

## DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL GEOTHERMAL POTENTIAL IN VALLIS AUREA

### MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA GEOTERMALNE ENERGIJE U VALLIS AUREA

KOLBAH, Slobodan; SCURIC, Svjetlana; KULENOVIC, Ismet; SKRLEC, Mladen & GRIVIC, Franjo

**Abstract:** Knowledge about the geothermal potential for regional development, already pointed out in the previous conference, was built on experience with local spas, and INA Naftaplin's explorations, including geological, geophysical and deep well data. Our practical experiences lie in exploration, development and production of geothermal and mineral waters, and are based on cases with long-term production - references for new projects. Experience, appropriate tools, techniques and technologies, supported by IT and controlled by clearly defined economical criteria and risks are employed in exploration, development and production, with regard to the environment and in accord with national legislation and international standards.

**Key words:** geothermal energy, exploration, development, production, North Croatia

**Sažetak:** Saznanje o važnosti geotermalnog potencijala za razvoj regije, istaknuto na prethodnoj konferenciji, bazirano je na iskustvu lokalnih toplica te na osnovi istraživanja INA Naftaplin-a, uključujući geološke, geofizičke i podatke iz dubokih bušotina. Naša iskustva dolaze iz istraživanja, razrade i proizvodnje geotermalnih i mineralnih voda, a bazirana su na tipičnim primjerima s dugogodišnjom proizvodnjom i kao takva reference za izradu novih projekata. U istraživanju, razradi i proizvodnji koriste se iskustvo, odgovarajući alati, tehnike i tehnologije, uz podršku informatičke tehnologije te kontrolu provjerenim ekonomskim kriterijima i jasno definiranim rizicima, vodeći računa o okolišu i u skladu s važećom nacionalnom i međunarodnom propisima.

**Ključne riječi:** geotermalna energija, istraživanje, razrada, korištenje, Sjeverna Hrvatska



**Authors' data:** Slobodan Kolbah, mr., INA, slobodan.kolbah@ina.hr; Svjetlana Scuric, dipl ing, INA, svjetlana.scuric@ina.hr; Ismet Kulenovic, dipl ing, INA, ismet.kulenovic@ina.hr; Mladen Skrlec, dipl ing, INA, mladen.skrlec@ina.hr; Franjo Grivic, dipl ing, INA, franjo.grivic@ina.hr

## 1. Uvod

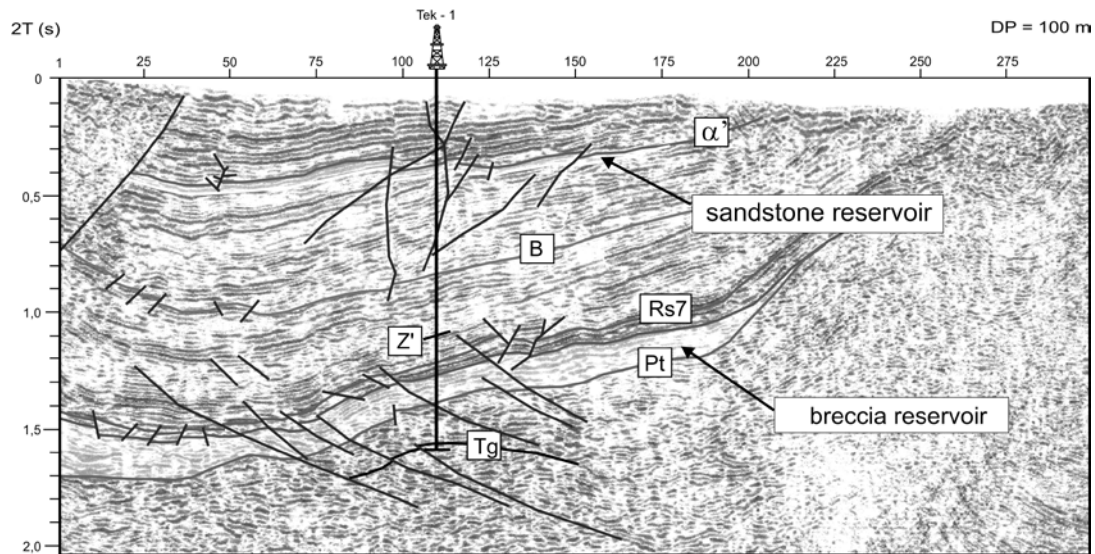
Korištenje lokalno raspoložive energije geotermalne i mineralne vode važan je element razvoja regije. Ova vodilja navela je tim autora da se ponovo s ovom temom javi i na drugoj međunarodnoj konferenciji „Vallis Aurea“ usredotočenu na regionalni razvoj ovog već u rimsko vrijeme deklariranog zlatnog prostora. Prethodnim izlaganjem [1], kao i u novijim izlaganjima [2], prikazani su osnovne indikacije i mogućnosti istraživanja i proizvodnje geotermalne energije, no prema slabom odazivu na ove početne informacije, ovim javljanjem ponovo pokušavamo skrenuti pažnju na ovaj važan element razvoja prostora, i pojedinim proširenjima i produbljivanjima problematike želimo bolje rasvijetliti materiju. Od 2008.godine na energetskom, zakonodavnom i svim drugim ravninama, došlo je do značajnih promjena i novina. Na primjer cijena široko korištenog energenta –prirodnog plina, deregulirana je od socijalne kategorije na tržišne uvijete, prošle godine proglašen je važećim novi zakon o rudarstvu, INA je međunarodna kompanija pa je gotovo šezdeset posto energenata koje je ona kontrolirala izvan kontrole države. Različiti nivoi uprave, pa i samostalni privredni subjekti pokazuju interes za korištenje geotermalne energije. Država je potpisala obaveze za uvođenje obnovljivih i čistih izvora energije, ali na petogodišnjem izvješće na WGC 2010 [3] osim uz poboljšanje preciznosti izvještavanja ne miče se s poznatih vrijednosti. U svezi komunikativnosti, prethodna publikacija dana je na engleskom jeziku, ali zbog slabog odziva ova je na hrvatskom.

## 2. Osnovne geotermalne značajke ležišta razmatranog prostora

Što je geotermalni potencijal i kako ga izražavamo razmatramo na primjeru jugozapadnog dijela Panonskog bazena odnosno sjevernog dijela Republike Hrvatske, gdje je on najavljen brojnim termalnim izvorima, popularno toplicama. Južni dio države ili geološki prostor Dinarida, drugih je značajki geotermalni potencijal pa pored indikacija kao Istarske toplice i subtermalnih pojava, ovdje ne razmatramo Istraživanjem i proizvodnjom ugljikovodika u Panonskom bazenu proširena su saznanja o njegovom geotermalnom potencijalu. Ovim radovima definirana je mogućnost javljanja ležišta i korištenja dodatne energetske mineralne sirovine: „termalne i mineralne vode“. Izdvojen je velik broj potencijalnih lokaliteta i pušteno u proizvodnju nekoliko geotermalnih polja od kojih su Bizovac i RC Mladost u Zagrebu koriste preko trideset pet godina. Mogućnosti iskorištavanja geotermalnog potencijala su znatno veća i zbog znatnog poskupljenja uobičajenih energenata na tržištu i potrebom korištenja čišćih i obnovljivih izvora energije, ovaj domaći resurs postaje ozbiljan element razvoja naših prostora. Geotermalni potencijal u Panonskom bazenu, prije svega je posljedica povišenog pritjecanja topline iz Zemljine nutrine na površinu, zbog regionalnog smanjenja debljine Zemljine kore. Tako ona, na prostoru Panonskog bazena Republike Hrvatske doseže vrijednosti preko  $100 \text{ mW/m}^2$  dok na prostoru Dinarida ima niske vrijednosti i ispod  $10 \text{ mW/m}^2$ . Ova regionalna pogodnost u sjevernom dijelu zemlje, javlja se uslijed bolje termičke vodljivosti stijena, kroz tanju zemljinu koru a mjestimice u pojedinim dubokim vodo-nosnicima povećan je i

prijenosom topline nošene na česticama vode. Dubokim bušotinama takvu vodu dovodimo do potrošača, odnosno do korisnika hidro geotermalne energije. Ove efekte pratimo i na promjenama geotermalnog gradijenta. Za prosječnu, konsolidiranu, Zemljinu koru iznosi  $33\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  ( $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) a regionalna pozitivna anomalija na prostoru Panonskog bazena prosječno je  $48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  ( $4,8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ). Na pojedinim geotermalnim ležištima vrijednosti geotermalnih gradijenata često zbog efekata termičke kondukcije u masivnim vodo-nosnicima prelaze vrijednost, pa tako na Zagrebačkom geotermalnom polju ta vrijednost iznosi  $70\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  ( $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ). Na prostoru Vallis Aurea se očekuje nadprosječna vrijednost od  $55\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  ( $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ).

### 2D SEISMIC LINE POŽ KOT - 3 - 80

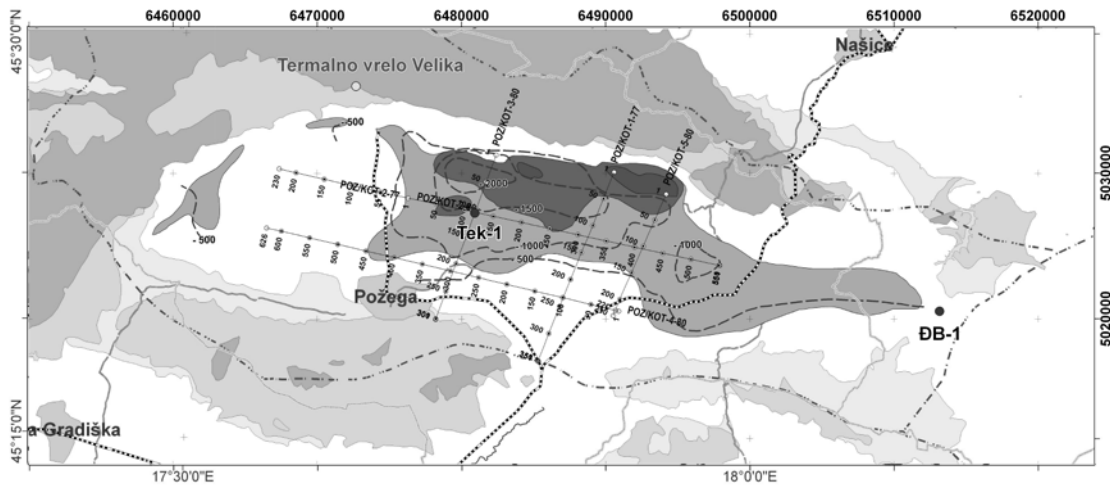


Slika 1. Interpretacija 2D seizmičkih profila PK-3-80 i duboke bušotine Tek-1 s naznačenim geotermalnom vodo-nosnicima u razlomljenim miocenskim karbonatima ispod markera Rs7 i krovine pješčenjaka donjeg pontaa, ispod markera alfa.

Da bi imali geotermalna ležišta pored pogodnih temperatura neophodni su i duboki rezervoari ili vodo-nosnici geotermalne vode. Najznačajnije nalazimo u podlozi tercijarnih stijena Panonskog bazena. Tu, među različitim raspucanim stijenama najznačajnija su mezozojske masivne raspucane karbonatne mase stijena. One na, geotermalnim poljima Lunjkovac – Kutnjak, Velika Ciglena, Zagrebačkom geotermalnom polju i mnogim drugim mjestima formiraju masivne, preko tisuću metara debele vodo-nosnike. Većina toplica Hrvatske vezano je uz ovaj najznačajniji geotermalni vodo-nosnik, pa tako i ovdašnje toplice kod Lipika, Daruvara i Velike.

Iako tercijarne naslage imaju pokrovni odnosno izolatorski karakter, za geotermalni prtok na površinu i očuvanje geotermalnih ležišta i unutar njih nalazimo geotermalne vodo-nosnike, kako u karbonatnim sekvencama miocenske starosti, u Požeškoj kotlini utvrđenim i dubokom bušotinom Tekić-1 (Tek-1) i u dobro propusnim pješčanim tijelima panonske i pontske starosti, registriranim istom bušotinom (Slika 1).

U našem izlaganju na prethodnom skupu [1] prikazano i mogućnost njihovog rasprostranjenja, zahvaljujući interpretaciji postojećih geofizičkih mjerenja, konkretno 2D seizmičkih profila, u Zlatnoj dolini (Slika 2). Terme Đakovačke Breznice na prirodnim izvorima i bušotini Đakovačka Breznica-1 (ĐB-1) vezane su uz karbonate miocenske starost.



Slika 2. Interpretacija na osnovi mreže 2D seizmičkih profila i duboke bušotine Tek-1, mogućeg povoljnog rasprostranjenosti potencijalnih geotermalnih vodo-nosnika u karbonatnim stijenama miocena (svjetlija šrafura) i pješčenjacima donjeg pontaa (tamnija šrafura).

Iskustva na istraživanju i proizvodnji geotermalne i mineralne vode u Panonskom bazenu Republike Hrvatske omogućila su naznaku njenog neiskorištenog potencijala na prostoru Vallis Aurea. Tu je utvrđeno prisutnost svih spomenutih tipova stijena a njihov povoljan položaj za formiranje ležišta indiciran je interpretacijom geološko geofizičkih opažanja i mjerenja uključivo i 2D seizmičkih profila, bušenjem i hidrodinamskim ispitivanjem i višegodišnjom geotermalnom proizvodnjom tih dubokih bušotina, što čini solidnu osnovu za detaljna istraživanja i korištenje geotermalne vode. Kvantifikacija rezervi geotermalne vode i obaveze racionalnog gospodarenja s njima, regulira Zakonom o rudarstvu i posebno Pravilnikom o prikupljanju podataka, načinu evidentiranja i utvrđivanja rezervi mineralnih sirovina te o izradi bilance tih rezervi. Ležišta geotermalne vode, odnosno

$$\text{dostupne rezerve} \quad W = \frac{A \cdot h_{ef} \cdot \phi}{B_w} \quad (\text{m}^3) \quad (1)$$

ovise o rezervoarskom prostoru dreniranog dijela ležišta: površini  $A$ , efektivnoj debljini  $h_{ef}$  i udjelu šupljina u njemu  $\phi$ , odnosno  $V_p$  i volumnom faktor geotermalnog fluida  $B_w$ . Analizom hidro-dinamičkih mjerenja i drugim ispitivanjima moguće je procijeniti: srednju efektivnu debljinu ležišta -  $h_{ef}$  (m).

Praćenjem ležišnog tlaka pri ustaljenoj proizvodnji, hidro-dinamskim mjerenjima moguće je pri dosizanju "polu-ustaljenog" stanja protjecanja, procijeniti i obujam šupljikavog prostora ležišta,  $V_p$  ( $\text{m}^3$ ). U ležišta s zadovoljavajućim prirodnim prihranjivanjem nije potrebno vraćati korištenu geotermalnu vodu, dok kod ležišta gdje to nije slučaj, utisnom bušotinom termički iskorišten fluid mora se vraćati. Geotermalna snaga i energija, odnosno količine topline akumulirane u geotermalnoj vodi, razmatraju se ukupne i bilančne količine.

$$\text{Ukupne količine } (G_w): G_w = (c\rho)_{wout} \cdot (T_{wout} - T_s) \quad (\text{J}/\text{m}^3) \quad (2)$$

$$\text{Bilančne količine } (G_{wp}) \text{ su: } G_{wp} = (c\rho)_{wout} \cdot (T_{wout} - T_{w\eta}) \quad (\text{J}/\text{m}^3) \quad (3)$$

Ta se obujamska specifična toplina vode  $(c\rho)_{wout}$  množi korištenom temperaturnom razlikom, odnosno razlikom temperature na ušću proizvodne bušotine ( $T_{wout}$ ) i temperature na granici iskorištenja ( $T_{w\eta}$ ). Neiskorišteni dio topline (do ukupne količine) naziva se izvanbilančni. Toplinska snaga ( $P_t$ ), odnosno godišnja proizvodnja geotermalne energije ( $E_g$ ), procjenjuje se za potrebe tehno-ekonomske ocjene prema izrazu:

$$P_t = q_w \cdot (c\rho)_{wout} \cdot (T_{wout} - T_{w\eta}) \quad (W_t) \quad (4)$$

gdje je  $q_w$  prosječna izdašnost bušotine.

Ako se toplinska snaga pomnoži brojem sati geotermalne proizvodnje u godinu dana ( $t_g$ ), dobiva se godišnje iskorištenje geotermalne topline:

$$E_g = P_t \cdot t_g \quad (Wh_t) \quad (5)$$

Izdašnost bušotina, ( $q_w$ ) dobro definira Darcyjev izraz:

$$q_w = \frac{2\pi \cdot k \cdot h \cdot (p_R - p_{tf})}{\mu_w \cdot B_w \cdot \ln \frac{r_d}{r_w}} \quad (m^3/s) \quad (6)$$

Za utvrđivanje proizvodnih karakteristika bušotina često se određuje i Indeks produktivnosti IP ( $m^3/dan \text{ bar}$ ). Izdašnost se regulira radnim tlakom na ušću bušotine.

Iz ovih izraza vidimo da je energetska, pa time i ekonomska opravdanost proizvodnje geotermalne vode direktno proporcionalna sa što višom: temperaturom, količinom i ravnomjernijom proizvodnjom tijekom cijele godine. To je moguće postići s takozvanom alternativnom i kaskadnom uporabom za razne namjene i temperature korištenja. Promjena kakvoće geotermalne vode, odnosi se na promjene temperature i kemijska svojstva tijekom predviđenog proizvodnog vijeka od dvadesetak ili više godina. To je ključni tehnološki element koji bi jamčio opravdanje uložениh sredstava. Određuju se procjenom vremena ( $t_{cT}$ ) tijekom kojeg se može pridobivati geotermalna voda konstantne temperature iz kvocijenta ukupnog potencijala ležišta i godišnje proizvodnje:

$$t_{cT} = \frac{A \cdot h_{ef} \cdot (c\rho)_R}{Q_w \cdot (c\rho)_w} \quad (\text{god}) \quad (7)$$

Nakon razdoblja s konstantnom temperaturom geotermalne proizvodnje, rabi se metodologija procjene dinamike promjene temperature  $T_R$  (K, °C) geotermalne vode.

$$T_R = T_{win} + (T_{wi} - T_{win}) \cdot erf \frac{A \cdot \sqrt{\lambda \cdot (c\rho)_m}}{q_w \cdot (c\rho)_w \cdot \sqrt{t_{cT} - \frac{A \cdot h \cdot (c\rho)_R}{q_w \cdot (c\rho)_w}}} \quad (K, ^\circ C) \quad (8)$$

Iz ovog kratkog prikaza potrebnih ključnih parametara može se odrediti ponderirana pouzdanosti njihove procjene te kvantificirati za izradu:

- tehnološko-tehničkih mogućnosti eksploatacije ležišta
- rezervi kao osnove tehno-ekonomske ocjene njihove vrijednosti

kao osnove za donošenje odluke i prikupljanja sredstava za korištene geotermalnog potencijala.

### 3. Mogućnosti iskorištavanja geotermalne vode

Način korištenja geotermalni potencijal u RH obrađen je multidisciplinarnim pristupom projektu GEOENA [4]. U osnovi, njeno korištenje ovisi o temperaturi geotermalne vode na ušću bušotine, pa ovisno o tome može služiti kao:

20-110°C (*vruća voda*)

20–30°C: rekreacijske svrhe, zagrijavanje vode u bazenima za kupanje, bio-degradaciju, odleđivanje, topljenje snijega, uzgoj riblje mladi i riba

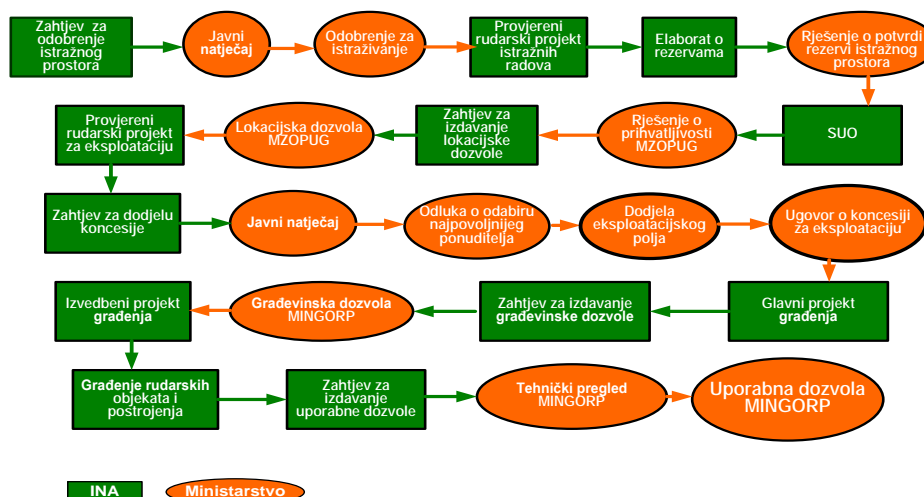
40-110°C: grijanje tla - uzgoj poljoprivrednih usjeva, uzgoj stoke, grijanje prostora, zgrada, staklenika, rashlađivanje, sušenje, odleđivanje, industrijske primjene

110-200°C (zasićena vodena para)

120–180°C: industrijske primjene, proizvodnja električne struje

### 4. Zaključak

Kod korištenja geotermalne energije iz dubokih bušotina, najskuplja su ulaganja u istražne radove i izgradnju same bušotine, što iznosi i preko pedeset posto ukupnog ulaganja u izgradnju korisničkog objekta. Glavni razlog do sada slabo iskorištenih geotermalnih potencijala u nas su potrebna velika investicijska ulaganja, slabo poznavanje, čak i postojećih saznanja i iskustava, niska profitabilnost projekata, u usporedbi s dosadašnjim energentima šire upotreba kao plin i slično. Pored rasta cijena tih energenata, iskorištavanje energije geotermalne vode može se pospješiti uz podršku države (oslobodenjem od carine, PDV-a), a financiranje projekta, treba usmjeriti na zainteresirane privatne ulagače i pogotovo na lokalne upravne jedinice, koje mogu ostvariti najbolje aranžmane s Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost te fondovi EU. Većina istražnih i proizvodnih bušotina INA – Naftaplina, nakon napuštanja i završetka crpljenja ugljikovodika, ovisno o svojoj tehničkoj opremljenosti i dohvaćanju pojedinih ležišta geotermalne vode mogu direktno sudjelovati ili nositi saznanja o mogućnosti njene proizvodnje. Poznavanje i razumijevanje ležišta geotermalne vode, mogu bitno utjecati na korištenje i često dramatično smanjenje ulaganja u neistraživanje i korištenje geotermalne energije, u pojedinim regijama sjeverne Hrvatske. Najveća potencijalna ležišta geotermalne energije su vodena okruženja proizvodnih plinskih i naftnih polja, Molve, Kalinovac Beničanci i druga, ali i pojedine, čak i usamljene bušotine kao što je Tekić-1 (Tek-1) i Đakovačka Breznica-1 (ĐB-1) uz kvalitetna i vrlo skupe geološko-geofizičke radove i njihovu interpretaciju mogu biti solidna osnova za istraživanje i proizvodnju geotermalne energije na prostoru Vallis Aurea-e. Prema rezultatima i iskustvima istraživanja i proizvodnje INA Naftaplina, moguća je izrada regionalnog i detaljnih istraživanja s ciljem definiranja rezervi i realizacije proizvodnje ležišta mineralne i geotermalne vode, sukladno važećim zakonskim (Slika 3).



INA      Ministarstvo

Slika 3. Slijed zakonskih aktivnosti od istraživanja do stjecanje i korištenje novog eksploatacijskog polja, prema Zakonu o rudarstvu NN75/90 Intenzivna suradnju s brojnim županijama, gradovima i općinama u vezi naznake potencijalnih objekata za korištenje geotermalnih voda i njihovo uklapanje u Prostorne planove uređenja, nastojimo povećati interes za korištenje ove energije u njihovom razvoju. Vođenjem istražnog procesa, elaboriranjem utvrđenih rezervi i rudarskih projekata za eksploataciju i izgradnju u skladu s zakonskim propisima i pravilima rudarske struke čini cjelovit okvir uspješnog razvoja ovog nacionalnog resursa. Prava vrijednost korištenja geotermalne energije nije u direktnoj dobiti iz njene proizvodnje već je u pokretanju niza privrednih djelatnosti, te je logično da bi nosioci ovog regionalnog razvoja trebala biti lokalna uprava i privredni subjekti, kojima se ovom prilikom obraćamo. Pored pokretača ekonomskog razvoja regije, korištenje geotermalne energije može činiti i siguran udio u budućoj energetskej bilanci, ekološki je čist i obnovljiv, smanjuje potrošnju fosilnih goriva i uklapa se u Europske Direktive o korištenju obnovljivih izvora energije

## 5. Zahvala

Autori zahvaljuju INA-Naftaplinu, Veleučilištu u Požegi i udruzi DAAAM International, što je omogućio pripremu i tiskanje ovog članka a brojnim kolegama na pomoći i savjetima prilikom izrade ovog više disciplinarnog prikaza.

## 6. Literatura

- [1] Kolbah, S.; Šćuric, S.; Kulenović, I.; Škrlec, M. & Grivić, F. (2008) Geothermal and Mineral Waters in Vallis Aurea, *1<sup>st</sup> International Conference "Vallis Aurea"*
- [2] Kolbah, S. & Škrlec, M. (2010) Pregled glavnih značajki Hrvatskih geotermalnih resursa, okrugli stol „GEOTERMALNE VODE HRVATSKE“, Hrvatsko društvo za zaštitu voda
- [3] Jelić, K.; Golub, M.; Kolbah, S.; Kulenović, I. & Škrlec, M. (2010) Croatia Geothermal Resources Updates in the Year 2009, Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25-29
- [4] Grupa autora (1998) GEOEN, Program korištenja geotermalne energije–prethodni rezultati i buduće aktivnosti, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb



Photo 075. Goose / Guska