

UDK: 628.11/551.482.214
Originalni naučni rad

PRORAČUN DOZA HEMIKALIJA ZA STABILIZACIJU VODE

Prof. dr Dejan LJUBISAVLJEVIĆ, dipl. građ. inž.,
 mr Branislav BABIĆ, dipl. građ. inž.,
 Igor ŠUŠIĆ, apsolvant
 Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11 000 Beograd,
 E-mail: ljubisav@grf.bg.ac.yu

REZIME

U radu je izložena metodologija utvrđivanja agresivnog karaktera vode prema kalcijum karbonatu i način proračuna doza hemikalija za stabilizaciju vode tj. dovođenje vode u stanje da ne bude agresivna i ne pokazuje tendenciju istaložavanja kalcijum karbonata. Prikazan je originalni matematički model za analize, uz čiju pomoć su analizirane vode iz akumulacija "Zlatibor", "Gruža" i buduće akumulacije "Barje". Takođe su testirane i vode posle tretmana na nekim postrojenjima za prečišćavanje vode za piće (Zlatibor, Kragujevac, Leskovac).

Ključne reči: LI index, agresivnost vode, prečišćavanje vode za piće

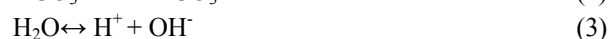
1. UVOD

Akumulacije za vodosnabdevanje u Srbiji grade se uglavnom u takozvanim rezervatima čiste vode koji predstavljaju vršne delove slivova vodotoka u Srbiji. Ove vode su meke vode sa malom alkalnošću i kao takve su uglavnom agresivne prema materijalima od kojih se grade objekti vodovodnih sistema.

Dosadašnjim istraživanjima u svetu najviše je razvijena metodologija utvrđivanja agresivnosti prema kalcijum karbonatu pa se i u ovom radu ograničava samo na agresivnost prema materijalima koji sadrže CaCO₃. Kalcijum karbonat se sreće kod većine materijala (beton, azbest-cement, kreč) koji se primenjuju u izgradnji vodovodnih sistema, a u literaturi (3) i (5) se napominje da voda koja nije agresivna prema CaCO₃ nije agresivna ni prema većini ostalih materijala (liveno gvožđe, čelik i dr.) pa se ova metodologija može smatrati pouzdanom.

2. SISTEM UGLJENA KISELINA, BIKARBONATI I KARBONATI (KARBONATNI SISTEM) U VODI I STABILIZACIJA VODE

Većina prirodnih voda ima pufersko svojstvo, zahvaljujući ravnoteži ugljena kiselina - bikarbonati. U vodi se odvijaju sledeće reakcije:



Karbonatni sistem u vodi može se tretirati kao zatvoren termodinamički sistem, pošto je brzina hemijskih reakcija mnogo veća nego brzina razmene CO₂ između vode i atmosfere. Pošto samo mala frakcija CO₂ u vodi prelazi u H₂CO₃ uvodi se zbir (mol/l) CO₂ i H₂CO₃ i na taj način definiše H₂CO₃*. Sada se mogu napisati izrazi za konstante ravnoteže karbonatnog sistema u vodi sa:

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]} \quad (4)$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad (5)$$

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (6)$$

Jednačine (4), (5) i (6) su napisane pod pretpostavkom da je sistem koji sadrži karbonatne komponente u teorijskoj ravnoteži, pa su konstante K₁, K₂ i K_w termodinamičke konstante ravnoteže. Većina prirodnih sistema ima manji stepen razblaženja od idealnog rastvora, pa je stvarna aktivnost jona manja od njihove koncentracije, zbog međusobnog sadejstva svih prisutnih ionova. Zbog toga se u jednačinama umesto analitičkih koncentracija moraju staviti aktivnosti.

Uvodeći korekciju aktivnosti u jednačine (4), (5) i (6) dobija se:

$$K_1 = \frac{\gamma_m [H^+] \gamma_m [HCO_3^{2-}]}{[H_2CO_3^*]} \quad (7)$$

ili

$$K_1' = \frac{K_1}{\gamma_m} \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{\gamma_m [H^+] \gamma_d [CO_3^{2-}]}{\gamma_m [HCO_3^-]} \quad (9)$$

$$K_2' = \frac{K_2}{\gamma_d} = [H^+] [CO_3^{2-}] \quad (10)$$

$$K_w = \gamma_m [H^+] \gamma_m [OH^-] \quad (11)$$

$$K_w' = \frac{K_w}{\gamma_m} = [H^+] [OH^-] \quad (12)$$

gde je γ_m koeficijent aktivnosti jednovalentnog jona a γ_d koeficijent aktivnosti dvovalentnog jona. Koeficijenti aktivnosti računati su po formuli Daviesa:

$$\log \gamma = -AZ^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,2 \cdot I \right) \quad (13)$$

gde je γ koeficijent aktivnosti sa indeksima m , d i t koji reprezentuju apsolutnu vrednost valence jonova koji su od interesa, tj. m za jednovalentne jonove, d za dvovalentne jonove i t za trovalentne jonove. Z je valenca jona koji se posmatra.

$$A = 1,82 \cdot 10^6 \cdot (D \cdot T)^{-3/2} \quad (14)$$

T - temperatura rastvora u stepenima Kelvina,

D - dielektrična konstanta vode $D=78,3$ i

I jonska jačina rastvora uzimajući u obzir sve prisutne jone (mol/l).

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^t C_i Z_i^2 \quad (15)$$

C_i - analitička koncentracija i -te supstance

Z_i - valenca i -te supstance

U daljem tekstu korišćen je Langelier-ov (1936) izraz za jonsku jačinu:

$$I = (2,5 \cdot 10^{-5}) \text{ (USO)} \quad (16)$$

gde je USO - ukupni suvi ostatak (mg/l).

U izrazima (8), (10) i (12) indeks ' označava da su termodinamičke konstante korigovane zbog temperature i jonske jačine. Potrebno je znati da je pH mera

aktivnosti vodoničnog jona, tj. $pH = -\log(\gamma_m [H^+])$, odnosno

$$[H^+] = \frac{10^{-pH}}{\gamma_m} \quad (17)$$

Termodinamičke konstante ravnoteže su zavisne od temperature i za njihovo izračunavanje mogu se koristiti izrazi:

$$pK_1 = \frac{17052}{T} + 215,2 \log T - 0,12675 T - 545,56 \quad (18)$$

$$pK_2 = \frac{2902,39}{T} + 0,02379 T - 6,498 \quad (19)$$

$$pK_w = \frac{4787,3}{T} + 7,132 \log T + 0,01036 T - 22,801 \quad (20)$$

gde je T -temperatura rastvora u Kelvinovim stepenima.

Za poznavanje karbonatnog sistema u vodi potrebno je poznavati koncentracije: H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- , H^+ . Dakle, pet nezavisnih jednačina je potrebno da bi se sračunale komponente. To su tri jednačine: (8), (10) i (12). Četvrta je poznata iz merenja pH vrednosti – jednačina (17). Peta jednačina dobija se merenjem koncentracije neke od komponenti karbonatnog sistema. Najčešće, to je alkalnost.

Ukupna alkalnost je definisana kao broj molova vodonik jona potrebnih da prevedu jedan litar rastvora u ekvivalentni rastvor ugljene kiseline (Loewenthal i Marais, 1976). Pod pretpostavkom da je alkalnost nastala zbog prisustva jake baze u rastvoru ugljene kiseline, važi:

$$[Alk]_e = [CO_3^{2-}]_e + [HCO_3^-]_e + [OH^-]_e - [H^+]_e \quad (21)$$

Pretvarajući ekvivalente u mole (jednovalentni joni su numerički ekvivalentni, izraženi kao moli ili kao ekvivalenti, dok je kod dvovalentnih jona odnos ekvivalent/mol jednak 2/1), može se napisati:

$$2[Alk] = 2[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [OH^-] - [H^+] \quad (22)$$

ili

$$[Alk] = [CO_3^{2-}] + 1/2[HCO_3^-] + 1/2[OH^-] - 1/2[H^+] \quad (23)$$

gde su sve koncentracije u mol/litar.

Merenje pH vrednosti i alkalnosti omogućuje da se odrede koncentracije H_2CO_3 , HCO_3^- i CO_3^{2-} . Na raspolaganju su jednačine (10) i modifikovana jednačina (8).

$$CO_3^{2-} = \frac{K_2' [HCO_3^-]}{[H^+]} \quad (24)$$

$$[H_2CO_3^*] = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{K_1'} \quad (25)$$

Zamenjujući jednačinu (24) u jednačini (23) i rešavajući bikarbonate, dobija se:

$$[HCO_3^-] = \frac{2[Alk] - [OH^-] + [H^+]}{\left[\frac{2K_2'}{[H^+]} + 1\right]} \quad (26)$$

Slično se mogu rešiti jednačine po CO_3^{2-} i $H_2CO_3^*$.

$$[CO_3^{2-}] = \frac{2[Alk] - [OH^-] + [H^+]}{\left[2 + \frac{[H^+]}{K_2'}\right]} \quad (27)$$

$$[H_2CO_3^*] = \frac{2[Alk] - [OH^-] + [H^+]}{\left[2 \frac{K_1' \cdot K_2'}{[H^+]^2} + \frac{K_1'}{[H^+]}\right]} \quad (28)$$

3. STABILNOST VODE

Stabilnom vodom smatramo vodu koja ne pokazuje niti težnju za istaložavanjem $CaCO_3$ niti agresivnost. U proizvodnji vode (za piće) teži se da voda stvori tanak film $CaCO_3$ unutar cevi distributivnog sistema. Da bi bio efikasan ovaj film se mora kontrolisati, inače bi preveliko istaložavanje na cevima dovelo do drastičnog smanjenja propusne moći cevovoda.

Ako je voda presaturirana sa $CaCO_3$ doći će do istaložavanja $CaCO_3$. S druge strane, kad je voda nezasićena sa $CaCO_3$, ona će rastvarati čvrst $CaCO_3$. Izraz za konstantu proizvoda rastvorljivosti $CaCO_3$ je:

$$K_s' = \frac{K_s}{\gamma_d} = [Ca^{2+}][CO_3^{2-}] \quad (29)$$

Prema jednačini (27) CO_3^{2-} se može izraziti sa:

$$[CO_3^{2-}] = \left[\frac{[Alk] - \frac{1}{2}[OH^-] + \frac{1}{2}[H^+]}{\left[1 + \frac{[H^+]}{K_2'}\right]} \right] \quad (30)$$

odnosno

$$[CO_3^{2-}] = \left[\frac{K_2' [2[Alk] - [OH^-] + [H^+]]}{\left[1 + \frac{[H^+]}{K_2'}\right]} \right] \quad (31)$$

Ako (31) uvrstimo u (29) dobija se:

$$K_s = [Ca^{2+}] \left[\frac{K_2' [2[Alk] - [OH^-] + [H^+]_s]}{[H^+]_s \left[\frac{2K_2'}{[H^+]_s} + 1 \right]} \right] \quad (32)$$

gde indeks $_s$ označava da se radi o ravnotežnoj koncentraciji H^+ jona. Jednačina (32) izražava zavisnost rastvorljivosti $CaCO_3$ od pH i ukazuje da će se rastvorljivost povećati sa smanjenjem pH.

Preuređujući jednačinu (32) i nakon logaritmovanja dobija se:

$$-\log[H^+]_s = \log K_s' - \log K_2' - \log [Ca^{2+}] - \log [2[Alk] - [OH^-]_s + [H^+]_s] + \log \left[\frac{2K_2'}{[H^+]_s} + 1 \right] \quad (33)$$

Kako je

$$\begin{aligned} pH_s &= -\log [\gamma_m [H^+]_s] \\ pK_s' &= -\log K_s' \\ pK_2' &= -\log [Ca^{2+}] \end{aligned}$$

jednačina (33) postaje:

$$pH_s = pK_2' + pCa^{2+} - pK_s' - \log [2[Alk] - [OH^-]_s + [H^+]_s] + \log \left[\frac{2K_2'}{[H^+]_s} + 1 \right] - \log \gamma_m \quad (34)$$

Koristeći jednačinu (34) pH pri saturaciji se može sračunati za svaku vodu sa određenim sadržajem Ca^{2+} i alkalnosti. Izraz (34) se može pojednostaviti pošto su Loewenthal i Marais (1976) zaključili da su u opsegu pH između 6,5 i 9,5 članovi $[H^+]_s$ i $[OH^-]_s$ u izrazu $[2[Alk] - [OH^-]_s + [H^+]_s]$ zanemarljivi i da je izraz $\frac{2K_2'}{[H^+]_s}$ u izrazu $\left[\frac{2K_2'}{[H^+]_s} + 1 \right]$ zanemarljiv pa u tom opsegu pH jednačina (34) postaje:

$$pH_s = pK_2' + pCa^{2+} - pK_s' - \log [2[Alk]] - \log \gamma_m \quad (35)$$

Pošto pH većine prirodnih voda pada u opseg od 6,5 do 9,5, jednačina (35) se obično koristi za proračun pH_s . Loewenthal i Marais (1976) su izveli izraz za računanje pK_s za $CaCO_3$ u zavisnosti od temperature t ($^{\circ}C$).

$$pK_s = 0,01183t + 8,03 \quad (36)$$

Ukoliko je stvarno pH manje od pH_s voda će biti agresivna prema $CaCO_3$. Kontrolni parametar je Langelier-ov indeks LI.

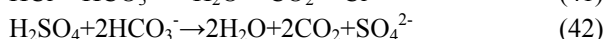
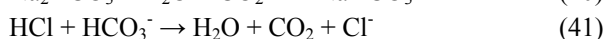
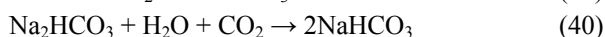
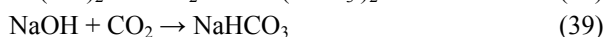
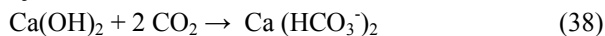
$$LI = pH - pH_s \quad (37)$$

LI < 0 - voda je agresivna prema $CaCO_3$
LI > 0 - voda ima tendenciju istaložavanja $CaCO_3$

Stabilizacija vode podrazumeva dovođenje vode u ravnotežno stanje. Moguće je dodavanje kiseline (HCl, H₂SO₄), baza (Ca(OH)₂, NaOH), aerisanje (desorpcija CO₂) ili uduvanje CO₂. Količine se određuju tako da LI bude između 0,0 i 0,5 (Schippers,1981).

4. MATEMATIČKI MODEL ZA ODREĐIVANJE DOZA HEMIKA LIJA ZA STABILIZACIJU VODE

Matematički model za određivanje doza hemikalija za stabilizaciju vode napravljen na Građevinskom fakultetu u Beogradu tretira karbonatni sistem u vodi kao zatvoren termodinamički sistem, pošto je brzina hemijskih reakcija mnogo veća nego brzina razmene CO₂ između vode i vazduha. Uobičajena mera agresivnosti, odnosno tendencije istaložavanja CaCO₃ je Langelierov indeks stabilnosti (LI) [literatura 1]. Smatra se da je voda stabilna ako je LI između 0 i 0,5. Baza matematičkog modela je potprogram za izračunavanje LI indeksa. U matematičkom modelu se prvo računa LI indeks za sirovu vodu i komponente karbonatnog sistema u vodi. U zavisnosti od dobijenog rezultata za LI indeks, u slučaju da je voda nestabilna, određuje se da li je vodi potrebno dodavati kiselinu ili bazu. Doze kiseline ili baze se dobijaju iterativnim postupkom. Pri tome se u svakoj iteraciji računaju karbonatne komponente [literatura 2] i LI indeks. Postupak se završava kada LI indeks dostigne vrednost između 0 i 0,5. U slučaju da samo dodavanje baze dovede do prekoračenja dozvoljenog pH (8,5), zajedno sa dozom baze model određuje i dozu CO₂. Ulazni podaci za matematički model određuju se laboratorijski: ukupni suvi ostatak, temperatura vode, pH, alkalnost, koncentracija kalcijuma u vodi koju želimo da stabilizujemo. U ovom matematičkom modelu za određivanje doza hemikalija za stabilizaciju vode razmatrane su sledeće hemikalije: kreč, natrijum hidroksid, natrijum karbonat, natrijum bikarbonat, ugljen dioksid, hlorovodonična i sumporna kiselina. Komponente karbonatnog sistema u vodi, čiju ravnotežu popravljamo, reaguju sa navedenim hemikalijama na sledeći način:



Dodavanje natrijum bikarbonata i ugljen dioksida direktno povećava koncentraciju bikarbonatnog jona i ugljen dioksida respektivno. U iterativnom postupku za

malu dozu hemikalije (korak iteracije), svaki put se računaju karbonatne komponente korigovane stehiometrijskim proračunom iz jednačina 38 do 42. U slučaju dodavanja baze, ako dođe do potrošnje prisutnog CO₂, matematički model određuje i dozu simultanog dodavanja CO₂. Isto važi i za slučaj prekoračenja zahtevane vrednosti pH. Iterativni postupak se završava kada LI indeks dostigne vrednost između 0,0 i 0,5.

5. PRIMERI

- 5.1. VODA IZ AKUMULACIJE ZLATIBOR
listing proračuna
- 5.2. PREČIŠĆENA VODA NA POSTROJENJU ZA PREČIŠĆAVANJE VODE ZA PIĆE ZLATIBOR
listing proračuna
- 5.3. VODA IZ AKUMULACIJE GRUŽA
listing proračuna
- 5.4. PREČIŠĆENA VODA NA POSTROJENJU ZA PREČIŠĆAVANJE VODE ZA PIĆE GRUŽA
listing proračuna
- 5.5. VODA KOJA PUNI BUDUĆU AKUMULACIJU BARJE
listing proračuna
- 5.6. VODA KOJA PUNI BUDUĆU AKUMULACIJU BARJE POSLE KOAGULACIJE SA 50 mg/l Al₂(SO₄)₃ x 18 H₂O
listing proračuna

Prilog 5.1

ULAZNI PODACI O KVALITETU VODE IZ AKUMULACIJE ZLATIBOR

TDS (mg/l).....	128.0000
Temp. (C).....	8.0000
pH.....	7.7100
Alkalinity (mmol/l)...	0.7500
Ca +2 (mmol/l).....	0.0715
HCO ₃ (mmol/l).....	1.4942
CO ₃ (mmol/l).....	0.0029
H ₂ CO ₃ (mmol/l).....	0.0847
pHs.....	9.5074
LI.....	-1.7974

Voda je agresivna.

Doze i računski rezultati pri stabilizaciji sa Ca(OH)₂

Doza Ca(OH) ₂ (mmol/l)...	3.8000
Doza CO ₂ (mmol/l).....	0.7600
TDSr (mg/l).....	189.5601

pHr.....	8.5012
Alkalinity (mmol/l).....	1.1300
HCO ₃ r (mmol/l).....	2.2048
CO ₃ r (mmol/l).....	0.0272
H ₂ CO ₃ r (mmol/l).....	0.0199
pHsr.....	8.5392
Llr.....	-0.0379

Prilog 5.2

ULAZNI PODACI O KVALITETU VODE POSLE
PREČIŠĆAVANJA VODE IZ AKUMULACIJE
ZLATIBOR KOAGULACIJOM SA 150 mg/l
ALUMINIJUM SULFATA

TDS (mg/l).....	127.0000
Temp. (C).....	9.0000
pH.....	5.6600
Alkalinity (mmol/l)...	0.1500
Ca +2 (mmol/l).....	0.0715
HCO ₃ (mmol/l).....	0.3023
CO ₃ (mmol/l).....	0.0000
H ₂ CO ₃ (mmol/l).....	1.8799
pHs.....	10.1803
Ll.....	-4.5203

Voda je agresivna

Doze i računski rezultati pri stabilizaciji sa Ca(OH)₂

Doza Ca(OH) ₂ (mmol/l)...	0.9200
Doza CO ₂ (mmol/l).....	1.8400
TDSr (mg/l).....	276.0402
pHr.....	8.1488
Alkalinity (mmol/l).....	1.0700
HCO ₃ r (mmol/l).....	2.1147
CO ₃ r (mmol/l).....	0.0125
H ₂ CO ₃ r (mmol/l).....	0.0415
pHsr.....	8.0996
Llr.....	0.0492

Komentar: Postoje uređaji za doziranje kreča, ali ne rade a uređaji za doziranje CO₂ ne potoje.

Prilog 5.3

ULAZNI PODACI O KVALITETU VODE IZ
AKUMULACIJE GRUŽA

TDS (mg/l).....	270.0000
Temp. (C).....	8.0000
pH.....	1.6500
Alkalinity (mmol/l)...	1.6500

Ca +2 (mmol/l).....	1.0220
HCO ₃ (mmol/l).....	3.2801
CO ₃ (mmol/l).....	0.0099
H ₂ CO ₃ (mmol/l).....	0.1251
pHs.....	8.0692
Ll.....	-0.1992

Voda je agresivna

Doze i računski rezultati pri stabilizaciji sa Ca(OH)₂

Doza Ca(OH) ₂ (mmol/l)...	0.0200
Doza CO ₂ (mmol/l).....	0.0000
TDSr (mg/l).....	273.2400
pHr.....	8.0838
Alkalinity (mmol/l).....	1.6700
HCO ₃ r (mmol/l).....	3.3071
CO ₃ r (mmol/l).....	0.0163
H ₂ CO ₃ r (mmol/l).....	0.0771
pHsr.....	8.0567
Llr.....	0.0271

Prilog 5.4

ULAZNI PODACI O KVALITETU VODE POSLE
PREČIŠĆAVANJA NA POSTROJENJU PASIJEVIĆ-
Kragujevac

TDS (mg/l).....	280.0000
Temp. (C).....	9.0000
pH.....	7.2500
Alkalinity (mmol/l)...	1.4500
Ca +2 (mmol/l).....	1.0024
HCO ₃ (mmol/l).....	2.8957
CO ₃ (mmol/l).....	0.0022
H ₂ CO ₃ (mmol/l).....	0.4496
pHs.....	8.1113
Ll.....	-0.8613

Voda je agresivna

Doze i računski rezultati pri stabilizaciji sa Ca(OH)₂

Doza Ca(OH) ₂ (mmol/l)...	0.1200
Doza CO ₂ (mmol/l).....	0.0000
TDSr (mg/l).....	299.4399
pHr.....	8.0481
Alkalinity (mmol/l).....	1.5700
HCO ₃ r (mmol/l).....	3.1103
CO ₃ r (mmol/l).....	0.0147
H ₂ CO ₃ r (mmol/l).....	0.0766
pHsr.....	8.0340
Llr.....	0.0141

Komentar: Izgrađeni su uređaji za doziranje kreča, ali se doziranje ne obavlja.

Prilog 5.5

ULAZNI PODACI O KVALITETU VODE KOJA PUNI BUDUĆU AKUMULACIJU BARJE LESKOVAC

TDS (mg/l).....	90.0000
Temp. (C).....	10.0000
pH.....	7.5000
Alkalinity (mmol/l)...	0.9236
Ca +2 (mmol/l).....	0.0600
HCO ₃ (mmol/l).....	1.8427
CO ₃ (mmol/l).....	0.0022
H ₂ CO ₃ (mmol/l).....	0.1637
pHs.....	9.4205
LI.....	-1.9205

Voda je agresivna

Doze i računski rezultati pri stabilizaciji sa Ca(OH)₂

Doza Ca(OH) ₂ (mmol/l)...	0.4600
Doza CO ₂ (mmol/l).....	0.9200
TDSr (mg/l).....	164.5200
pHr.....	8.3356
Alkalinity (mmol/l).....	1.3836
HCO ₃ r (mmol/l).....	2.7188
CO ₃ r (mmol/l).....	0.0238
H ₂ CO ₃ r (mmol/l).....	0.0346
pHsr.....	8.2995
Llr.....	0.0362

Prilog 5.6

ULAZNI PODACI O KVALITETU VODE KOJA PUNI BUDUĆU AKUMULACIJU BARJE LESKOVAC POSLE KOAGULACIJE SA 50mg/l ALUMINIJUM SULFATA

TDS (mg/l).....	117.6000
Temp. (C).....	10.0000
pH.....	6.9000
Alkalinity (mmol/l)...	0.7736
Ca +2 (mmol/l).....	0.0600
HCO ₃ (mmol/l).....	1.5463
CO ₃ (mmol/l).....	0.0005
H ₂ CO ₃ (mmol/l).....	0.5427
pHs.....	9.5138
LI.....	-2.6138

Voda je agresivna

Doze i računski rezultati pri stabilizaciji sa Ca(OH)₂

Doza Ca(OH) ₂ (mmol/l)...	0.6200
Doza CO ₂ (mmol/l).....	1.2400
TDSr (mg/l).....	218.0401
pHr.....	8.1667
Alkalinity (mmol/l).....	1.3936
HCO ₃ r (mmol/l).....	2.7530
CO ₃ r (mmol/l).....	0.0169
H ₂ CO ₃ r (mmol/l).....	0.0512
pHsr.....	8.1476
Llr.....	0.0191

6. ZAKLJUČAK

Metodologija i matematički model mogu dobro poslužiti za proračune potrebnih doza hemikalija za stabilizaciju vode sa puferskim svojstvom usled prisustva karbonata. Matematički model je eksperimentalno proveren na vodi iz akumulacije Zlatibor i rezultati su prikazani u literaturi 6, a metodologija je proverena i poređenjem sa drugim metodama određivanja agresivnosti (mermerni test), [literatura7]. Dosadašnja praksa u Srbiji sastojala se u dodavanju kreča za stabilizaciju vode. Ova metodologija je pokazala da je to moguće samo u izvesnim slučajevima, dok je u nekim navedenim slučajevima potrebno dodavati CO₂.

LITERATURA

- [1] Langelier W.F. "Effect of Temperature on the pH Natural Waters", J. Am. Water Works Assoc., 28, 15001 1936.
- [2] Loewenthal R.E. i Marals G.V.R. "Carbonate Chemistry of Aquatic Systems Theory and Application", Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor MI, 1976.
- [3] Langelier W.F. "The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment", J. Am. Water Works Assoc., 28, 15001 1936.
- [4] Benefield L.D., Jundikins J.F. i Weand B.L. "Process Chemistry Water and Wastewater Treatment", Prentice Hall Inc, New Jersey, 1982.
- [5] Schippers J.C. „Water Quality and Treatment” Internation Institute for Environmental and Hydraulic Engineering, Delft, Holand, 1981. (skripta)

- [6] Dejan Ljubisavljević, Branislav Babić: „Matematički model za određivanje doza hemikalija za stabilizaciju vode”, Zaštita vode '91, Neum 1991.
- [7] Dejan Ljubisavljević, Olivera Šestakov: “Mermerni test kao pokazatelj agresivnog karaktera vode”, Voda i sanitarna tehnika br.2 1988.

CALCULATION OF CHEMICAL DOSES FOR WATER STABILIZATION

by

Dejan LJUBISAVLJEVIĆ, Branislav BABIĆ, Igor ŠUŠIĆ,
Faculty of Civil Engineering, Belgrade,

Summary

In the paper the authors deal with the problem of determining the aggressiveness of water in some of our reservoirs, such as “Zlatibor”, “Gruža”, and “Barje”. This is very important because the aggressive water causes many problems. It is analyzed how to stabilize

the aggressive water. A mathematical model for the analyzes is described in paper, too.

Key words: LI index, aggressiveness of water, drinking water treatment

Redigovano 02.08.2006.