

Uticaj prirode i koncentracije gela na difuziju i stvaranje Lizegangovih prstenova

Lizegangovi prstenovi predstavljaju fenomen periodičnog taloženja koje se javlja u mnogim hemijskim sistemima u kojima se dešavaju reakcije taloženja pod određenim uslovima i koncentracijama elektrolita. Predmet našeg rada bio je uticaj prirode i koncentracije gelova (agaroznih i želatinoznih) na kinetiku stvaranja i difundovanja Lizegangovih prstenova, na njihovu geometriju i mogućnost korišćenja Lizegangovih prstenova za odvajanje taloga. Za obradu rezultata korišćeni su vremenska zavisnost koja važi za Lizegangove prstenove i Stoks-Ajnštajnov zakon. Određivane su konstante formiranja Lizegangovih prstenova za ispitivane sisteme. Analizirane su zavisnosti konstanti formiranja od koncentracija gela. Određeni su optimalni uslovi za formiranje Lizegangovih prstenova u ispitivanim sistemima. Utvrđena je mogućnost razdvajanja taloga pomoću Lizegangovih prstenova, ali nije ispitivana uspešnost razdvajanja. Na osnovu zavisnosti konstanti formiranja od koncentracije gelova pretpostavljeno je da su za pojavu Lizegangovih prstenova i brzinu njihovog stvaranja presudna dva faktora – uticaj viskoznosti gela i uticaj gela na veličinu čestica taloga. Oba faktora zavise od prirode i koncentracije gela. Prstenovi se formiraju u sistemima u kojima je uticaj veličine čestica taloga dovoljno izražen da delimično (u želatinu) ili potpuno (u agru) poništi uticaj viskoznosti. Prilikom daljih ispitivanja ili primene Lizegangovih prstenova treba uzeti u obzir uticaj vrste i koncentracije gela.

Uvod

Difuzija predstavlja spontani transport materije ili energije pod uticajem odgovarajućeg gradijenta iz zone više u zonu niže energije ili koncentracije. Kao i mnogi spontani procesi, difuzija je entropijski vođen proces u kojem se energija ili materija koja difunduje uniformno raspoređuje u raspoloživom prostoru čime se povećava entropija sistema. Kada se difuzija neke supstance odvija usporeno kroz viskoznu ili čvrstu sredinu često dolazi do pojave periodičnih difuznih zona. Najpoznatiji oblik ove pojave, česte i u biološkim sistemima (način rasta nekih fungi) su Lizegangovi prstenovi po kojima su dobili ime i svi drugi oblici iste pojave.

Milan Kornjača (1993), Hrtkovci, 27. Oktobra 1a, učenik 2. razreda Mitrovačke gimnazije u Sremskoj Mitrovici

Dajana Milovanov (1993), Bečej, Petefi Šandora 148, učenica 2. razreda Gimnazije u Bečeju

Lizegangovi prstenovi predstavljaju fenomen periodičnog taloženja koji se javlja u mnogim hemijskim sistemima u kojima se dešavaju reakcije taloženja, u uslovima usporene difuzije i niskih koncentracija elektrolita. Reakcije se obično izvode u epruvetama tako što se rastvornom elektrolitu niske koncentracije doda materijal sposoban da formira gel (želatin, agar, silicijumove kiseline, polivinil-alkohol) i nakon očvršćavanja gela, doda se preko gela drugi rastvor, više koncentracije. Ako dva elektrolita reaguju međusobno i stvaraju slabo rastvoran talog, talog difunduje kroz gel i stvara prstenove. Brojni su parovi elektrolita koji omogućavaju formiranje Lizegangovih prstenova.

Iako su fenomen zapažen pre više od jednog veka, za Lizegangove prstenove još nema adekvatnog objašnjenja. Stvoreni su, poslednjih godina, matematički modeli koji opisuju stvaranje Lizegangovih prstenova (Büki 2007), ali faktori koji utiču na mogućnost formiranja prstenova u nekom sistemu nisu utvrđeni. Aktuelno je ispitivanje pre svega uticaja koncentracije samih elektrolita, kao i nekih spoljašnjih faktora (temperatura, elektrostatičkog polja), ali u dosadašnjim ispitivanjima zanemaran je uticaj same sredine, tj. njene prirode (vrste) i koncentracije (Lagzi 2002). Najnovija ispitivanja otvaraju i mogućnosti primene Lizegangovih prstenova, pre svega za razvoj nekih analitičkih metoda (Narita *et al.* 2006), ali pri tome se zanemaruje uticaj koncentracije gela koji se koristi kao sredina za formiranje prstenova (Hughes 1934).

U ovom radu ispitivan je uticaj koncentracije i vrste gela na brzinu difuzije taloga kroz gel i stvaranja Lizegangovih prstenova. Na osnovu dobijenih rezultata data je hipoteza o mogućim faktorima koji diriguju formiranje Lizegangovih prstenova u ispitivanim gelovima. Takođe, na osnovu rezultata o kinetici i geometriji prstenova moguće je optimizovati potencijalnu primenu Lizegangovih prstenova. Sekundarni cilj rada je ispitivanje mogućnosti primene Lizegangovih prstenova za odvajanje taloga. Mogućnost nije ispitivana kvantitativno, već samo fenomenološki.

Materijal i metode

Istraživanje je izvedeno za pet sistema elektrolita i agarozne i želatinozne gelove različitih masnenih udela. Vodeni rastvori čvrstog agra ili želatina i odgovarajućeg elektrolita niske koncentracije pripremani su u epruvetama. Posle hlađenja, preko geliranog rastvora sipan je elektrolit visoke koncentracije.

Za analizu rezultata korišćena je kinetička metoda koja se sastoji u određivanju konstante formiranja Lizegangovih prstenova. Vršena su merenja rastojanja između početka taložne zone (ekvivalentan početku gelirane zone) i poslednjeg formiranog prstena (odnosno poslednje čestice taložne zone) u prethodno određenim vremenskim intervalima. Na osnovu

konstanti izračunatih iz dobijenih rastojanja i vremena dalje su diskutovani rezultati (zavisnost konstanti od procentne koncentracije gela, poređenje konstanti za iste agarozne i želatinozne gelove). Praćena je i geometrija prstenova (fotografisanjem). Za sisteme sa dva elektrolita u gelu i jednim taložnim reagensom ispitivana je samo mogućnost razdvajanja dva taloga, bez daljih kvantitativnih provera.

Sistemi u kojima je praćeno formiranje Lizegangovih prstenova

Lizegangovi prstenovi formirani su u epruvetama (zapremina 25 mL) u sistemu sastavljenom iz gela u kome se nalazi rastvoren elektrolit niske koncentracije (zapremina gela je 20 mL) i elektrolita visoke koncentracije sipanog preko gela (zapremina 4 mL) koji služi kao taložni reagens.

Ispitivani su sledeći sistemi elektrolita i taložnih reagenasa:

1. kalijum-dihromat u gelu koncentracije 0.01 mol/L i srebro-nitrat koncentracije 1 mol/L,
2. magnezijum-hlorid u gelu koncentracije 0.01 mol/L i koncentrovan rastvor amonijaka,
3. bakar(II)-sulfat u gelu koncentracije 0.01 mol/L i natrijum-hidroksid koncentracije 1 mol/L,
4. kobalt(II)-hlorid u gelu koncentracije 0.01 mol/L i koncentrovan rastvor amonijaka,
5. sistem od dva elektrolita u gelu i jednim taložnim reagensom – magnezijum-hlorid i kalijum-dihromat koncentracije 0.01 mol/L u gelu i srebro-nitrat koncentracije 1 mol/L.

Ispitivano je formiranje prstenova u sledećim gelovima:

- 1) agaroznim gelovima od 1, 1.5, 3 i 7.5 masenih procenata,
- 2) želatinoznim gelovima od 5, 7.5, 10, 12.5 i 15 masenih procenata.

U 5 i 15 procentnom želatinoznom gelu ispitivani su samo sistemi elektrolita 1 i 4.

Postupak pripreme sistema za ispitivanje

Agarozni gelovi. U čašu od 250 mL odmeri se potrebna količina agra (0.5 g za gel od 1%, 0.75 g za 1.5%, 1.5 g za 3%, 3.25 g za 7.5%) i potrebna količina elektrolita niske koncentracije. U menzuri je odmereno 54-55 mL vode i sipano u čašu (dodatna 4-5 mL sipaju se zbog gubitka prilikom ključanja, a ukoliko je potrebno, zapremina vode se kontroliše i tokom kuvanja gela). Smeša se zagreva uz stalno mešanje sve dok se agar potpuno ne rastvori i dok voda ne proključa. U dve epruvete na kojima je prethodno označeno 20 mL uliva se vruć rastvor gela sa elektrolitom. Epruvete se ostave da se hlade dok se gel ne stegne.

Kada se gel stegne, otpipetira se 4 mL prethodno pripremljenog rastvora taložnog reagensa u epruvete, a zatim se epruvete prekriju aluminijumskom folijom (kako rastvor taložnog reagensa ne bi isparavao). Merenje vremena počelo je od trenutka dodavanja taložnog reagensa.

Postupak pripreme gela sa dva elektrolita u gelu razlikuje se samo u tome što se umesto proračunate mase jednog elektrolita u čašu sa agrom dodaju proračunate mase oba elektrolita.

Želatinozni gelovi. Postupak pripreme želatinoznih gelova razlikuje se od postupka pripreme agaroznih gelova samo u tome što se smeša u čaši ne zagreva do ključanja već samo do potpunog rastvaranja želatina (oko 70°C). Zbog manjeg gubitka vode pri kuvanju u čašu sa odmerenim količinama želatina i elektrolita dodato je 52-53 mL vode.

Ispitivano je 45 različitih sistema za formiranje Lizegangovih prstenova. Svaki sistem ispitivan je u dva vremenski paralelna ponavljanja. U želatinoznim gelovima od 5% i 15% ispitivani su jedino sistemi kod kojih se stvaraju najpravilniji Lizegangovi prstenovi (sistemi 1 i 4).

Praćenje formiranja prstenova, merenje i određivanje konstante formiranja Lizegangovih prstenova

Za analizu rezultata eksperimenata korišćena je kinetička metoda. Veličine koje se mere su vreme (t), za koje se poslednji prsten razdvoji od početka zone sa talogom i rastojanje između početka taložne zone i poslednjeg prstena (l). Za stvaranje Lizegangovih prstenova je utvrđeno da važi kvantitativna relacija poznata kao vremenski zakon (Büki 2007) – količnik kvadrata rastojanja l i vremena za koje su se prstenovi formirali teži konstanti što je l veće:

$$K = l^2/t.$$

Za merenje rastojanja l korišćeno je elektronsko kljunasto merilo (Fowler Ultra-Call III, proizvođač Sylvac, tačnost 0.01 mm). Početni trenutak je trenutak dodavanja taložnog reagensa preko gela. Vrednost l je merena na 5, 10 i 30 minuta, 1, 2, 4, 6, 20, 30, 45, 70 i 120 časova. Merenja su sprovedena samo u sistemima sa jednim elektrolitom u gelu i jednim taložnim reagensom (sistemi 1-4).

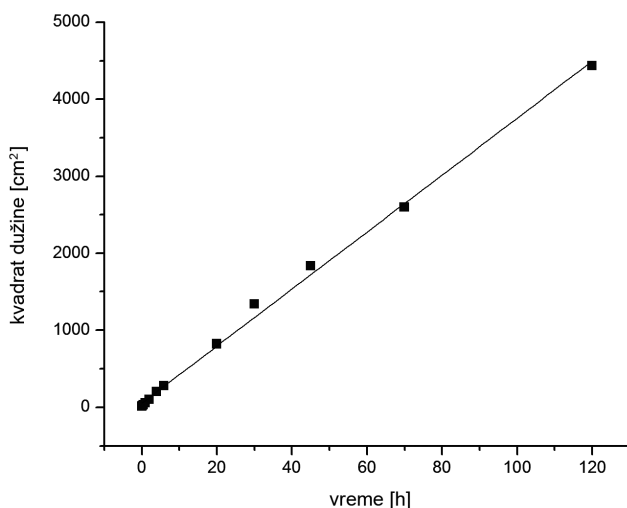
U sistemima sa dva elektrolita u gelu ili sa dva taložna reagensa proces difuzije kroz gel i formiranja Lizegangovih prstenova praćen je kvalitativno da bi se utvrdilo da li je pomoću Lizegangovog fenomena moguće odvojiti različite taloge.

Na osnovu merenja formirane su tabele sa vrednostima l izmerenim u prethodno određenim vremenskim intervalima (t). Računate su vrednosti l^2 , a zatim je crtan grafik zavisnosti l^2 od t .

U tabeli 1 date su vrednosti za sistem $K_2Cr_2O_7/AgNO_3$ u 7.5%-tnom želatinu, a grafik na slici 1 predstavlja zavisnost l^2 od t za dati sistem.

Tabela 1. Merenja za sistem $K_2Cr_2O_7/AgNO_3$ u 7.5%-tnom želatinu

t	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_{sr} [mm]	l_{sr}^2 [mm ²]
5 min	3.04	3.24	3.14	9.86
10 min	4.80	3.92	4.36	19.01
30 min	5.28	5.47	5.38	28.89
1 h	7.44	7.52	7.48	55.95
2 h	9.86	10.04	9.95	99.00
4 h	14.21	14.21	14.21	201.92
6 h	16.56	16.61	16.58	275.06
20 h	28.89	28.45	28.67	821.97
30 h	36.90	36.29	36.60	1339.19
45 h	42.73	43.00	42.86	1837.41
70 h	51.39	50.56	50.98	2598.45
120 h	66.42	66.79	66.60	4436.23



Slika 1.
Zavisnost l^2 od t za sistem $K_2Cr_2O_7/AgNO_3$ u 7.5%-tnom želatinu

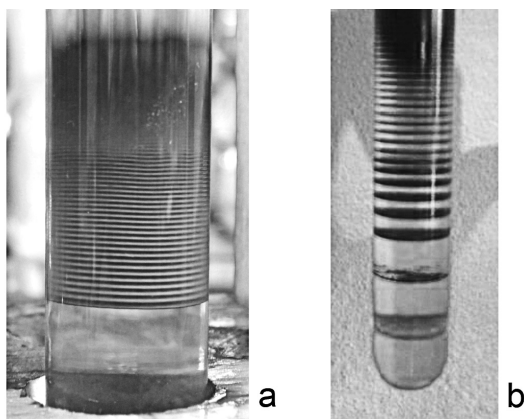
Figure 1.
Correlation between l^2 (square of distance from the beginning of precipitate zone to the last ring formed) and t (time) for system $K_2Cr_2O_7/AgNO_3$ in 7.5% gelatin gel

Nagib grafika jednak je konstanti za dati sistem. Za sistem $K_2Cr_2O_7/AgNO_3$ u 7.5%-tnom želatinu konstanta je (37.0 ± 0.6) mm²/h, što odgovara relativnoj grešci od 1.7%.

Rezultati i diskusija

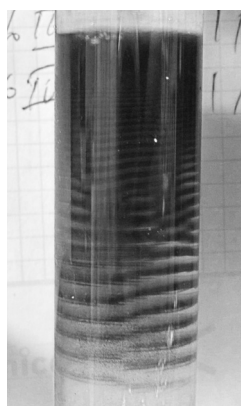
Za stvaranje Lizegangovih prstenova pogodni su bili sledeći sistemi:

- kalijum-dihromat u agaroznom gelu svih koncentracija i srebro-nitrat – stvaraju se mrki, difuzni prstenovi (velika debljina prstena) između kojih se rastojanje povećava vremenom (slika 3),



Slika 2.
Prstenovi u sistemu
 $\text{CoCl}_2/\text{NH}_3$ u
želatinoznom gelu

Figure 2.
Rings for $\text{CoCl}_2/\text{NH}_3$
system in gelatin gel



Slika 3.
Prstenovi u sistemu
 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{AgNO}_3$ u
želatinoznom gelu

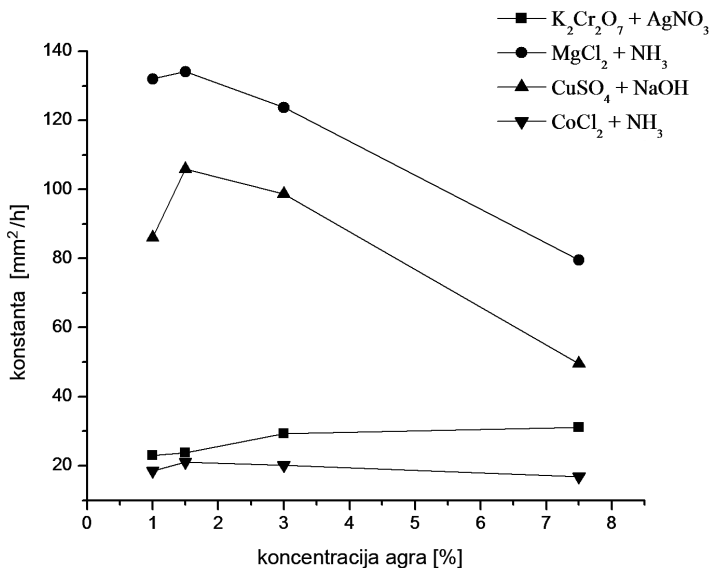
Figure 3.
Rings for
 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{AgNO}_3$
system in gelatin gel

- kalijum-dihromat u želatinoznom gelu svih koncentracija i srebro-nitrat – stvaraju se mrki, spiralni, tanki prstenovi između kojih se rastojanje povećava vremenom (slika 2),
- magnezijum-hlorid u želatinoznom gelu i amonijak – stvaraju se tanki, providni, kružni prstenovi između kojih se rastojanje povećava vremenom,
- kobalt(II)-hlorid u želatinoznom gelu i amonijak – stvaraju se plavi, tanki, kružni prstenovi između kojih se rastojanje povećava vremenom.

U ostalim sistemima elektrolita nije došlo do formiranja Lizegangovih prstenova, ali vremenska relacija za stvaranje Lizegangovih prstenova važi i za difuziju u ovim gelovima.

Agar

Na osnovu konstanti formiranja lizegangovih prstenova (najveća relativna greška računanja konstante ne prelazi 2%) izračunatih iz vremenskog zakona konstruisan je grafik zavisnosti konstante od koncentracije agra.



Slika 4.
Zavisnost konstante od koncentracije agra

Figure 4.
Dependence of Liesegang ring formation constant on agar gel concentration

U sistemima sa agrom kao gelom kod kojih se nisu stvorili Liesegangovi prstenovi primećuje se slična zavisnost konstante od koncentracije agra u ispitivanom intervalu koncentracija. Konstanta se povećava (talog difunduje brže) sve do koncentracije agra od 1.5%, a posle toga brzina difuzije naglo opada.

Za difuziju čestica kroz datu sredinu važi Stoks-Ajnštajnov zakon (Đaković 2006):

$$\bar{x}^2 = 2D\tau, \quad D = \frac{RT}{6\pi\eta rN_A}$$

gde je \bar{x} – srednji slobodni put čestica, D – konstanta difuzije, τ – vreme, R – idealna gasna konstanta, T – apsolutna temperatura, η – koeficijent viskoznosti, r – poluprečnik čestica, a N_A – Avogadrova konstanta.

Za difuziju taloga kroz gel, srednji slobodni put čestica analogan je rastojanju koje je prešao talog (l), pa se izračunata konstanta može povezati sa konstantom difuzije (Büki 2007).

Konstanta difuzije taloga kroz gel (K) zavisi od temperature (T), koeficijenta viskoznosti gela (η) i poluprečnika čestica taloga (r):

$$K = 2D = \frac{RT}{3\pi\eta rN_A}$$

U eksperimentu je temperatura održavana konstantnom, a varirana je viskoznost gela (usled promene koncentracije), dok je poluprečnik čestica zavisio od prirode taloga i od koncentracije gela.

Delovi grafika kod kojih konstanta raste sa koncentracijom gela mogu se objasniti samo promenom poluprečnika čestica taloga usled

povećanja koncentracije gela. Povećanjem koncentracije raste viskoznost gela, ali istovremeno opada poluprečnik čestica taloga koje se stvaraju. Sve do koncentracije gela u kojoj je konstanta maksimalna, izraženiji je efekat smanjenja poluprečnika čestica. Na delu grafika kod kojih konstanta opada sa povećanjem koncentracije gela, izraženiji je efekat povećanja viskoznosti.

Kod sistema u kome su se stvorili Lizegangovi prstenovi zavisnost konstante od koncentracije agra razlikuje se po tome što se konstanta povećava za sve ispitane koncentracije gela, što ukazuje na to da je efekat koncentracije gela na promenu poluprečnika čestica veoma izražen.

Najbrža difuzija u ispitivanom opsegu koncentracija je u 1.5%-tnom agaroznom gelu, dok se Lizegangovi prstenovi najbrže stvaraju u 7.5%-tnom agaroznom gelu.

Pretpostavlja se da su za stvaranje Lizegangovih prstenova u agaroznim gelovima presudne veličine čestica koje difunduju kroz gel i uticaj gela na veličinu samih čestica. U slučaju dovoljno jakog uticaja gela na veličinu čestica (uticaj uravnotežen sa uticajem viskoznosti gela) primećeno je stvaranje Lizegangovih prstenova. Moguće je i da se u sistemima u kojima prstenovi nisu primećeni, prstenovi stvaraju pri višim ili nižim koncentracijama gela, to jest pri koncentracijama pri kojima je efekat smanjenja veličine čestica dovoljno izražen, ali delimično uravnotežen sa efektom koji izaziva viskoznost gela (slika 4. za sistem kalijum-dihromat/srebro-nitrat). Ukoliko intervali sa pomenutom zavisnošću ne postoje za određeni sistem, može se zaključiti da on neće stvarati Lizegangove prstenove u agru.

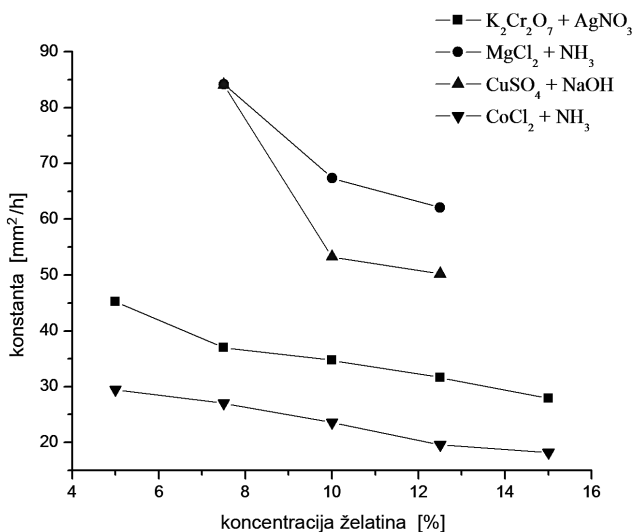
Želatin

Na osnovu konstanti formiranja Lizegangovih prstenova (najveća relativna greška računanja konstante ne prelazi 2%) izračunatih pomoću vremenskog zakona konstruisan je grafik zavisnosti konstante od koncentracije želatina.

Za posmatrani opseg koncentracija želatina u svim sistemima koji su posmatrani primećuje se smanjenje konstante sa povećanjem koncentracije želatina. Najbrža difuzija i najbrže stvaranje Lizegangovih prstenova u ovom opsegu koncentracija želatina jeste u 5%-tnom želatinoznom gelu, odnosno u 7.5%-tnom za sisteme koji nisu ispitivani pri nižim koncentracijama želatina.

U sistemu sa želatinom kao gelom u kom nije došlo do stvaranja prstenova (bakar(II)-sulfat/natrijum-hidroksid) pad je znatno izraženiji nego u sistemima u kojima je došlo do stvaranja prstenova.

Za difuziju i stvaranje prstenova u želatinoznom gelu takođe važi Stoks-Ajnštajnova relacija (Büki 2007).



Slika 5.
Zavisnost konstante od koncentracije želatina.

Figure 5.
Dependence of Liesegang ring formation constant on gelatin gel concentration

Pretpostavlja se da u koncentracijama u kojima su ispitivani, želatinozni gelovi nemaju dovoljno jak efekat na veličinu čestica taloga koji difunduju – efekat nije dovoljno izražen da bi se poništio efekat povećanja viskoznosti gela prilikom povećanja koncentracije. Kod sistema u kojima su se prstenovi formirali, efekat gela na veličinu čestica taloga koji difunduje je izraženiji nego kod sistema bez Liesegangovih prstenova, zbog čega je pad konstanti prilikom povećanja koncentracije gela manji. Najverovatnije je da je i u želatinoznim gelovima stvaranje Liesegangovih prstenova povezano sa odnosom jačine uticaja gela na veličinu čestica koje difunduju i uticaja viskoznosti gela. Može se zaključiti i da se Liesegangovi prstenovi stvaraju ukoliko je efekat gela na veličinu čestica dovoljno jak (delimično uravnotežen sa uticajem viskoznosti gela).

Uticaj prirode gela – poređenje agaroznih i želatinoznih gelova

Uticaj prirode gela može se razmatrati na osnovu razlika između brzine stvaranja prstenova (difuzije) i njihovog oblika u agaroznom i želatinoznom gelu.

U želatinoznim gelovima došlo je do stvaranja Liesegangovih prstenova u tri od četiri ispitivana sistema, dok su se u agaroznim gelovima prstenovi stvarali samo u jednom sistemu.

Prstenovi koji nastaju u agaroznim gelovima su deblji, nepravilnog su oblika i granice im nisu oštre. Prstenovi koji nastaju u želatinoznim gelovima su tanki i pravilnog oblika (spiralnog ili kružnog).

U agaroznim i želatinoznim gelovima koncentracija 7.5% konstante formiranja liesegangovih prstenova za ispitivane sisteme prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2. Vrednosti konstante K (mm^2/h) u agaroznim i želatinoznim gelovima

	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{AgNO}_3$	$\text{MgCl}_2 + \text{NH}_3$	$\text{CuSO}_4 + \text{NaOH}$	$\text{CoCl}_2 + \text{NH}_3$
Želatin 7.5%	37.02	84.23	84.08	27.01
Agar 7.5%	31.14	79.6	49.64	16.88

Za istu koncentraciju želatina i agra konstante se značajno razlikuju. To je posledica znatno veće viskoznosti agaroznog gela. Pretpostavlja se (poređenjem slika 2a i 2b) da je uticaj agra na promenu veličine čestica koje difunduju takođe izraženiji. U sistemu $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{AgNO}_3$ u agru uticaj gela na veličinu čestica taloga je dovoljan da prevlada uticaj povećanja viskoznosti. Kod želatinoznih gelova jači je uticaj viskoznosti, ali je uticaj gela na veličinu čestica ipak dovoljan za formiranje prstenova.

Moguće je i da je znatno veća viskoznost agaroznog gela u odnosu na želatinozni uzrok izostanka prstenova u agaroznim gelovima kod nekih sistema iako se prstenovi javljaju kod istih sistema u želatinoznim gelovima.

Kako su se pravilniji prstenovi javili u želatinu, gelu sa manjim uticajem na veličinu čestica taloga i manjom viskoznošću, moguće je da ovi faktori utiču na pravilnost i oblik prstenova. Najpravilniji prstenovi javili su se u želatinoznim gelovima u sistemu $\text{CoCl}_2/\text{NH}_3$.

Sistemi sa dva elektrolita u gelu i jednim taložnim reagensom

U ovim sistemima (difuzija posmatrana samo kvalitativno) uočena je jasna razlika u brzini difuzije različitih taloga. U epruvetama su se jasno odvojile dve zone u kojima se nalazio samo srebro-hromat, odnosno magnezijum-hidroksid (magnezijum-hidroksid brže difunduje od srebro-hromata, kao što se može zaključiti i iz slika 2a i 2b), između kojih su se nalazili slojevi pravilnih gradijenata koncentracija oba taloga.

Zaključak

Od ispitivanih sistema stvaranje Lizegangovih prstenova primećeno je u sistemu $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{AgNO}_3$ u agaroznom gelu i u sistemima $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{AgNO}_3$, $\text{MgCl}_2/\text{NH}_3$ i $\text{CoCl}_2/\text{NH}_3$ u želatinoznom gelu. Geometrijski najpravilniji prstenovi su nastali u želatinoznom sistemu $\text{CoCl}_2/\text{NH}_3$.

Pretpostavlja se da su za pojavu Lizegangovih prstenova i brzinu njihovog stvaranja presudna dva faktora – uticaj viskoznosti gela i uticaj gela na veličinu čestica taloga. Oba faktora zavise od prirode i koncentracije gela. Prstenovi se formiraju u sistemima u kojima je uticaj

veličine čestica taloga dovoljno izražen da delimično (u želatinu) ili potpuno (u agru) poništi uticaj viskoznosti.

Uticaj prirode i koncentracije gela na formiranje Lizegangovih prstenova ne sme se zanemariti prilikom primene istih (npr. za određivanje koncentracije sulfatnih jona u kišnim kapima (Narita *et al.* 2006)). Na osnovu rezultata eksperimenata zaključeno je da su optimalni uslovi za formiranje prstenova obezbeđeni u 5%-tnom želatinoznom i 1.5%-tnom agaroznom gelu jer je kod njih ostvarena najveća brzina formiranja pomenutih prstenova.

Na osnovu kvalitativnog posmatranja sistema u kojima se stvaraju dva taloga u gelu moguće je razdvojiti nastale taloge usled Lizegangovog fenomena, ali efikasnost razdvajanja nije u ovom radu ispitivana.

Preporučuju se dalja istraživanja, pre svega ispitivanje uticaja drugih koncentracija agra i želatina na formiranje prstenova, ispitivanje procesa formiranja prstenova u drugim gelovima, ispitivanje mogućnosti za kvantitativno razdvajanje taloga pomoću Lizegangovih prstenova, ispitivanje uticaja gela na druge sisteme elektrolita u kojima se formiraju Lizegangovi prstenovi itd.

Literatura

- Büki A. 2007. The Liesegang Phenomenon. Dostupno na: <http://www.insilico.hu/liesegang/>
- Đaković Lj. 2006. *Koloidna hemija*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva
- Hughes E. B. 1934. An analytical study of Liesegang rings. *Biochemical Journal*, **28** (3): 1086.
- Lagzi I, 2002. Formation of Liesegang patterns in an electric field. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 4: 1268.
- Narita K., Matsumoto K., Igawa M. 2006. Application of Liesegang Ring Formation on a Gelatin Film to the Determination of Sulfate Concentration in Individual Rain Droplets. *Analytical Sciences*, **22** (12): 1559.

Influence of Gel Species and Concentration on Liesegang Ring Formation and Diffusion

Liesegang rings are a periodic precipitation phenomenon seen in many chemical systems under special conditions and electrolyte concentrations. The subject of this research was gel species (agar and gelatin) and concentration influence on the kinetics of the formation and geometry of Liesegang rings and the application potential of Liesegang rings for precipitate separation.

The time law for Liesegang ring formation (Büki 2007) and the Stox-Einstein law were used for result analyses. Liesegang ring formation constants were determined for the observed systems. The correlations between formation constants and gel concentrations were analyzed.

Optimal gel concentrations for Liesegang ring formations were determined. The potential for precipitate separation was confirmed, but the effectiveness of separation was not measured.

On the basis of the correlation between formation constants and gel concentration, it has been assumed that two factors regulate Liesegang ring occurrence and the kinetics of formation. These factors are gel viscosity factor and the influence of gel on precipitate particles' size. Both factors are dependent on gel concentration and species. The rings are formed in systems in which the influence of gel on precipitate particles' size and the gel viscosity factor are partially (in gelatin) or completely (in agar) balanced. Upon further research and applications, the gel species and concentration influence on Liesegang ring formation should not be neglected.

