

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XIV SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA



ZLATIBOR
17-20. maj 2012. godine



XIV SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Vladica Cvetković, dekan
Rudarsko-geološki fakultet

TEHNIČKI UREDNICI:

Nevena Savić, dipl. inž.
Marina Jovanović, dipl. inž.

TIRAŽ:

150 primeraka

ŠTAMPA:

Štamparija Grafik Centar

Na 123. sednici Nastavno-naučnog veća Departmana za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je utvrđena saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta od 24.05.2011.

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd
556.3(082)

SRPSKI simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem (14 ; 2012 ; Zlatibor)
Zbornik radova XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem,
Zlatibor, 17-20. maj 2012. godine /
[organizator Rudarsko-geološki fakultet ... et al.]. - Beograd : #Univerzitet,
#Rudarsko-geološki fakultet, 2012 (Beograd : Grafik centar).
- [18], 642 str. : ilustr. ; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Tiraž 150. - Str. [7-8]:
Uvodna reč organizatora / Dejan Milenić, Zoran Stevanović. - Abstracts. -
Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-236-4

a) Hidrogeologija - Zbornici
COBISS.SR-ID 190619660

ORGANIZACIONI ODBOR:

Predsednik:

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Organizacioni sekretari:

Nevena Savić, dipl. inž.

Đuro Milanković, dipl. inž.

Članovi:

1. *Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Olivera Krunić, dipl. inž.*
3. *Dr Vladimir Beličević, dipl. inž.*
4. *Dr Milovan Rakijaš, dipl. inž.*
5. *Mihajlo Mandić, dipl. inž.*
6. *Zoran Danilović, dipl. inž.*
7. *Dragan Mitrović, dipl. inž.*
8. *Nenad Toholj, dipl. inž.*
9. *Vladan Kocić, dipl. inž.*
10. *Dejan Drašković, dipl. inž.*
11. *Ivan Đokić, dipl. inž.*
12. *Zorica Vukićević, dipl. inž.*
13. *Ivana Demić, dipl. inž.*
14. *Neda Dević, dipl. inž.*
15. *Uroš Urošević, dipl. inž.*
16. *Tibor Slimak, dipl. inž.*
17. *Dušan Đurić, dipl. inž.*
18. *Mihajlo Kurela, dipl. inž.*

NAUČNI ODBOR:

Predsednik:

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

Članovi:

1. *Prof. dr Nenad Banjac, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Adam Dangić, dipl. inž.*
3. *Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.*
4. *Prof. dr Budimir Filipović, dipl. inž.*
5. *Prof. dr Nadežda Dimitrijević, dipl. inž.*
6. *Prof. dr Borivoje Mijatović, dipl. inž.*
7. *Prof. dr Milan Dimkić, dipl. inž.*
8. *Prof. dr Mićko Radulović, dipl. inž.*
9. *Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*
10. *Prof. dr Slobodan Vujasinović, dipl. inž.*
11. *Prof. dr Vojislav Tomić, dipl. inž.*
12. *Prof. dr Milojko Lazić, dipl. inž.*
13. *Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.*
14. *Prof. dr Ivan Matić, dipl. inž.*
15. *Prof. dr Mihailo Milivojević, dipl. inž.*
16. *Prof. dr Milenko Pušić, dipl. inž.*
17. *Prof. dr Petar Papić, dipl. hem.*
18. *Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.*
19. *Dr Milenko Vasiljević, dipl. inž.*
20. *Mr Milena Zlokolica Mandić, dipl. inž.*

REDAKCIONI ODBOR:

Članovi:

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Doc. dr Vesna Ristić-Vakanjac, dipl. inž.

Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.

Doc. dr Igor Jemcov, dipl. inž.

ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:

UNIVERZITET U BEOGRADU

RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

u saradnji sa

DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM

NACIONALNIM KOMITETOM IAH

SPONZORI:

GENERALNI SPONZOR:

Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi"

POKROVITELJ:

Opština Čajetina

SPONZORI:

SIEMENS d.o.o.

REHAU d.o.o.

GRAD ČAČAK

DONATORI:

Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet

„BeoGeoAqua“ d.o.o.

"HidroGeoEko Inženjering" d.o.o.

„Geo ing system“ d.o.o.

„Hidro-geo rad“ d.o.o.

„Geco-inženjering“ d.o.o.

Republički zavod za geološka istraživanja, Republika Srpska

„Zlatibor voda“

„Mašinoprojekt KOPRING“ a.d.

FAKTORI FORMIRANJA SISTEMA UGLJOKISELIH MINERALNIH VODA SRBIJE FACTORS CONTRIBUTING TO THE FORMING OF SYSTEMS OF CARBONATED MINERAL WATERS OF SERBIA

Goran Marinković¹, Petar Papić², Jana Stojković², Veselin Dragišić²

¹ Geološki institut Srbije, Rovinjska 12, 11000 Beograd. E-mail: g.marinkovic@gis.co.rs

² Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd.

E-mail: ppapic@rgf.bg.ac.rs

APSTRAKT: Na teritoriji Srbije registrovano je više od 65 pojava ugljikiseli-mineralnih voda (UMV). Od toga čak 93 % formiranih sistema UMV vezano je za poznatu geotektonsku jedinicu Vardarska zona (VZ) i margine susednih jedinica prema VZ. Sa udaljavanjem od VZ, istočno, zapadno i severno, pojave UMV su retke ili ih uopšte nema. Isto područje dominantnog rasprostranjenja pojava UMV se karakteriše i Tc magmatizmom, složenom geološko – strukturnom građom i dubokim neotektonskim strukturama. Na osnovu vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ u slobodnom CO_2 i HCO_3^- za više pojava UMV Srbije i u karbonatima i CO_2 u tečnim inkluzijama za više hidrotermalnih ležišta u svetu, konstatovano je da u litosferi Srbije ugljenik može da vodi poreklo iz karbonata hidrotermalnih procesa, karbonata sedimentnih i metamornih stena i karbonata magmatkih stena. Postignuti rezultati su jasno pokazali da se u domenu VZ nalaze glavni generatori CO_2 i da se degazacija CO_2 odvija kroz procese temperaturne metamorfoze oksidacionih formi karbonata (dolomita, kalcita). Na osnovu poznatih temperatura transformacije karbonata pri kojima se oslobađa CO_2 i geotemperaturnih uslova u litosferi Srbije, zaključeno je da CO_2 u domenu VZ može da se generiše iz procesa temperaturne transformacije karbonata ispod 3 km dubine. Tako je u rezultatu istraživanja UMV Srbije zaključeno da formiranje sistema UMV u litosferi Srbije zavisi, pre svega, od geohemijskih, geotemperaturnih, magmatskih i strukturno – neotektonskih faktora.

Ključne reči: CO_2 , mineralne vode, magmatizam, geohemija, neotektonske stukture, Srbija.

ABSTRACT: There are more than 65 carbon-dioxide mineral waters on the territory of Serbia (CDMW). Over 93 % of CDMW systems are in the Vardar zone geotectonic unit and on the margins of the nearby units. Going farther to the East, West and North from the Vardar zone there are none or only few CDMW. This area is also characterized by tertiary magmatism, complex geology and deep neotectonic structures. Based on the $\delta^{13}\text{C}$ values in CO_2 and HCO_3^- in several CDMW in Serbia and also in carbonates and CO_2 from liquid inclusions in several hydrothermal deposits around the world, it was concluded that the CO_2 in lithosphere in Serbia could originate from hydrothermal carbonates, carbonates from sedimentary, metamorphic and magmatic rocks. Results clearly show that main generators of CO_2 are located in the Vardar zone and that CO_2 degasification is accomplished through temperature metamorphose of carbonates (dolomite, calcite). Based on the carbonate transformation temperature and temperature conditions in lithosphere of Serbia, generation of CO_2 is possible from carbonate temperature transformation, under 3 km depth. Therefore, from the study of CDMW of Serbia it was concluded that forming of the CDMW systems in the lithosphere depends on geochemical, temperature, magmatic and structural-neotectonic conditions.

Key words: CO_2 , mineral waters, magmatism, geochemistry, neotectonic structures, Serbia.

Uvod

Najveći broj registrovanih pojava ugljikiseli mineralnih voda (UMV) rasprostranjeno je u području centralnog južnog dela teritorije Srbije. Van tog centralnog dela registrovan je manji broj usamljenih pojava, a u severnom, istočnom i jugoistočnom delu Srbije nisu registrovane. Na teritoriji Srbije pojave UMV su grupisane tako da markiraju različite regionalne geološke strukture (antiklinale, razlomne zone i dr.). O ovim mineralnim vodama Srbije postoji jako mali broj objavljenih radova. Vredni rezultati nalaze se u monografiji Protića (1995), gde je ovaj autor tretirao sve mineralne vode Srbije i gde je najveći broj pojava UMV svrstao u grupu po genetskoj vezi sa metamorfizmom a mali broj i po njihovoj vezi sa vulkanizmom i sedimentnim basenima. Isti autor je za sve pojave dao kratak opis geološko-strukturne građe užih području pojava, za UMV njihove fizičke osobine, hemijski sastav, gasni sadržaj i radioaktivnost i opis važnih izvedenih istraživanja prikupljenih iz fondovske dokumentacije.

Našim istraživanjima je postavljen cilj da se odrede osnovni faktori formiranja sistema UMV i tako definišu zakonitosti njihovog rasprostranjenja i zaleganje u litosferi Srbije. Pri istraživanjima faktora formiranja sistema UMV Srbije uzeti su u obzir rezultati o modelski definisanim geotemperaturnim uslovima u litosferi Srbije, rezultati ispitivanja izotopa $\delta^{13}\text{C}$ u UMV i rezultat utvrđen izotopskim ispitivanjima o infiltracionom poreklu UMV (Milivojević, 1989). Radi definisanja dubine povoljnih geotemperaturnih ulova za proticanje geohemijskih procesa transformacije oksidacionih formi karbonata i oslobađanje CO_2 korišćeni su rezultati istraživanja in-situ metodama u bušotinama u Jeloustonskom parku u SAD (Patrick and White, 1968).

Za sisteme UMV Srbije utvrđena je njihova prostorna veza sa geostrukturnom jedinicom VZ, Tc magmatizmom i regionalnim neotektonskim strukturama. Zatim je utvrđeno, da je poreklo ugljenika primarno vezano za oksidacione forme karbonata u Ptz, Pz i Mz sedimentnim i metamorfnim stenama i da se CO_2 generiše u domenu VZ na dubini ispod 3 km. Odnosno, na dubinama gde vladaju povoljni geotemperaturni uslovi za proticanje geohemijskih procesa temperaturne metamorfoze karbonata i oslobađanje CO_2 . Postignuti rezultati su omogućili da se zaključi da su osnovni faktori formiranja sistema UMV u litosferi Srbije geohemijski, geotemperaturni, magmatski i strukturno-neotektonski.

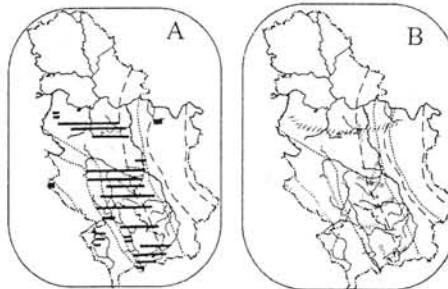
Rezultati i diskusija

Rasprostranjenje sistema UMV u geostrukturnom pogledu

Sistem UMV podrazumeva celinu povezanih poroznih vodonosnih geološko-strukturnih elemenata u prostoru litosfere između oblasti hranjenja, zone mešanja infiltracionih voda i CO_2 i zone dreniranja UMV.

Rasprostranjenje sistema UMV u odnosu na poznate geološko-tektonske jedinice teritorije Srbije (Dimitrijević, 1995) je prikazano na slici 1. Na osnovu broja pojava u pojedinim geološko-tektonskim jedinicama, konstatovano je da se oko 37 % pojava javlja na području Vardarske zone (VZ), 25 % na području Gnajnsnog kompleksa (GK) Srpsko-makedonske mase (SMM), 8 % na području Drinsko-ivanjičkog elementa (DIE), 4 % na području Ofiolitskog pojasa (OP) i po 1 % na području Istočno-durmitorskog bloka (IDB) odnosno Karpatobalkanida (KB). Iz prethodnog, a što se može videti i na slici 1A, oko 93 % pojava javlja se u VZ i na marginama susednih jedinica prema VZ.

Na slici 1B, šematski su prikazani uočeni linijski pravci markirani pojavama UMV. Poznato je da se većina tektonskih razloma karakteriše ograničenom vodopropusnošću ili su skoro vodonepropusni. Najznačajnija vodopropusnost razloma postoji u mobilnim delovima Zemljine kore i posebno u delovima njenog rastezanja (Stepanov, 1989). Tako proizilazi da su uočeni linijski pravci u litosferi Srbije, po svemu, pravci neotektonskih kretanja. To su, takođe, predisponirani kanali distribucije CO_2 iz dubokih delova litosfere prema površini i otvorene strukture za slobodnu infiltraciju meteorskih i površinskih voda za prihranjivanje sistema UMV. Na osnovu šematske slike 1B, ove neotektonske strukture mogu da budu različitih pravaca pružanja, približno severozapad-jugoistok, istok-zapad i severoistok – jugozapad. Na slici 1B se zapaža, takođe, da su brojne pojave UMV grupisane po južnom obodu Panonskog basena. To ukazuje na moguću vezu pojava sa tektonskim strukturama formiranim kaskadnim spuštanjem Panonskog basena sa uporednim izdizanjem Vlašičko – bukuljskog antiklinorijuma i drugih struktura južno od Panonskog basena.



Slika 1. Šematski prikaz: A) područja rasprostranjenja pojava UMV i B) uočenih linijskih rasporeda pojava kao potencijalnih pravaca pružanja dubokih tektonskih struktura

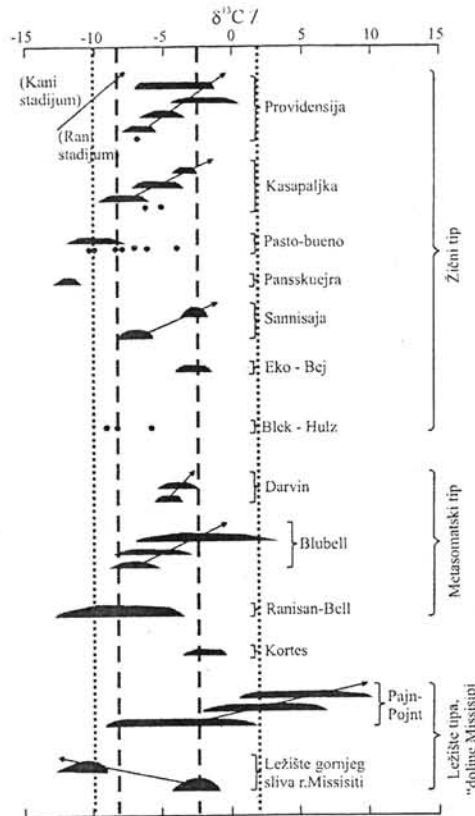
Figure 1. Schematic representation of: A) areas of CDMW occurrences and B) linear distribution of CDMW occurrences, as a potential indicator of directions of deep tectonic structures

Iz prethodnog se može sa dosta pouzdanosti zaključiti da se u domenu VZ, koja se karakteriše složenom geološko – tektonskom građom i Tc magmatizmom, nalaze glavni generatori CO₂ i da se distribucija CO₂ i infiltracija voda sa površine vrši regionalnim neotektonskim diskontinuitetima koji se izdvajaju dobrom propusnošću. Neotektonskim vertikalnim kretanjima ogromne mase stena bogate karbonatima bivaju postupno izlagane višim geotemperaturnim uslovima i na taj način permanentnom izlaganju novih masa termometamornim geohemijskim procesima. Neotektonski pokreti tako sa jedne strane predisponiraju porozne tektonske zone za migraciju CO₂ i poniranje infiltracionih voda, a sa druge, nove mase supstrata ovog gasa izlažu geotemperaturnim uslovima povoljnim za transformaciju i oslobađanje CO₂.

Poreklo ugljenika u ugljikiselim mineralnim vodama

Za više pojava UMV na teritoriji Srbije vrednosti izotopa $\delta^{13}\text{C}$ u slobodnom CO₂ nalaze se u intervalu od -8,5 do -2,5 ‰, odnosno -10,03 do +1,78 ‰ u HCO₃⁻ (Milivojević, 1989). Ako se dobijeni opseg vrednosti za UMV Srbije uporedi sa vrednostima izotopa $\delta^{13}\text{C}$ u karbonatima i CO₂ tečnih inkluzija dobivenim za više hidrotermalnih ležišta u svetu (slika 2), zapaža se veoma dobro poklapanje. To dozvoljava da se pretpostavi moguće poreklo ugljenika nekih UMV Srbije iz karbonata hidrotermalnih procesa (okončanih ili još uvek aktivih ali u fazi „zagašenja“). Oksidacione forme ugljenika u hidrotermalnim fluidima mogu da vode poreklo iz magmatskih izvora, ali mogu da se obrazuju i u rezultatu oksidacije redukcionih formi ugljenika i izluživanjem sedimentnih karbonata (Omoto i Raj, 1982).

Istraživanja izotopa ugljenika $\delta^{13}\text{C}$ pokazala su da se njihove vrednosti u granitima, mafitskim i ultramafitskim stenama kolebaju u mnogo širem predelu nego u karbonatima i da vrednosti izotopa $\delta^{13}\text{C}$ karbonata u tim stenama obično iznosi od +2 do -10‰, a redukcionih formi ugljenika od -15 do -30 ‰ (Omoto i Raj, 1982). Iz prethodnog i datih vrednosti izotopa $\delta^{13}\text{C}$ u slobodnom CO₂ i HCO₃⁻ za UMV Srbije može se sa dosta pouzdanosti pretpostaviti da ugljenik u UMV Srbije može da vodi poreklo iz karbonata Pt_z, P_z i M_z sedimentnih i metamornih stena, karbonata magmatskih stena nastalih asimilacijom karbonata sedimentnih i metamornih stena i karbonata iz hidrotermalnih procesa koji su mogli biti izluženi iz sedimentnih, metamornih i magmatskih stena. Isto tako se može sa dosta pouzdanosti zaključiti da ugljenika iz redukcionih formi nemože da ima značajno učešće u UMV Srbije.



Slika 2. Šema izotopskog sastava ugljenika nekih hidrotermalnih rudnih ležišta (H. Omoto i R. O. Raj, 1982) sa prikazom opsega vrednosti izotopa $\delta^{13}\text{C}$ slobodnog CO₂ (isprekidana linija) i HCO₃⁻ (tačkasta linija) u više pojava UMV na teritoriji Srbije

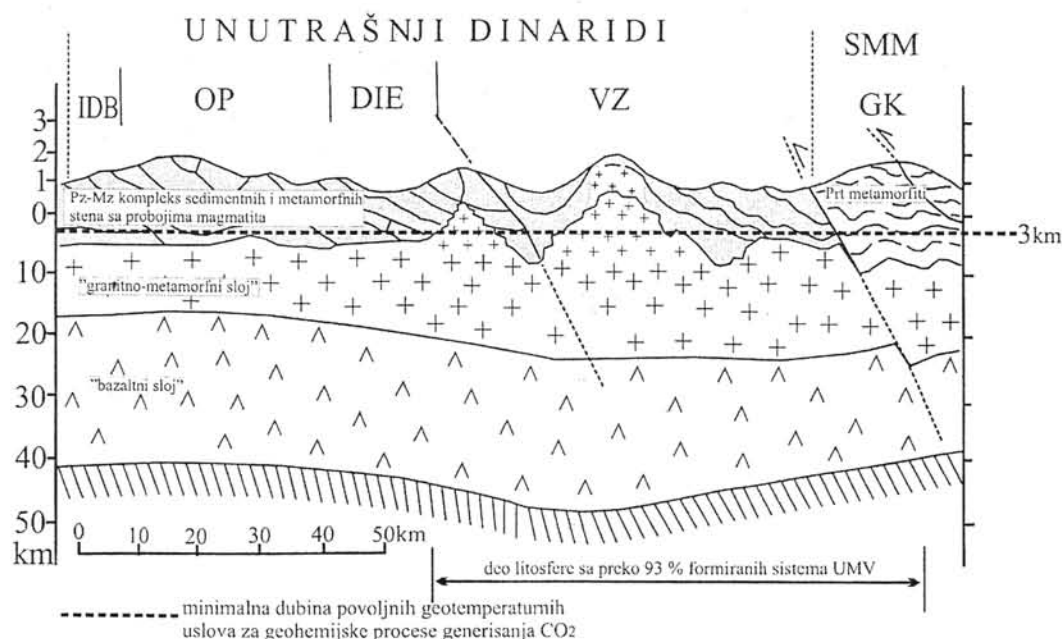
Figure 2. Scheme of carbon-isotope composition of some hydrothermal ore deposits (H. Omoto and R. O. Raj, 1982), with range of values for $\delta^{13}\text{C}$ in free CO₂ (dashed line) and HCO₃⁻ (dotted line) in several CDMW occurrences on the territory of Serbia

U prilog prethodnih pretpostavki idu i proračuni da oko 93 % svog ugljenika zemljine kore pripada sedimentnim i metamorfnim stinama, samo 7 % magmatiskim i svega 0,01 % čini zbir ugljenika atmosfere, hidrosfere i biosfere (Omoto i Raj, 1982). U litosferi Srbije, prikazanoj šematski na slici 3, ugljenik u tako velikom sadržaju, preko 90 %, može da se nalazi do dubine 5-8 km, odnosno do dubine zaleganja kompleksa Ptz, Pz i Mz sedimentnih i metamorfnih stena, prožetog Tc magmatitima. Ispod tih dubina, do dubine 15-20 km, u „granitno-metamorfnom sloju“ može se očekivati sadržaj ugljenika do oko 7 %.

Sistemi UMV Srbije zaležu saglasno zaleganju VZ (slika 3). U tom delu litosfere Tc magmatiti prožimaju ceo kompleks sedimentnih i metamorfnih stena bogatih karbonatima. Probijanjem i utiskivanjem u kompleks ovih stena, magmatiti su asimilirali značajne količine ugljenika, delom su uslovlili termometamorfne procese iz kojih je generisan CO₂ i generalno su u domenu VZ uslovlili povišene geotemperaturne uslove. Prema tome, veza sistema UMV sa VZ sasvim je logična, s obzirom da kroz nju vode glavni dovodni kanali Tc vulkanita i grantoidnih intruziva, iz dubokih delova litosfere Srbije do površine.

Procesi generisanja CO₂ u domenu Vardaske zone

Gasovi, uopšte, u litosferi mogu da budu generisani kroz biohemijske, metamorfne (hemijske) i radioaktivne procese (Karcev i Šugrin, 1964). Kao što je ranije konstatovano, na osnovu vrednosti izotopa δ¹³C, ugljenik u UMV Srbije ne može da vodi poreklo iz redukcionih formi, odnosno ugljenika organskih jedinjenja i grafita. Tako se biohemijski procesi isključuju kao dominantni generatori CO₂ u UMV. U rezultatu radioaktivnih procesa CO₂ se ne generiše, ali povišeni sadržaji radioaktivnih elemenata i gasa Rn u UMV dozvoljavaju da se zaključi o njihovom zajedničkom poreklu vezanom za granitoidne intruzije.



Slika 3. Geološki profil dubinske građe litosfere Srbije na delu geološko tektonске jedinice Unutrašnjih Dinarida (Anđelković, 1988., modifikovano). Legenda geološko-tektonskih jedinica: KB – Karpato – balkanidi; SMM – Srpsko – makedonska masa; GK – Gnajnski kompleks, ZK – Zeleni kompleks; Unutrašnji Dinaridi (UD): VZ – Vardarska zona, DIE – Drinsko-ivanjički element, OP – Ophiolitski pojas, IDB – Istočno-durmitorski blok; DB – Dakijski basen.

Figure 3. Geological cross-section through lithosphere in Serbia in a unit of the Inner Dinarides (modified from Anđelković, 1988). Legend of geological and structural units: KB – Carpathian-Balkan Region; SMM – Serbian – Macedonian Massif; GK – Gneiss Complex; ZK – Greenrock Complex; VZ – Vardar Zone, DIE – Drina-Ivanjica Element, OP – Ophiolite Belt, IDB – East-Durmitor Block.

Povišeni sadržaji F, Pb, As i drugih teških metala, ukazuju na njihovu vezu sa vulkanskim procesima. Tako se može zaključiti da se CO₂ UMV u domenu VZ generiše kroz hemijske procese temperaturnog metamorfizma. Od hemijskih procesa za oslobađanje CO₂ najznačajniji su duboki procesi vezani za intruzivni i regionalni metamorfizam (Korotkov, 1983). Iz prethodnog proizilazi, da su važan faktor procesa generisanja CO₂ geotemperaturni uslovi litosfere Srbije, koji su u domenu VZ uslovljeni Tc vulkanizmom i intruzivnim magmatizmom, sa hidrotermalnim procesima kao završnim fazama tih magmatizama.

Po podacima Papić i Stojković (2012) i Protić (1995) u UMV Srbije sadržaj F se kreće u granicama 0,1 – 14,25 mg/l (oko 60 % iznad sadržaja 1,0 mg/l), sadržaj U u granicama 0,1 – 8,0 µg/l, Ra 0,06 – 1,4 Bq/l i Rn 7,4 – 2035 Bq/l. Gotovo u više od 75 % UMV utvrđen je povišen sadržaj U, Ra ili Rn. Na osnovu dobrog poklapanja opsega vrednosti izotopa δ¹³C u UMV i hidrotermalnim ležištima (slika 2) i povišenog sadržaja F u većem broju

UMV, može se sa dosta pouzdanosti zaključiti da postoji veza CO₂ UMV sa hidrotermalnim procesima. Na osnovu povišenih sadržaja radioaktivnih elemenata postoji veza UMV sa granitoidnim intruzivima. Oksidacione forme ugljenika u hidrotermalnim fluidima (CO₂, H₂CO₃, HCO₃⁻, i CO₃²⁻) mogu da vode poreklo iz magmatskih izvora i izluživanja sedimentnih karbonata (Omoto i Raj, 1982). Iz svega proizilazi, da gas CO₂ u litosferi Srbije može da se generiše temperaturnom transformacijom iz karbonata Tc hidrotermalnih procesa, magmatskih stena i Prt, Pz i Mz sedimentnih i metamorfnih stena. Međutim, kako su karbonati Tc hidrotermalnih procesa u stvari izluženi karbonati sedimentnih i metamorfnih stena i /ili/ magmatskih stena, a iz istih tih stena je asimiliran ugljenik magmatitima, proizilazi da se matični supstrati CO₂ mogu smatrati Ptz, Pz i Mz sedimentne i metamorfne stene u litosferi do dubine oko 10 km.

Ako se uzmu u obzir utvrđene minimalne temperature (150 i 320 °C) od kojih se dolomit i kalcit transformišu i oslobađa CO₂ (Patrick and White, 1968), geotemperaturni uslovi u litosferi Srbije (Milivojević, 1989) i rezultati regionalnih geoloških istraživanja o geološkoj građi litosfere Srbije (slika 3), proizilazi da se temperaturne transformacije karbonata u domenu VZ mogu očekivati ispod dubine od 3-8 km. Kao što se može videti na slici 3, to je zona prelaza između „granitoidno-metamorfno sloja“ i Ptz, Pz i Mz kompleksa sedimentnih i metamorfnih stena, prožetih probojima vulkanita i granitoidnih intruziva.

U vezi sa ranije konstatovanom mogućom vezom UMV sa hidrotermalnim procesima, CO₂ UMV bi mogao da bude poreklom iz karbonata okončanih hidrotermalnih procesa i /ili/ savremenih hidrotermalnih procesa kao završnim fazama „zagašenja“ vulkanskih aktivnosti. U hidrotermalnim rastvorima CO₂ iz karbonata može da se generiše u rezultatu reakcija rastvaranja (na primer $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$) i reakcija dekarbonizacije (na primer, $3 \text{ dolomita} + 4 \text{ kvarcita} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{talk} + 3 \text{ kalcita} + 3\text{CO}_2$) (Omoto i Raj, 1982). Prva reakcija prevladava u površinskim uslovima, dok pri visokim temperaturama važnu ulogu igraju reakcije oba tipa. Reakcija rastvaranja karbonata dovodi do obrazovanja HCO₃⁻ u površinskim uslovima i CO₂ pri visokim temperaturama.

Zaključak

Sistemi UMV u litosferi Srbije formirani su u zavisnosti od složene veze koja postoji između geohemijskih, geotemperaturnih, magmatskih i strukturno – neotektonskih faktora. Matični supstrati CO₂ u litosferi Srbije su karbonati Ptz, Pz i Mz sedimentnih i metamorfnih stena, do dubine oko 10 km. Dubina generisanja CO₂ od oko 3 km, definisana je povoljnim geotemperaturnim uslovima za transformaciju karbonata. U geotektonskom pogledu više od 93 % sistema UMV je formirano u domenu Vardarske zone i na marginama susednih jedinica, odnosno u delu litosfere koji se karakteriše probojima i izlivima Tc magmatita. Linijski raspored pojava UMV, činjenica da UMV moraju biti vezane za duboke tektonske strukture i da su najveće vodopropusnosti razlomi u mobilnim delovima Zemljine kore i posebno u delovima njenog rastezanja, jasno nameću zaključak da su sistemi UMV predisponirani neotektonskim strukturama.

Literatura

- ANDELKOVIĆ M., 1988: *Geologija Jugoslavije*. Univerzitet u Beogradu. 690 pp., Beograd
 DIMITRIJEVIĆ M.D., 1995: *Geologija Jugoslavije*. Geoinstitut, Beograd. 205 pp., Beograd
 KARCEV A.A. I ŠUGRIN V.P., 1964: *Geohemijske metode istraživanja pri prospekiji naftnih ležišta*. Nedra, 201 pp., Moskva.
 KOROTKOV A.I., 1983: *Hidrogeohemijska analiza pri regionalnim geološkim i hidrogeološkim istraživanjima*. Nedra, Lenjingradsko odeljenje, 231 pp., Lenjingrad.
 MILIVOJEVIĆ M., 1989: *Assessment of geothermal resources of Serbia*. Doctor thesis, Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, 478 pp., Belgrade
 OMOTO H.I RAJ R.O., 1982: *Geohemija hidrotermalnih rudnih ležišta*. Mir, 622 pp., Moskva
 PAPIĆ P., STOJKOVIĆ J., 2012: neobjavljeni rezultati
 PATRICK M.L.J. AND WHITE D.E., 1968: *Origin of CO₂ in the Salton Sea Geothermal Sistem, Southeastern California, USA*. Intern. Congress. pp. 43-51, Prague
 PROTIĆ D., 1995: *Mineralne i termalne vode Srbije*. Geoinstitut, knjiga 17, pp. 269, Beograd
 STEPANOV V.M., 1989: *Uvod u strukturnu hidrogeologiju*. 230 pp., Moskva