

JEDNOSTAVAN METOD ZA PRORAČUN VODNOG BILANSA (METODA OD DNA PREMA VRHU) SIMPLE METHOD FOR WATER BALANCE CALCULATION (BOTOM - UP APPROACH)

Đevad Koldžo, M.Sc.,
Nezavisni međunarodni konsultant za ne-oprihodovanu vodu
Zvornička 29 Sarajevo,
e-mail: dzevad.koldzo@waterloss.com.ba

Sažetak: U skladu sa preporukama Međunarodne Asocijacije za vode (IWA), gubici vode se u računu korištenjem metodologije Vodnog bilansa (IWA metodologija) i prezentuju kroz finansijske i tehničke pokazatelje uspješnosti. Kako bi se definisala vrijednost elemenata vodnog bilansa radna grupa IWA je preporučila dva različita pristupa.

1. Pristup od vrha ka dnu i
2. Pristup od dna ka vrhu .

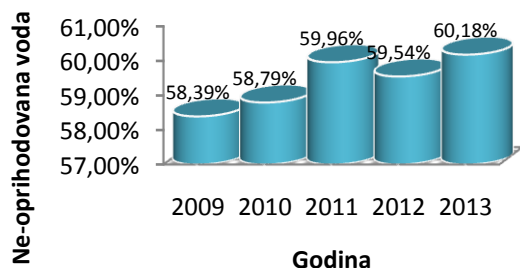
Mada je pristup od vrha ka dnu mnogo jeftiniji i brži, što su razlozi njegove značajnije primjene u zemljama regiona, ipak s obzirom da je ovaj pristup baziran na velikom broju procjena i pretpostavki dobivenih od vodovodnih preduzeća, rezultati su obično neprihvatljivo neprecizni. Mjerenja gubitaka koja se provode u mjernim zonama baziraju se na vrijednostima minimalnih noćnih protoka i bilo bi idealno kada bi se ova mjerenja provodila kontinuirano za period od jedne godine. Kako vodovodi u regionu uglavnom nisu u mogućnosti da mjerenja vrše permanentno već samo povremeno od posebne je važnosti određivanje tačnog dana kada će mjerenja biti provedena, kako bi se osiguralo da izmjereni protok sadrži najveći iznos stvarnih gubitaka. Uzimajući u obzir da su takvi rezultati, dobiveni mjerenjem u kratkom periodu obično nedovoljno pouzdani, vodovodna preduzeća kao i konzultanti se odlučuju za primjenu jeftinijeg i bržeg pristupa od vrha ka dnu.

Ovaj rad prikazuje prednosti pristupa od dna prema vrhu i pokazuje način kako se statističkom analizom podataka preuzetih iz sličnih vodovodni sistema taj pristup može pojednostavniti i pojeftiniti, a da pri tome dobiveni rezultati leže u okvirima prihvatljivih granica tačnosti.

Ključne riječi: gubici, vodni bilans, IWA metodologija

1 UVOD

Mjerenja gubitaka koja se provode u mjernim zonama baziraju se na izmjenjenim vrijednostima minimalnih noćnih protoka i bilo bi idealno kada bi se ova mjerenja provodila kontinuirano za period od jedne godine. Kako vodovodi u regionu jugo-istočne Evrope uglavnom nisu u mogućnosti da mjerenja vrše permanentno, već samo povremeno, od posebne je važnosti što preciznije određivanje perioda kada će mjerenja biti provedena, kako bi se na taj način osiguralo da izmjereni protok sadrži najveći iznos stvarnih gubitaka. Zbog različitog ponašanja potrošača u toku dana, sedmice ili sezone pojava minimalnog noćnog protoka (MNP) je direktno ovisna od neravnomjernosti potrošnje. Bosna i Hercegovina i Crna Gora su dvije nezavisne zemlje koje imaju dosta sličnosti kada je u pitanju klima, reljef i geografski položaj. Većina vodovodnih sistema u obje zemlje je u jako lošem stanju i Prema podacima Federalnog zavoda za statistiku (Slika 1), u FBiH količina ne-oprihodovane vode se iz godine u godinu povećava. Izuzetak je 2012. godina, kada je došlo do manjeg smanjenja gubitaka, a što se vremenski poklapa sa implementacijom velikog projekta smanjenja gubitaka u pet vodovoda u Srednjoj Bosni. Situacija u drugom entitetu je gotovo identična.

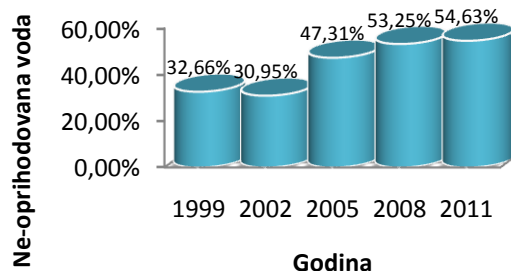


slika 1: Procentualne vrijednosti ne-oprihodovane vode u vodovodima u FBiH

U Crnoj Gori postoje 23 općinska vodovodna sistema u kojima je situacija veoma slična kao i u Bosni i Hercegovini. Prema podacima zavoda za statistiku Crne Gore - Monstat (Slika 2) koji se odnose na period od 12 godina (od 1999. do 2011.godine), vidljiv je velik porast ne-oprihodovane vode u periodu između 2002. i 2005. u iznosu od 16,36%.

Ovaj veliki porast NRW se odnosi na period prije samostalnosti Crne Gore 2006. godine. U periodu od 2008. do 2011, dolazi do zaustavljanja ovako velikog trenda rasta gubitaka, što se poklapa sa osnivanjem koordinacionog društva za vodosnabdijevanje i odvođenje otpadnih voda za Crnogorsko primorje - Vodacom. Ova ustanova je u prethodnom periodu implementirala veći broj projekata smanjenja gubitaka u vodovodima

članicama ovog društva a to su: Herceg Novi, Budva, Bar, Kotor, Tivat i Ulcinj.

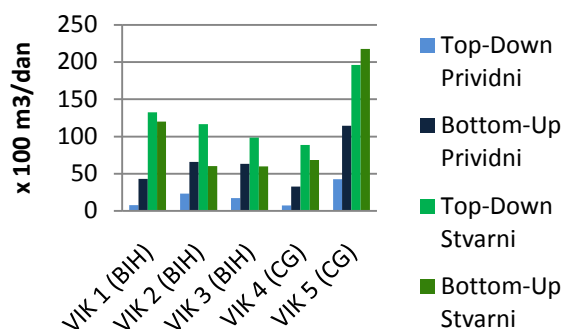


slika 2: Procentualne vrijednosti ne-oprihodovane vode u vodovodima u Crnoj Gori

Osim navedenih projekata, poslije proglašenja samostalnosti, u Crnoj Gori su implementirani projekti smanjenja gubitaka u vodovodima Podgorica i Cetinje, gdje zbog nedostatka sredstava nikada nije izvršena sanacija 334 detektovanih curenja. Izgradnjom regionalnog vodovodnog sistema 2010. godine, voda iz izvorišta koja se nalaze u Skadarskom Jezeru, se transportuje uz pomoć snažnih pumpnih sistema u sve primorske općine.

Na ovaj način je donekle ublažen nedostatak vode u primorskim općinama Crne Gore, ali zbog visoke cijene proizvodnje vode u regionalnom sistemu, primorski vodovodi su primorani da nastave ili čak intenziviraju akcije smanjenja i aktivnog monitoringa gubitka u svojim sistemima.

Poseban problem u obje zemlje postoji u intenciji da se gotovo kompletna vrijednost NRW prikaže kao stvarni gubitak, odnosno da se postojanje prividnih gubitaka konstantno minimizira. Ovaj problem dolazi do izražaja kada se pokušava izvršiti proračun vodnog bilansa pristupom od vrha prema dnu, u kojem se vrijednost stvarnih gubitaka bazira na analizi i procjeni vrijednosti prividnih gubitaka. Rezultati vodnog bilansa izračunati primjenom pristupa od vrha ka dnu su neprihvatljivo netačni što se jasno vidi iz slijedećeg dijagrama na kojem je prikazana razlika u definisanim vrijednostima stvarnih i prividnih gubitaka u 5 vodovoda (3 u BiH i 2 u CG) u kojima je proračun bilansa najprije urađen pristupom od vrha ka dnu a nakon toga i pristupom od dna prema vrhu koji je baziran na rezultatima hidrauličkih mjerenja.

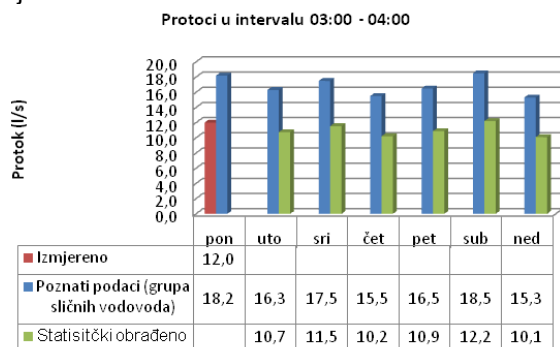


slika 3: Razlike u vrijednosti stvarnih i prividnih gubitaka - primjena različitih pristupa

2 METODOLOGIJA ZA POJEDNOSTAVLJENJE PRISTUPA "OD DNA PREMA VRHU"

Rezultate izmjerenih protoka dva ili više vodovoda je teško usporediti, jer taj podatak ovisi o vrijednosti gubitaka u svakom sistemu ali i mnogim drugim subjektivnim faktorima i okolnostima.

Ipak postoji mogućnost da se rezultati koji su izmjereni određenog dana u sedmici i godini, usporede sa podacima izmjerenim u "sličnim" vodovodima. To se može uraditi na osnovu tendencije porasta i smanjenja protoka u toku određenog intervala vremena, koji daje mogućnost definisanja trenda potrošnje vode. Koristeći izmjerenu vrijednost protoka određenog dana i poznati trend potrošnje vode u sličnim vodovodima kao osnovu, horizontalnom sinhronizacijom se relativno tačno može procijeniti procenat povećanja ili smanjenja protoka u istom vremenskom intervalu. Sinhronizacija se vrši za svaki jedno-satni interval posebno (slika 4). Ova obrada se dalje može proširiti i na procjenu dnevnih protoka na prosječnom godišnjem nivou. Na isti način se definiše i procjena vrijednosti MNP kao i dan i interval u kojem će se pojaviti.



slika 4: Definisanje satne potrošnje na osnovu poznatog trenda

2.1 Klasifikacija Vodovoda i DMA zona

Bosna i Hercegovina i Crna Gora dijele slične faktore utjecaja, koji oblikuju pojavu i veličine minimalnih noćnih protoka.

Ipak nije moguće sve vodovode u BiH i u Crnoj Gori svrstati u istu grupu. Na osnovu geografskog položaja koji je vezan i za klimatske uslove te urbanizaciju podjela se može izvršiti na:

2.1.1 Vodovodi na obali Jadranskog mora (Mediterranski vodovodi)

S obzirom da mediteranska klima donosi vrela ljeta i blage zime, vodovodi u ovim područjima imaju jako izraženu sezonsku neravnomjernost potrošnje vode, a samim tim i pojave minimalnih noćnih protoka.

2.1.2 Vodovodi u Jadranskom zaleđu

Mada u ovom području također vlada mediteranska klima, ipak ovi se vodovodi razlikuju od priobalnih po tome što nisu u tolikoj mjeri podložni pojavama sezonskih neravnomjernosti, s obzirom da u glavnom nisu poznate turističke destinacije.

2.1.3 Vodovodi u kontinentalnom području

Ovi vodovodi egzistiraju u području gdje vlada kontinentalna klima, sa vrućim ljetima i hladnim zimama i manje su osjetljivi na sezonsku neravnomjernost

U svakoj od navedenih grupa mora se izvršiti podjela prema urbanizaciji zona na:

2.1.4 Urbano područje

U kojem živi veći broj stanovnika, i gdje se nalazi veći broj objekata male privrede (ne rezidentalnih potrošača). U ovim sredinama je pretežno izraženija neravnomjernost dnevne potrošnje u sedmici, odnosno izraženija je razlika u potrošnji u toku radnih dana i dana vikenda.

2.1.5 Ruralno područje

Mada je uobičajeno i da stanovnici iz ruralnog područja imaju zaposlenje u urbanom dijelu grada, ipak u ovim područjima, uslijed utjecaja ruralnog načina života, dnevna neravnomjernost u sedmici je manje izražena.

Osim navedenih podjela svi rezultati mjerenja su svrstani ovisno o godišnjem dobu kada je mjerenje izvršeno.

3 VODOVODI KOJI SU PREDMET ISTRAŽIVANJA

Za potrebe istraživanja obrađeni su podaci mjerenja protoka u trajanju od godinu dana ili kroz duže vremenske intervale u 27 vodovodnih sistema u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori, odnosno 251 Mjerna zona (DMA). Ukupno je obrađeno 9493 sedmična uzorka.

Statistički su obrađeni samo podaci za dane i sedmice u kojima se isporuka i potrošnja vode odvijala na "uobičajen" način. Podaci za dane i sedmice u kojima su se dešavali izuzetni događaji,

kao što su npr. vjerski praznici, utakmice fudbalske reprezentacije (slika 7), veliki koncerti, prekidi u napajanju vodom i sl. nisu razmatrani iz razloga što bi mogli stvoriti krivu sliku vodnog bilansa.

Položaj i spisak predmetnih vodovoda je prikazan na slici 5 i tabeli 1



slika 5: Položaj vodovoda u BiH i Crnoj Gori u kojima su provedena istraživanja

KONTINENTALNI VODOVODI			VODOVODI NA JADRANSKOJ OBALI			VODOVODI U JADRANSKOM ZALEĐU		
r.b.	Općina	Država	r.b.	Općina	Država	r.b.	Općina	Država
1	Tuzla	BIH	1	Neum	BIH	1	Trebinje	BIH
2	Bihać	BIH	2	Bar	Crna Gora	2	Čapljina	BIH
3	Orašje	BIH	3	Herceg Novi	Crna Gora	3	Livno	BIH
4	Velika Kladuša	BIH	4	Kotor	Crna Gora	4	Cetinje	Crna Gora
5	Doboj	BIH	5	Ulcinj	Crna Gora	5	Danilovgrad	Crna Gora
6	Konjic	BIH				6	Podgorica	Crna Gora
7	Sokolac	BIH						
8	Travnik	BIH						
9	Zenica	BIH						
10	Novi Travnik	BIH						
11	Busovača	BIH						
12	Vitez	BIH						
13	Gradačac	BIH						
14	Pljevlja	Crna Gora						
15	Rožaje	Crna Gora						
16	Plav	Crna Gora						

Tabela 1: Grupe vodovoda u kojima je izvršeno istraživanje

4 KARAKTERISTIČNE NERAVNOMJERNOSTI POTROŠNJE

Statističkom obradom podataka iz vodovoda koji su bili predmet istraživanja definisani su trendovi slijedećih neravnomjernosti i pojava kod potrošnje vode.

4.1 Definisanje satne minimalne vrijednosti protoka u toku jednoga dana ($MNP^{n/7}$)

Minimalna vrijednost satnog protoka za svaki pojedinačni dan u sedmici je izračunata prema formuli (1)

$$MNP^{n/7} = \min(Q_{00-01}^{n/7}; Q_{01-02}^{n/7}; Q_{02-03}^{n/7}; \dots; Q_{23-00}^{n/7})$$

(1)

gdje je:

$MNP^{n/7}$ - Minimalni noćni protok (l/s) u koji se pojavio u intervalu od jednog sata u određenom danu u sedmici,

Q - Srednji izmjereni protok u intervalu od jednoga sata u određenom danu u sedmici (l/s),

n - Dan u sedmici, pri čemu je $1 \leq n \leq 7$,

4.2 Definisanje minimalne vrijednosti protoka na sedmičnim nivou (MNP_7)

Vrijednost minimalnog noćnog protoka na sedmičnom nivou predstavlja najnižu vrijednost iz skupa satnih minimalnih vrijednosti protoka svakog dana u posmatranoj sedmici, odnosno (formula (2))

$$MNP_7 = \min(MNP^{1/7}; MNP^{2/7}; \dots; MNP^{7/7})$$

(2)

gdje je:

MNP_7 - Najniža zabilježena vrijednost MNP u 7 dana (l/s),

$MNP^{n/7}$ - Minimalni noćni protoci (l/s) za određeni dan u sedmici (od ponedjeljka do nedjelje),

Sve pojedinačne vrijednosti $MNP^{n/7}$ koje pripadaju istoj grupi u pogledu geografske pripadnosti, urbanizacije i klime, te ovisno o godišnjem dobu kada je izvršeno mjerenje se zbrajanju i dijele sa brojem sedmica (uzoraka) u kojim je izvršeno mjerenje, čime se dobiva srednja vrijednost $SRMNP^{n/7}$ za cijelu grupu vodovoda za svaki pojedinačni dan u sedmici (formula (3)).

$$SRMNP^{n/7} = \sum_{i=1}^k MNP^{n/7} / k$$

(3)

pri čemu je:

$SRMNP^{n/7}$ - Srednja vrijednost svih minimalnih noćnih protoka u određenom danu u sedmici u predmetnim zonama (grupi vodovoda)

k - broj sedmica u kojima je izvršeno mjerenje.

4.3 Definisanje broja pojava MNP za određeni dan u posmatranom periodu

Broj pojava $D^{n/7}$ kada je određeni dan u sedmici imao najnižu sedmičnu vrijednost MNP se vrši prostim zbrajanjem $MNP^{n/7}$ za određeni dan. Kako su sve ove vrijednosti prikazane kao odnos minimalnog dnevnog u odnosu na minimalni sedmični protok, najmanje vrijednost koeficijenta će biti 1.

$$D^{n/7} = \sum MNP^{n/7}$$

(4)

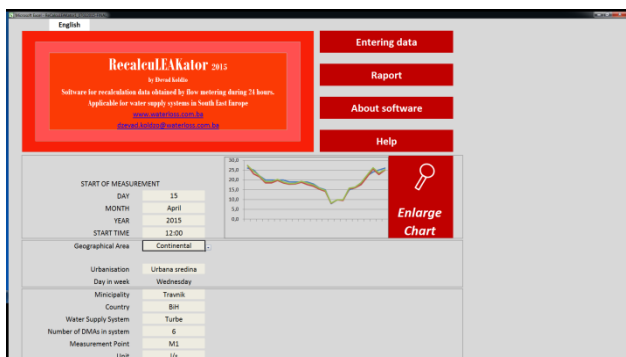
pri čemu je uslov da je: $MNP_{n/7}=1$ i $1 \leq n \leq 7$
 $D^{n/7}$ - Broj pojava kada je u određenom danu u sedmici zabilježen najniži minimalni protok u sedmici.

5 SOFTWARE ZA STATISTIČKU OBRADU IZMJERENIH PROTOKA MJERENJEM U TRAJANJU OD 24 SATI - RecalcuLEAKator

Sva istraživanja su obrađena u obliku tablica, koje omogućavaju korisniku brzu analizu izmjerenih vrijednosti protoka u odnosu na očekivane vrijednosti koje uključuju satne, dnevne i sedmične neravnomjernosti.

U cilju još brže i sigurnije analize, napravljen je software-ski alat, nazvan RecalcuLEAKator 2015. Koristeći program, koji ima opciju rada na bosanskom ili engleskom jeziku, korisnik je u mogućnosti da na osnovu rezultata mjerenja protoka koja su trajala samo 24 h, dobije kvalitetnu procjenu dnevne linije protoka na sedmičnom i godišnjem nivou, zatim procijenjenu vrijednost minimalnog noćnog protoka, kao i procjenu dana i sata kada će doći do pojave minimalnog noćnog protoka u sedmici u kojoj je izvršeno mjerenje.

Ovaj software je programiran u Visual Basic-u (VBA) i radi u okruženju MS Excel programa. Software se može besplatno preuzeti za privatnu upotrebu na web stranici autora www.waterloss.com.ba

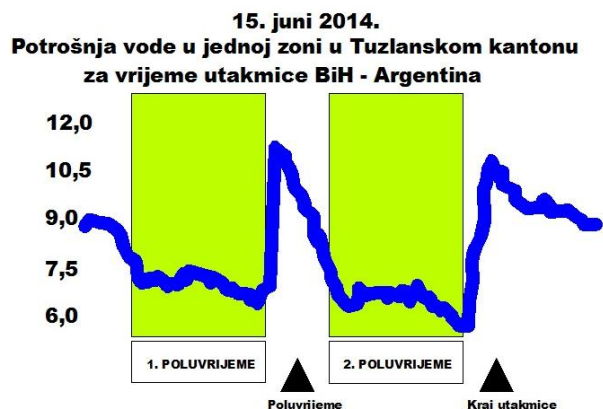


slika 6: Software-ski alat RecalcuLEAKator

6 ZAKLJUČAK

Opisana metodologija će omogućiti da primjena pristupa od dna prema vrhu koje se bazira na rezultatima hidrauličkih mjerenja postane pristupačnija za vodovodna preduzeća u Bosni i Hercegovini i Crnoj Gori. Ista metodologija se može primijeniti i bilo gdje u svijetu, pri čemu se podrazumjeva da se izvrši prikupljanje prikladnih podataka na osnovu kojih se analiza može sprovesti. Jako je važno da prikupljeni podaci budu pouzdani i tačni, jer netačni ulazni podaci će proizvesti još manje tačan rezultat. Samo jedan pogrešan podatak može stvoriti potpuno pogrešnu sliku. Slikovit primjer jednog takvog podatka je prikazan na slici ispod. Na dan 15. juni 2014. Bosna

i Hercegovina je igrala svoj prvi meč na svjetskom fudbalskom prvenstvu u Brazilu protiv Argentine. Mjerenja koja su taj dan vršena u jednome vodovodnom sistemu u BiH sa zapisima od jedne minute pokazuju koliko je prenos ove utakmice na televiziji uticao na smanjenje potrošnje. Proticaj izmjeren u zadnjim minutama utakmice je jedna od najnižih zabilježenih vrijednosti protoka u cijeloj godini u toj zoni.



slika 7: Uticaj fudbalske utakmice na potrošnju vode

Pronalazak i izbacivanje ovakvih podataka iz proračuna je mukotrpan ali neizbježan posao, jer svaka ekstremna promjena izazvana nekim događajem se loše odražava na rezultate analize.

IWA metodologija Vodnog Bilansa je i dalje najbolja metodologija za analizu ne-oprihodovane vode, ali je posebno važno da se bazira na rezultatima hidrauličkih mjerenja te da se izbjegava svaka vrsta procjene koja će što zbog subjektivnih a što zbog objektivnih okolnosti uvijek biti neprecizna, ponekada i toliko da se postavlja pitanje šta je uopće bila svrha analize, barem kada su u pitanju vodovodi u jugo - istočnoj Evropi. S toga uvođenje prikazanoga metoda sa korištenjem software-skog alata RecalcuLEAKator predstavlja podstrek za sve one koje teže što preciznijoj analizi gubitaka u svojim vodovodnim sistemima, te osnovu za unificiranu analizu elemenata NRW koji se obrađeni na ovaj način mogu uvrstiti u IBNet i DANUBIS benchmarking baze podataka da pri tome navedeni podaci u ovim bazama budu zaista usporedivi, što do sada nije baš uvijek bio slučaj.

LITERATURA

- [1] S. Š at al., **Osnove Upravljanja sistemom vodosnabdijevanja u komunalnim preduzećima**, Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić u Mostaru, Septembar, 2014.,
- [2] Đ. K., **Definisane učestalosti i vjerovatnoće pojave minimalnih noćnih protoka u**

vodovodnim sistemima,
magazine Voda i mi, Novembar,
2015.

- [3] S. Šat al., **Napredne tehnike
Upravljanja komunalnim
vodovodnim preduzećima,**
Građevinski fakultet Univerziteta
Džemal Bijedić u Mostaru,
Septembar, 2016.,
- [4] **www.waterloss.com.ba**