

# RASHLADNI POTENCIJAL PODZEMNIH VODA PODGORICE

*N. Kažić<sup>1</sup>, M. Radulović<sup>2</sup>, V. Ivanović<sup>3</sup>*

## SAŽETAK:

U radu je razmatran potencijal i mogućnosti korišćenja podzemnih voda Podgorice za hlađenje. Prema procjeni, koja se zasniva na nizu rezultata dobijenih na bušotinama, u Podgorici na 40 m dubine ima dovoljno vode koja se obnavlja i koja bi mogla poslužiti za hlađenje. Istraživanja govore o pravoj maloj „rijeci” protoka oko  $3.15 \text{ m}^3/\text{s}$ , koja protiče ispod Podgorice sa temperaturom 12 C do 14 C. Procjene su da će Podgorica 2020. godine trebati oko 10 GWh „rashladne” energije, dok ova „rijeka obezbjeđuje” oko 58 GWh „direktno rashladne” energije pod uslovom da joj se temperatura povisi za 2 C. Procjena je da takva vrsta hlađenja, u odnosu na stardadnu, troši 5-10 puta manje energije.

## 1. UVOD

Potencijal podzemnih voda Zetske ravnice je veliki i do sada je samo djelimično iskorišćen i to:

- kao pijaće vode na lokalitetima gdje izdan nije ugrožena industrijskim i drugim zagađivačima (bunari Stari aerodrom, Zagorič i dr.);
- za navodnjavanje poljoprivrednih površina (bunari Agrokombinata „13. jul”);
- za zalivanje zelenih površina (travnjaka, parkova i dr.);
- za industrijske potrebe
- kao energetski izvor „tople” i „hladne” energije.

---

<sup>1</sup> Prof. dr N. Kažić, Mašinski fakultet u Podgorici

<sup>2</sup> Prof. dr M. Radulović, Građevinski fakultet u Podgorici

<sup>3</sup> Prof. dr V. Ivanović, Građevinski fakultet u Podgorici

## 2. POTENCIJAL IZDANSKIH VODA PODGORICE

### 2. 1. Hidrogeološke karakteristike

Debljina kvartarnih sedimenata u podgoričkoj ravnici (pjeskoviti šljunak i konglomerat) najčešće je u granicama od 50 do 65 m. Dubina do nivoa podzemnih voda u hidrološkom minimumu iznosi:

- oko 24 m u krugu Univerziteta Crne Gore;
- 18-20 m u bližoj zoni vodotoka Morače između mostova „Milenijum” i „Union Bridge”;
- oko 35 m u bližoj zoni izvedenih bunara na Starom aerodromu;
- oko 15 m na području KAP-a.

Prosječna debljina izdani u sušnom periodu godine iznosi oko 35 m.

Srednja vrijednost koeficijenta filtracije, dobijena na osnovu brojnih urađenih granulometrijskih analiza i opita crpljenja iz vodnih objekata iznosi:

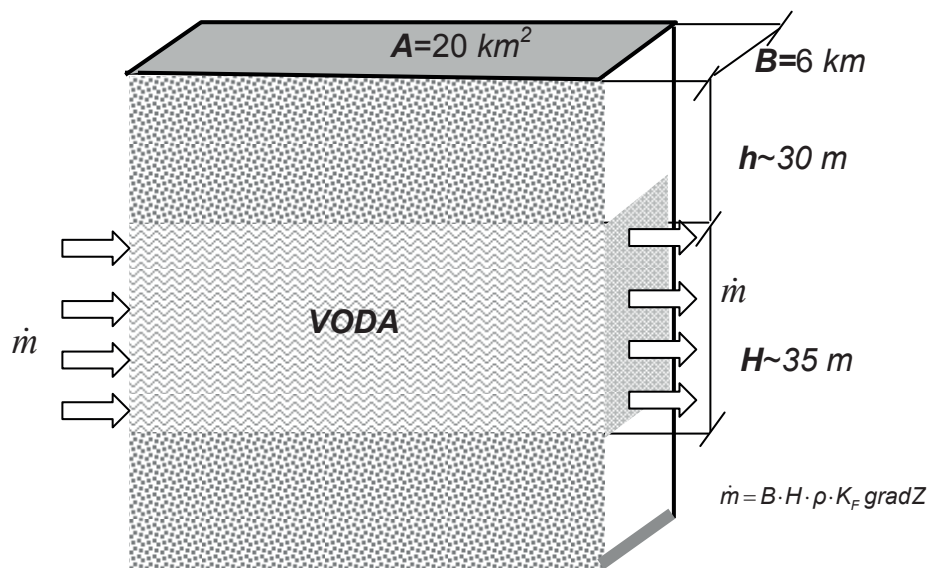
$$K = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

Pravac izdanskih voda je generalno od sjevera prema jugu, pri čemu je gradijent izdanskog toka oko 0,0010.



## 2. 2. Rezerve izdanskih voda

Za šire područje Podgorice površine oko  $20 \text{ km}^2$  dat je orijentacioni proračun dinamičkih rezervi izdanskih voda, odnosno podzemni proticaj kroz poprečni presjek širine 6 km.



Za proračun protoka vode korišćen je sljedeći obrazac:

$$Q = B \times H \times \rho \times K_s \times i \text{ gdje je}$$

**B** širina izdanskog toka, iznosi 6 km;

**H** debljina izdani, iznosi 35 m;

**K<sub>s</sub>** srednji koeficijent filtracije, iznosi  $1.5 \times 10^{-2}$  m/s;

**i** hidraulični gradijent je približno 0.001

$$Q = 3.15 \text{ m}^3/\text{s}.$$

## 2.3. Procjena rashladnog potencijala podzemne vode u Podgorici

Da bismo procijenili rashladni potencijal sloja podzemne vode na nivou godine, pretpostavljamo da je on generisan dotokom svježje „hladne“ vode ( $\dot{m} = 3150 \text{ kg/s}$ ). Uzmimo da je porast temperature vode ne prelazi 2 C i da su

potrebe za hladnom vodom tokom 3 mjeseca godišnje. Rashladni potencijal podzemnih voda za taj period iznosi:

$$Q_H^G = \dot{m} c \Delta t \cdot \tau = 3150 \cdot 4.2 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 365 / 12 \cdot 3 / 3600 = 58 \text{ GWh/god.}$$

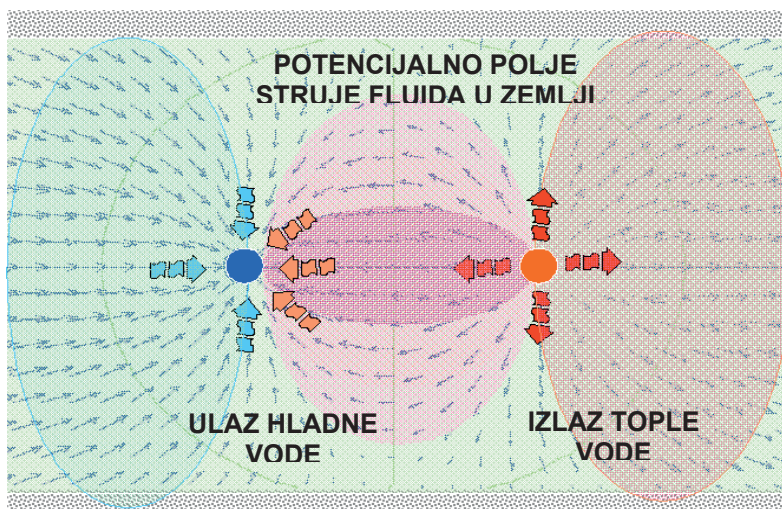
Procijenjene potrebe za rashladnom energijom za Podgoricu 2020. godine procjenjuju se na oko:

$$Q_{H,2020}^G \approx 10 \text{ GWh/god}$$

Dakle, očigledno je da „direktni“ rashladni potencijal podzemnih voda u značajnoj mjeri prevazilazi potrebe Podgorice 2020. godine

#### 2. 4. Strujna slika u slučaju „zatvorenog“ sistema

Da bi se izbjeglo zagadjenje podzemne vode i smanjenje potencijala kao posljedica ispuštanja vode iz podzemlja, najbolje je primijeniti zatvoreni sistem sa dvije bušotine. U tom slučaju kroz jednu bušotinu se usisava „hladna“, a kroz drugu se vraća i upumpava u podzemlje zagrijana, „topla“ voda.



Ako potražimo analitičko rešenje strujnog polja, posmatrajući ga kao potencijalno, dobićemo strujnu sliku prikazanu na slici za slučaj upumpavanja i ispuštanja 25 lit/s vode. To odgovara rashladnoj snazi od  $\sim 200 \text{ kW}$ .

Označena kružna polja na slici predstavljaju kvalitativnu sliku temperaturnog polja u podzemlju.

Detaljnije proučavanje ovoga problema trebalo bi da osvijetli uticaj difuzije u podzemlju, odnosno optimalan izbor pozicija bušotina kako bi se toplota preдалa okolini na optimalan način.

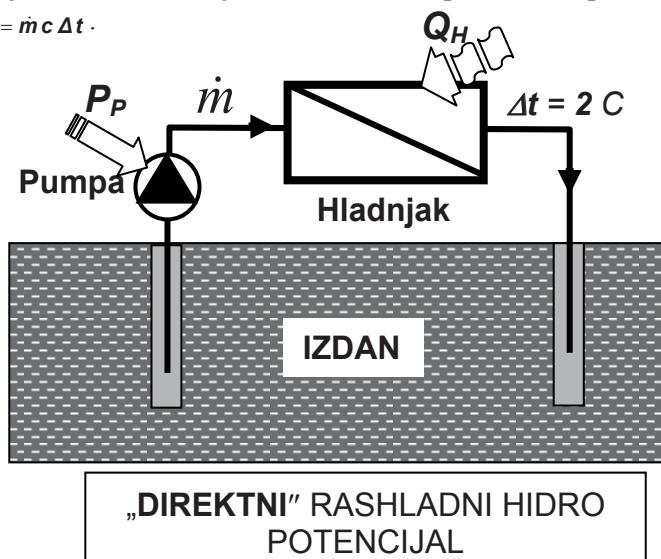
## 2. 5. Procjena efikasnosti

U cilju procjene energetske efikasnosti rashladnog potencijala, razmotrimo tri varijante korišćenja koje nam stoje na raspolaganju: „direktno”, „indirektno” i „vazdušno”. Efikasnost ćemo određivati tako što ćemo procijeniti u sva tri slučaja potrebnu energiju dovedenu „spolja” da bi se ostvario isti rashladni kapacitet.

### • „Direktno” korišćenje rashladnog potencijala

Pod „direktnim” korišćenjem rashladnog potencijala pretpostavlja se korišćenje rashladne vode putem razmjenjivača toplote bez ikakvih dodatnih uređaja, osim obične pumpe za vodu, kojom se voda ispumpava iz zemlje, potiskuje kroz razmjenjivač (hladnjak) i ponovo vraća u zemlju. Protok se dimenzioniše tako da promjena temperature iznosi oko  $\Delta t = 2 \text{ C}$ . Procijenjeni pad pritiska vode u instalaciji procjenjuje se na oko  $\Delta p = 3 \text{ bar}$ .

U ovoj varijanti voda u hladnjaku direktno, bez posrednika, preuzima toplotni fluks  $Q_H [W] = \dot{m} c \Delta t$ .



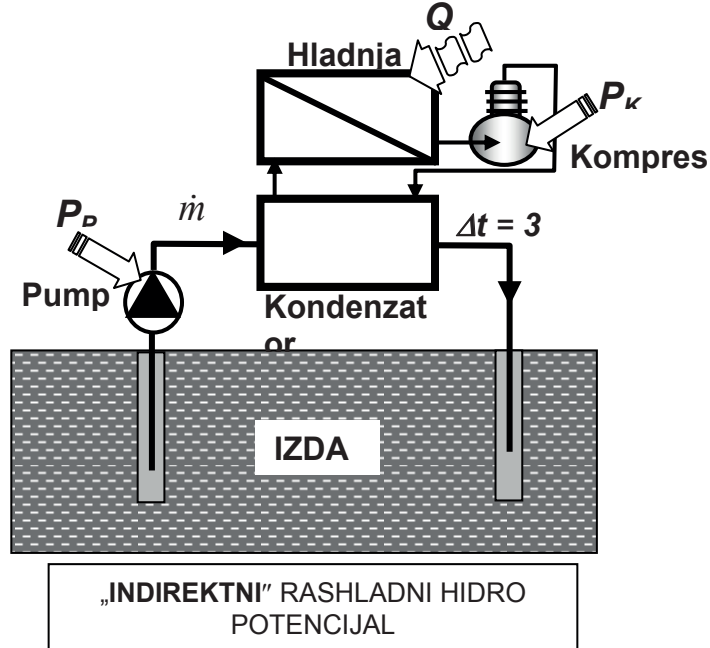
Energija koju treba dovesti sa strane ( $P^{IND}$ ) je energija za pogon vodene pumpe:

$$P^{DIR} [W] = P_{P[W]} = \frac{\dot{m} \Delta p / \rho}{\eta_p} = \frac{\Delta p}{\eta_p} \frac{Q_H}{c \Delta t \rho},$$

gdje je  $\eta_p \approx 0.6$  koeficijent efikasnost pumpe.

- „Indirektno“ korišćenje rashladnog potencijala

U ovoj varijanti podzemna voda se koristi za hlađenje kondenzatora rashladne mašine koja generiše rashladni fluks  $Q_H$ . Energija koju treba dovesti sa strane ( $P^{IND}$ ) potrebna je za pogon pumpe ( $P_P$ ) i kompresora rashladne mašine ( $P_K$ ).



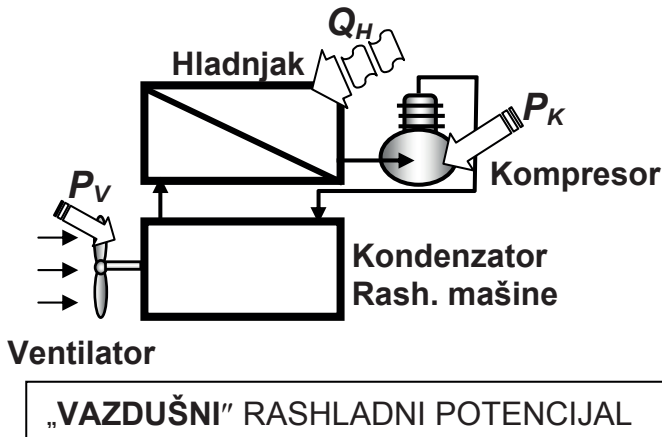
Dakle, ukupna potrebna energija sa strane je

$$P^{IND} [W] = P_P + P_K = P_P + \frac{Q_H}{\varepsilon_{H\_hidro}}$$

gdje je  $\varepsilon_{H\_hidro} \approx 4$  faktor hlađenja rashladne mašine.

- „Vazdušno“ korišćenje rashladnog potencijala

Ovo je jedan od uobičajenih scenarija hlađenja pri kome se ne koristi voda već vazduh za hlađenje kondenzatora rashladne mašine.



U ovom slučaju se energija sa strane ( $P^{VAZ} \approx P_K + P_V \approx 1.1 P_K$ ) koristi za pogon kompresora (i ventilatora) rashladne mašine. Dakle, imamo:

$$P^{VAZ} \approx 1.1 P_K \approx 1.1 Q_H / \varepsilon_{H\_vaz},$$

gdje je  $\varepsilon_{H\_vaz} \approx 2.5$  faktor hlađenja rashladne mašine hlađene vazduhom.

Ako sada uporedimo odnos efikasnosti **indirektne** ( $P^{IND} / P_P$ ) i **vazdušne** ( $P^{VAZ} / P_P$ ) varijante korišćenja rashladnog potencijala prema **direktnoj**, dobijamo:

$$\frac{P^{IND}}{P_P} = \frac{P_P + \frac{Q_H}{\varepsilon_{H\_hidro}}}{P_P} = 1 + \frac{\frac{Q_H}{\varepsilon_{H\_hidro}}}{\Delta p \frac{Q_H}{c \Delta t \rho}} = 1 + \frac{\eta_P c \Delta t \rho}{\varepsilon_{H\_hidro} \Delta p} \approx 5.2$$

$$\frac{P^{VAZ}}{P_P} = \frac{\frac{1.1 Q_H}{\varepsilon_{H\_vaz}}}{P_P} = \frac{\frac{1.1 Q_H}{\varepsilon_{H\_vaz}}}{\Delta p \frac{Q_H}{c \Delta t \rho}} = \frac{1.1 \eta_P c \Delta t \rho}{\varepsilon_{H\_hidro} \Delta p} \approx 7.4$$

### 3. ZAKLJUČAK

Izvedena analiza pokazuje da je energetska rashladni potencijal izdanskih voda Podgorice veliki i da u znatnoj mjeri premašuje zahtjeve za hlađenjem grada do 2020. godine. Isto tako, pokazuje se da je „direktno“ korišćenje izdanskih voda znatno efikasnije nego alternativne varijante koje je moguće primijeniti.

### 4. LITERATURA

Korišćena literatura je u najvećoj mjeri oslonjena na naučno-istraživački projekat Ministarstva za prosvjetu i nauku Crne Gore *Energetska efikasnost procesa u urbanim sredinama*.

## COOLING POTENTIAL OF UNDERGROUND WATER OF PODGORICA

#### ABSTRACT:

In this paper, the cooling potential and possible application of underground water of Podgorica is analyzed. As results of many previous investigations of drilled bores in city, it was found that under Podgorica at deep of 40 m there is enough fresh cold water suitable for air cooling process. In a fact, it is an underground „river“ with flowrate  $3.15 \text{ m}^3$  and temperature from  $12 \text{ C}$  to  $14 \text{ C}$ . According to some estimations, Podgorica will need about  $10 \text{ GWh}$  of cooling energy in 2020 g, but assuming  $2 \text{ C}$  of temperature rise, this „underground river“ provides  $58 \text{ GWh}$  of „direct“ cooling potential. Comparing this kind of cooling process to the standard one, calculations show that consumption of energy in this „direct“ process is 5-10 time less.

Key words: *fuel swithing heating system Montenegro local*