

SMANJENJE STVARANJA NASLAGA PRI PROTOKU GEOTERMALNE VODE IZ SIJARINSKE BANJE

*Dragan T. Stojiljković¹, Nebojša Č. Mitić¹, Staniša T. Stojiljković¹,
Maja Đurović-Petrović², Života Tasić³*

SAŽETAK:

U instalacijama sa geotermalnom vodom veliki problem javlja se taloženjem depozita (naslaga), u izmenjivačima toplote smanjuje se efikasnost a u cevnim instalacijama otežano je održavanje.

Hemijski sastav geotermalne vode Sijarinske banje ukazuje da su najprisutniji joni: Na^+ (975-1400 mg/l), Ca^{2+} (37,3-66,8 mg/l), K^+ (5,3-58,3 mg/l) i Mg^{2+} (10-24,3 mg/l) od katjona i HCO_3^- (2586-3042 mg/l), Cl^- (58-145 mg/l) i SO_4^{2-} (27,6-91,6 mg/l) od anjona. Pri strujanju geotermalne vode stvaraju se naslage (depozit-aragonit). Rad daje prikaz eksperimentalnih rezultata smanjenja stvaranja naslaga, dobijenih u laboratorijskim uslovima, korišćenjem DDMF (*Dynamic Distortion of Molecular Forces*) metode generisanjem elektromagnetnog polja promenljive učestanosti. Izvršena je sinteza novog uređaja za generisanje elektromagnetskog polja promenljive učestanosti. Najbolji rezultati dobijeni su istovremenim tretmanom geotermalne vode pomoću elektromagneta i solenoida sa funkcijom testerastog talasnog oblika, i smanjenje iznosi oko 89,86%.

Ključne reči: *stvaranje naslaga, geotermalna voda, smanjenje naslaga, solenoid*

1. UVOD

U instalacijama sa geotermalnom, termomineralnom vodom jedan od velikih problema jesu naslage, koje se stvaraju na unutrašnjim zidovima cevi. One smanjuje efikasnost prenosa toplote na radne medijume, i neophodno je uvek imati dve paralelne instalacije, samim tim povećavaju se troškovi održavanja instalacija.

¹ Dragan T. Stojiljković, Nebojša Č. Mitić, Staniša T. Stojiljković, Tehnološki fakultet, Bul. oslobođenja 124, 16000 Leskovac, Srbija

² Maja Đurović-Petrović, Ministarstvo nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Beograd, Srbija

³ Života Tasić, Mašinski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

cije. Ako se u instalacijama koriste inhibitori za smanjenje stvaranja naslaga, oni menjaju hemijski sastav vode i ona posle termičkog iscrpljivanja dalje ne može da se koristi za piće ili u terapijske svrhe. Debljina naslaga u cevovodu u banji kreće se i do 10 cm na godišnjem nivou. U Sijarinskoj banji postoji bušotina tzv. B-4 iz koje može da se koristi oko 30 l/s geotermalne vode temperature od 75 do 78°C. Trenutno se koristi oko 6 l/s za grejanje hotela Gejzer.

Radi smanjenja stvaranja naslaga izvršena je sinteza novih uređaja pomoću kojih je tretirana geotermalna voda u laboratorijskim uslovima. Usvojena je nehemijska metoda za tretman vode i smanjenje stvaranja naslaga kako bi voda nakon tretmana mogla da se koristi u terapijske svrhe i kao mineralna voda.

2. SASTAV GEOTERMALNE VODE I SKLONOST VODE KA TALOŽENJU

Ispitivane su fizičko-hemijske karakteristike geotermalne vode Sijarinske banje, bušotine B-4, u dužem vremenskom periodu [5, 6, 7, 8].

Geotermalna voda Sijarinske banje (bušotina B-4) po pH-vrednosti (7,25 – 7,8) pokazuje slabo alkalnu reakciju. Prema temperaturi (75°C) spada u hipertermne geotermalne vode. Elektroprovodljivost (3955 – 4620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 20°C) i ukupan suvi ostatak (2898 – 3055 mg/l) svrstava je u mineralne vode sa visokom mineralizacijom. Po ukupnoj tvrdoći (9,1 – 10,6°dH) ova voda spada u umereno tvrde. Od katjona najzastupljeniji je natrijumov, Na^+ (975 – 1400,5 mg/l), a od anjona bikarbonatni, HCO_3^- (2586-3050 mg/l). U pogledu sklonosti ka taloženju i korozionog dejstva vode za karakterizaciju se koriste Lanželijeov (*Langelier*) indeks zasićenja i Riznerov (*Ryzner*) indeks stabilnosti (procena o sklonosti ka taloženju kalcijum karbonata na metalnim materijalima) [3, 4]. Pozitivna vrednost Lanželijeovog indeksa (1,03 – 1,85) ukazuje da ispitivana voda nije agresivna, ne rastvara zaštitni sloj kalcijum karbonata (koji je istaložen po zidovima cevi), nema sklonost ka koroziji. Riznerov indeks (4,10 – 4,82) pokazuje da ispitivana voda ima veoma izraženu sklonost ka taloženju karbonata [6, 8].

3. NEHEMIJSKE METODE ZA SMANJENJE NASLAGA

DDMF (*Dynamic Distortion of Molecular Forces*) spada u nehemijske metode, a zasnovana je na primeni magnetskog polja primenom AC indukcije. Princip primene magnetskog polja se zasniva na fizičkoj interakciji između magnetskog polja i jona. Kada joni prolaze kroz magnetsko polje, sile deluju tako da se haotično organizovani Ca^{2+} i Mg^{2+} joni delimično usmeravaju. Dejstvo se svodi na preorijentaciju magnetskih momenata datih jona pod uticajem spoljašnjeg magnetskog polja, na promenu faze nukleacije. U toku faze nukleacije rastvoreni joni se stalno međusob-

no sudaraju. Mali broj sudara rezultuje stvaranjem centra nukleacije jer molekuli moraju da dobiju izvestan iznos energije i moraju da budu odgovarajuće usmereni da bi počela nukleacija kristala. Tako dolazi do iskrivljenja odnosno distorzije molekula, kako se zove i metoda. Preorijentacija ima za cilj da promeni preferencijalnu površinu rasta kristala, što ima kao posledicu menjanje oblika i veličine kristala.

Potrebna je energija aktivacije da bi počelo formiranje jezgra. Kada nastane jezgro kristal zatim nastavlja da raste ako ima dotoka energije. Ako taj iznos energije nije dostupan, jezgro će se rastvoriti i ponovo preći u rastvor. Energija je rezultat kinetičke energije jona, odaje se kad su joni zajedno, a potrebna je za formiranje spoljašne površine jezgra.

Metode [1, 2] koje se koriste za smanjenje stvaranja naslaga mogu da se podelu u dve osnovne grupe:

- hemijske metode
- nehemijske metode

Nehemijske metode zasnivaju se na primeni:

- magnetskog i
- elektrostatičkog polja.

4. ISPITIVANJE SMANJENJA NASLAGA U LABORATORIJSKIM USLOVIMA

Pomoću originalnih, sintetizovanih i razvijenih uređaja za generisanje elektromagnetskog polja promenljive učestanosti u laboratorijskim uslovima vršena su sledeća ispitivanja tretmana geotermalne vode:

1) Pomoću uređajaja u kome se generiše signal zahvaljujući kome se generiše promenljivo elektromagnetsko polje u: solenoidu, u elektromagnetu, ili kombinacijom elektromagneta i solenoida. (Slika 1)

2) Pomoću signala koji se generiše softverski na računaru, zatim pojačava u dodatnom uređaju, i generiše se promenljivo elektromagnetsko polje u solenoidu ili elektromagnetu.

Signal je bio u obliku: sinusoide ili „testere”.

Kod solenoida vršena su ispitivanja sa različitim brojem namotaja, i to: 3 x 10 namotaja, 100 namotaja i 200 namotaja.

Tretman vode je vršen u vremenskim intervalima od 6, 12 i 24 sata. Iz tehničkih razloga, a pošto rezultati nisu pokazivali tendenciju poboljšanja produženjem vremena tretmana, ostala istraživanja vršena su u trajanju od 6 sati. Temperatura geotermalne vode je termostatski regulisana na 60 °C. Protok je bio konstantan i iznosio 0,015 l/s.

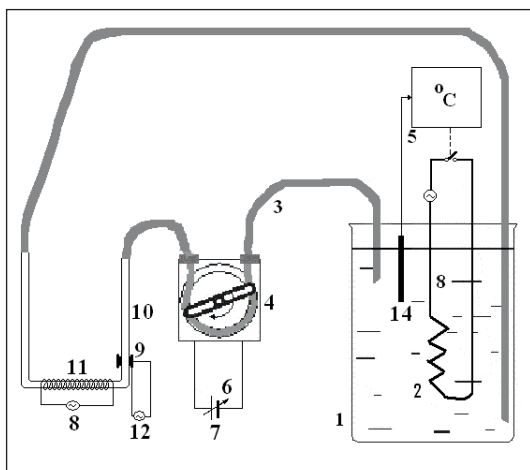
Vršena su ispitivanja stvaranja naslaga u laboratorijskim uslovima. Na slikama 1 i 2 dat je prikaz korišćene opreme.



Slika 1. Laboratorijska oprema



Slika 2. Uređaj za pojačanje softverski generisanog EMP



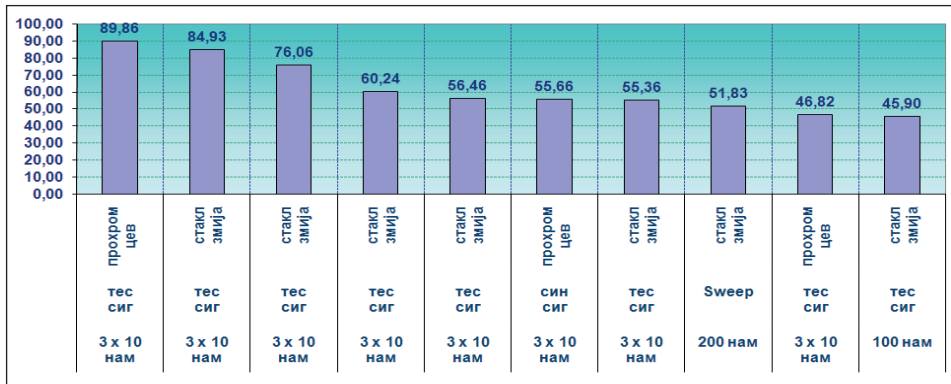
Slika 3. Shematski prikaz opreme za ispitivanje

Shematski prikaz ispitivačke jedinice za smanjenje stvaranja naslaga dat je na slici 3. U rezervoaru (1) u kome staje 24 l geotermalne vode, nalazi se grejač (2) i sonda (14) za merenje temperature vode. Pomoću termostata (5) održava se temperatura geotermalne vode na željenoj vrednosti. Napojnim vodom (3) pomoću peristaltne pumpe (4) voda se iz rezervoara (1) vodi kroz staklenu ili prohrom cev (10) prečnika $\varnothing 6$ (na kojoj se prati stvaranje depozita). Pomoću odvodnog voda geotermalna voda se vraća

u rezervoar (1). Peristaltna pumpa (4) napaja se preko pretvarača napona (7).

Napon se pomoću potencijometra (6) može da menja, a samim tim menja se i broj obrtaja peristaltne pumpe, odnosno protok geotermalne vode kroz staklenu cev (1). Na ulaznom delu staklene cevi postavljen je solenoid (11) (u kome se indukuje magnetsko polje), koji je povezan sa izvorom napona (8) odabrane frekventne karakteristike. Korišćen je i elektromagnet (9) povezan sa pretvaračkom jedinicom (12) kao izvorom napona. Preko ovog uređaja može se regulisati izlaski signal magnetskog polja.

Najbolji rezultati smanjenja depozita za 89.86% dobijeni su tretmanom geotermalne vode, koja struji kroz prohromsku nemagnetičnu cev 6 sati, testerastim signalom, pomoću solenoida koji se sastojao od 3 x 10 namotaja i koji je radio u kombinaciji sa jednim elektromagnetom. Dobar rezultat dobijen je i samo pomoću



Slika 4. Eksperimentalni rezultati za smanjenje depozita iznad 45%

ću solenoida, u istim uslovima, strujanjem geotermalne vode kroz staklenu zmiјastu cev (84.93)% (slika 4).

Signal u obliku testere u svim slučajevima daje bolje rezultate u odnosu na signal u obliku sinusoide. Smanjenja depozita iznad 45% dobijeno je pri generisanju, u većem broju slučajeva testerastog signala, osim kod prohromske cevi kada je generisan sinusoidni signal. Pri prebrisanju frekvence tzv. Sweep-u, signalu generisanom na računaru sa 200 namotaja dobijeni su rezultati koji obećavaju pa treba raditi na usavršavanju ovog uređaja jer može relativno jednostavno da se generiše bilo koja funkcija koja daje najbolje rezultate za geotermalne vode različitog hemijskog sastava i različitih fizičkih osobina.

ZAKLJUČAK

U laboratorijskim uslovima dobijeni su relativno dobri rezultati smanjenja naslaga u instalaciji sa geotermalnom vodom tretmanom geotermalne vode promenljivim elektromagnetskim poljem. Vršena su obimna ispitivanja ali su u radu dati rezultati smanjenja naslaga iznad 45%. Može se zaključiti da DDMF metoda može da se primeni za smanjenje naslaga u geotermalnim instalacijama ali treba nastaviti istraživanja primenom novih sistema za generisanje elektromagnetskog polja i to u dva pravca: usavršavanjem već urađenih uređaja, njihovom kombinacijom i u zavisnosti od hemijsko-fizičkih karakteristika vode, eksperimentalnim putem odrediti najefikasniju funkciju promene učestanosti elektromagnetskog polja kao i razvojem novog uređaja, kombinacijom elektromagneta, za stvaranje obrtnog elektromagnetskog polja, koje bi na osnovu teorijskih istraživanja dalo dobre rezultate.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je realizovan u okviru Nacionalnog programa energetske efikasnosti koga finansira Ministarstvo nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, projekta: *Istraživanja procesa formiranja i delimičnog ili potpunog uklanjanja depozita u instalacijama sa geotermalnom vodom Sijarinske banje primenom elektromagnetskog polja promenljive učestanosti za protoke do 1 l/s*, Ev. br. TR-18206 A.

LITERATURA

- [1] Fahidy, T. Z., Characteristics of surfaces produced via magnetoelectrolytic deposition, *Progress in Surface Science*, 68 (2001), pp 155-188.
- [2] Kronenberg, J. K., Experimental evidence for effects of magnetic fields on moving water, Institute of Electric and Electronic Engineers (IEEE) Conference: Transactions on Magnetics, vol. 21, No. 5, 1985, pp. 2059-2061.
- [3] Milanović P, 2002, „Materijali i oprema za korišćenje geotermalne energije”, Monografija, IHTM, Beograd, s. 53-59.
- [4] Mitić Č N, Stojiljković T D, Stojiljković T S, Pejić M D, Đurović-Petrović M, 2005, „Geotermalna energija Sijarinske banje”, *ENERGETIKA* 2005, „2” (IV), s. 145-146.
- [5] Mitić Č N, Stojiljković T D, Stojiljković T S, Đurović-Petrović M, 2007, „Korišćenje geotermalne vode Sijarinske banje za sušenje mrkve”, *PTEP* 2007, „1-2”, s. 70-71.
- [6] Stojiljković T D, Stojiljković T S, Mitić Č N, Pejić M D, Đurović-Petrović M, 2006, „Pilot plant for exploitation of geothermal waters”, *Thermal Science*, 10 (2006), 4, s. 195-203.
- [7] Stojiljković T D, Pejić D, Stojiljković T S, Stanković S, Đurović-Petrović M, 2004, „Mogućnosti iskorišćenja geotermalnih potencijala Srbije sa osvrtom na Sijarinsku banju”, *„ELECTRA III”*, H. Novi, s. 135-139.
- [8] Stojiljković T D, Stojiljković T S, Mitić Č N, Pejić M D, Đurović-Petrović M, 2005, „Analiza fizičko-hemijskih parametara geotermalne vode Sijarinske banje sa aspekta iskorišćenja toplotne snagem”, *IV ENEKO*, Alternativni izvori energije i budućnost njihove primene, Budva, s. 231-236.

REDUCTION OF THE CREATION OF DEPOSITS DURING THE FLOW OF GEOTHERMAL WATER FROM SIJARINSKA SPA

ABSTRACT:

In the installations with geothermal the creation of deposits cause the reduction of the heat exchangers and efficiency of pipe installations. The most abundant cation and anion in the geothermal water of Sijarinska spa are Na^+ (975-1400 mg/l), Ca^{2+} (37,3-66,8 mg/l), K^+ (5,3-58,3 mg/l) and Mg^{2+} (10-24,3 mg/l) and HCO_3^- (2586-3042 mg/l), Cl^- (58-145 mg/l) and SO_4^{2-} (27,6-91,6 mg/l). In this work the possibility of the reduction of the deposits creation using DDMF (Dynamic Distortion of Molecular Forces) was investigated. The best results were obtained with the combination of electro-magnet and solenoid with function form of waves, and this reduction amounted to 89,86%.

Key words: *deposits formation, geothermal water, deposits decrease, solenoid*