

# PRORAČUN RAZMENE TOPLOTE GEOTERMALNIH VODA JOŠANIČKE BANJE U REALIZACIJI PILOT-PROJEKTA PLASTENIKA

**Prof. dr Milan Barać**

**Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica Univerziteta u Prištini**

**Prof. dr Nikica Vitas**

**Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica Univerziteta u Prištini**

*U radu je istražen i opisan potencijal geotermalnih izvora Jošaničke banje. Termalna voda ispitivana je u laboratorijama IHTM-a u Beogradu. Metode ispitivanja detaljno su date u eksperimentalnom delu, gde su prikazani i dobijeni rezultati. Za potrebna razvojna istraživanja izgrađen je pilot-projekat plastenika. Da bi se to izvelo neophodno je uraditi materijalni odnosno energetske bilans. Izveden je detaljan proračun razmene toplote geotermalnih voda Jošaničke banje u realizaciji njene primene. U samoj primeni izvršeno je praćenje, analiziranje i optimizacija pilot-projekta u eksploataciji.*

*Korišćenje geotermalnih voda Jošaničke banje, dakle, predstavlja bitan uslov budućeg razvoja Raškog regiona, a posebno-naročito same Banje.*

*Ključne reči: geotermalna energija, razmena toplote, banja, plastenik, zagrevanje*

## UVOD

Srbija je po rezervama primarne energije oko šest puta siromašnija u odnosu na svetski prosek. Zato se sve više posvećuje pažnja racionalnijem i ekonomičnijem korišćenju nekonvencionalnih izvora energije. Istraživanje i razvoj novih tehnologija omogućavaju bolje korišćenje raspoložive obnovljive energije u koje spada i geotermalna energija. Primena geotermalne energije, predstavlja dakle, u savremenom svetu jednu od perspektivnih energetske, ekonomske i ekološke delatnosti.

Jošanička banja odnosno njena izvorišta geotermalne vode spadaju među značajnije u Srbiji. Imaju dužu primenu u balneološke svrhe, ali nedovoljno u ostalim mogućim oblastima. Postoje dva lokaliteta ovih voda sa izuzetnim prirodnim mogućnostima. Izvorišta su veoma povoljna sa dobrim fizičko-hemijskim karakteristikama vode. Izdašnost glavnog izvora je 15 l/s, izlazna temperatura 78 °C, a toplotna snaga 3,64 MW. Geotermalni potencijal Jošaničke banje je veoma pogodan lokalitet za niskotemperaturne toplotne potrebe. U domenu korišćenja geotermalne vode do

100°C ključno mesto pripada njihovoj upotrebi u poljoprivredi i komunalnoj energetici.

Korišćenje geotermalnih voda Jošaničke banje za grejanje plastenika predstavlja praktično njen novi način korišćenja, novo korišćenje energije ovih voda, novi proces proizvodnje povrća u ovom podneblju. Zato je bilo potrebno izvršiti razvojna istraživanja sa projektovanjem i izgradnjom demonstracionog sistema. Da bi se to izvelo prethodno je urađen proračun materijalnog odnosno energetske bilansa. U završnoj fazi realizacije vršeno je praćenje, analiziranje i optimizacija demonstracionog sistema u eksploataciji.

## KARAKTERISTIKE GEOTERMALNIH VODA JOŠANIČKE BANJE

Poslednjih decenija vršena su izvesna istraživanja ovog područja. Tako je Geoinstitut iz Beograda u periodu 1978 – 1991. god. vršio geološka, hidrogeološka i geotermička ispitivanja ovog lokaliteta. Takođe, Institut za rehabilitaciju – Beograd analizirao je 1995. god. vodu sa glavnog izvora kod banjskog kupatila i pri tome su dobijeni rezultati prikazani u Tabeli 1. /1/. Na osnovu ovih ispitivanja, voda ovog izvora svrstana je u oligomineralnu, hipertermalnu i smatra se da ima veliku balneološku vrednost. /1/

Kontakt: Prof. dr Milan Barać

Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica

Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica

E-mail: barac\_nemanja@yahoo.com

Tabela 1. Svojstva vode Jošaničke banje

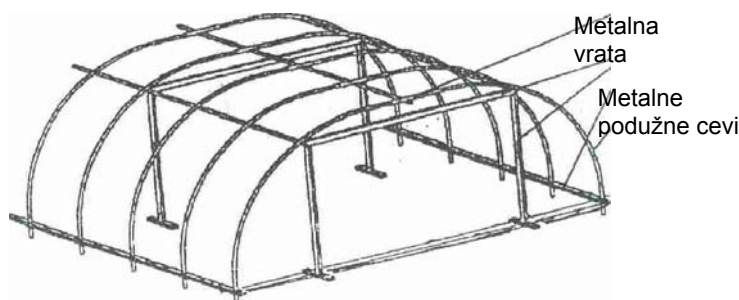
| Svojstvo               | Veličina, jedinica |
|------------------------|--------------------|
| Temperatura vode       | 77 °C              |
| Boja (po Pt-Co skali)  | 1                  |
| Mutnoća                | 2,0 NTU            |
| rN                     | 8,9                |
| Sadržaj natrijuma      | 77,8 mg/l          |
| Sadržaj bikarbonata    | 52,8 mg/l          |
| Ukupna mineralizacija  | 260 mg/l           |
| Suvi ostatak, na 180°C | 220 mg/l           |

Dosadašnja hidrogeološka istraživanja potvrđuju da ovaj lokalitet raspolaže znatnim količinama geotermalne vode visokog kvaliteta:

- Izvori u samoj Banji, koji sa mogu da obezbede min. količinu od 15 l/s sa  $t = 60 - 78^{\circ}\text{C}$ ;
- Iz bušotina dubine 121–394 m u banjskom parku izdašnost 4 izvora je 38 l/s sa  $t = 76 - 80^{\circ}\text{C}$ ;
- Na lokalitetu Slanište, 2 km nizvodno od Banje, istraživanja nisu završena, ali se procenjuje da je izdašnost ovih izvora 20 l/s sa  $38^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 2. Područja primene geotermalnih voda Jošaničke banje zavisno od temperature

| PODRUČJE PRIMENE GEOTERMALNIH VODA   | Temperatura (°C) |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|--|------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|--|
|  | 20               | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |  |
| POLJOPRIVREDA<br>- Sušenje poljoprivrednih proizvoda<br>- Grejanje staklenika:<br>- grejanje tla<br>- grejanje vazduha<br>- Gajenje gljiva<br>- Gajenje riba<br>- Gajenje algi |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
| GREJANJE ZGRADA<br>- Radijatorski sistem<br>- Panelni sistem<br>- Topla sanitarna voda<br>- Upotreba toplotnih pumpi<br>- Klimatizacija  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |
|  |                  |    |    |    |    |    |    |    |     |  |



Slika 1. Kostur plastenika u Jošaničkoj banji

## TEORIJSKI DEO

### Korišćenje geotermalnih voda

Po svojim fizičko-hemijskim karakteristikama geotermalne vode mogu biti veoma različite. Njihove temperature se kreću u širokom rasponu  $30 - 200^{\circ}\text{C}$  pa je i raznovrstan stepen njihovog korišćenja. Ranije je njihovo osnovno korišćenje bilo za balneologiju, rekreaciju, turizam i eventualno za grejanje stambenih zgrada. Poslednjih decenija došlo je do znatnog proširenja finalnih korisnika geotermalnih voda, a samim tim i do povećanja potrošnje istih.

Način korišćenja geotermalnih voda ne zavisi samo od njene temperature i fizičko-hemijskih svojstava nego i od specifičnosti lokalnih potreba i mogućnosti regionalne privrede. U Tabeli 2. prikazane su mogućnosti korišćenja geotermalnih voda u zavisnosti od njihove temperature. Vidimo da voda Jošaničke banje ima veoma široko područje korišćenja za intenziviranje proizvodnje raznih prehrambenih proizvoda.

## Opis plastenika

Plastenici su savremeni oblici zaštićenog prostora. Tipični plastenik kakav je izgrađen u Jošaničkoj banji je ustvari nešto korigovani poluisvisoki tunel sa nosačima utisnutim u betonske stope. Noseća konstrukcija je od aluminijumskih profila koji su otporni na atmosferske uticaje.

Pored osnovnih elemenata prostora plastenika (noseća konstrukcija, pokrivač, sistem za provetranje, zagrevanje, navodnjavanje, dopunsko osvetljenje) za punu proizvodnju potrebno je mnogo pomoćnih materijala (konstrukcija za vezivanje, alati, sadiljke, motike, ašovi, grabulje itd.).

Čvrstina objekta – plastenika uslovljena je oblikom krova i elastičnošću materijala kojim je pokriven. Kod polukružnih oblika krova uz optimalnu zategnutost folije, vetar sklizne sa površine i ne razdire plastiku. Vrata na plasticima su postavljena sa prednje i sa zadnje strane i služe za provetranje. Za proizvodnju u plasticima potrebno je obezbediti maksimalnu proizvodnu površinu kao i staze za rad i komunikaciju.

## Uslovi u plasteniku i njihovo regulisanje

Prema potrebama za toplim vazduhom, povrće delimo na sledeće grupe:

Tabela 3. Potrebna temperatura za različite vrste povrća

| Vrste i faza razvoja   | Optimalna temperatura vazduha (°C) |             | Temperatura vazduha (°C) |     |           |       |
|--|------------------------------------|-------------|--------------------------|-----|-----------|-------|
|  |                                    |             | Maksimalne               |     | Minimalne |       |
|  | Jesen-zima                         | Proleće-let | Noć                      | Dan |           |       |
| Paradajz, paprika<br>-period rasta do obraz. plodova<br>-period zrenja   | 18+3                               | 18+3        | 18                       | 22  | 26        | 10    |
|  | 20+4                               | 22+3        | 20                       | 25  | 28        | 10    |
|  | 16+2                               | 22+4        | 22                       | 20  | 30        | 8     |
| Krastavac, lubenica<br>-period rasta do obraz. plodova<br>-period zrenja | 21+3                               | 22+3        | 22                       | 26  | 28        | 12-15 |
|  | 22+4                               | 24+4        | 22                       | 30  | 33        | 12-15 |
|  | 22+4                               | 26+4        | 24                       | 32  | 38        | 12-15 |
| Salata   | 12+4                               | 16+4        | 12                       | 20  | 25        | 2     |
| Rotkvica   | 10+4                               | 12+4        | 10                       | 16  | 18        | 5     |
| Crni luk   | 18+4                               | 20+4        | 18                       | 18  | 20        | 1     |

## Sistem za zagrevanje

Izbor, odnosno sistem za zagrevanje, se planira u zavisnosti od vrste i konstrukcije objekta, cilja proizvodnje, vrste biljaka i klimatskih uslova. Za izračunavanje potrebne energije treba uzeti u obzir optimalnu temperaturu za grejanje

- toploljubive vrste: paprika, paradajz, krastavac, lubenica, za čiji porast je optimalna temperatura 22 – 25 °C;
- grupa sa srednjim zahtevom za toplotom: crni i beli luk, mrkva, cvekla, peršun, spanać, salata, sa optimalnom temperaturom za rast 16 – 19 °C;
- grupa sa najmanjom potrebom za toplotom: kupusnjače, rotkva, repa, sa optimalnom temperaturom za rast od 13°C.

U vreme nicanja, cvetanja, obrazovanja i zrenja plodova i semena, za sve vrste povrća potrebna je za 3 – 4 °C viša temperatura od navedenih (Tabela 3.). Pri temperaturi većoj ili manjoj za 7°C od optimalne biljke zaustavljaju svoj razvoj, a za 14°C zaustavljaju rast. Za najveći broj vrsta temperatura zemljišta treba da je za 3 – 4°C niža od temperature vazduha. Za povrće je nepovoljno naglo povećanje ili smanjenje temperature. Optimalno je da se temperatura poveća ili smanjuje za 2 – 3 °C u toku jednog sata. Noćne temperature kao i temperature oblačnih dana treba da su za 3 – 5 °C niže od dnevnih temperatura, odnosno temperatura u toku sunčanih dana. Dobar odnos temperatura omogućava povoljan bilans fotosinteze i desimilacije (nakupljanja i trošenja organske materije).

toploljubivih vrsta (22 – 25 °C) i tako se osiguravaju uslovi za grejanje većeg broja vrsta u dužem vremenskom periodu.

U Jošaničkoj banji toplija voda (60 – 78 °C) koristi se za banjsku terapiju u kupatilima i u urbanizovanom naselju. Voda koja je već korišćena u banjskim kupatilima može da se

koristi za plastenike, u skladu sa urbanističkim planom naselja, jer je prostorno ograničena izgradnjom objekta.

Geotermalna voda koja se koristila za grejanje osnovne škole u Jošaničkoj banji izlazi iz grejnog sistema sa temperaturom 60 °C. Ova već korišćena voda upotrebljava se za grejanje plastenika, projektovanog kao pilot-postrojenje.

Plastenik je izgrađen u obliku elipse spoljnih dimenzija 15,70 x 5,50 x 1,50 m, odnosno površine 90 m<sup>2</sup>, zapremine 122 m<sup>3</sup>, od polietilenske folije debljine 0,04 mm i 0,15 mm (unutrašnji i spoljašnji deo). Plastenik se koristi za uzgajanje povrtarskih kultura (paprika, paradajz, krastavac, salata) u periodu od početka marta do kraja novembra.

Grejanje plastenika izvedeno je cevima, podzemno na dubini 40 cm i nadzemno na visini 25 cm i 80 cm. Na osnovu toplotnog proračuna, podešen je maseni protok geotermalne vode 0,15 kg/s pri čemu voda predaje toplotu plasteniku i hladi se sa ulaznih 60 °C na 51 °C na izlazu iz cevi.

## EKSPERIMENTALNI DEO

Tabela 4. Fizičko-hemijske karakteristike geotermalne vode Jošaničke banje

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Temperatura (°S)                 | 78   |
| rN                               | 9,6  |
| Mutnoća (NTU)                    | <1,0 |
| Boja (stepeni Pt-Co skale)       | <0,5 |
| Elektroprovodljivost (S/cm)      | 340  |
| Mineralizacija (mg/l)            | 300  |
| Suvi ostatak, 180 °S (mg/l)      | 265  |
| Ukupna tvrdoća (nem. gradi)      | 0,34 |
| Utrošak KMnO <sub>4</sub> (mg/l) | 2,5  |

Tabela 5. Makrokomponente geotermalne vode Jošaničke banje

| KATJONI                        | mg/l | ANJONI   | mg/l |
|--------------------------------|------|--|------|
|                                |      | Hidroksid (OH <sup>-</sup> )                       | <0,1 |
|                                |      | Karbonati (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )         | 22,5 |
| Kalcijum (Ca <sup>++</sup> )   | 1,7  | Hidrogenkarbonati (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | 73,2 |
| Magnezijum (Mg <sup>++</sup> ) | 0,5  | Hloridi (Cl <sup>-</sup> )                         | 16,0 |
| Natrijum (Na <sup>+</sup> )    | 65,0 | Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )           | 29,0 |
| Kalijum (K <sup>+</sup> )      | 1,5  | Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )            | <0,2 |

Tabela 6. Mikrokomponente geotermalne vode Jošaničke banje

| METALI           | mg/l   | NEMETALI                                | mg/l   |
|------------------|--------|---|--------|
| Gvožđe (Fe)      | 0,030  | Amonijak (NH <sub>3</sub> )             | <0,05  |
| Mangan (Mn)      | 0,002  | Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) | <0,005 |
| Hrom-ukupni (Cr) | 0,001  | Fosfor (P)                              | 0,01   |
| Aluminijum (Al)  | <0,05  | Silicijum (SiO <sub>2</sub> )           | 79,0   |
| Stroncijum (Sr)  | 0,05   | Bor (B)                                 |        |
| Litijum (Li)     | 0,15   | Fluoridi (F)                            | <0,2   |
| Rubidijum (Rb)   | 0,02   | Bromidi (Br)                            | <0,5   |
| Cink (Zn)        | 0,002  |   |        |
| Bakar (Cu)       | 0,001  |   |        |
| Olovo (Pb)       | <0,001 |   |        |
| Kadmijum (Cd)    | <0,001 |   |        |
| Arsen (As)       |        |   |        |
| Selen (Se)       |        |   |        |
| Živa (Hg)        |        |   |        |
| Nikal (Ni)       | <0,005 |   |        |

## Materijali i metode

Termalna voda Jošaničke banje ispitivana je u laboratorijama Instituta za hemiju, tehnologiju i metalurgiju (IHTM) u Beogradu. Dobijeni rezultati prikazani su u tabelama 4, 5 i 6. Temperatura vode na glavnom izvoru iznosi 78 °C. Voda je blago alkalna sa značajnim sadržajem natrijuma, bikarbonata, karbonata, sulfata i silicijumdoksida. Ali, ima i izvesne sadržaje kalijuma, litijuma, stroncijuma i rubidijuma što je čini specifično karakterističnom.

Ispitivanja su vršena sledećim metodama:

- turbidimetrija (mutnoća)
- kolorimetrija (boja)
- konduktometrija (elektroprovodljivost)
- gravimetrija (suvi ostatak)
- volumetrija (utrošak KMnO<sub>4</sub>)
- UV-VIS-spektrofotometrija – spektrofotometar „Lovibond“, model „P.C.Spektr“ (anioni i amonijak)
- AAS-spektrofotometrija – atomski apsorpcioni spektrofotometar „Perkin Elmer AAS 200“ (teški metali i nemetali)

## Energetski (toplotni) bilans

### Broj leja:

|          |   |
|----------|---|
| -ukupno  | 5 |
| -paprika | 3 |

### Dimenzije plastenika:

|            |         |
|------------|---------|
| -paradajz  | 1       |
| -krastavac | 1       |
| -dužina    | 15,70 m |

### Rastojanje između dva struka:

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| -širina              | 5,50 m             |
| -paprika             | 35 cm              |
| -prosečna visina     | 1,50 m             |
| -paradajz            | 40 cm              |
| -površina plastenika | 90 m <sup>2</sup>  |
| -krastavac           | 40 cm              |
| -kubatura plastenika | 122 m <sup>3</sup> |

### Ukupno zasađeno:

|                    |            |
|--------------------|------------|
| -lukovi plastenika | Ø80 mm     |
| -paprika           | 118 struka |
| -rastojanje lukova | 150 cm     |
| -paradajz          | 38 struka  |
| -metalni profili   | 15x15 mm   |
| -krastavac         | 39 struka  |

U praksi je dokazano da je za svaki m<sup>3</sup> plastenika potrebno za njegovo grejanje 200 kJ/m<sup>3</sup>h toplote. Dakle, za plastenič sa polietilenskom folijom, ukupne zapremine 122 m<sup>3</sup> treba 24.000 kJ/h.

Dužina grejnih cevi je 165 m:

- na bočnim zidovima, u dva nivoa (na 250 mm i 800 mm od nivoa zemlje) postavljene su cevi za nadzemno grejanje ukupne dužine 70 m;
- podzemno grejanje čine cevi na dubini 400 mm, ukupne dužine 95 m

Brzina strujanja geotermalne vode u cevima treba da je takva da se po dužnom metru cevi oslobodi 150 kJ/h.

## Toplotni učinak grejnih tela

### Cevi nadzemnog grejanja

Količina toplote koja se oslobodi preko nadzemnog grejanja: Ovde je:

$$Q_1 = m \cdot c_p \cdot \Delta t = \frac{7}{60} \cdot 4,186 \cdot 7 = 3,42 \text{ kW}$$

ulazna temperatura vode:  $t_{ul} = 60^\circ\text{C}$

Zimski uslovi = 12,21 kW izlazna temperatura vode:  $t_{izl} = 53^\circ\text{C}$ , ( $t_{izl} = 35^\circ\text{C}$  – zimski uslovi),

protok vode kroz nadzemno grejanje:

$m = 7 \text{ kg/min}$

- srednja temperatura okoline plastenika: tok = 7 °C – noćni uslovi, tok = -10 °C – zimski uslovi
- srednja temperatura unutrašnjosti plastenika:  $t_{un} = 12^\circ\text{C}$  – noćni uslovi
- srednja razlika temperatura:  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$  ( $\Delta t = 22^\circ\text{C}$  – zimski uslovi)

### Cevi podzemnog grejanja

Količina toplote koja se oslobađa preko podzemnog grejanja:

Ovde je:

$$Q_2 = m \cdot c_p \cdot \Delta t = \frac{9}{60} \cdot 4,186 \cdot 9 = 5,65 \text{ kW}$$

ulazna temperatura vode:  $t_{ul} = 60^\circ\text{C}$ . Zimski uslovi = 18,84 kW, izlazna temperatura vode:  $t_{izl} = 51^\circ\text{C}$ , ( $t_{izl} = 30^\circ\text{C}$  – zimski uslovi), protok vode kroz nadzemno grejanje:  $m = 9 \text{ kg/min}$

Pa je, ukupno dovedena količina toplote: Oslobođena količina toplote po dužnom metru cevi:

$$Q_{uk} = Q_1 + Q_2 = 3,42 + 5,65 = 9,07 \approx 9 \text{ kW}$$

$$q = \frac{Q_{uk}}{l} = \frac{9}{165} = 0,055 \text{ kW/m}$$

(12,21 + 18,84 = 31,05 kW – zimski uslovi)

Ovo je u saglasnosti sa zahtevanom količinom toplote koja iznosi: 150 kJ/h = 0,042 kW

### Ukupni gubici toplote kroz zidove plastenika

$$Q_{gub} = K \cdot A \cdot \Delta t_{sr}$$

K – koeficijent prolaza toplote (za polietilensku foliju debljine 0,15 – 0,20 mm iznosi 8,14W/m<sup>2</sup>K

A – površina za razmenu toplote (površina omotača plastenika plus površina vrata)

$\Delta t_{sr}$  – srednja razlika temperatura unutrašnjosti plastenika i okoline

$$Q_{gub,1} = 8,14 \cdot 120 \cdot 5 = 4884 \text{ W} = 4,9 \text{ kW} - \text{kroz omotač plastenika}$$

$$Q_{gub,2} = 8,14 \cdot 16 \cdot 5 = 651,2 \text{ W} = 0,7 \text{ kW} - \text{kroz vrata plastenika}$$

$$Q_{gub,uk} = Q_{gub,1} + Q_{gub,2} = 4,9 + 0,7 = 5,6 \text{ kW}$$

Ova vrednost se uvećava za 20 % zbog raznih nesavršenosti konstrukcije plastenika, pa je

$Q_{gub,uk} = 6,72 \text{ kW}$ . Dakle, ukupno dovedena količina toplote  $\approx 9 \text{ kW}$  zadovoljava sa aspekta ukupnih gubitaka (6,72 kW).

### Ukupni gubici toplote kroz zidove plastenika u zimskim uslovima

$$Q_{gub,uk} = K \cdot A \cdot \Delta t_{sr}$$

$$Q_{gub,1} = 8,14 \cdot 120 \cdot 22 = 21,5 kW \quad Q_{gub,2} = 8,14 \cdot 16 \cdot 22 = 2,9 kW$$

$$Q_{gub,uk} = Q_{gub,1} + Q_{gub,2} = 21,5 + 2,9 = 24,4 kW$$

Ova vrednost se uvećava za 20 % zbog raznih nesavršenosti konstrukcije plastenika i iznosi  $Q_{gub,uk} = 29,28 kW$ . Dakle, ukupno dovedena količina toplote  $\approx 31 kW$  zadovoljava sa aspekta ukupnih gubitaka (29,28 kW).

### Proračun razmenjene količine toplote kroz cevi nadzemnog grejanja

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta t_{sr} \quad K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vode}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{vazduha}}}$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

$\alpha_{vode}$  - koeficijent prelaza toplote sa strane vode

$\lambda$  - koeficijent provodljivosti toplote

$$Nu = f(Re)$$

$d$  - prečnik cevi

$Nu$  - Nuseltov broj

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu}$$

$Re$  - Rejnoldsov broj

Sve vrednosti veličina za vodu se uzimaju na srednjoj temperaturi vode:

$$t_{sr} = \frac{60 + 53}{2} = 56,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$d = 0,0095 \text{ m}$  – prečnik cevi

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu} = \frac{985 \cdot 1,67 \cdot 0,0095}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 31254 \rightarrow w = \frac{V}{A} = \frac{m}{\rho \cdot A} = \frac{\frac{7}{60}}{985 \cdot 0,785 \cdot 0,0095^2} = 1,67 \text{ m/s}$$

Iz dobijene vrednosti Rejnoldsovog broja proizilazi da se radi o turbulentnom režimu strujanja, pa je odgovarajuća jednačina za izračunavanje Nuseltovog broja sledeća:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_z}\right)^{0,14} \quad Pr - \text{Prandtllov broj}$$

$\mu_z$  - dinamički viskozitet vode na

temperaturi zida cevi  $\approx 50 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4177}{0,655} = 3,19 \quad Nu = 0,023 \cdot 31254^{0,8} \cdot 3,19^{0,4} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,549 \cdot 10^{-3}}\right)^{0,14} = 142,4$$

$\delta$  - debljina folije

$\lambda$  - koeficijent provodljivosti toplote materijala folije

$$\alpha_{vode} = \frac{142,4 \cdot 0,655}{0,0095} = 9818 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Strujanje vazduha može da se smatra prirodnom konvekcijom, pa je:

$$\alpha_{vazduha} = Nu \cdot \frac{\lambda}{d} \quad Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad Gr - \text{Grashofov broj}$$

c, n – konstante za određenu vrednost proizvoda  $Gr \cdot Pr$

$$Gr = \frac{d^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta}{\mu^2} (t_{vode} - t_{vazduha})$$

$$Gr = \frac{0,0095^3 \cdot 9,81 \cdot 1,24^2 \cdot 0,0035}{(17,7 \cdot 10^{-6})^2} (56,5 - 12)$$

$$Gr = 6430; \quad Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{17,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1005}{0,0253} = 0,703; \quad Gr \cdot Pr = 6430 \cdot 0,703 = 4521$$

Za  $Gr \cdot Pr = 4521 \Rightarrow c = 0,54, n = 0,25$

Pa je:

$$Nu = 0,54 \cdot 4521^{0,25} = 4,43 \quad \alpha_{vazduha} = 4,43 \cdot \frac{0,0253}{0,0095} = 11,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Odnosno:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vode}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{vazduha}}} = \frac{1}{\frac{1}{9818} + \frac{0,003}{0,16} + \frac{1}{11,8}} \approx 9,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \text{ Dalje je:}$$

$$A = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,0095 \cdot 70 = 2,1 \text{ m}^2$$

A – površina za razmenu toplote (površina omotača cevi za nadzemno grejanje)

60-----voda-----53

$$\Delta t_{sr} = ? \quad \Delta t = 48 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t = 41 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t_{sr} = \frac{48 - 41}{\ln \frac{48}{41}} = 44,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

12-----vazduh-----12

Pa je:

$$Q_{razm} = K \cdot A \cdot \Delta t_{sr} = 9,7 \cdot 2,1 \cdot 44,4 = 904$$

W = 0,904 kW – može se povećati povećanjem dužine cevi

### Proračun razmenjene količine toplote kroz cevi podzemnog grejanja

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta t_{sr} \quad K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vode}} + \left( \frac{\delta_{cevi}}{\lambda_{cevi}} + \frac{\delta_{zemlje}}{\lambda_{zemlje}} \right) + \frac{1}{\alpha_{vazduha}}}$$

- dužina cevi 95 m
- dubina polaganja cevi 40 cm = 0,4 m
- prečnik cevi 1,9 cm = 0,019 m
- debljina cevi 3 mm = 0,003 m

$$\alpha_{vode} = ?$$

$$t_{sr,vode} = \frac{60 + 51}{2} = 55,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 985 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

$$w = \frac{V}{A} = \frac{m}{\rho \cdot A} = \frac{9/60}{985 \cdot 0,785 \cdot 0,019^2} = 0,54 \text{ m/s}$$

$$Nu = f(Re)$$

$$\mu = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}; \lambda = 0,654 \text{ W/mK}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu}$$

$$d = 0,019 \text{ m}; c_p = 4176 \text{ J/kgK}$$

$$Re = \frac{985 \cdot 0,54 \cdot 0,019}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 20212 \text{ - turbulentni}$$

tok

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_z}\right)^{0,14}$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4176}{0,654} = 3,19$$

$$Nu = 0,023 \cdot 20212^{0,8} \cdot 3,19^{0,4} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,653 \cdot 10^{-3}}\right)^{0,14} = 98,1 \quad \mu_{zida} = 0,653 \cdot 10^{-3} \text{ za } 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{vode} = Nu \cdot \frac{\lambda}{d} = 98,1 \cdot \frac{0,654}{0,019} = 3375 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{3375} + \left(\frac{0,003}{0,16} + \frac{0,4}{0,66}\right) + \frac{1}{11,8}} = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,019 \cdot 95 = 5,67 \text{ m}^2$$

60-----voda-----51

$$\Delta t_{sr} = ?$$

$$\Delta t = 48 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 39 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{sr} = \frac{48 - 39}{\ln \frac{48}{39}} = 43,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

12-----vazduh-----12

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta t_{sr} = 1,4 \cdot 5,67 \cdot 43,3 = 344$$

$$W = 0,344 \text{ kW}$$

## REZULTATI

Pilot-projekat plastenika u Jošaničkoj banji je 90m<sup>2</sup> odnosno 122 m<sup>3</sup> i neophodna je količina toplote 0,061 kW/m<sup>2</sup> odnosno 0,055 kW/m<sup>3</sup>.

Ako bi se koristio raspoloživi potencijal toplote geotermalne energije Jošaničke banje, a da se ona koristi za grejanje plastenika pri padu temperature od 64<sup>o</sup>C do 34<sup>o</sup>C odnosno Δt=30<sup>o</sup>C onda bi ta raspoloživa toplota iznosila 8.778 kW. Naš pilot-projekat plastenika, kako smo već rekli, troši toplotu od 24.000 kJ/h. Ako se sav potencijal koristi za grejanje plastenika, onda je površina koja se može koristiti za plastenike pri Δt = 30 <sup>o</sup>C i Q = 8.778 kW iznosi 143.901 m<sup>2</sup>.

Iz toplotnog bilansa da protok vode po dužnom metru cevi treba da je takav da se oslobađa 150 kJ/h za svaki dužni metar cevi za grejanje sledi da za ukupno 165 metara podzemnog i nadzemnog grejanja treba dovesti ukupno 9 kW toplote. Potreban protok vode iznosi 16 l/min, odnosno 691 t/mesec tj. 2.073 t za period od tri meseca.

Ovaj utrošak energije iz geotermalne vode nismo sveli na finansijske efekte, imajući u vidu da se ta voda sada ispušta u Jošaničku reku.

Projektovan i izgrađen plastenik korišćen je za gajenje paprike, paradajza i krastavca i to u periodu mart – novembar. Na osnovu izmerene mase proizvedenih prinosa, dobijeni su veoma zadovoljavajući rezultati. Ostvareni prinosi povrća u ovom vremenskom roku iznose:

- paprika 21 kg/m<sup>2</sup>
- paradajz. .22 kg/m<sup>2</sup>
- krastavac 34 kg/m<sup>2</sup>

Ekonomičnost korišćenja plastenika obzirom na sistem grejanja (geotermalna energija) ima prednosti u odnosu na konvencionalno gorivo (ugalj, mazut). To se ogleda u sledećem: može se koristiti tokom cele godine i za više namena; vrši se smena više vrsta kultura tokom cele godine. Ovim se osigurava visok godišnji prinos i dobra rentabilnost proizvodnje.

Ekološka opravdanost korišćenja geotermalne energije u odnosu na konvencionalne ener-



nte za proizvodnju povrća u plastenicima je potpuna. Ovde se ne prouzrokuje zagađenje životne sredine.

### ZAKLJUČAK

Proračun razmene toplote geotermalnih voda Jošaničke banje u realizaciji pilot-projekta plastenika je rezultat rada na projektu „Projektovanje i izgradnja demonstracionog sistema za korišćenje geotermalne energije Jošaničke banje u poljoprivredi“. Finansiran je i realizovan od strane Ministarstva nauke u okviru Nacionalnog programa energetske efikasnosti – korišćenje alternativnih izvora energije.

Proračuni i realizacija pilot-projekta imaju osnovne i dugoročne ciljeve, a to su:

- širenje korišćenja obnovljivih izvora energije u poljoprivredi;
- približavanje standardima razvijenih zemalja u zaštiti okoline;
- razvoj i komercijalizacija tehnologije i opreme za korišćenje obnovljivih izvora energije u poljoprivredi.

Ovo istraživanje predstavlja unapređenje razvoja u oblasti obnovljivih izvora energije. Posebno je značajna, dakle, primena kod pilot-projekta plastenika. Ovo pogotovo zato što je plastenik potpuno regulisan agroekosistem, a osnovni tip proizvodnje u plasteniku je zatvoren sistem. Ovo predstavlja i razvoj ovog privredno zaostalog područja.

### LITERATURA

- /1/ Arhiv opštine Raška, Program razvoja Jošaničke banje, Raška, 1998, 5 – 30
- /2/ Antula, J. D., L'industrie minerale en Serbie, Imprimerie d'etat du Royaume de Serbie, 1911, 35 – 38
- /3/ Komatina, M., Mineralne, termalne i geotermalne vode Kraljevačkog regiona, „Ecologica“, 1996, 50 – 56
- /4/ Milanović, R., Materijali i oprema za korišćenje geotermalne energije, IHTM, Beograd, 2002, 181
- /5/ Milivojević, M., Martinović, M., Korišćenje geotermalnih resursa u svetu, „Ecologica“, Beograd, 1996, 147 – 169
- /6/ Cerovina, A., Alternativni toplotni izvori geotermalne energije i savremena tehnička rešenja realizacije toplote u funkciji ekologije, „Ecologica“, Beograd, 1996, 247 – 254
- /7/ Lazić, B., Marković, V., Povrće iz plastenika, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2001, 22 – 60

- /8/ Jovanović, L., Mogućnost korišćenja mineralnih i termalnih voda u Srbiji, „Ecologica“, Beograd, 2004, 22 – 24
- /9/ Barać, M., Vitas, N. i drugi, Projektovanje i izgradnja demonstracionog sistema za korišćenje geotermalne energije Jošaničke banje u poljoprivredi, FTN, Kosovska Mitrovica, 2006, 41 – 54
- /10/ Barać, M., Nikolić, B. i drugi, Značaj i primena geotermalnih voda Jošaničke banje, Termotehnika, Beograd, 2007, 55 – 62
- /11/ Đajić, N., Ivezić, D., Tanasković, T., .: Mogućnost korišćenja geotermalne bušotine VS-2/H u Velikom selu balneološke rekreativne potrebe, Naučno-stručni časopis „Istraživanja i projektovanja za privredu“, br. 14. god 2006.,st. 11-18
- /12/ Mitić, M.: Indikatori održivosti kao instrument u upravljanjutehnološkim razvojem i prirodnim resursima, Naučno-stručni časopis „Istraživanja i projektovanja za privredu“, br. 17. god 2007.,st. 7-14
- /13/ Đajić, N., Prirodni gas energent XXI veka, Naučno-stručni časopis „Istraživanja i projektovanja za privredu“, br. 22. god 2008.,st. 49-59

### HEAT EXCHANGE CALCULATION OF GEOTHERMAL WATERS OF JOSANICKA SPA IN THE PLASTIC GREENHOUSE PILOT PROJECT REALIZATION

*In this paper there is investigated and described the potential of geo thermal spring Josanicka Spa. The thermal waters were investigated in laboratories of IHTM in Belgrade. In Experimental part of the paper the investigation methods were given in details, and also the obtained results. For the necessary development there were pilot project constructed in form of plastic greenhouse. For that purpose I was necessary to make mass and energy balance. The detailed calculation for the heat exchange of geothermal waters of Josanicka Spa in its usage realization was estimated. In application, monitoring, analyze and optimizing of the pilot project were done. The usage of geothermal waters of Josanicka Spa, is however an essential condition of future development of Raska region, and especially the Josanicka Spa.*

*Key words: geothermal energy, heat exchange, Spa, greenhouse, heating*

*Rad poslat na recenziju: 11.06.2009. godine*

*Rad spreman za objavu: 05.08.2009. godine*