

MILOŠ B. RAJKOVIĆ¹, UROŠ Č. LAČNJEVAČ²
 ZVEZDANA BAŠČAREVIĆ², TEODORA M. RAJKOVIĆ³,
 DRAGAN V. TOŠKOVIĆ⁴, DUŠAN D. STANOJEVIĆ⁴

Originalni naučni rad
 UDC:546.264-41:620.183=861

Određivanje kristalne strukture kalcijum-karbonata dobijenog iz vode za piće

Ispitivan je uzorak kamenca koji je uzet sa kućnog bojlera nastao zagrevanjem vode za piće koja se nalazi u vodovodnoj mreži grada Beograda – Novi Beograd (blokovi).

Ispitivanja na atomskom apsorpcionom spektrofotometru ukazala su da se nalazi dominantno kalcijum, kao CaO i to 48,90%, što preračunato na sadržaj CaCO₃ iznosi 87,32%.

Snimanja na difraktometru ukazala su da se kamenac sastoji od CaCO₃ (85,25%), MgCO₃ (11,05%), FeCO₃ (1,90%) i MnCO₃ (1,80%).

Takođe je dokazano da je kamenac mešavina koja se sastoji od 66,92 % kalcita i 33,07% aragonita. Ovakav sastav posledica je činjenice da su kalcit i aragonit nastali u mirnijim uslovima sedimentacije u poluzatvorenoj plitkovodnoj sredini na temperaturi između 60 i 100°C (najbliže oko 80°C) i pri niskom pritisku.

Ključne reči: voda za piće, kamenac, skenirajući elektronski mikroskop, rendgenska difrakciona analiza, atomski apsorpcioni spektrofotometar (AAS)

1. UVOD

Pojava vodenog kamenca (ili samo kamenca) (slika 1.) u vodovodnim cevima posledica je prisustva u vodi rastvornih soli kalcijuma, magnezijuma, gvožđa i aluminijuma, koje se najčešće javljaju u vidu karbonata, hidrogenkarbonata (ili bikarbonata), sulfata i hlorida. Ove soli se u vodi nalaze kao rezultat činjenice da su kopnene vode u stanju da svojim rastvarajućim dejstvom stvaraju šupljine u gotovo svim rastvorljivim stenama (a većina stena su u izvesnoj meri rastvorne).

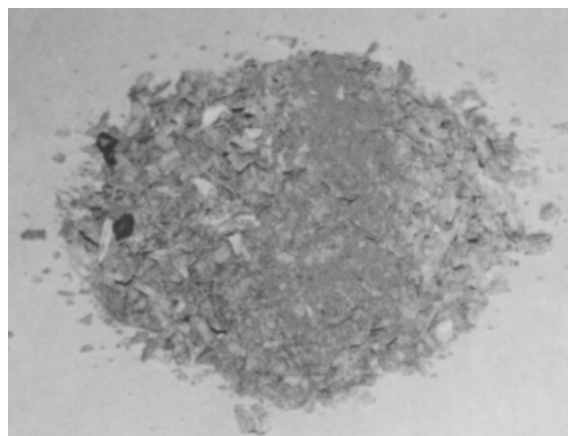
Prisustvo ovih soli u vodi definisano je pojmom **tvrdoaća vode**. Pošto se najviše nalaze soli kalcijuma i magnezijuma, tvrdoaća vode se definiše sadržajem rastvornih soli u vodi Ca²⁺ i Mg²⁺-jona [1,2,12,17].

Zagrevanjem vode koja sadrži rastvorne soli (već od temperature od 50°C), kao što se u domaćinstvima vrši pomoću kućnog bojlera, dolazi do izdvajanja kamenca, prema sledećim jednačinama:



Adresa autora: ¹Poljoprivredni fakultet, Zemun, Srbija, ²Institut za multidisciplinarnu studiju, Beograd, ³Regionalni centar za talente, Beograd-Zemun, ⁴Tehnološki fakultet, Zvornik, Republika Srpska, BiH

Dr Miloš B. Rajković, red.prof., Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju, Katedra za hemiju i biohemiju, Poljoprivredni fakultet, Zemun, Nemanjina 6, E-mail: rajmi@agrifaculty.bg.ac.yu

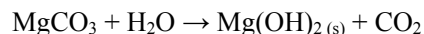


Slika 1 - Izgled kamenca dobijenog iz vode za piće

CaCO₃ je slabo rastvoran, pa se u obliku naslaga deponuje na zidove i cevi i bojlera.



MgCO₃ ne stvara kamenac već reaguje sa vodom (reakcija hidrolize) i gradi Mg(OH)₂, koji je slabo rastvoran i izdvaja se u obliku kamenca [2,3].



Izdvajanje kamenca u vodovodnim cevima izaziva neprocenjivu štetu. Nije reč samo o siromašnoj peni sapuna, šampona i detergenata pri

kupanju i pranju niti o belom filmu na osušenom staklu ili hrpavoj površini kade i umivaonika.

Nevidljive posledice su mnogo dramatičnije – to su naslage kamenca u svim instalacijskim cevima, taloženje u bojleru (što zahteva periodično čišćenje) i na grejačima [4,5].

Prethodna ispitivanja kamenca, na atomskom apsorpcionom spektrofotometru, pokazala su da se kamenac sastoji od 84,35% kalcijum-karbonata (CaCO_3), ali su prisutna i druga jedinjenja (oksidi natrijuma, kalijuma, gvožđa, mangana, silicijuma, aluminijuma, titana), zatim elemenata (olovo, cink, bakar, litijum, nikal, hrom), ali i radioaktivnih elemenata (uran i stroncijum) [6].

Pošto sastav kamenca zavisi od vode koja protiče kroz vodovodnu mrežu, cilj rada bio je da se ispita sastav kamenca, kao CaCO_3 , i da se utvrdi koje je jedinjenje dominantni oblik u kamencu i u kom kristalnom obliku se nalazi.

2. TEORIJSKI OSNOVI

Kristalni sistemi

Najveći broj čvrstih supstanci koje se nalaze u prirodi javljaju se u obliku geometrijski pravilnih tela, tzv. *kristala*. Supstance koje nemaju pravilan geometrijski oblik nazivaju se *amorfne* (na primer: kaučuk, staklo, dve modifikacije sumpora i dr.). Reč *amorfan* izvedena je od grčke reči *amorphos* – bez oblika. U amornim supstancama, za razliku od kristala, čestice se nalaze haotično raspoređene tako da su one *izotropne*, tj. imaju ista fizička svojstva u svim pravcima. Međutim, često nemaju oštre tačke topljenja. *Amorfne supstance* raspolazu većom energijom od odgovarajućih kristalnih supstanci (*metastabilne su*) i ponekad se mogu stajanjem pretvoriti u stabilnije oblike sa izdvajanjem energije. Ponekad se *amorfne supstance* opisuju kao superohladene tečnosti. *Amorfne supstance* postepeno omekšavaju pri zagrevanju, npr. Staklene cevi pri zagrevanju postepeno omekšavaju, pa se mogu savijati i od njih praviti razni oblici.

Svaki kristalni oblik neke supstance karakterišu uglovi između odgovarajućih kristalnih pljosni. Prema tome, kristalni oblik jedne supstance nije određen ni apsolutnim položajem ni veličinom kristalnih pljosni, već dimenzijama uglova između pljosni. Zato svaka kristalna supstanca ima svoj karakterističan specifični kristalni oblik. Grana nauke koja se bavi proučavanjem *kristalnih sistema* naziva se *kristalografija*.

Proučavanjem *kristalnih sistema* pomoću X-zraka utvrđeno je da oni mogu biti sastavljeni od atoma, molekula ili jona koji su poredani u geometrijski pravilnim slojevima, kristalnim rešetkama. Tako, npr. kristali metala bakra sastoje se od atoma bakra, čvrstog ugljenik(IV)-oksida od molekula CO_2 , a natrijum-hlorida od jona Na^+ i Cl^- koji čine odgovarajuće kristalne rešetke. Uopšte, spoljašnji oblik kristala zavisi od njegovih strukturnih jedinica koje su pravilno raspoređene u prostoru. Izgrađena prostorna rešetka jedne supstance je određena strukturnim jedinicama, njihovim rasporedom i brojem u jediničnoj ćeliji (tj. najmanjim jedinicama kristala). Deljenjem ili usitnjavanjem kristala dobiće se sitniji kristali koji imaju iste karakteristike kao matični kristal, što svedoči da oblik kristala stvarno zavisi od njegove unutrašnje geometrijske strukture.

Za razliku od *tečnosti, gasovitih i amornih supstanci, tzv. izotropnih supstanci, kristalni sistemi (supstance)* su *anizotropne*, tj. fizička svojstva većine kristala su različite u različitim pravcima. Na primer, mnogo se lakše cepa neki kristal u jednom nego u drugom pravcu, optička svojstva kristala su različita u svakom smeru. *Anizotropnost je jedinstveno svojstvo kristalnih supstanci.*

U *kristalne sisteme*, kojih ima sedam, svrstani su svi kristalni oblici različitih supstanci na osnovu svoje simetrije. Sa najvišom simetrijom je *kubni*, a sa najnižom *triklični sistemi* [7].

1. *Kubni (regularni ili teseralni) sistem* ima tri zamišljene ose jednake dužine, koje stoje jedna na drugoj normalno. Najprostiji oblici ovog sistema su kocka i oktaedar. Po ovom sistemu kristališu, npr. dijamant, mnogi metali, NaCl , ZnS i dr.

2. *Tetragonalni (kvadratni) sistem* ima tri zamišljene ose koje stoje jedna na drugoj normalno, dve od ovih osa su jednake dužine, a treća je duža ili kraća od njih. Po ovom sistemu kristališu, npr. Sn , SnO_2 i neke soli.

3. *Heksagonalni sistem* ima tri zamišljene ose jednake dužine, koje leže u istoj ravni, a seku se pod uglovima od 60° . Četvrta njegova osa je duža ili kraća od ostale tri i na njima je normalna. Po ovom sistemu kristališu, npr. H_2O , SiO_2 , HgS i dr.

4. *Rombični sistem* ima tri zamišljene ose različite dužine koje su sve međusobno normalne. Po ovom sistemu kristališu, npr. PbSO_4 , KNO_3 i dr.

5. *Trigonalni ili romboedarski sistem* ima tri zamišljene jednake ose koje međusobno zaklapaju tri jednaka ugla različita od 90° . Po njemu kris-

tališe, npr. kalcit (CaCO_3).

6. *Monoklinični sistem* ima tri zamišljene ose različite dužine od kojih se dve seku pod ostrim uglom, a treća je na njima normalna. Po ovom sistemu kristališu mnoge supstance, npr. KClO_3 , AgNO_3 , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, saharoza i dr.

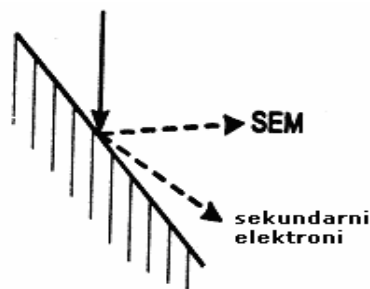
7. *Triklinični sistem* ima tri zamišljene ose različite dužine, a koje se međusobno seku pod ostrim uglovima. Ovaj sistem nema nijednu ravan simetrije. Po njemu kristališe, npr. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ i dr.

Ovih sedam sistema izgrađuju ukupno 14 zamišljenih elementarnih kristalnih rešetki koje su prikazane na slici 1. Ako se sa *a*, *b* i *c* označe rastojanja među atomima u prostornom koordinatnom sistemu, a sa α , β i γ uglovi ovih, onda se ovim parametrima mogu u potpunosti opisati svi *kristalni sistemi*.

ELEKTRONSKA MIKROSKOPIJA

Elektronski mikroskop konstruisan je u Nemačkoj 1932.godine, a širu biološku primenu stekao je tokom ranih 50-ih godina XX veka, sa Paladeom (*George Palade*), Sjestransom (*Fritiof Sjastrand*) i Porterom (*Keith Porter*), kao nekima od njegovih prvih najistaknutijih korisnika. Umesto vidljive svetlosti i optičkih stakala, elektronski mikroskop koristi zrake elektrona, koju usmerava fokusirajuće elektromagnetsko polje. Iz razloga što je talasna dužina elektrona znatno kraća od one fotona vidljive svetlosti, granica razlučivosti elektronskog mikroskopa je puno manja od one kod svetlosnog mikroskopa: oko 0,1-0,2 nm elektronskog mikroskopa u poređenju sa oko 200-350 nm kod svetlosnog mikroskopa.

Elektronska mikroskopija zasniva se na istim principima kao i elektronska spektroskopija, pri čemu je cilj mikroskopskih tehnika uslovljavanje strukture, morfologije, odnosno topografije ispitivane površine materijala. Neke spektroskopske tehnike, uz određene modifikacije i dodatnu opremu, mogu koristiti i kao mikroskopske. Ipak, treba naglasiti da one nisu „prave” mikroskopske tehnike, jer one ne mogu dati potpunu i detaljnu sliku površine, već samo distribuciju pojedinih elemenata na njoj [14].



Talasna priroda elektronskog snopa i osobine električnih i magnetnih polja da na snop ubrzanih elektrona u vakuumu imaju isti efekat kao sočiva i ogledala na vidljivu svetlost, omogućili su razvijanje elektronskih mikroskopskih tehnika. Činjenica da je talasna dužina ubrzanih elektrona oko 100.000 puta manja od talasne dužine svetlosti omogućava da se moć razlaganja svetlosnih mikroskopa od oko 100 nm (ograničena talasnom dužinom svetlosnih zraka) unapredi do vrednosti manjih od 0,1 nm kod najsavremenijih elektronskih mikroskopa [16].

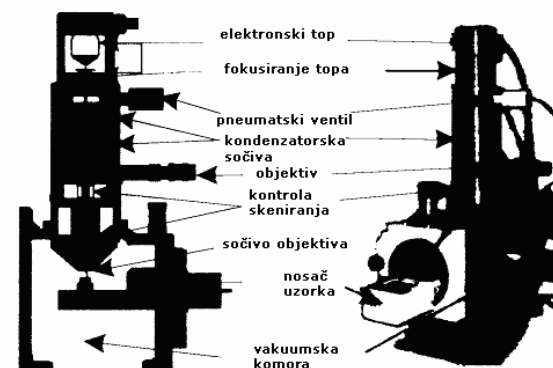
Snop elektrona visoke energije koji se emituje iz triodnog elektronskog snopa (sastoji se od filameta koji emituje elektrone, anode pomoću koje se elektroni ubrzavaju i usmeravaju ka uzorku i Weneit-ovog cilindra koji fokusiraju snop u žižnu tačku) se sistemo kondenzatorskih elektromagnetnih sočiva fokusira na uzorak. Pri sudaru sa uzorkom elektroni iz elektronskog snopa mogu:

1. biti adsorbovani, u interakciji sa atomima uzorka, zavisno od debljine i sastava uzorka,
2. ukoliko je uzorak dovoljno tanak ($> 0,5 \mu\text{m}$), proći kroz uzorak i biti raspršen pod malim uglom, zavisno od sastava uzorka,
3. u kristalnim uzorcima biti difraktovani na kristalnoj rešetki uzorka,
4. biti reflektovani od površine uzorka (*backscattered* elektroni),
5. izazvati emisiju sekundarnih elektrona iz uzorka,
6. izazvati emisiju X-zraka čija energija i talasna dužina zavisi od sastava uzorka, ili
7. izazvati emisiju fotona – svetlosti (katodno osvetljavanje).

Deo elektrona koji su reflektovani ili koji kod tankih uzoraka prođe kroz njega, može izgubiti deo svoje energije i biti analiziranim spektrometrom gubitka energije – EELS, analogno prizmi kod vidljive svetlosti.

Dobijanje slike uzorka skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM) omogućavaju adsorbovani (1), povratno raspršeni (4) i sekundarni elektroni (5). Zbog toga uzorak ne mora da bude tanak, što olakšava njegovu primenu, a energija elektrona primarnog snopa ne mora da bude visoka, jer elektroni ne moraju da prolaze kroz uzorak. Pored toga, dodatnim elektromagnetnim poljem (kalema za skeniranje) omogućeno je kontrolisano i programirano skretanje snopa elektrona. Na taj način se i izuzetno male površine uzorka mogu, liniju po liniju pregledati – skenirati. Shematski prikaz SEM prikazan je na slici 2.

Kod skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM) izvor elektrona je elektronski top (manje snage), a upadni zrak se elektromagnetnim sočivima fokusira na uzorak, pri čemu je omogućeno i njegovo skretanje radi skeniranja uzorka. Slika se dobija ispred uzorka, a proizvode je odbijeni (1) i sekundarno emitovani elektroni (5).



Slika 2 - Šematski prikaz skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM)

Sliku je moguće dobiti na fluorescentnom zaslonu, fotoosetljivom filmu ili zabeležiti video kamerom (kao što je urađeno u ovom radu). Kod novijih mikroskopa uzorak nije direktno uzemljen, već preko otpornika, kroz koji nereflektovani elektroni stvaraju potencijalnu razliku. Ona se može pogodnim instrumentom pojačati i uz kompjutersku opremu (u našem radu preko PC računara i upotrebom Windows™ operativnog sistema) iskoristiti za formiranje digitalne slike treće generacije. Zahvaljujući takvim slikama moguće je praćenje dinamičnih fenomena u elektronskim uređajima, na primer u magnetnim kolima [9].

3. EKSPERIMENTALNI DEO

Za ispitivanje je korišćen kamenac, koji je nastao taloženjem na grejaču kućnog bojlera, tokom vremenskog perioda od 6 meseci. Kamenac je nastao iz je vode koja se nalazi u vodovodnoj mreži

grada Beograda, teritorije Novog Beograda. Zatim je utvrđen suvi ostatak (kamenac) tako što je 1 dm³ vode za piće zagrevan do ključanja.

Sastav kamenca određen je upotrebom atomskog apsorpcionog spektrofotometra AAS Perkin Elmer 703, putem metode DM 10 – 0/4, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9, 0/10, 0/11, 0/12, 0/13, i 0/17.

Rendgenska difrakciona analiza izvršena je tako što je kamenac prethodno usitnjen i frakcija finog praša (6,3-2 μm) je dodatno proučena. Snimanje je izvršeno na difraktometru marke Philips PW 1009 sa CuKα zračenjem $\lambda = 1.54178$, pri radnim uslovima cevi $U = 36$ kV, $I = 18$ mA, brzinom gonimetra $V_g = 1^\circ 20'/\text{min}$ uz uslove $R/C = 8/2$. Na snimljenom difraktogramu izmeren je položaj refleksije i izračunata d vrednost izmerene površine odn. integralni intenziteti određenih refleksija uz pomoć programa DRX Win 1.4, autora V.P. Martina [8].



Sva snimanja izvršena su na skenirajućem elektronskom mikroskopu SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (VEGA TS 5130MM, Tescan Brno, Republika Češka) sa mogućnošću povećanja 10 do 1.000.000 puta i rezolucijom (u visokom vakuumu) (SE) od 3 nm na 30 kV.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Radi određivanja sadržaja vlage u uzorku, uzorak kamenca sušen je u laboratorijskoj sušnici na temperaturi od 105°C tokom 30 minuta. Maseni udeo vlage, u %, u uzorku kamenca iznosi 0,17 %, što znači da se radi o veoma suvom uzorku.

Ispitivanja na atomskom apsorpcionom spektrofotometru (AAS) dala su sledeće rezultate: kalcijum, kao CaO (48,90%), magnezijum, kao MgO (5,43%), natrijum, kao Na₂O (0,034%), kalijum, kao K₂O (0,0072%), gvožđe, kao Fe₂O₃ (0,084%), mangan, kao MnO (20 ppm), silicijum, kao SiO₂ (1,14%), aluminijum, kao Al₂O₃ (0,070%), olovo (0,0033%), cink (0,023%), bakar (0,134%), uran (2,03 ppm), kadmijum (6 ppm), hrom (10 ppm), sumpor (0,14%) [4,11].

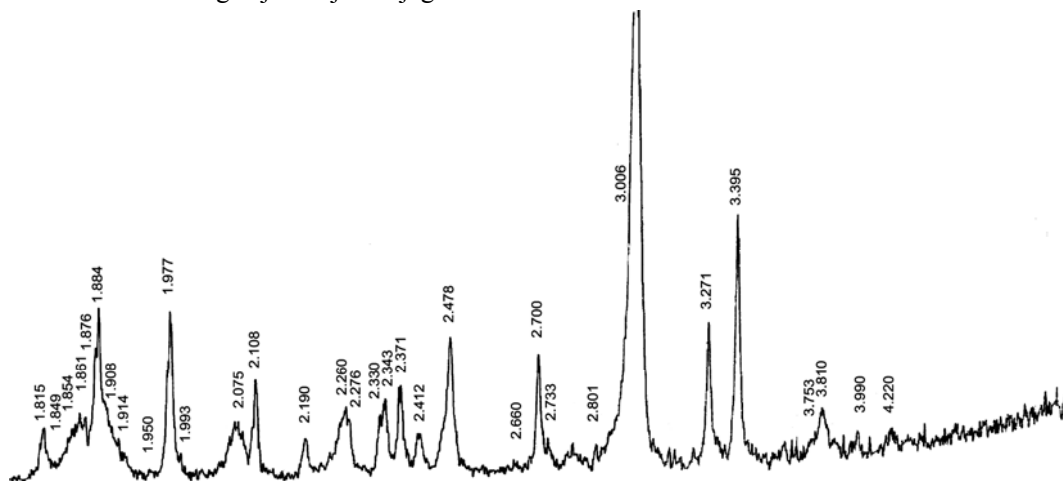
Rendgenski difraktogram ispitivanog uzorka kamenca prikazan je na slici 3. Na snimljenom difraktogramu izmeren je položaj refleksije i izračunata d vrednost izmerene površine odn. integralni intenziteti određenih refleksija uz pomoć programa DRX Win 1.4, autora V.P. Martina [8].

Rendgenskom difrakcijom analizom, kvalitativnom i semikvantitativnom metodom utvrđen je

sastav uzorka koji predstavlja karbonatnu mešavinu sastavljenu od *kalcita* i *aragonita*.

Kalcijum-karbonat je dimorfan – postoji u dva kristalna oblika: kao *kalcit*, koji kristališe heksagonalno, i kao *aragonit*, koji kristališe rombično. Kristalne rešetke oba ova minerala sastoje se od Ca^{2+} i CO_3^{2-} -jona. *Kalcit* je sivobeke boje, ali zbog primesa može biti i drugačije obojen. Njegova tvr-

doća je tri, a gustina $2,711 \text{ g/cm}^3$. Cepljiv je u tri smeru. Kristališe po romboedarskoj sistemi. Potpuno proziran kristal *kalcita* dvojno prelama svetlost (to svojstvo je naročito jako izraženo kod *islandskog kalcita*, koji se, zbog toga, upotrebljava za građenje Nikolovih (*Nikol*) prizmi, koje se primenjuju u optičkim aparatima za dobijanje polarizovane svetlosti) [13].



Slika 3 - Rendgenski difraktogram kamenca

Kalcit je rasprostranjen mineral i bitan je sastojak mnogih sedimentnih stena, nekih metamorfih pa i magmatskih stena, kao i zemljišta. Kalcijum u *kalcitu* može biti izomorfno zamenjen sa Mg, Fe, Mn i Zn. Karbonati tih metala čine izomorfnu grupu *kalcita* u koju se ubrajaju: *aragonit*, CaCO_3 (taloži se iz toplih vodorastvora), *magnezit*, MgCO_3 (mineral mlečne boje), *siderit*, FeCO_3 , *dolomit*, *rodohrozit*, MnCO_3 (mineral ružičaste boje). U zemljištu tipa *černoziem*, *kalcit* se pojavljuje u vidu sitnog praha bele boje, u vidu „pseudomicelija”, često i u vidu konkrekcija, a i kao mineral *lublenit*.

Iz dobijenih uglovnih vrednosti (θ) i međupljusnih rastojanja (d) određeni su Milerovi indeksi (h k i l). Dimenzije elementarnih ćelija izračunate su, na bazi heksagonalne i rombične rešetke, pomoću LSUCRI programa.

Rezultati kvalitativne semikvantitativne rendgenske analize pokazali su da se karbonatna mešavina sastoji od 66,92 % *kalcita* i 33,07 % *aragonita*.

Dimenzije jedinične ćelije *kalcita* su:

$$a_0 = 4,945 (2) \text{ \AA}, c_0 = 16,80 (1) \text{ \AA},$$

$$V_0 = 355,8 (3) \text{ \AA}^3 \text{ a aragonita su:}$$

$$a_0 = 4,9597 (7) \text{ \AA}, b_0 = 7,975 (1) \text{ \AA},$$

$$c_0 = 5,7411 (7) \text{ \AA} \text{ i } V_0 = 227,09 (4) \text{ \AA}^3.$$

Međupljusna rastojanja, kako *kalcita* tako i *aragonita*, pokazala su manja odstupanja u odnosu na standardne vrednosti (JCPDS 47-1743; 41-1475). Međupljusno rastojanje $d_{(10\ 14)}$, glavne refleksije *kalcita*, pomeren je ka većim uglovnim vrednostima θ , što ukazuje na delimičnu supstituciju Ca^{2+} jonima manjeg jonskog radijusa od kojih su najčešći Mg^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} i dr. Parametri elementarne ćelije *kalcita* su veoma bliski standardnim vrednostima [10] uz određeno smanjenje. Smanjenje parametara a_0 i c_0 potvrdila su supstituciju Ca^{2+} jonima manjeg jonskog radijusa kao što su pokazala i međupljusna rastojanja. Utvrđivanje supstitucije Ca^{2+} jonima Mg^{2+} , Fe^{2+} ili Mn^{2+} , izvršeno je preko različitih dijagrama zavisnosti, sastava i kristalografskih parametara. Ekstrapolacijom dijagrama zavisnosti, koji postoji između parametara elementarne ćelije i sastava, utvrđen je sadržaj magnezitske (MgCO_3), sideritske (FeCO_3) i rodohrozitske (MnCO_3) komponente (u mol %) u *kalcitu* [11,15].

Na osnovu rendgenske difrakcione analize praha određen je kvalitativni - semikvantitativni sastav uzorka. Izračunate su dimenzije jediničnih ćelija *kalcita* i *aragonita* preko kojih je utvrđen njihov hemijski sastav, odnosno razmatrana je promena dimenzija jediničnih ćelija u zavisnosti od

hemijskog sastava.

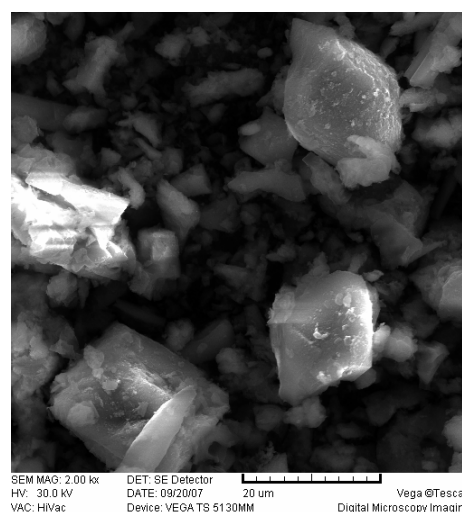
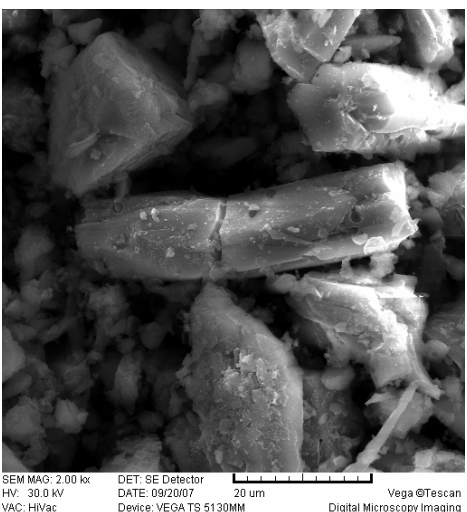
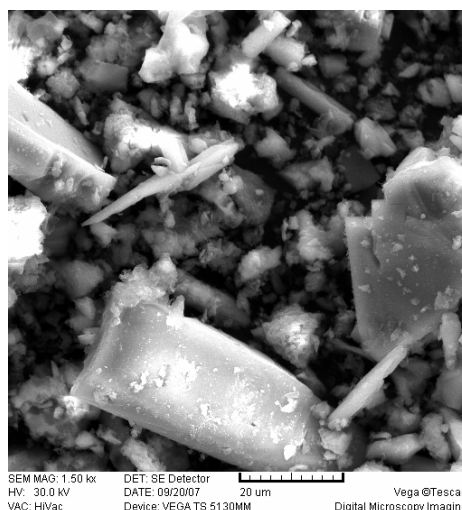
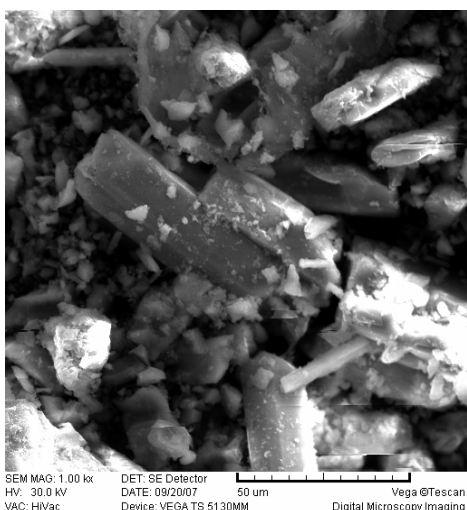
Radi utvrđivanja kristalne strukture *calcita* naloženog na grejaču kućnog bojlera izvršeno je snimanje na elektronskom mikroskopu Tesscan VEGA TS 5130MM, koji je prikazan na slici 4.

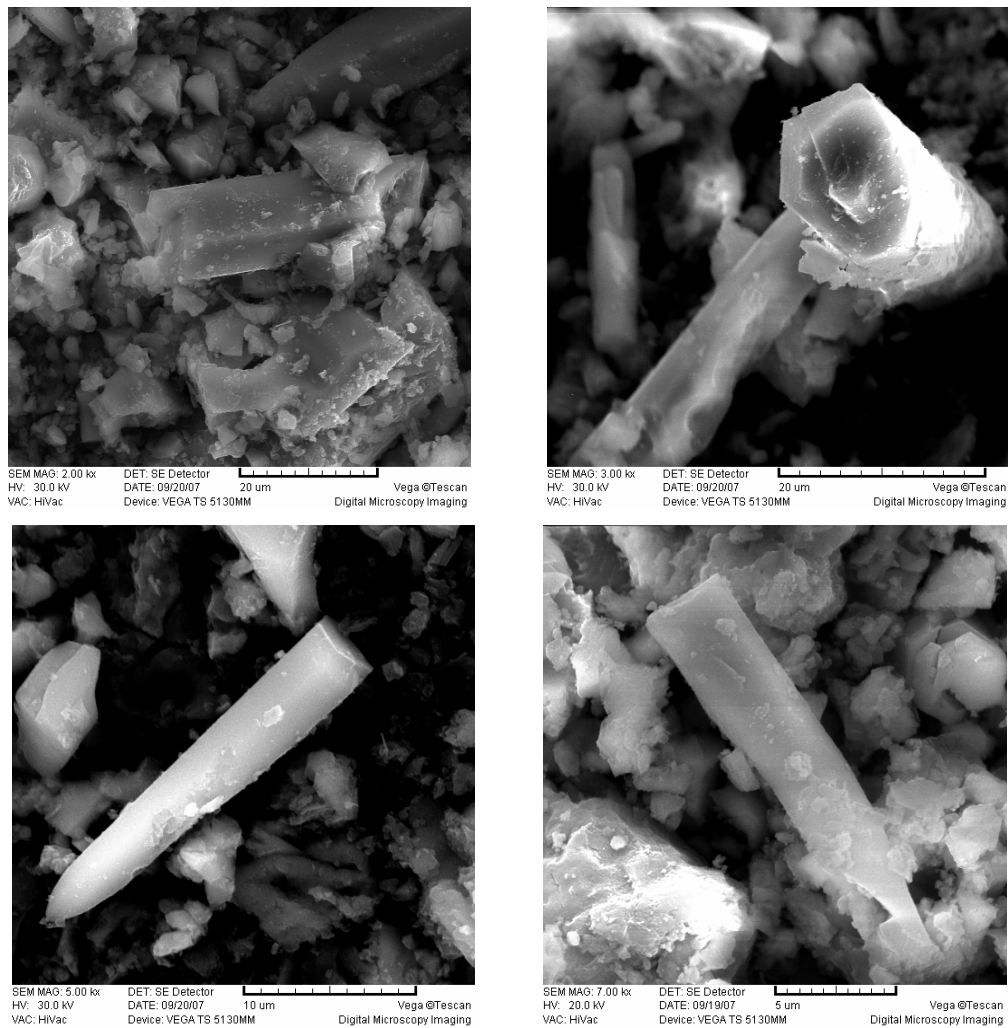
Upotrebom skenirajućeg elektronskog mikroskopa za ispitivanje kristalne strukture calcita koji se nalazi u kamencu, dobijene su sledeće SEM fotografije, prikazane na slici 5.

Fotografije dobijene na skenirajućem elektronskom mikroskopu potvrdile su da dominantni oblik kalcijum-karbonata, koji se u nalazi u kamencu, ima izrazito kristalnu strukturu heksagonalnog oblika koja odgovara *calcitu* ali da je zastupljena i kristalna modifikacija koja kristališe rombično i koja odgovara *aragonitu*.

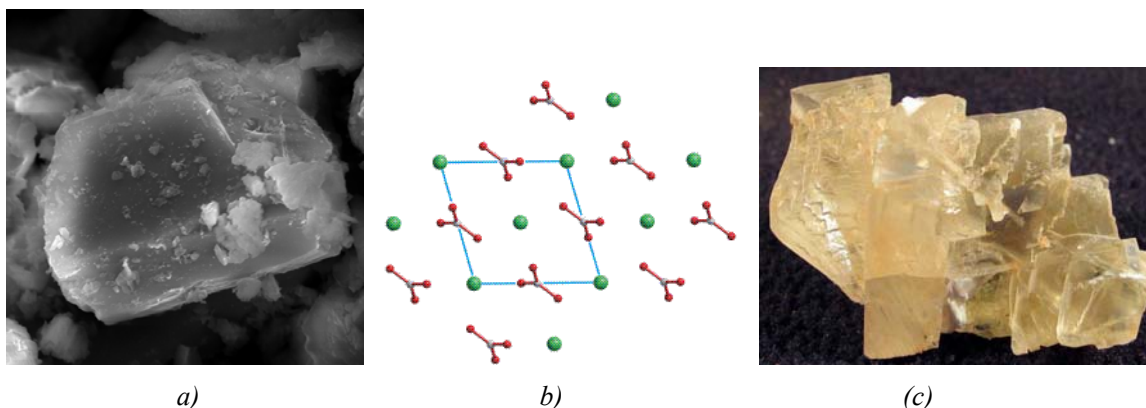


Slika 4 - Elektronski mikroskop Tesscan VEGA TS 5130MM





Slika 5 - Dobijene SEM fotografije kamenca pod različitim uvećanjem (od 1000 do 7000 puta)



Slika 6 - Poređenje strukture kalcita dobijenog iz vode za piće (a), kristalne strukture (b) i minerala kalcita (c)

Aragonit se nalazi u mnogo manjoj količini nego *kalcit*.

Strukturu *kalcita* čini romboedar na čijim se uglovima nalaze atomi kalcijuma. Atom ugljenika

nalazi se u središtu romboedra, a atomi kiseonika u jednoj ravni pod uglom od 120° (sp^2 -hibridizacija atoma ugljenika). Istovremeno se u ovoj ravni može uočiti heksagonalni sastav kristala.

5. ZAKLJUČAK

Ispitivan je uzorak kamenca koji je uzet sa kućnog bojlera nastao zagrevanjem vode za piće koja se nalazi u vodovodnoj mreži grada Beograda – Novi Beograd (blokovi).

Ispitivanja na atomskom apsorpcionom spektrofotometru ukazala su da se nalazi dominantno kalcijum, kao CaO i to 48,90%, što preračunato na sadržaj CaCO₃ iznosi 87,32%.

Snimanja na difraktometru ukazala su da se kamenac sastoji od CaCO₃ (85,25%), MgCO₃ (11,05%), FeCO₃ (1,90%) i MnCO₃ (1,80%).

Takođe je dokazano da je kamenac mešavina koja se sastoji od 66,92 % *calcita* i 33,07% *aragonita*. Ovakav sastav posledica je činjenice da su kalcit i aragonit nastali u mirnijim uslovima sedimentacije u poluzatvorenoj plitkovodnoj sredini na temperaturi između 60 i 100°C (najbliže oko 80°C) i pri niskom pritisku.

Zahvalnica

Ovaj rad je finansiralo Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije (Projekat ON 142039).

LITERATURA

- [1] Rajković, M.B., Uvod u analitičku hemiju – klasične osnove, Pergament, Beograd, 2007.
- [2] Rajković, M.B., Stojanović, M., Ekologija, 36(1) p. 71-85, 2001.
- [3] Stojanović, I., Maksimović, J., „Određivanje kvaliteta vode na osnovu izdvojenog kamenca u bojleru”, Regionalni centar za talente, Beograd 1 – Zemun, 2002.
- [4] Berić, A., Arandelović, J., „Ispitivanje sastava kamenca dobijenog zagrevanjem vode u bojleru”, Regionalni centar za talente, Beograd 1 – Zemun, 2007.
- [5] Rajković, M.B., Tomić, Z., Đorđević, A., Lačnjevac, Č., „Ispitivanja kamenca dobijenog iz vode za piće rendgenskom difrakcionom analizom praha”,

XXIV simpozijum Društva za zaštitu od zračenja SCG, Zlatibor, 03.-05.10.2007.god., Zbornik radova, s. 409-413.

- [6] Rajković, M.B., Stojanović, M.D., Pantelić, G.K., Tošković, D., Acta Periodica Technologica, 35, p. 131-140, 2004.
- [7] Dragojević, M., Popović, M., Stević, S., Šćepanović, V., Opšta hemija. I deo, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1994.
- [8] Martin, V.P., „DRXW in 1.4 a computer program: A Graphical and Analytical Tool for Powder XDR Patterns”, Faculty of Chemistry, University of Valencia, Spain, 1994.
- [9] Dekanski, A.B., Hemijska industrija, 51(10), s. 103-410, 1997.
- [10] Blanchard, F., JCPDS 43-0697, Department of Geology, University of Florida, Gainesville, Florida, USA, ICDD Grant-in-Aid, 1991.
- [11] Rajković, M.B., Stojanović, M., Pantelić, G., „Određivanje radioaktivnih elemenata u vodi za piće metodom indirektno analize na osnovu ispitivanja sastava kamenca”, XXIV Simpozijum Društva za zaštitu od zračenja SCG, Zlatibor, 03.-05. 10. 2007.god., Zbornik radova, s. 37-41.
- [12] Rajković, M.B., Sredović, I., Perić, L., „Određivanje kvaliteta vode na osnovu izdvojenog kamenca u bojleru”, EKO-KONFERENCIJA 2002: Zdravstveno bezbedna hrana, Novi Sad, 25.-28. 09. 2002.god., Tematski zbornik, 2. s. 153-157.
- [13] http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/sedra/sedra_03.php3
- [14] Ibach, H., Electron Microscopy for Surface Analysis, Ed. by H.Ibach, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, p. 1-12, 1977.
- [15] Chang, L.L.Y., Am.Mineral, 56, p. 1660-1673, 1971.
- [16] Rajković, M.B., Tošković, D., Acta Periodica Technologica, 34, p. 61-70, 2003.
- [17] Rajković, M.B., Novaković, I.D., Praktikum iz analitičke hemije – klasične metode, Poljoprivredni fakultet, Zemun, 2005.

ABSTRACT

DETERMINATION OF CRYSTALLINE STRUCTURE OF CALCIUM CARBONATE OBTAINED FROM DRINKING WATER

Sample of scale which taken from house boiler is examined. This scale is made by warming drinking water from water-supply system of the -city of Belgrade – New Belgrade.

Examinations on atomic absorption spectrophotometer (AAS) showed that there was mostly calcium, like CaO, for 48.90 % of mass which means calculated on contents CaCO₃ takes 87.32 % of mass.

Research on diffraction meter showed that scale is composed of CaCO₃ (in % of mass): (85.25%), MgCO₃ (11.05%), FeCO₃ (1.90%) and MnCO₃ (1.80%).

It was also proved that scale is mixture of 66.92 % Mg calcite and 33.07 % aragonite.

This structure is result of fact that Mg calcite and aragonite are become in quiet conditions of sedimentation of half shut skin-deep water surrounding on temperature between 60 and 100°C (nearest about 80°C) and low pressure.

Key words: *drinking water, scale, scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction analysis, atomic absorption spectrophotometer (AAS)*