	2 655	2 653	-2	-0,10
Resavska 15 - PKS		300	50	20	14 338	18 754	4 416	30,80
Resavska 18 - Delta MC		10	20	20	398	398	0	0,00
Maljenska 3	46	122	50	25	16 920	21 340	4 420	26,10

Tabela 4. Rezultati merenja na rednim vezama vodomera klase B i klase C.



Slika 7. Poređenje izmerenih količina na postojećem i probnom vodomteru.

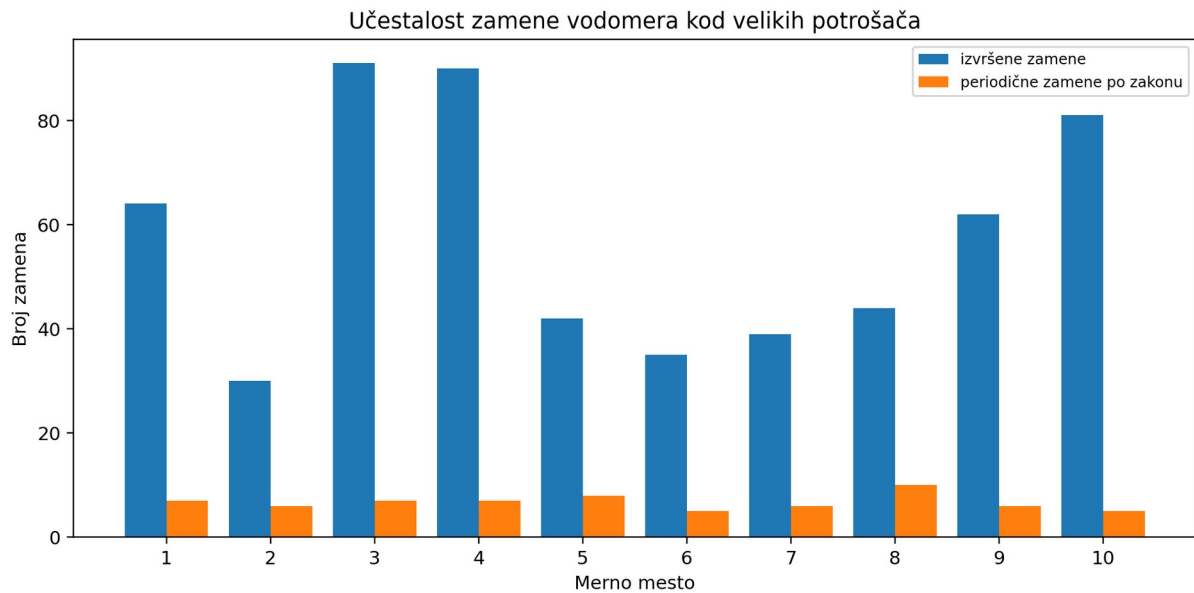


Slika 8. Relativna razlika u merenju po mernom mestu.

Na mernim mestima sa DN 20 i DN 25 razlika je mala ili zanemarljiva. Na većim ili problematičnim mestima razlika postaje značajna, što potvrđuje potrebu za korektnim dimenzionisanjem. U projektnoj praksi se zato uvodi obavezna provera opsega merenja posle ugradnje: ako većina zapremine prolazi kroz područje slabe tačnosti, vodomter se mora ponovo odabrati.

7. Uticaj održavanja i zaštite vodomera

Učestale zamene vodomera kod velikih potrošača pokazuju da kvarovi često nisu posledica normalnog isteka meriteljskog perioda, već loših uslova rada. Bez hvatača nečistoće, dostupnih zatvarača, ispiranja mreže i održavanja skloništa, vodomter postaje potrošni element, a sistem trpi trošak zamene i gubitak zbog neizmerene količine.



Slika 9. Odnos izvršenih zamena i očekivanih periodičnih zamena kod velikih potrošača.

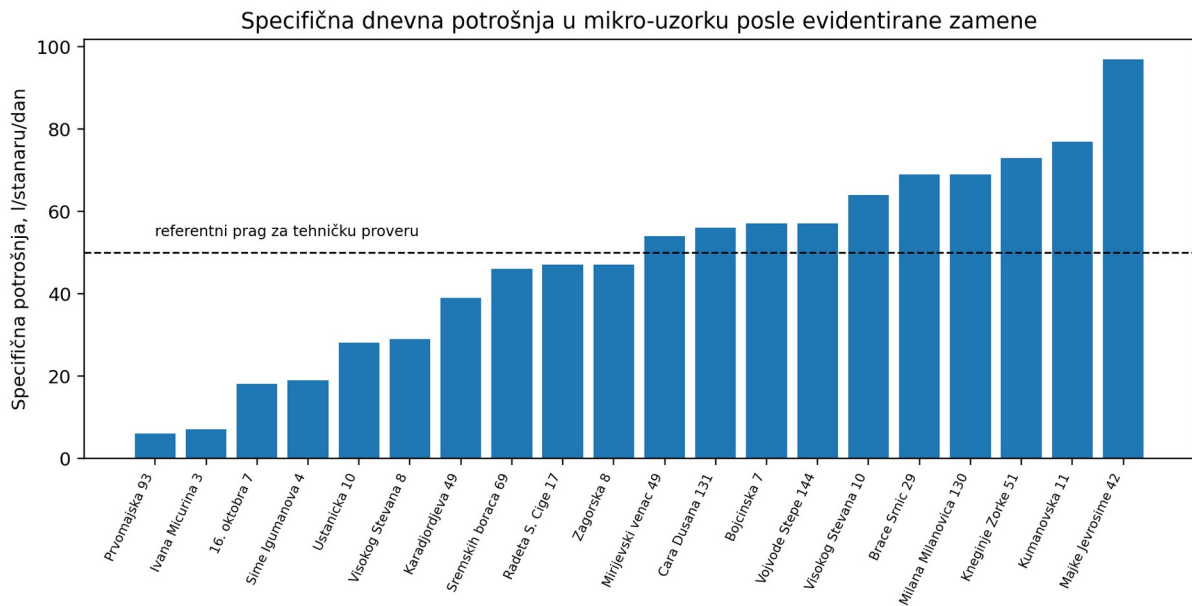
Br.	Potrošač	DN	Prva ugradnja	Izvršene zamene	Zamene po zakonu	Razlika	Procena troška din
1	A	150	1 967	64	7	57	918 263
2	B	150	1 973	30	6	24	386 637
3	C	150	1 968	91	7	84	1 353 230
4	C	150	1 967	90	7	83	1 337 120
5	D	150	1 963	42	8	36	579 956
6	E	150	1 978	35	5	30	483 296
7	F	150	1 969	39	6	33	531 626
8	G	200	1 954	44	10	34	622 808
9	H	200	1 974	62	6	56	1 025 801
10	H	200	1 976	81	5	76	1 392 159

Tabela 5. Broj nepotrebnih zamena vodomera u grupi velikih potrošača.

Kod prikazane grupe razlika između stvarnog i očekivanog broja zamena ukazuje na sistemski problem zaštite merila i održavanja mernog mesta. Finansijski efekat nije ograničen na cenu vodomera i ugradnje; znatno važniji je rizik od višegodišnje potcenjene potrošnje.

8. Specifična potrošnja kao indikator merne anomalije

Specifična dnevna potrošnja po stanaru je jednostavan indikator za otkrivanje sumnjivih mernih mesta. Vrednosti od nekoliko litara po stanaru dnevno nisu tehnički uverljive za standardnu stambenu potrošnju i moraju otvoriti radni nalog za proveru vodomera, šahta, baze korisnika i eventualne nelegalne potrošnje ili mernog zaobilaznog toka.



Slika 10. Specifična potrošnja u mikro-uzorku kao indikator rizika neispravnog merenja.

9. Metodologija proračuna koristi i troškova

Ekonomski opravdanost se računa odvojeno za četiri vrste koristi: dodatno fakturisano količinu, smanjenje stvarnih gubitaka, smanjenje troškova očitavanja i smanjenje troškova korisničkog servisa. Troškovi se dele na početnu investiciju i godišnji operativni trošak.

9.1 Ulazni parametri

Oznaka	Opis	Jedinica
N	Broj memih mesta u obuhvatu	kom
V_reg	Registrovana godišnja potrošnja pre zahvata	m ³ /god
g_mer	Očekivani procenat dodatno registrovane količine posle sanacije i zamene vodomera	%
T_voda	Prosečna obračunska cena vode i usluge	din/m ³
k_naplata	Koeficijent realne naplate	0 do 1
V_cur	Godišnja količina curenja koja se može smanjiti bržom detekcijom	m ³ /god
C_var	Varijabilni trošak proizvodnje i distribucije vode	din/m ³
C_ocit	Godišnji trošak očitavanja i obrade po vodomera	din/kom/god
I0	Početna investicija	din
OPEX	Godišnji operativni trošak komunikacije, platforme i održavanja	din/god
d	Diskontna stopa	%/god
L	Analizirani vek projekta	god

Tabela 6. Ulazni parametri ekonomskog modela.

9.2 Dodatno fakturisanje

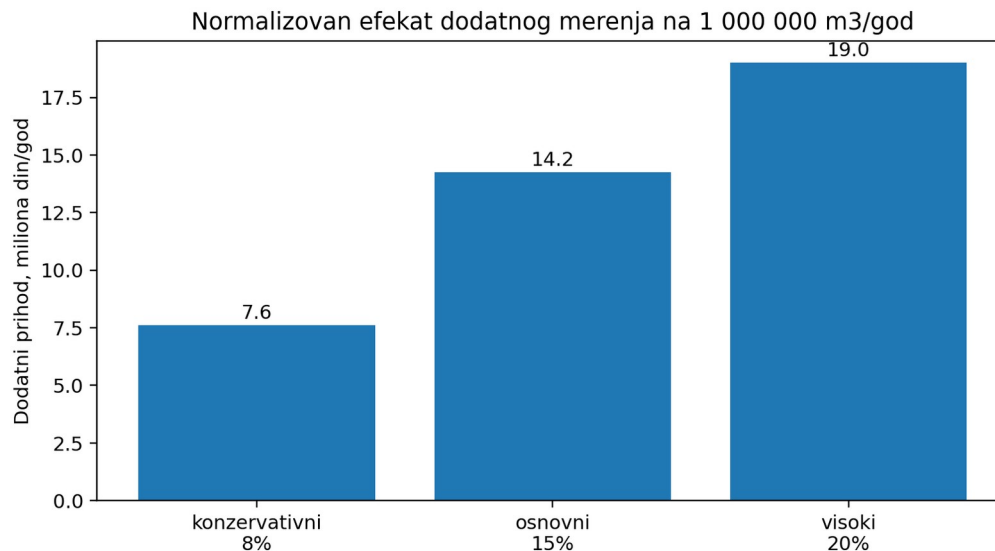
Dodatno registrovana količina računa se kao proizvod registrovane količine i procenta mernog efekta dobijenog iz pilota ili scenarija:

$$\Delta V_{\text{fakt}} = V_{\text{reg}} \times g_{\text{mer}}$$

Godišnja finansijska korist od dodatnog fakturisanja je:

$$B_{\text{fakt}} = \Delta V_{\text{fakt}} \times T_{\text{voda}} \times k_{\text{naplata}}$$

Za početnu analizu koriste se najmanje tri scenarija: konzervativni, osnovni i visoki. Scenario se potvrđuje pilot-ugradnjom i poređenjem podataka pre i posle sanacije mernog mesta.



Slika 11. Normalizovan primer efekta dodatnog merenja na godišnji prihod.

9.3 Smanjenje stvarnih gubitaka

Kada NB-IoT očitavanje omogući brže otkrivanje curenja, koristi se računa po izbegnutom varijabilnom trošku proizvodnje i distribucije, osim kada se prema važećim pravilima deo količine obračunava korisniku.

$$B_{cur} = V_{cur} \times C_{var}$$

Za zonsku analitiku koristi se minimalni noćni protok, jer je legitimna potrošnja tada najmanja, a curenje najvidljivije:

$$Q_{gubitak_noc} = Q_{ulaz_min_noc} - Q_{legitimna_noc}$$

$$V_{cur_procena} = Q_{gubitak_noc} \times 24 \times K_{pritiska} \times broj_dana$$

9.4 Ušteda očitavanja i korisničkog servisa

$$B_{ocit} = N \times C_{ocit} \times k_{eliminacije}$$

$$B_{servis} = smanjen_broj_reklamacija \times prosecan_trosak_reklamacije$$

Ukupan godišnji bruto efekat i neto novčani tok su:

$$B_{uk} = B_{fakt} + B_{cur} + B_{ocit} + B_{servis}$$

$$CF_{t} = B_{uk,t} - OPEX_{t} - C_{zamene,t}$$

9.5 Investicija, neto sadašnja vrednost i rok povraćaja

$$I0 = N \times (C_{vodomera} + C_{NBloT} + C_{montaza} + C_{antena} + C_{pustanje}) + C_{platforma} + C_{integracija} + C_{obuka}$$

$$NSV = -I0 + \sum_{t=1}^L (CF_{t} / (1 + d)^t), \text{ za } t = 1 \dots L$$

$$Indeks_koristi_troska = sadašnja_vrednost_koristi / sadašnja_vrednost_troškova$$

Rok povraćaja je prva godina u kojoj kumulativni diskontovani tok postaje veći ili jednak nuli.

Pokazatelj	Kriterijum	Tumačenje
Neto sadašnja vrednost	$NSV > 0$ u osnovnom scenariju	Projekat vraća kapital uz zadatu diskontnu stopu.
Rok povraćaja	≤ 60 meseci za prioritetu grupu	Prioritetna grupa mora dati brži povraćaj od masovne ugradnje.
Dodatno fakturisanje	$\geq 8\%$ na prioritentim mernim mestima	Ispod ovog praga treba dokazati drugu merljivu korist.
Dostava podataka	$\geq 98,5\%$ dnevnih paketa u pilotu	Bez pouzdane dostave nema obračunske vrednosti.
Alarmi	$\geq 95\%$ testiranih alarma vidljivo u platformi u zatom roku	Curenje, povratni tok, manipulacija, zastoj i niska baterija.

Tabela 7. Minimalni kriterijumi poslovne opravdanosti i prijema projekta.

10. Tehnička specifikacija sistema

10.1 Vodomer i merni modul

Stavka	Zahtev	Dokaz
Metrologija	Usklađenost sa važećim meriteljskim propisima, OIML R 49, ISO 4064 ili odgovarajućim nacionalnim odobrenjem tipa.	Sertifikat, žig i izveštaj o overavanju.
Merni opseg	Q3, Q1 i odnos R biraju se prema profilu potrošnje i hidrauličkom proračunu.	Izveštaj o izboru vodomera.
Registri	Kumulativna zapremina, intervalna potrošnja i smer protoka.	Poređenje lokalnog i daljinskog stanja.
Alarmi	Curenje, povratni tok, uklanjanje modula, manipulacija, prazan cevovod, zastoj i niska baterija kada ih uređaj podržava.	Simulacioni test alarma.
Kućište	Za uređaje u šahtu potreban je stepen zaštite deklarisan za vlažne uslove i privremeno potapanje.	Deklaracija proizvođača i terenski pregled.
Baterija	Minimalno 10 godina u ugovorenom režimu slanja i realnim radio-uslovima.	Model potrošnje i rezultati pilota.

Tabela 8. Tehnička specifikacija vodomera i mernog modula.

10.2 Podaci i interfejsi

Grupa podataka	Minimalni sadržaj
Identifikacija	meter_id, device_id, SIM/eSIM identitet, šifra korisnika, šifra zone, verzija poruke.
Merenje	vreme očitavanja, kumulativni registar, intervalna potrošnja, smer protoka, rezolucija merenja.
Alarmi	bit-mask alarm, vreme nastanka, vreme slanja i status obrade.
Tehničko stanje	baterija, temperatura uređaja ako postoji, restart, verzija programa, lokalna memorija.
Radio-parametri	RSRP, RSRQ, SINR, broj pokušaja slanja, identifikator ćelije, uzrok neuspeha.
Integritet	brojač poruke, zaštita od duplikata, kontrola integriteta i revizioni trag.

Tabela 9. Minimalni skup podataka u poruci i bazi mernih podataka.

10.3 Integracije informacionog sistema

Sistem	Interfejs	Kriterijum uspeha
Obračun	Zaključno stanje za obračunski period, oznaka stvarnog i procenjenog očitavanja, validaciona pravila.	Obračunski ciklus bez ručnog prekucavanja.
Korisnički servis	Profil potrošnje, alarm curenja, dokaz očitavanja i istorija reklamacija.	Test rešavanja reklamacije na uzorku.
Nadzor i upravljanje	Lista aktivnih alarma, neaktivnih uređaja, radio-kvalitet po zoni i trendovi potrošnje.	Dnevni operativni izveštaj.
Zonsko merenje	Poređenje ulaznog merenja i zbira korisničkih očitavanja po vremenskom prozoru.	Mesečni bilans zone.
Održavanje	Automatski radni nalozi za proveru vodomera, čišćenje hvatača nečistoće, proveru signala i sanaciju šahta.	Zatvoren nalog sa fotografijom i mernim dokazom.

Tabela 10. Poslovne i tehničke integracije NB-IoT sistema.

10.4 Bezbednost i upravljanje pristupom

Oblast	Minimalni zahtev
Mrežni pristup	SIM ili eSIM identitet, zabrana javnog dolaznog saobraćaja prema uređaju i kontrolisani pristupni naziv mreže kada je dostupan.
Prenos podataka	Šifrovan transport ili aplikaciona zaštita poruke; jedinstveni ili segmentisani ključevi po uređaju ili grupi.
Platforma	Uloge korisnika, višefaktorska prijava za administratore, revizioni trag promena i izvoz logova.
Ažuriranje programa	Samo potpisani programski paketi; mogućnost provere verzije i kontrolisanog vraćanja na prethodno stanje.
Zaštita podataka	Tehnički podaci uređaja odvajaju se od ličnih podataka korisnika; pristup se dodeljuje po najmanjem potrebnom pravu.

Tabela 11. Bezbednosni zahtevi za NB-IoT sistem očitavanja.

11. Analitika potrošnje i alarmi

Sistem mora proizvoditi operativne zaključke, a ne samo očitane brojeve. Minimalna analitika se zasniva na poređenju tekućeg profila sa istorijskim profilom korisnika, sa susednim mernim mestima i sa bilansom zone. U prvoj fazi dovoljni su pragovi i pravila; u kasnijoj fazi mogu se uvesti modeli vremenskih serija i klasifikacija anomalija.

Algoritam	Logika	Izlaz
Curenje kod korisnika	Kontinualni protok veći od praga tokom 24 do 72 sata bez perioda nulte potrošnje.	Alarm curenja i procena m3/dan.
Povratni tok	Negativan smer protoka ili povratni impuls.	Alarm sa trajanjem i količinom.
Blokiran vodomera	Nema promene stanja kod korisnika sa istorijski stabilnom potrošnjom.	Radni nalog za proveru.
Usporeno merenje	Nenormalno mala specifična potrošnja ili pad u odnosu na sopstveni profil.	Lista za terensku proveru.
Manipulacija	Otvaranje kućišta, odvajanje modula ili drugi podržani događaj.	Alarm i terenski zapisnik.
Loš radio-uslov	Pad isporuke paketa, rast ponavljanja ili degradacija RSRP, RSRQ i SINR.	Nalog za proveru antene ili lokacije modula.

Tabela 12. Minimalni skup algoritama za prvu fazu eksploatacije.

12. Plan implementacije

Faza	Naziv	Aktivnosti	Kriterijum završetka
0	Priprema podataka	Čišćenje baze korisnika, spajanje mernih mesta sa zonama, izbor prioriteta i provera ugovora sa operatorom.	100% izabranih mesta ima jedinstven identifikator, adresu, korisnika, zonu i tip vodomera.
1	Pilot	Ugradnja reprezentativnog uzorka u šahtama, podrumima i kod velikih potrošača; merenje radio-uslova i provera baterijskog modela.	Najmanje 98,5% dnevnih paketa i potvrđen ekonomski ili operativni efekat.
2	Prioritetna grupa	Sanacija i opremanje potrošača koji nose najveći deo potrošnje.	Dnevni obračunski podaci za najmanje 95% aktivnih mernih mesta u grupi.
3	Zonska analitika	Povezivanje sa ulaznim meračima, analiza minimalnog noćnog protoka i prioriteta za detekciju curenja.	Mesečni bilans zone i lista radnih naloga.
4	Širenje sistema	Proširenje prema dokazanoj koristi, stanju infrastrukture i raspoloživom budžetu.	Positivna neto sadašnja vrednost ili regulatorno opravdanje.

Tabela 13. Predloženi plan implementacije.

13. Prihvatni testovi i kriterijumi prijema

Test	Metoda	Kriterijum prijema
Metrologija	Provera sertifikata, serijskog broja i početnog stanja.	100% uređaja ima važeću dokumentaciju i početno stanje u bazi.
Montaža	Kontrola smera protoka, plombiranja, hvatača nečistoće, armatura i dostupnosti.	Kritične greške se ne puštaju u obračun.
Radio-veza	Tri uzastopna uspešna slanja ili 72 sata probnog rada.	$\geq 98,5\%$ očekivanih paketa u pilotu.
Podaci	Poređenje lokalnog stanja i stanja u platformi.	Razlika je nula u okviru definisane rezolucije.
Alarmi	Simulacija curenja, povratnog toka ili drugog podržanog alarma.	$\geq 95\%$ testiranih alarma vidljivo u platformi u zadatom roku.
Integracija	Prenos zaključenog stanja u obračun i zatvaranje testnog obračuna.	Bez ručnog prekucavanja i bez duplikata.
Bezbednost	Provera korisničkih uloga, revizionog traga i odbijanja neovlašćenog pristupa.	Svi kritični testovi uspešni.

Tabela 14. Prihvatni testovi za pilot i produkciono puštanje.

14. Rizici i kontrole

Rizik	Posledica	Kontrola
Nedovoljan NB-IoT signal	Kašnjenje paketa, povećana potrošnja baterije i nepotpuni profili.	Terensko merenje, izmeštanje antene, izbor operatora i provera lokacije pre ugradnje.
Loše stanje šahta	Potapanje, fizičko oštećenje i nemogućnost održavanja.	Sanacija šahta kao preduslov prijema.
Pogrešno dimenzionisanje	Brz prenos netačnog merenja.	Obavezan hidraulički proračun i postinstalacioni histogram protoka.

Rizik	Posledica	Kontrola
Neuređena baza	Pogrešan obračun i nemogućnost integracije.	Čišćenje matičnih podataka pre ugradnje.
Nedokazan baterijski vek	Masovne zamene baterija pre kraja ekonomskog veka.	Pilot sa realnim radio-parametrima i ugovorni uslov za vek.
Zavisnost od operatora	Promena uslova, pokrivenosti ili cene komunikacije.	Servisni nivo, višegodišnji ugovor i izvoz podataka.
Regulatorna neusklađenost	Spor oko obračunske vrednosti očitavanja.	Validacija očitavanja i usklađenost sa meriteljskim propisima.

Tabela 15. Ključni rizici projekta i mere kontrole.

15. Zaključak

NB-IoT daljinsko očitavanje vodomera daje najveći efekat kada se posmatra kao deo programa smanjenja gubitaka i upravljanja imovinom. Tehnički redosled aktivnosti mora biti: sređivanje baze mernih mesta, izbor prioritete grupe, provera i sanacija mernog mesta, pravilan izbor vodomera, ugradnja NB-IoT komunikacionog sklopa, validacija podataka, povezivanje sa obračunom i aktiviranje analitike.

Terenski nalazi potvrđuju da predimenzionisani ili loše zaštićeni vodomeri mogu višegodišnje potcenjivati isporučenu količinu. Na mernim mestima pravilnog prečnika razlike između kontrolnih merenja su male, dok problematična mesta proizvode znatna odstupanja. To upućuje na zaključak da investiciju treba početi od potrošača sa najvećom potrošnjom, najvećim metrolozijskim rizikom i najvećom vrednošću za zonski bilans.

Uspeh projekta meri se konkretnim pokazateljima: povećanjem fakturisane količine, smanjenjem reklamacija, smanjenjem vremena detekcije curenja, pouzdanošću dostave podataka, trajanjem baterije, tačnošću integracije i pozitivnom neto sadašnjom vrednošću. Bez tih pokazatelja NB-IoT je samo komunikaciona nabavka. Sa njima postaje operativni sistem za upravljanje vodnim resursima i prihodima.

Literatura

1. Savić, S. Strategija smanjenja gubitaka u vodovodnim sistemima. Beograd, 2020.
2. Slijepčević, N. Daljinsko očitavanje vodomera i internet stvari. GAT doo, Novi Sad.
3. 3GPP. Release 13 and NB-IoT specifications. 3rd Generation Partnership Project.
4. 3GPP TS 36.300. Evolved Universal Terrestrial Radio Access and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network; Overall description.
5. ISO 4064-1:2024. Water meters for cold potable water and hot water - Part 1: Metrological and technical requirements.
6. OIML R 49:2024. Water meters for cold potable water and hot water.
7. ETSI EN 303 645 V3.1.3. Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements.
8. International Water Association. District Metered Area Guidance Notes and Water Loss Specialist Group materials.
9. Directive 2014/32/EU. Measuring Instruments Directive.

Prilog A. Mikro-uzorak stambenih potrošača

Tabela prikazuje indikator specifične dnevne potrošnje i preporučeni prečnik vodomera. Vrednosti ekstremno niske specifične potrošnje zahtevaju proveru merila, armatura, baze korisnika i uslova ugradnje.

Ulica	PPZ	Stanovi/stanari	Post. DN	DPP 2009	Spec. 2009	DPP 2013	Spec. 2013	Predl. DN	Zamena
16. oktobra 7	UZ	189/491	50	24,93	51	9,06	18	40	2010
Majke Jevrosime 42	S	58/151	50	34,39	228	14,64	97	25	2010*
Bojcinska 7	S	168/437	50	44,41	101	25,26	57	40	2013
Brace Smic 29	UZ	167/434	50	34,79	80	30,21	69	40	2011
Zagorska 8	UZ	70/182	50	10,43	57	8,60	47	40	2011*
Ustanička 10	UZ	84/218	50	15,67	71	6,25	28	40	2007*
Sremskih boraca 69	S	116/302	50	20,58	68	14,04	46	40	2013
Mirijeovski venac 49	UZ	94/244	50	35,59	146	13,13	54	40	2012*
Visokog Stevana 8	S	48/125	80	17,23	138	3,65	29	25	2013*
Visokog Stevana 10	S	48/125	50	21,45	172	8,04	64	25	2010*
Prvomajska 93	S	36/94	50	50,15	542	0,57	6	25	2009*
Karadjordjeva 49	UR	71/185	50	37,28	201	7,21	39	30	2003
Cara Dusana 131	S	26/68	50	12,77	188	3,82	56	20	2011*
Vojvode Stepe 144	UR	33/86	80	15,85	184	4,89	57	20	2011
Ivana Micurina 3	S	63/164	50	7,83	48	1,14	7	25	2010
Kumanovska 11	UZ	33/86	80	20,01	233	6,68	77	40	2013
Milana Milanovica 130	UZ	210/546	80	38,00	69	38,00	69	40	2007
Kneginje Zorke 51	S	57/148	80	17,16	116	10,77	73	25	2013
Sime Igumanova 4	UZ	123/320	80	32,26	101	6,19	19	40	2012
Radeta S. Cige 17	S	130/338	80	26,42	78	15,81	47	40	2011

Tabela A1. Mikro-uzorak potrošača i indikatori specifične potrošnje.

Prilog B. Operativni obrazac za proračun dobiti

Br.	Stavka	Oznaka	Formula / izvor	Jedinica
1	Broj vodomera	N	Unos	kom
2	Registrovana godišnja potrošnja	V_reg	Unos	m3/god
3	Koeficijent dodatnog merenja	g_mer	Unos iz pilota ili scenarija	%
4	Dodatno fakturisana količina	Delta_V_fakt	$V_reg \times g_mer$	m3/god
5	Prosečna cena vode i usluge	T_voda	Unos	din/m3
6	Koeficijent naplate	k_naplata	Unos	0 do 1
7	Dobit od dodatnog fakturisanja	B_fakt	$Delta_V_fakt \times T_voda \times k_naplata$	din/god
8	Smanjena količina curenja	V_cur	Unos iz alarma i zonske analitike	m3/god
9	Varijabilni trošak vode	C_var	Unos	din/m3
10	Dobit od curenja	B_cur	$V_cur \times C_var$	din/god
11	Ušteda očitavanja	B_ocit	$N \times \text{trošak po vodomeru} \times \text{stepen eliminacije}$	din/god
12	Ukupan godišnji bruto efekat	B_uk	$B_fakt + B_cur + B_ocit + B_servis$	din/god
13	Godišnji operativni trošak	OPEX	komunikacija + platforma + održavanje	din/god
14	Neto godišnji tok	CF	$B_uk - OPEX$	din/god
15	Početna investicija	I0	vodomeri + moduli + montaža + platforma + integracije	din
16	Rok povraćaja	Payback	$I0 / CF$	god

Tabela B1. Operativni obrazac za finansijsku procenu projekta.

Prilog C. Minimalna specifikacija za nabavku

Stavka	Minimalni zahtev
Predmet	Nabavka, ugradnja i puštanje u rad vodomera ili komunikacionih modula sa NB-IoT daljinskim očitavanjem, centralnom platformom, integracijom i podrškom.
Obuhvat	Prioritetna merna mesta, uključujući proveru dimenzije vodomera, sanaciju osnovnih uslova mernog mesta, montažu i vezivanje za obračunsku bazu.
Meriteljstvo	Usklađenost vodomera sa važećim propisima, OIML R 49, ISO 4064 ili nacionalnim ekvivalentom.
Komunikacija	Isključivo NB-IoT sa SIM ili eSIM identitetom i prenosom preko mreže mobilnog operatora.
Podaci	Kumulativni registar, intervalni profil, alarmi, stanje baterije, radio-parametri i revizioni trag.
Bezbednost	Šifrovanje ili aplikaciona zaštita poruka, upravljanje ključevima, uloge korisnika i potpisano ažuriranje programa.
Servisni nivo	Najmanje 98,5% dnevnih paketa u pilotu i najmanje 98% u produkciji, osim dokumentovanih prekida mreže operatora.
Garancija	Garancija na uređaj, vodonepropusnost, baterijski vek i dostupnost rezervnih delova za ugovoreni period.

Tabela C1. Minimalni zahtevi za tendersku specifikaciju.