

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

Tatjana Džeba

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, mr. sc.,
tatjana.dzeba@fgag.sum.ba

Kristina Landeka

mag. građ, kristinalandeka3@gmail.com

Bojan Đurin

Sveučilište Sjever, prof. dr. sc., bdjurin@unin.hr

Željko Rozić

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, prof. dr. sc.,
zeljko.rozic@fgag.sum.ba

Sažetak: Opskrba stanovništva pitkom vodom neizostavan je segment u okvirima današnjeg kvalitetnog i održivog razvoja ljudskog društva. Održivost rada vodoopskrbnih sustava može se poboljšati iskorištavanjem dostupnih obnovljivih izvora energije. Vanjski obnovljivi izvori energije su najčešće energija sunca, energija vjetra, energija vode, geotermalna i energija dobivena iz biomase, energija vodika, dok unutarnja obnovljiva energija postoji u samom vodoopskrbnom sustavu. U radu se analizira mogućnost iskorištenja unutarnje energije postavljanjem turbine na glavnom gravitacijskom dovodu od akumulacije Tribistovo do uređaja za pročišćavanje vode vodoopskrbnog sustava općine Posušje.

Ključne riječi: vodoopskrba, održivost, obnovljivi izvori energije, turbine na vodoopskrbnim cijevnim vodovima

Analyzing the possibility of using the internal energy of part of the Posušje municipality water supply system

Abstract: Supplying the population with drinking water is an indispensable segment within today's high-quality and sustainable development of human society. The sustainability of water supply systems can be improved by exploiting available renewable energy sources. External renewable energy sources are mostly solar energy, wind energy, water energy, geothermal energy and energy obtained from biomass, hydrogen energy. In contrast, internal renewable energy exists in the water supply system itself. The paper analyzes the possibility of using internal energy by installing a turbine on the main gravity supply pipeline from the Tribistovo reservoir to the water treatment device of the Posušje municipality water supply system.

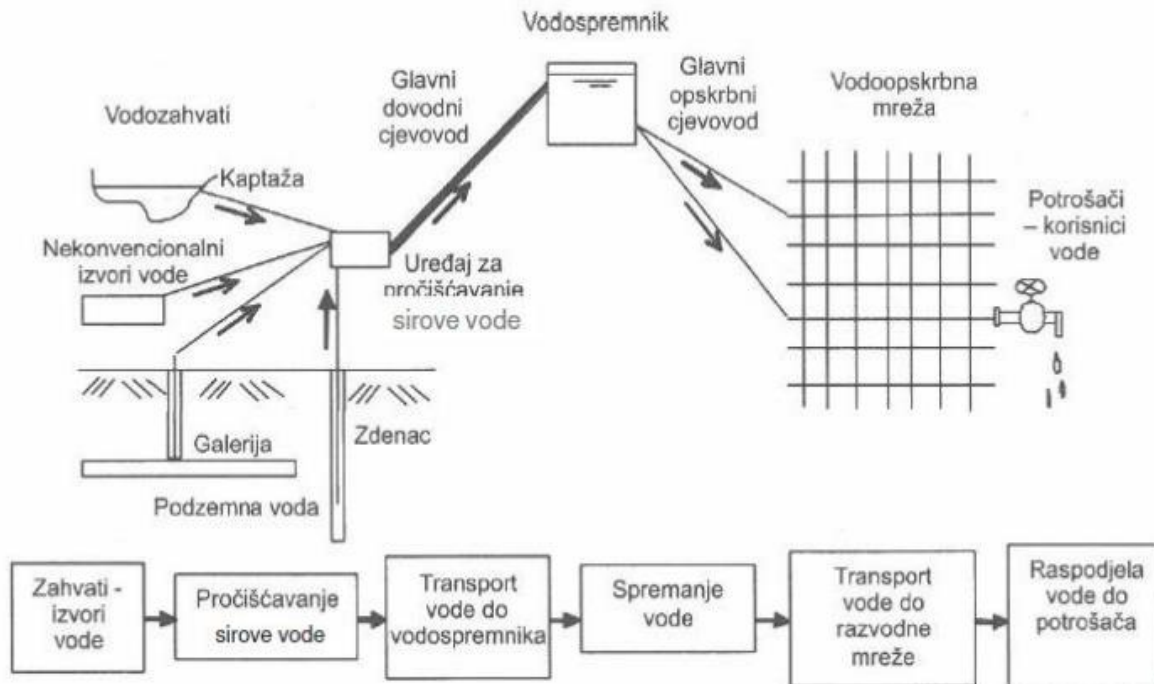
Key words: water supply, sustainability, renewable energy sources, turbines on water supply pipelines

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

1. UVOD

Vodoopskrbni sustav je kompleks objekata koji služe za opskrbu vodom iz prirodnih izvorišta, njeno prečišćavanje, transportiranje i distribuciju do potrošača, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Elementi vodoopskrbnog sustava [1]

Zadatak vodoopskrbnog sustava je osigurati učinkovitu, trajnu i sigurnu opskrbu vodom u skladu sa standardima vode za piće i drugim normama koje moraju zadovoljavati vodoopskrbni sustavi, koju s jedne strane generiraju potrošači, a s druge osiguravaju (ograničavaju) raspoloživi resursi. Osnovne funkcije vodoopskrbnog sustava su:

- zadovoljiti sve potrebe potrošača vodom kakvoće vode za piće
- osigurati potrebni tlak u vodovodnoj mreži
- osigurati dovoljnu rezervu vode za sve incidentne situacije
- osigurati vodu za gašenje požara na svim mogućim lokacijama (hidrantima) održavajući pri tom zadani tlak u sustavu za sve druge korisnike

Kako bi vodoopskrbni sustav mogao ispunjavati sve ove zahtjeve, potrebno je sagraditi cijeli niz objekata. Svi oni čine jedinstvenu cjelinu kojoj je osnovni cilj trajno osiguranje dovoljnih količina kvalitetne vode, pod potrebnim tlakom i na najekonomičniji način.

1.1 Cilj rada

Cilj ovoga rada je analizirati dosadašnja istraživanja u pogledu postizanja energetske održivosti vodoopskrbnih sustava korištenjem unutarnje energije sustava. Unutarnja obnovljiva energija postoji u samom vodoopskrbnom sustavu kao neiskorištena potencijalna energija. U radu se analizira mogućnost korištenja unutarnje energije u vodoopskrbnom sustavu grada Posušja, točnije na glavnom gravitacijskom dovodu od akumulacije Tribistovo do postrojenja za pročišćavanje vode neposredno prije vodospremnika Posušje.

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

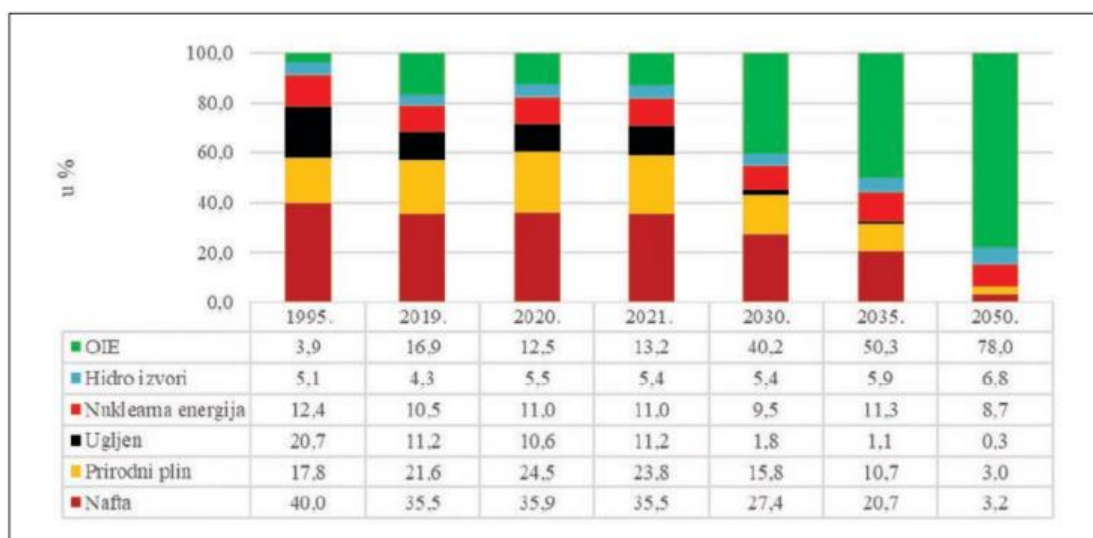
1.2 Metodologija istraživanja

Kroz rad će se najprije proučiti dosadašnja istraživanja vezana za korištenje unutarnje energije vodoopskrbnih sustava uvođenjem turbina. Na temelju dosadašnjih iskustava i analize hidrauličkog stanja na razmatranom dovodnom cijevnom vodu predložiti će se mjesto postavljanja turbine za iskorištavanje unutarnje energije sustava, te proračunati dobivena energije. Ista se može koristiti za potrebe rada postrojenja za pročišćavanje ili za potrebe rada nadzorno-upravljačkog sustava na vodoopskrbnom sustavu općine Posušje. Na ovaj način bi se povećala održivost sustava i smanjila izdvajanja ukupnih sredstava za potrebnu energiju iz elektroenergetske mreže.

1.3 Obnovljivi izvori energije

Povećanje emisija stakleničkih plinova pokazuje veliku prijetnju klimatskim promjenama s potencijalno katastrofalnim posljedicama za ljude. Obnovljivi izvori energije, zajedno s poboljšanjem energijske efikasnosti u neposrednoj uporabi doprinose smanjenju potrošnje primarne energije, ublažavanju emisija stakleničkih plinova, te na taj način ublažavaju utjecaj na klimatske promjene. Također, uslijed nedavnih geopolitičkih događanja i potrebe za smanjenjem ovisnosti o konvencionalnim izvorima energije, dolazi do pojačanog zanimanja za distribuiranu proizvodnju iz obnovljivih izvora energije.

Prema scenariju neto nulte emisije CO₂ iz publikacije Outlook iz ožujka 2022., tranzicija od fosilnih goriva na OIE će biti ubrzana. Udjel fosilnih goriva od 82,3% u 2021. godini bi se trebao smanjiti na 60,9% do 2030. i na 18,7% u 2050. godini Nafta u odnosu na plin je u tom scenariju u nepovoljnijem položaju. Do 2050. god. potrošnja nafte bi se smanjila na svega 3,2% i plina na 3% prema 84,8% OIE (78%) s hidroizvorima (6,8%) [2].



Slika 2. Prognoze udjela pojedinih izvora u ukupnoj potrošnji primarne energije u EU27 [2]

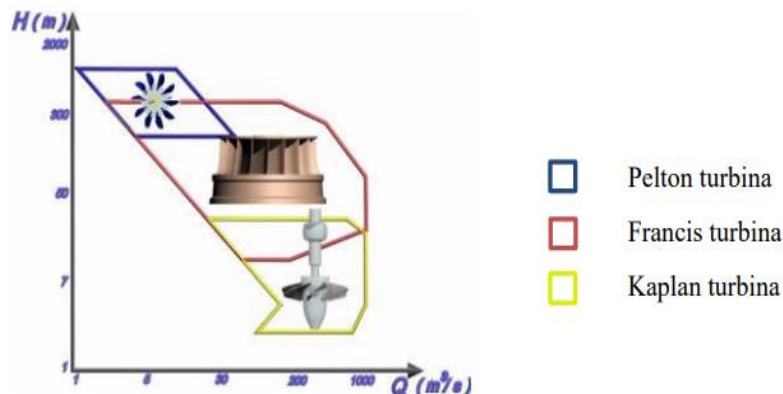
Obnovljivi izvori energije se mogu podijeliti na vanjske izvori energije (kao što su sunčeva energija, energija vode-hidroenergija, geotermalna energija, energija vjetera, energije iz biomase, vodik), i unutarnji izvor energije, u ovom slučaju energija unutar samog vodoopskrbnog sustava.

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

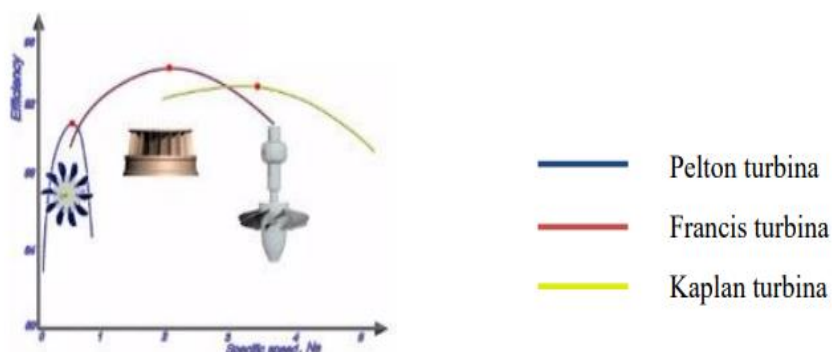
2. VODNE TURBINE

Za pretvorbu energije vode u električnu energiju mogu se koristiti različiti tipovi turbina, među kojima su najpoznatije: reakcijske turbine-Francis i Kaplan turbine, te akcijske turbine - Pelton turbine. U novije vrijeme se razvijaju i ugrađuju mikro turbine, pumpe kao turbine, i tzv. Lucidpipe turbine koje se instaliraju izravno na vodoopskrbnu cijev. Područje primjene Francis, Kaplan i Pelton turbina prije svega ovisi o raspoloživom neto padu i protoku što je vidljivo iz slike 3.



Slika 3. Područje korištenja Kaplan, Francis i Pelton turbina [3]

Tipične iskoristivosti Kaplan, Francis i Pelton turbine s obzirom na njihovu specifičnu brzinu prikazane su na slici (slika 4.). Specifična brzina je mjerilo koje izražava koliko bi dimenzijski velika trebala biti turbina za proizvodnju određene snage pri određenoj visini pada. Npr. kao što je vidljivo na slici 4., specifična brzina Pelton turbine je mala, što znači da se Pelton turbina može koristiti za proizvodnju velike količine energije s velikim padom pri malim dimenzijama, tj. pri malom protoku.



Slika 4. Iskoristivost Pelton, Francis i Kaplan turbine [3]

Tvrtka pod imenom Lucid Energy [4] razvila je vodenu turbinu s okomitom osi dizanja za veliki vodovod. Ovaj sustav je razvijen samo za cjevovode koji su veći od 600 mm. Slika 5. prikazuje ovu vrstu vodene turbine s vertikalnom osi dizanja. Kako bi bilo moguće ugraditi ovaj sustav minimalna vrijednost 'viška' tlaka u cijevima mora iznositi od 0,3 do 0,5 bara. U slučaju kada je turbina zaustavljena iz sigurnosnih razloga ili kada nema tečenja, ona predstavlja

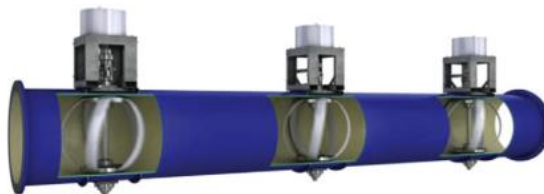
Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

lokalni gubitak te smanjuje tlak za 0,1 bar dok u pogonskim uvjetima smanjuje tlak od 0,1 do 0,3 bara (tablica 1.).

Tablica 1. Karakteristike Lucidpipe sustava [4]

LUCIDPIPE promjer [mm]	Očekivana proizvodnja el. energije [kW]	Očekivani protok [cm ³ /s]	Izmjereni tlak potreban za očekivanu proizvodnju [m]	Očekivano smanjenje tlaka [m]	Očekivano smanjenje tlaka u trenutku kada je turbina van pogona [m]	Koeficijent gubitka tlaka u / van pogona
600	14	1	32	3.7	1.1	6.7-8.4/2.0
1000	50	3	35	4.1	0.9	7.7-10/2.3
1500	100	6	27	3.5	1.0	7.7-10.1/2.3



Slika 5. Portland: Lucidpipe sustav [4]

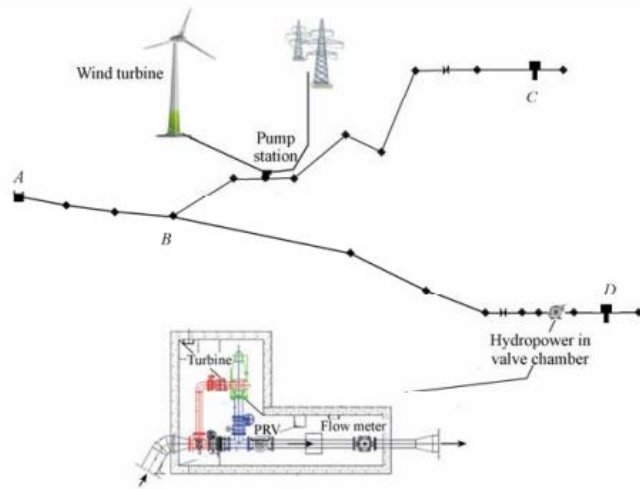
3. PRIMJERI PRIMJENE VODNIH TURBINA U VODOOPSKRBNIM SUSTAVIMA

U Portugalu je, za potrebe znanstvenog istraživanja, na vodoopskrbnom sustavu izvedena turbina na bypass cijevi, te dokazana njena učinkovitost u proizvodnji električne energije u kombinaciji s elektro-energetskom mrežom i drugim obnovljivim izvorima energije [5].

Primjer dobre prakse korištenja unutarnje energije vodoopskrbnih sustava je grad Boulder u Coloradu. Od 1985. godine se koristi višak tlaka u vodoopskrbnom sustavu za proizvodnju električne energije. Danas grad ima osam objekata u kojima se unutarnja energija vode iz vodovoda pretvara u električnu energiju. U svakom objektu se nalazi turbina na koju gravitacijskim sustavom cijevi dotječe voda zahvaćena na izvoru te vrtnjom turbine proizvodi energiju koja se sustavom opskrbe električne energije šalje do potrošača. Pelton turbine su se ugradile na mjestima s tlakom višim od 24 bara. Na mjestima gdje je tlak vode između 3 i 24 bara, ugrađene su Francisove turbine kako bi se osigurao minimalni tlak potreban za opskrbu potrošača nizvodno [6].

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

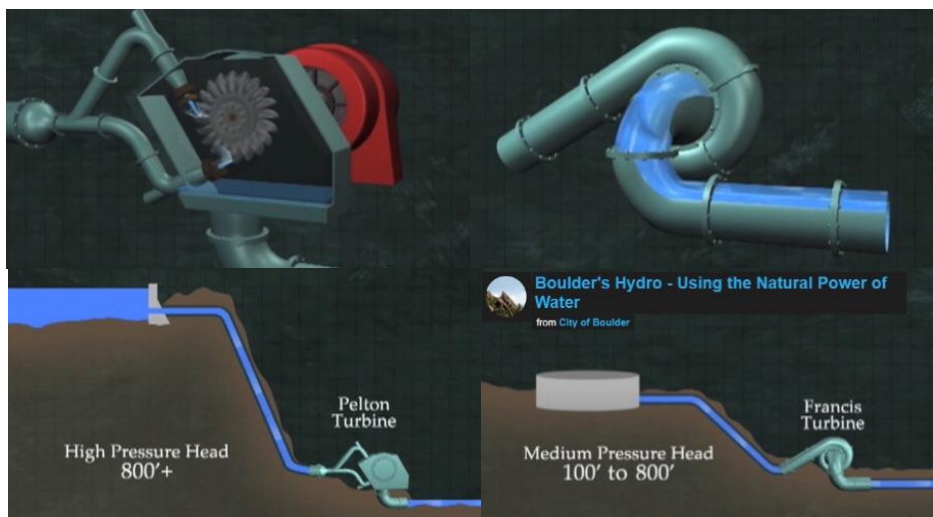
Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje



Slika 6. Prikaz studije slučaja u Portugalu i ugradnje turbine na obilaznoj (bypass) cijevi u komori ventila za reduciranje tlaka (PRV) [5]



Slika 7. Lokacije izgrađenih objekata s Pelton turbinama (označeno žuto) i Francis turbinama (označeno plavo) na vodovodu grada Boulder u Coloradoju [6]



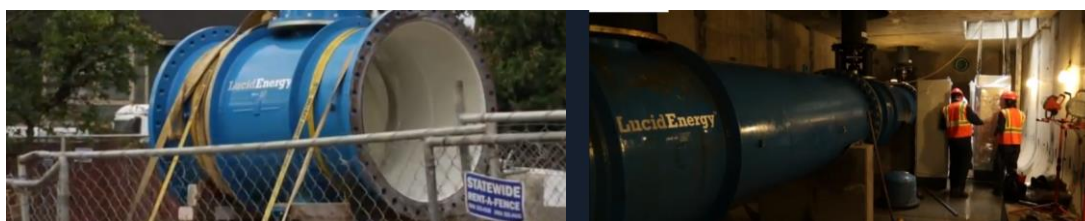
Slika 8. Princip rada Peltonove (lijevo) i Francisove turbine (desno) [6]

Ugradnja već spomenutog Lucidpipe sustava prikazana je na vodoopskrbnom sustavu u gradu Portlandu u Oregonu na slici 9. Zbog svog dizajna, sustav može raditi u vrlo širokom

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

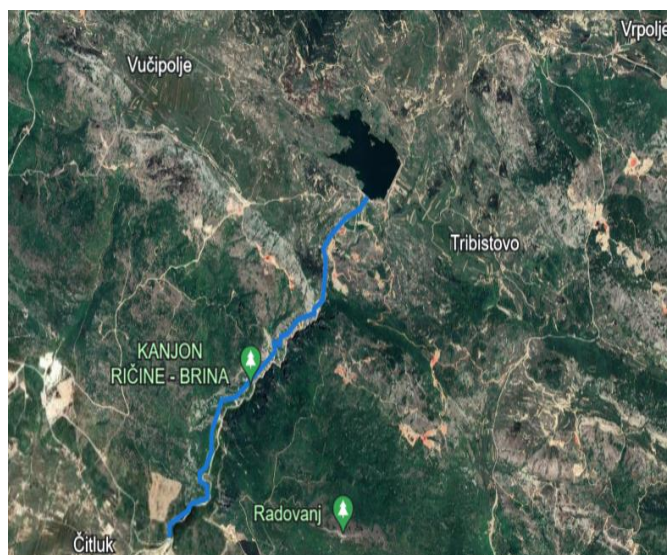
rasponu uvjeta protoka, volumena i brzina. Može se konfigurirati za učinkovito generiranje električne energije unutar širokog raspona promjera cijevi, u rasponu od 600 mm-2400 mm. Lucidpipe turbine se ne ugrađuju na bypass cijevima već direktno u vodoopskrbne cijevi gravitacijskog cjevovoda što predstavlja njihovu najveću prednost pred ostalim sličnim sustavima. Strujanje vode unutar cijevi uzrokuje vrtnju turbine koja se preko generatora pretvara u električnu energiju. Konstruirane su na način da minimalno ometaju tok vode. U slučaju da već postoje ugrađeni ventili za redukciju tlaka, ove turbine mogu biti postavljene prije ventila te je tada njihova glavna uloga smanjenje tlaka na dionici uzvodno od ventila, smanjeno trošenje cijevi uzrokovano velikim tlakovima a time i produženje vijeka upotrebe samog ventila. Na dionicama gravitacijskog cjevovoda na kojima nema ugrađenih ventila za redukciju tlaka, a potrebno je smanjenje tlaka, Lucidpipe sistem koristimo kako bi postupno smanjili tlak u cijevima te istovremeno proizveli električnu energiju [7].



Slika 9. Dovoz i montaža Lucidpipe sustava na vodoopskrbnom sustavu grada Portland u Oregonu [8]

U svijetu se razvijaju i ispituju mikro turbine kao i opravdanost uporabe mikro turbina naspram crpki kao turbina (PAT), te se ispituje njihova učinkovitost i isplativost, što je provedeno i na slučaju vodoopskrbnog sustava grada Funchal u Madeiri-Portugal [9].

4. VODOOPSKRBNI SUSTAV OPĆINE POSUŠJE U BIH - GLAVNI DOVODNI CJEVOVOD



Slika 10. Situacijski položaj akumulacije Tribistovo i kanjona privremenog vodotoka Ričine u kojem je smješten dovodni vodoopskrbni cjevovod

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

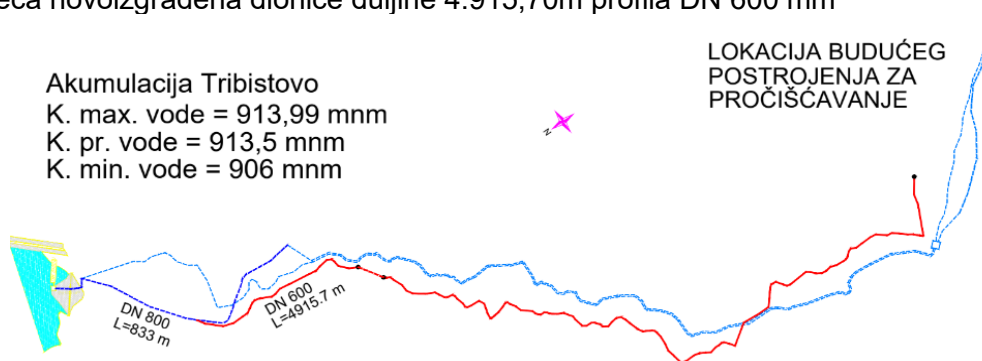
4.1 Akumulacija Tribistovo

Višenamjenska akumulacija Tribistovo formirana je na vodotoku Ričina i ima površinu vodnog lica od 700 000 m². Razine jezera se kreću od 906 m n. m. do projektirane razine vode u akumulaciji od 913,5 m n. m. + visina slobodnog preljevnog mlaza od 0,5 m. Apsolutni najviši dosadašnji vodostaj zabilježen je 2005. godine i iznosio je 913,99 m n. m. Predviđeno je njeno korištenje u svrhu vodoopskrbe, navodnjavanja, energetike i kontrole poplavnih valova.

4.2 Dionica glavnog dovoda: akumulacija Tribistovo – postrojenje za prečišćavanje

Glavni dovodni cjevovod je ukupne dužine 5748,7 m a čine ga:

- prva i druga dionice ranije izgrađenog cjevovoda u dužini 833 m, odnosno u dužini 106 m postavljen je profil DN 800 mm, te 727 m ugrađen profil DN 600 mm
- treća novoizgrađena dionice duljine 4.915,70m profila DN 600 mm



Slika 11. Shematski prikaz položaja glavnog dovodnog cjevovoda od akumulacije Tribistovo do postrojenja za prečišćavanje

Proračun stacionarnih stanja

Piezometarska linija na početku projektiranog dijela cjevovoda izračunata je na temelju podataka o postojećoj (izgrađenoj) dionici. Piezometarska linija je izračunata za dva pogonska stanja: normalne pogonske uvjete (n.p.u.) i granične pogonske uvjete (g.p.u.).

Tablica 2. Određivanje piezometarske linije na početku cjevovoda za normalne i granične pogonske uvjete za prvu i drugu dionicu ukupne duljine 833 m [10], [11]

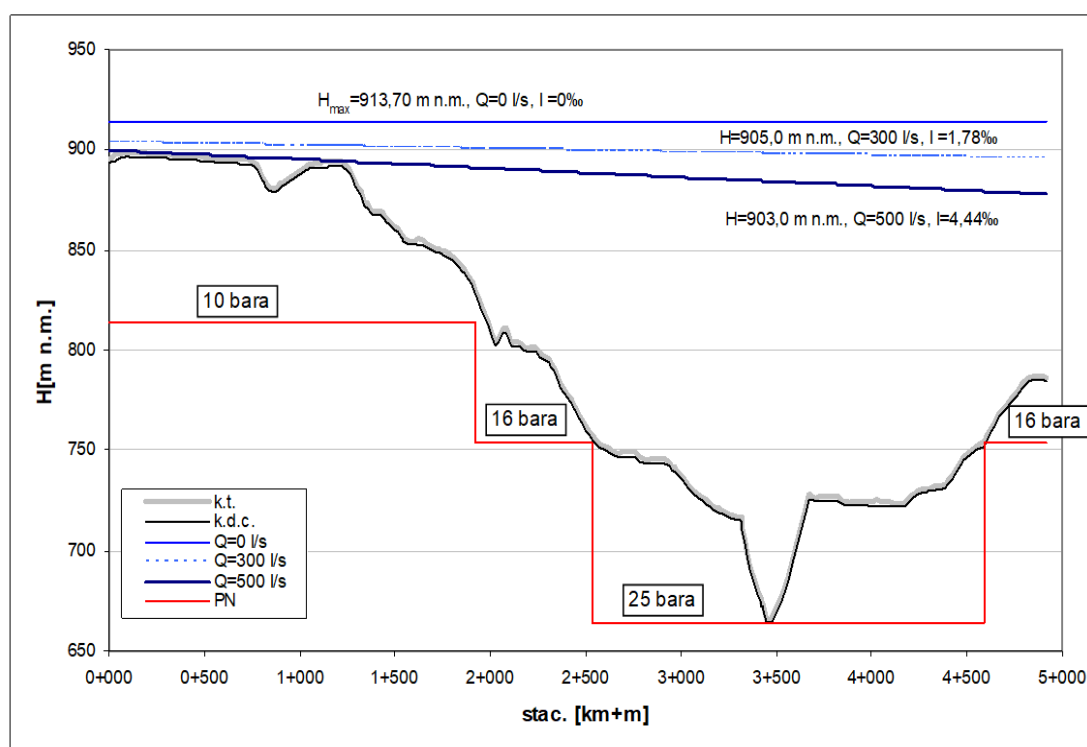
Parametar			Normalni pogonski uvjeti dionica		Granični pogonski uvjeti dionica	
Značenje	oznaka	jed. mjere	1	2	1	2
protok	Q	[l/s]	300	300	500	500
profil cjevovoda	DN	[mm]	800	600	800	600
hrapavost cjevovoda	k	[mm]	0,25	0,25	0,25	0,25
brzina u cjevovodu	v	[m/s]	0,597	1,061	0,995	1,768
pad tlačne linije	l	[m/km]	0,38	1,64	1,02	4,44
duljina dionice	L	[m]	106	727	106	727
gubici od trenja	ΔH	[m]	0,04	1,19	0,11	3,23
brzinska visina	$vR^2/2g$	[m]	0,018	0,057	0,05046	0,1593
koef. otpora na ulaz. građ. lokalni gubici	ξ_{UL}	[-]	0,5		0,5	
		[m]	0,0091		0,025	
ukupni gubici na dionici			0,05	1,19	0,14	3,23
kota p. linije na poč. dionice	H ₀	[m n. m.]	905,00	904,95	903,00	902,86
kota p. linije na kraju dionice	H ₁	[m n. m.]	904,95	903,76	902,86	899,63

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

Tablica 3. Određivanje piezometarske linije na trećoj dionici cjevovoda od stac. 0+000 do 4+915,70 cjevovoda za normalne i granične pogonske uvjete [10], [11]

Parametar			Pogonski uvjeti	
Značenje	oznaka	jed. mjere	n.p.u.	g.p.u.
Protok	Q	[l/s]	300	500
profil cjevovoda	DN	[mm]	600	600
hrapavost cjevovoda	k	[mm]	0,25	0,25
brzina u cjevovodu	v	[m/s]	1,061	1,768
pad tlačne linije	l	[m/km]	1,64	4,44
duljina dionice	L	[m]	4.915,7	4.915,7
ukupni gubici na dionici	ΔH	[m]	8,06	21,83
kota piez. linije na poč. dionice	H ₀	[m n. m.]	903,76	899,63
kota piez. linije na kraju dionice	H ₁	[m n. m.]	895,70	877,80



Slika 12. Hidraulički uzdužni profil treće dionice s hidrostatičkom i hidrodinamičkom linijom za normalne i granične pogonske uvjete [10], [11]

Proračun nestacionarnih stanja

Proračun nestacionarnih stanja u sustavu uzrokovanih zatvaranjem ili otvaranjem zasuna na kraju cjevovoda (tj. smanjenje ili povećanje početne brzine), što za posljedicu ima naglo povećanje tlakova u sustavu, izvršen je za dva stanja [10], [11]:

- Proračun hidrauličkog udara po **Žukovskom - Alliéviu** uz pretpostavku trenutnog zaustavljanja protoka i pretpostavku elastičnih deformacija cjevovoda.

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

Tablica 4. Proračun maksimalne promjene tlaka - potpuni udar

promjer cijevi (m)	D		0,6
površina cijevi (m ²)	A	= D ² × π / 4	0,283
početni protok (m ³ /s)	Q₀		0,3
početna brzina (m/s)	v₀	= Q ₀ / A	1,061
završni protok (m ³ /s)	Q₁		0
završna brzina (m/s)	v₁	= Q ₁ / A	0
razlika brzina zatv./otv. (m/s)	Δv	= ± (v ₀ -v ₁)	± 1,061
promjena tlaka (m.v.s.)	Δp	= ± c*Δv/g	± 117,4
duljina cjevovoda (m)	L		5749
ciklus oscilacije (s)	T_c	= 2L/c	10,60

Pri pojavi potpunog hidrauličkog udara deformabilnog cjevovoda, maksimalna promjena tlaka iznositi će ± 117,4 m v.s. Ovaj tlak će se pojaviti pri svakom zatvaranju/otvaranju zasuna kod kojeg je vrijeme manevra kraće od ciklusa oscilacije vodne mase u cjevovodu (hidraulički nagli manevar), što u ovom slučaju iznosi 10,6 s. Da bi sustav zaštitio od hidrauličkog udara tj. smanjenje promjene tlaka potrebno je ostvariti hidraulički postupni manevar, što se postiže produljenjem vremena manevra zasunom.

- Proračun hidrauličkog udara po **Michaudu**-produljeno vrijeme zatvaranja zasuna. Maksimalni tlak koji se javlja na kraju cjevovoda (neposredno uz zasun) uz produljeno vrijeme zatvaranja zasuna iznosi:

$$\Delta p_{\max} = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot v_0}{T_z} = \rho \cdot c \cdot v_0 \cdot \frac{2 \cdot L}{c \cdot T_z} = \rho \cdot c \cdot v_0 \cdot \frac{T_c}{n \cdot T_c} = \frac{1}{n} \cdot \Delta p \quad (1)$$

pri čemu je:

Δp_{\max}	maksimalni tlak neposredno uz zasun
ρ	gustoća vode (1000 kg/m ³)
L	duljina cjevovoda
v ₀	početna brzina u cjevovodu
T _z =n×T _c	vrijeme zatv. zasuna (zadano kao višekratnik vremena osc. vodene mase)
c	brzina rasprostiranja udara u mediju
T _c	vrijeme oscilacija vodene mase
Δp	maksimalni tlak za potpuni udar

Za neki presjek duž trase cjevovoda maksimalni tlak je još manji i iznosi:

$$\Delta p_{\max}^s = \frac{2 \cdot \rho \cdot (L - s) \cdot v_0}{T_z}, \quad (2)$$

pri čemu je „ s „ udaljenost presjeka od kraja cjevovoda tj. zasuna.

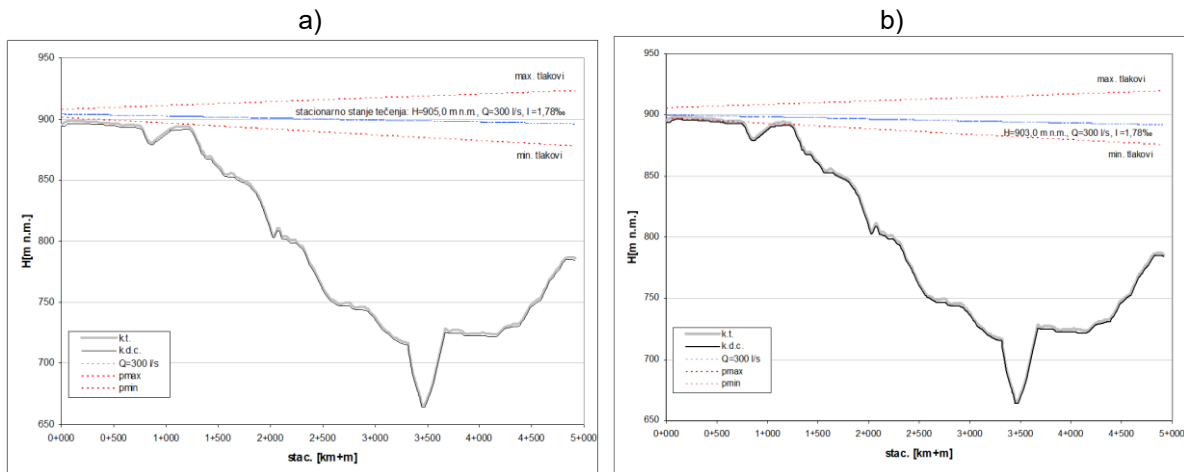
Može se postaviti omjer između maksimalnog tlaka duž trase i na kraju cjevovoda:

$$\frac{\Delta p_{\max}^s}{\Delta p_{\max}} = \frac{L - s}{L} = 1 - \frac{s}{L} \Rightarrow \Delta p_{\max}^s = \left(1 - \frac{s}{L}\right) \cdot \Delta p_{\max} \quad (3)$$

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

Iz navedene formule vidi se da se maksimalni tlak linearno smanjuje s povećanjem vremena zatvaranja zasuna (T_z) i toliko je puta manji koliko je dulje vrijeme zatvaranja u odnosu na trajanje ciklusa oscilacije vodene mase. Dobiveni rezultati su predstavljeni na slici 13.



Slika 13. a) Anvelopa maksimalnih i minimalnih tlakova za slučaj $Q = 300$ l/s i $H = 905$ m n. m. - vrijeme zatvaranja zasuna $T_z = 68,9$ s; b) Anvelopa maksimalnih i minimalnih tlakova za slučaj $Q = 300$ l/s i $H = 903$ m n. m. - vrijeme zatvaranja zasuna $T_z = 127,1$ s [10], [11]

5. DOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ UNUTRAŠNJE ENERGIJE SUSTAVA

Postavljanje turbine na gravitacijski cijevni vod od Akumulacije Tribistovo do postrojenja za pročišćavanje vode planirano je neposredno pred ulazom u postrojenje za pročišćavanje. Na taj način iskoristiti će se sva raspoloživa energija na dovodnom cijevnom vodu koja će se putem vodne turbine, generatora i transformatora pretvoriti u električnu energiju. Električna energija dobivena iz ovog obnovljivog izvora energije može se iskoristiti za rad nadzorno-upravljačkog sustava ili za potrebe rada postrojenja za pročišćavanje, te na taj način smanjiti ukupna količina energije potrebna za preuzimanje iz elektro-energetske mreže.

Osnovni izračun turbine [12], izlazna električna snaga P definira se kao:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_c \cdot \eta_t \cdot \eta_e \cdot \eta_{tr} \quad [W] \quad (4)$$

gdje je :

ρ = gustoća vode 1000 $[kg/m^3]$

Q = protok $[m^3/s]$ – za normalne pogonske uvjete

g = gravitacijska konstanta $[m/s^2]$

H = neto pad $[m]$

η_c = efikasnost cjevovoda $\geq 90\%$ za nominalni protok

η_t = efikasnost turbine $88\% \leq \eta_t \leq 94\%$ za nominalni protok

η_e = efikasnost generatora $\geq 92\%$ za nominalni protok

η_{tr} = transformator $\geq 97\%$

Ukupna efikasnost ($\eta_c \cdot \eta_t \cdot \eta_e \cdot \eta_{tr}$) se za potrebe ove analize uzela u iznosu od 0.7 .

Turbina se planira postaviti pred postrojenjem za pročišćavanje kako je i prikazano na slici 14. Kota dna cijevi pred ulazom u postrojenje za pročišćavanje iznosi $784,3$ m n. m. [10], [11]. Snaga turbine je proračunata za normalne i granične pogonske uvjete, kako slijedi:

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

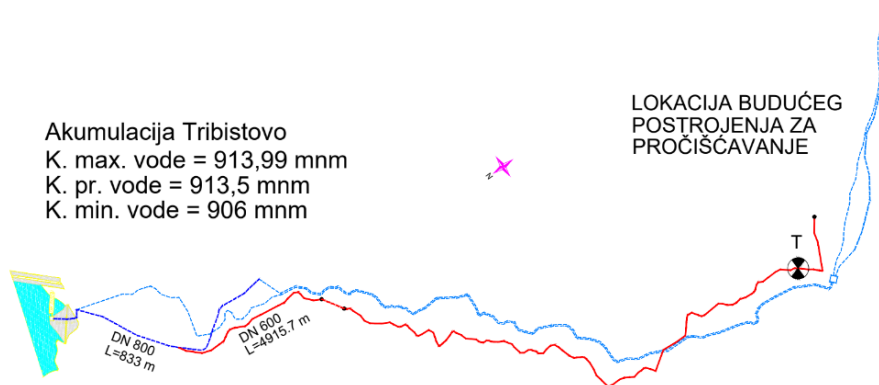
Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

Za normalne pogonske uvjete:

$$P = 1000 \times 0,3 \times 9,81 \times (895,70 - (784,3 + 10)) \times 0,7 = 1000 \times 0,3 \times 9,81 \times 101,4 \times 0,7 = 208894,14 \text{ W} = 208,894 \text{ KW}$$

Za granične pogonske uvjete:

$$P = 1000 \times 0,3 \times 9,81 \times (877,80 - (784,3 + 10)) \times 0,7 = 1000 \times 0,3 \times 9,81 \times 83,5 \times 0,7 = 172018,35 \text{ W} = 172,018 \text{ KW}$$



Slika 14. Situacijski prikaz lokacije turbine pred postrojenjem za prečišćavanje

Ukupna količina energije koja bi se za granične pogonske uvjete dobila na godišnjoj razini, pod uvjetom konstantnoga dotoka vode od 500 l/s kroz vodoopskrbnu dovodnu cijev, iznosi: $P_{uk} = 365 \text{ dan} \times 24 \text{ h} \times 172 \text{ KW} = 1\,506\,720,00 \text{ KWh/god.}$

Za slučaj da je dotok ograničen na 12 sati dnevno, a da ostatak vremena dotoka nema kada je pun glavni vodoopskrbni rezervoar, te ne radi ni postrojenje za prečišćavanje, ukupna dobivena energija na godišnjoj razini bi iznosila upola manje, odnosno 753 360,00 KWh/god. Za normalne pogonske uvjete ovaj iznos bi bio veći.

6. ZAKLJUČAK

Cijena električne energije se kreće u rasponu od 0,1286 KM/kWh za utrošak radne električne energije po višem tarifnom sustavu, dok za niži tarifni sustav iznosi 0,0268 Km/kWh. Ne razmatrajući mjerno mjesto utroška energije i utrošak za angažiranu snagu u doba više tarife, i razne naknade, već promatrajući samo srednju cijenu električne energije 0,0455 KM/kWh i uzimajući granične pogonske uvjete u vodoopskrbnom cijevnom vodu, vodoopskrbno poduzeće bi imalo za 34 277,88 KM manji račun za potrošenu električnu energiju za potrebe u sustavu na godišnjoj razini.

Može se zaključiti kako je postavljanje turbine u vodoopskrbni cijevni vod i korištenje unutarnje energije sustava mogućnost koju treba razmotriti i koja je već zaživjela u praksi, kao što je prikazano u provedenim istraživanjima dosadašnjih izvedenih turbina na sličnim vodoopskrbnim sustavima prikazanim u naslovu 3., a što je bio i jedan od primarnih zadataka kroz ovaj rad. Na temelju provedenih istraživanja i došlo se na ideju da se korištenjem raspoloživih podataka i podloga [10], [11] vidi kako se isto može primijeniti na vodoopskrbni sustav Posušja i iskoristiti unutarnja energija sustava koja se sada u biti rasipa.

Za analizu isplativosti korištenja ovog sustava bila bi potrebna investicijska procjena nabave turbine, ugradnje i održavanja turbine i stavljanje u odnos s dobiti kroz neku od investicijskih metoda, kao što su npr. metoda sadašnje vrijednosti, interne stope rentabilnosti i sl., što nije bio zadatak ove analize.

Džeba, T., Landeka, K., Đurin, B., Rozić, Ž.

Analiza mogućnosti korištenja unutarnje energije dijela vodoopskrbnog sustava općine Posušje

LITERATURA

1. Margeta, J.: Vodoopskrba naselja, Sveučilište u Splitu, Građevinsko – arhitektonski fakultet Split, 2010.
2. [https://hrcak.srce.hr/file/425001-Transformacijska strategija naftnih kompanija – zašto, kada i kako? Transformation strategy of oil companies – why, when and how?](https://hrcak.srce.hr/file/425001-Transformacijska-strategija-naftnih-kompanija--zašto-kada-i-kako?Transformation+strategy+of+oil+companies+-+why,+when+and+how?) dr. sc. Gordana Sekulić, dipl. oec., energetska analitičarka
3. Wilson, P. N.: Water turbines, H.M. Stationery Off., 1974.
4. Purdue ECT Team Construction Engineering & Management, Purdue University, ectinfo@purdue.edu, LUCIDPIPE™ POWER SYSTEM, DOI: 10.5703/1288284316353
5. Ramos, H. M., Vieira, F., Covas, D. I. C.: Energy efficiency in a water supply system: Energy consumption and CO2 emission, Water Science and Engineering, 2010, 3(3): 331-340 doi:10.3882/j.issn.1674-2370.2010.03.009
6. Prskalo, M., Džeba, T., Galić, A.: Sustainability of water supply systems using internal and external renewable energy sources, GNP 2022, Kolašin, Montenegro, 2022.
7. Kurhe, V., Kadam, T., Kulkarni, P., Kokate, S., Kolase, S. K.: Regeneration of Electricity Using Lucid Pipe Turbine in Draft Tube of Hydro-Electric Power Plant, 2023, IJSREM, www.ijrem.com DOI: 10.55041/IJSREM24252
8. YouTube: How drinking water pipes can also deliver electric power | PBS NewsHour
9. Morani, M. C., Simão, M., Gazur, I., Santos, R. S., Carravetta, A., Fecarotta, O., Ramos, H. M.: Pressure Drop and Energy Recovery with a New Centrifugal Micro-Turbine: Fundamentals and Application in a Real WDN. Energies 2022, 15, 1528. <https://doi.org/10.3390/en15041528>
10. Projektna dokumentacija: Idejno rješenje: "Dovod vode od akumulacije 'Tribistovo' do uređaja za kondicioniranje pitke vode, s određivanjem lokacije uređaja", Integra d.o.o. Mostar, Hidroing d.o.o. Split, 2002.
11. Projektna dokumentacija: Elaborat: "Analiza i izbor profila glavnog dovodnog cjevovoda od akumulacije Tribistovo", Integra d.o.o. Mostar, Hidroing d.o.o. Split, 2004.
12. Vincent Denis, A. C., Punys, P.: Integration of Small Hydro Turbines into Existing Water Infrastructures. Hydropower-Practice and Application. 2012, doi: 10.5772/35251