

# Istraživanje mogućnosti za gradnju i idejni koncept male hidroelektrane na lokaciji „prekidna komora“ na magistralnom vodosnabdevnom cevovodu Lubnice-Berane

Milun Babić<sup>1</sup>, Dušan Gordić<sup>2</sup>, Davor Končalović<sup>3</sup>, Kazimir Darijević<sup>4</sup>, Vuka Golubović<sup>5</sup>, Tomislav Knežević<sup>6</sup>, Nebojša Jovičić<sup>7</sup>, Vanja Šustrešić<sup>8</sup>, Milan Despotović<sup>9</sup>

## Rezime

U radu su izneti rezultati studije [1] o mogućnosti da se gradnjom male hidroelektrane na lokaciji „prekidna komora“ na magistralnom vodosnabdevnom cevovodu Lubnice-Berane viškovi hidroenergije pretvore u električnu struju.

*Ključne reči:* mala hidroelektrana, turbina, hidroenergija, cena investicije, rok otplate

## 1. Uvod

U nastojanju da realizuje svoje razvojne ciljeve Opština Berane je, u saradnji Mašinskim fakultetom Univerziteta u Kragujevcu (Regionalni evro centar za energetske efikasnost i „Kraguj Elektranama“ d.o.o.) realizovala studiju [1].

Želelo se da se utvrde mere koje će blagotvorno da utiču na:

- unapređenje kvaliteta snabdevanja vodom svih potrošača koji koriste vodu iz postojećeg vodosnabdevnog sistema i na povećanje njegove energetske efikasnosti;
- rast ukupne efikasnosti javnog komunalnog preduzeća koje upravlja vodosnabdevnim sistemom, i na otvaranje razvojnih perspektiva - stvaranjem uslova za nova zapošljavanja;

---

<sup>1</sup> Dr inž., redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu, šef Katedre za EPT i direktor Regionalnog evro centra za energetske efikasnost, Srbija, Kragujevac, ul. Sestre Janjić br.6., E-mail: [nastasija@nadlanu.com](mailto:nastasija@nadlanu.com), [nastasija@kg.ac.yu](mailto:nastasija@kg.ac.yu)

<sup>2</sup> Dr inž., docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu, prodekan za NIR

<sup>3</sup> Dipl. inž., poslediplomac-doktorant, istraživač saradnik Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu

<sup>4</sup> Dipl. inž., direktor „Kraguj Elektrane“, Kragujevac

<sup>5</sup> Dipl. prav., predsednik Opštine Berane

<sup>6</sup> Dipl. inž., poslediplomac Mašinskog fakulteta u Podgorici i saradnik Komunalnog preduzeća u Beranama

<sup>7</sup> Dr inž., vanredni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu

<sup>8</sup> Dr inž., docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu

<sup>9</sup> Dr inž., docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu

- promenu privredne strukture, i na skraćivanje puta do uspostavljanja deregulisanog tržišta električne energije i mogućnosti da se uspešno realizuju CDM projekti;
  - popravljjanje ekonomskog, energetskog i ekološkog stanja u Opštini Berane i unapređenje postojeće tehničko-tehnološke infrastrukture radi podsticanja ulaganja slobodanog kapitala u korišćenje obnovljivih vidova energije;
  - stvaranje uslova da Opština Berane može koristiti razne međunarodne donacijske fondove i da se uključi u velike projekte EU;
  - smanjenje uvozne zavisnosti i unapređenje međunarodne saradnje Republike Crne Gore.
- Posebna pažnja bila je posvećena istraživanju mogućnosti da se raspoloživi viškovi hidroenergije vodosnabdevnom sistemu grada Berane.

U ovom radu iznet je prikaz onih rezultata studije [1] koji se odnose na istraživanje mogućnosti da se gradnjom male hidroelektrane (MHE) na lokaciji „prekidna komora“ na magistralnom vodosnabdevnom cevovodu Lubnice-Berane viškovi hidroenergije pretvore u električnu struju.

## 1. Osvrt na osnovne projektavane i stvarne karakteristike magistralnog cevovoda Lubnice-Berane

Vodosnabdevanje Berana i prigradskih naselja vrši se posredstvom magistralnog cevovoda Lubnice - Berane (Sl. 1) koji se napaja vodom iz kaptaze Lubničko vrelo (Sl. 2.), pozicioniranoj na koti 960,5 mNV .

Ukupna dužina primarnog cevovoda, izgrađenog od čelino-livenih cevi, iznosi 12,12 km .

Od kaptaze do kote 943,5 mNV cevovod ima prečnik  $\Phi 350$  mm , a odatle pa do kote 892,36 mNV ima prečnik  $\Phi 300$  mm . Dalje se poprečni presek cevovoda redukuje na prečnik  $\Phi 250$  mm , i ima tu vrednost sve do kote 773,2 mNV na kojoj se nalazi mehanička prekidna komora (Sl. 3.), u kojoj se eliminiše višak energije vode nastao delovanjem gravitacije. Komora je sa pregradama, gde se vrši umirivanje vode bez mogućnosti regulacije protoka. U njoj se nalazi i instalacija za hlorisanje vode.

Od prekidne komore (Sl. 3), prema Beranama, vodi cevovod prečnika  $\Phi 400$  mm .

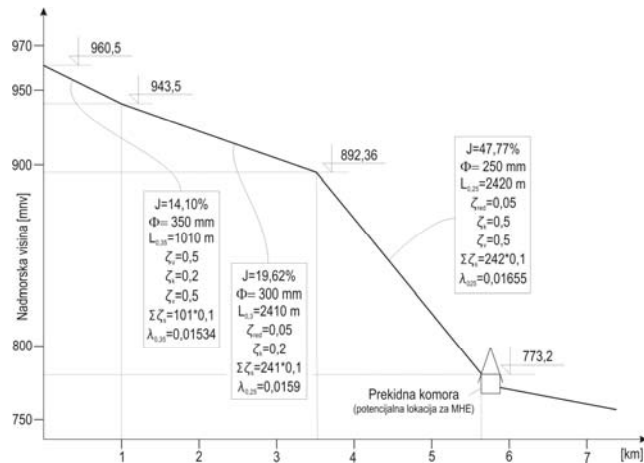
Dužina trase magistralnog cevovoda od kaptaze na Lubničkom vrelu do prekidne komore iznosi 5,65 km , a njegova maksimalna propusna moć, prema projektnoj dokumentaciji, iznosi  $Q_{\max PRJ} = 0,192$  m<sup>3</sup>/s .

Kriva neto napora magistralnog cevovoda na potezu Lubničko vrelo – prekidna komora, uspostavljena saglasno projektnim podacima, može se predstaviti izrazom (1):

$$Y_R = g \cdot (H_1 - H_2) - \frac{\Delta p}{\rho} - m_R \cdot Q^2 = 1835,245 - 40929,16 \cdot Q^2, \quad (1)$$

a uz akceptiranje evidentiranih odstupanja izvedenog stanja od projektovanog, naknadnih rekonstrukcija cevovoda i njegovog starenja u toku višegodišnje eksploatacije, izrazom (2):

$$Y_{RK} = g \cdot (H_1 - H_2) - \frac{\Delta p}{\rho} - m_{RK} \cdot Q^2 = 1835,245 - 56482,22 \cdot Q^2. \quad (2)$$



Sl. 1. Hidraulička šema dovodnog cevovoda od kaptaže Lubničko vrelo do prekidne komore



Sl. 2. Kaptaža Lubničko vrelo



Sl. 3. Prekidna komora

Iz izraza (1) može se odrediti maksimalni proračunski protok, izračunat na osnovu projektiranih parametara cevovoda -  $Q_{\max R} = 0,212 \text{ m}^3/\text{s}$ , a iz izraza (2), maksimalni proračunski protok -  $Q_{\max RK} = 0,180 \text{ m}^3/\text{s}$ , računat na osnovu podataka koji uzimaju u obzir evidentirana odstupanja izvedenog stanja od projektovanog.

Pošto se projektovani protok  $Q_{\max PRJ} = 0,192 \text{ m}^3/\text{s}$  razlikuje od odgovarajućih računskih vrednosti  $Q_{\max R} = 0,212 \text{ m}^3/\text{s}$  i  $Q_{\max RK} = 0,180 \text{ m}^3/\text{s}$ , neophodno je bilo izvršiti odgovarajuća merenja i provere. Zbog toga su vršena otkopavanja cevovoda duž trase (Sl. 4.) radi ultrazvučnog snimanja kvaliteta zidova cevi i merenja protoka vode.

Protok je meren pomoću savremenog i preciznog ultrazvučnog protokomera. Postupak postavljanja merača i jedan od rezultata merenja prikazani su na Sl. 4 i 5.



Sl. 4. Postavljanje ultrazvučnog merača protoka vode



Sl. 5. Izmereni protok vode  $Q = 169,48 \text{ lit/s}$  u trenutku  $t_1$  na jednom od mernih mesta

Merenja su pokazala da u magistralnom cevovodu nema curenja i da stvarni protok na potezu od Lubničkog vrelo do prekidne komore iznosi  $Q_{\max S} = 0,169 \text{ m}^3/\text{s}$ , (tj., da je daleko manji od  $Q_{\max PRJ}$ ,  $Q_{\max RK}$  i  $Q_{\max R}$ ), te da se kriva njegovog stvarnog neto napora može predstaviti izrazom (3):

$$Y_S = g \cdot (H_1 - H_2) - \frac{\Delta p}{\rho} - m_k \cdot Q^2 = 1835,245 - 64257,024 \cdot Q^2. \quad (3)$$

## 2. Napomene vezane za utvrđivanje tekućih i razvojnih potreba za vodom u Beranama

Sagledavanje aktuelnih i razvojnih potreba Beranana (Buče, Lužac, Dolac, Gornja Pešča, Donja Pešča, Luge, Hareme, Beran selo i uže gradsko područje) za vodom, izvršeno je pomoću softvera koji smo razvili za ove potrebe. Osnova za analitičku obradu bili su rezultati popisa iz 2003. godine (21258 stanovnika, 201 konja, 1260 goveda, 1503 ovaca, 1258 svinja i 8570 živine), a korišćeni su pouzdani i provereni metodološki pristupi. Rezultati varijantnih simulacija pokazali su da se dugoročne potrebe Berana za vodom mogu zadovoljiti ukoliko kaptaža Lubničko vrelo i magistralni cevovod do prekidne komore uspeju trajno da obezbede  $Q_0 = 0,120 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ova količina vode, na nivou važećih EU-standarda u oblasti vodosnabdevanja, pored potrebnog konfora, obezbeđuje sve tekuće i razvojne potrebe industrije i komunalne infrastrukture, kao i propisane količine vode za zaštitu od požara.

Važno je napomenuti da je izdašnost kaptaže Lubničko vrelo, i u najsušnijim periodima koji su zabeleženi u beranskom kraju, znatno veća od  $Q_0 = 0,120 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 3. Utvrđivanje viška hidroenergije u magistralnom cevovodu

Merenja su pokazala da postojeći magistralni cevovod, i u eksploatacionom stanju u kakvom se trenutno nalazi, obezbeđuje u potpunosti tekuće potrebe Berana i prigradskih

mesnih zajednica za vodom, jer je njihova ukupna potreba  $Q_0 = 0,120 \text{ m}^3/\text{s}$ . U tim normalnim uslovima, magistralni cevovod obezbeđuje „višak“ vode od  $\Delta Q = 169 - 120 = 49 \text{ m}^3/\text{s}$ , što upućuje na činjenicu da u njemu postoji hidroenergija koja se može iskoristiti gradnjom MHE na lokaciji „prekidna komora“.

Da bi se precizno utvrdio višak hidroenergije u magistralnom cevovodu, radi gradnje MHE na lokaciji „prekidna komora“, na Sl. 6. dijagramski je interpretirana kriva neto napora (1) sa krivom stvarne raspoložive hidrauličke snage  $P_{HR} = Q \cdot Y_R \text{ kW}$ , kriva neto napora (2) sa krivom stvarne raspoložive hidrauličke snage  $P_{HRK} = Q \cdot Y_{RK} \text{ kW}$ , i kriva neto napora (3) sa krivom stvarne raspoložive hidrauličke snage  $P_{HS} = Q \cdot Y_S \text{ kW}$ , koje bi, pri svakom protoku, u svakom analiziranom slučaju, magistralni cevovod bio u stanju da obezbedi MHE koja bi se izgradila na lokaciji „prekidna komora“.

Protok pri kome bi se, prema projektnim podacima, mogla ostvariti maksimalna hidraulička snaga iznosi:

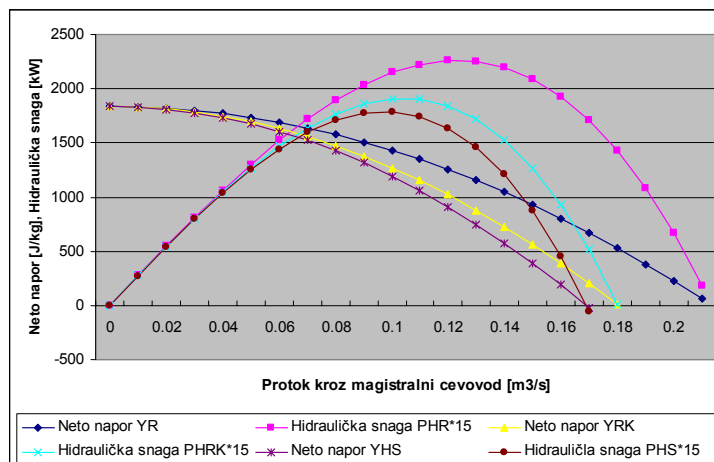
$$Q_{P_{HR \max}} = \sqrt{\frac{g \cdot (H_1 - H_2) - \frac{\Delta p}{\rho}}{3 \cdot m}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot (960,5 - 773,2) - \frac{2168,15}{1000}}{3 \cdot 40929,16}} = 0,122 \text{ m}^3/\text{s},$$

a na sličan način dolazi se do odgovarajuće vrednosti protoka:  $Q_{P_{HRK \max}} = 0,104 \text{ m}^3/\text{s}$  - u slučaju kada se uzmu u obzir starenje i nesaglasnosti projektovanog i izvedenog stanja magistralnog cevovoda, odnosno  $Q_{P_{HS \max}} = 0,098 \text{ m}^3/\text{s}$  - prema podacima koji su dobijeni merenjima.

Pošto, prema analizi opisanoj u odeljku 2., minimalna količina vode koju ovaj cevovod mora da obezbedi za grad Berane i prigradske mesne zajednice iznosi  $Q_0 = 0,120 \text{ m}^3/\text{s}$ , onda je očigledno da se ona ne može postići ukoliko bi se u prekidnoj komori ugradila MHE koja bi radila u režimu maksimalne hidrauličke snage  $P_{HS, \max} = 119,413 \text{ kW}$ , jer bi tada protok bio  $Q_{P_{HS \max}} = 0,098 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Pri utvrđivanju konačne vrednosti viška hidroenergije u magistralnom cevovodu, važno je imati u vidu i činjenicu da se Beranama, zbog:

- nenamenskog trošenja vode (recimo za pranje automobila i dr.),
  - nelegalnih i neprijavljenih priključivanja potrošača na vodovodnu mrežu,
  - sigurnosti i pouzdanog snabdevanja svih potrošača u ekstremno sušnim uslovima kada mnogi vodu iz distributivne mreže koriste za navodnjavanje,
- mora obezbediti za najmanje 12,5% vode iznad one količine koja je proračunata kao potrebna za sve potrošače. Zbog toga magistralni cevovod na potezu kaptaža Lubničko vrelo - prekidna komora mora obezbediti minimalno  $Q_p = 0,135 \text{ m}^3/\text{s}$ , pa iskoristivi višak neto napora i raspoloživa hidraulička snaga iznose:  $Y_p = 664,161 \text{ J/kg}$ ,  $P_{Hp} = 89,662 \text{ kW}$ .



Sl. 6. Neto napor i hidraulička snaga dovodnog cevovoda od kaptaze Lubničko vrelo do prekidne komore (prema projektovanom, računski korigovanom i izmerenom stanju)

#### 4. Izbor turbine za korišćenje viška hidroenergije na lokaciji „prekidna komora“

Iz razloga kompaktnosti konstrukcije i smanjenja dimenzija MHE koja će koristiti višak hidraulične snage u magistralnom cevovodu kaptaza Lubničko vrelo - prekidna komora, optimalno bi bilo sprezati turbinsko kolo MHE sa generatorom koji ima tri para statorskih polova, tj. sa generatorom čiji je optimalni broj obrtaja  $n = 1000$  [o/min].

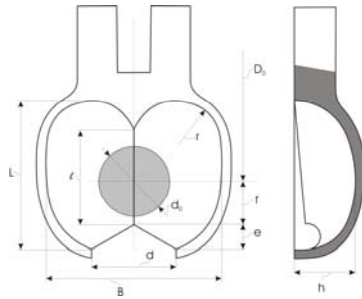
Za projektne uslove definisane sledećim parametrima: nominalnim protokom -  $Q_p = 0,135 \text{ m}^3/\text{s}$ , nominalnim naporom -  $Y_p = 664,161 \text{ J/kg} \approx 67,70 \text{ m}$ , nominalnom hidrauličkom snagom -  $P_{Hp} = 89,662 \text{ kW}$  i nominalnim brojem obrtaja radnog kola turbine -  $n = 1000$  o/min, uz pretpostavku da će ukupni stepen korisnosti turbine imati vrednost  $\eta = 0,825$ , može se izračunati da mehanička snaga na vratilu turbine iznosi:  $P_p = 73,925 \text{ kW}$ , i da je specifični broj obrtaja radnog kola turbine -  $n_s = 44,28$ .

Prema proračunu, literaturnim i iskustvenim podacima, specifičnom broju obrtaja  $n_s = 44,28$  odgovara radno kolo Peltonove turbine čiji je prečnik -  $D_0 \approx 480 \text{ mm}$ , na koje se iz mlaznice prečnika  $d_m = 59 \text{ mm}$  usmerava mlaz vode prečnika  $d_0 = 58 \text{ mm}$ .

Lopatice radnog kola (Sl. 7), kojih ima  $z = 38$ , definisane su sledećim merama:

$L = 139 \text{ mm}$ ,  $B = 180 \text{ mm}$ ,  $h = 52 \text{ mm}$ ,  $l = 99 \text{ mm}$ ,  $e = 18 \text{ mm}$ ,  $f = 49 \text{ mm}$ ,  $d = 93 \text{ mm}$ ,  $r = 44 \text{ mm}$ . Na Sl.

8. prikazana je slika Peltonove turbine, projektovane na Mašinskom fakultetu – Regionalnom evro centru za energetska efikasnost u Kragujevcu, koja u potpunosti zadovoljava napred navedene uslove.



Sl. 7. Prikaz osnovnih konstrukcijskih parametara lopatice Peltonovog radnog kola



Sl. 8. Spoljašnji izgled MHE sa turbinom Peltonovog tipa

## 5. Period otplate investicija vezanih za gradnju MHE

### 5.1 Vrednost proizvedene električne struje

Uz pretpostavljenu vrednost električne struje od 0,05 €/kWh i uz pretpostavku da je stepen korisnosti generatora MHE  $\eta_G = 0,98$ , izvršeni su proračuni proizvodnje električne energije po mesecima u toku jedne kalendarske godine i vrednost električne struje proizvedene u tom periodu. Pri uobičajenim uslovima eksploatacije MHE, ugrađena na lokaciji prekidna komora, proizvodila bi oko 441963 kWh/god, čija je vrednost oko 22098 €/god., a ako bi nadležno komunalno preduzeće sprovelo posebne mere za sprečavanje i trajno eliminisanje prekomerne nenamenske potrošnje vode koja je u letnjim i jesenjim mesecima posebno izražena u prigradskim mesnim zajednicama, i dovelo je na nivo tzv. tolerantne, onda bi proizvodnja i električne struje u MHE bila 37% veća, a prihodi od proizvedene električne struje bi porasli za 8036€.

### 5.2 Vrednost investicije

Sprovođenjem standardnog postupaka (izrdom detaljnog idejnog projekta i predmera svih radova koji su neophodni za izgradnju MHE na lokaciji „prekidna komora“) došlo se do ukupne cene investicije, koja iznosi 95056€ (građevinski radovi – 6119€, zanatski radovi - 591€, elektromašinska oprema – 48125€, niskonaponska i srednjenaponska oprema - 40220€).

### 5.3 Godišnji troškovi radne snage i održavanja MHE

Pošto je MHE predviđena za automatski rad, za nadzor njenog funkcionisanja i tekuće održavanje neophodno je jedno obučeno lice sa polovinom punog radnog vremena i bruto platom za taj rad od 700 €/mesec. Za potrebe tekućeg održavanja MHE neophodno je, u

proseku 200 €/mesec, a za potrebe redovnog investicionog održavanja, koje je bi se obavljalo u avgustu svake godine oko 600 €.

Ukupna prosečna godišnja cena radne snage + tekuće održavanje + investiciono održavanje iznosi 11400 € .

#### **5.4 Period otplate uložениh sredstava u izgradnju MHE**

Imajući u vidu izneto u odeljcima 5.1, 5.2 i 5.3, maksimalni period otplate iznosiće 9,95 *god* , a u slučaju da se za gradnju MHE umesto kredita, obezbedi donacija 8,88 [*god*].

Kada bi nadležno komunalno preduzeće sprovodilo posebne mere za sprečavanje i trajno eliminisanje prekomerne nenamenske potrošnje vode koja je u letnjim i jesenjim mesecima posebno izražena u prigradskim mesnom zajednicama, i dovelo ih na nivo tzv. tolerantne, onda bi period otplate uložениh sredstava u gradnju MHE iznosio 5,6 *god* , a u slučaju da se za gradnju MHE umesto kredita, obezbedi donacija, period otplate bi bio 5,0 *god* .

### **6. Literatura**

- [1] *Milun Babić, Dušan Gordić, Kazimir Darijević, Davor Končalović*: Studija o proceni energetske efikasnosti sistema vodosnabdevanja u Beranama Dopunjena sa studijom o mogućnostima korišćenja hidropotencijala reke Bistrice; *Mašinski fakultet - Regionalni evro centar za energetske efikasnost, Kragujevac, decembar 2006.*

#### ***Abstract***

*In this work are exposed the study results about possibilities that hydro energy superfluties on main water supply pipe-line Lubnice - Berane can be transformed to electrical current by constructing a small hydro power plant*