

Praćenje promjene boje u oscilacijskoj Belousov-Zhabotinsky kemijskoj reakciji

Klara Mlinarić i Lorena Maćešić,

3. razred
Gimnazija Karlovac

Mentor: Jasminka Žiža, profesor kemije i biologije

Ključni pojmovi: *periodičnost, Oregonator, boja*

Sažetak

Ovim radom istražen je utjecaj koncentracije sumporne kiseline i katalizatora na dinamiku Belousov-Zhabotinsky (BZ) reakcije kao primjer kemijskog oscilacijskog sustava. Cilj je bio ispitati kako promjena tih parametara utječe na period oscilacija te usporediti rezultate s teorijskim predviđanjima matematičkog modela. Istraživanje je obuhvatilo matematičko modeliranje sustava primjenom Oregonator modela te eksperimentalno izvođenje reakcije uz mijenjanje koncentracije sumporne kiseline i katalizatora. Oscilacije su praćene snimanjem promjene boje otopine, a podaci su analizirani računalnom obradom snimki. Rezultati su pokazali postojanje stabilnih oscilacija u svim uvjetima. Povećanjem koncentracije kiseline period se smanjuje, dok se povećanjem koncentracije katalizatora period produljuje. Eksperimentalna opažanja kvalitativno su potvrdila predviđanja matematičkog modela. U nehomogenom sustavu uočene su i prostorne strukture u obliku koncentričnih kružnica, što potvrđuje oscilacije i povezanost s procesima širenja valova u živim organizmima.

PRAĆENJE PROMJENE BOJE U OSCILACIJSKOJ BELOUSOV-ZHABOTINSKY KEMIJSKOJ REAKCIJI



GIMNAZIJA
Karlovac

Klara Mlinarić i Lorena Maćešić
Mentorica: Jasminka Žiža

SAŽETAK Ovim radom istražen je utjecaj koncentracije sumporne kiseline i katalizatora na dinamiku Belousov-Zhabotinsky (BZ) reakcije kao primjera kemijskog oscilacijskog sustava. Cilj je bio ispitati kako promjena tih parametara utječe na period oscilacija te usporediti rezultate s teorijskim predviđanjima modela. Istraživanje je obuhvatilo matematičko modeliranje primjenom Oregonator modela i eksperimentalno izvođenje reakcije uz promjenu koncentracija. Oscilacije su praćene snimanjem promjene boje otopine, a podaci analizirani računalnom obradom. Rezultati pokazuju stabilne oscilacije u svim uvjetima. Povećanjem koncentracije kiseline period se smanjuje, dok se povećanjem koncentracije katalizatora produljuje. Eksperimentalna opažanja kvalitativno potvrđuju model. U nehomogenom sustavu uočene su i prostorne strukture u obliku koncentričnih kružnica, što potvrđuje oscilacije i povezanost s procesima širenja valova u živim organizmima.

UVOD Oscilacijske reakcije su nelinearne reakcije kod kojih se koncentracije tvari mijenjaju kroz ponavljajuće cikluse, umjesto postizanja ravnoteže (Nicolis i Prigogine, 1977). Belousov-Zhabotinsky (BZ) reakcija primjer je takvog sustava, poznata po periodičnoj promjeni boje uzrokovanoj promjenom koncentracije iona. Ukupna reakcija može se zapisati kao:

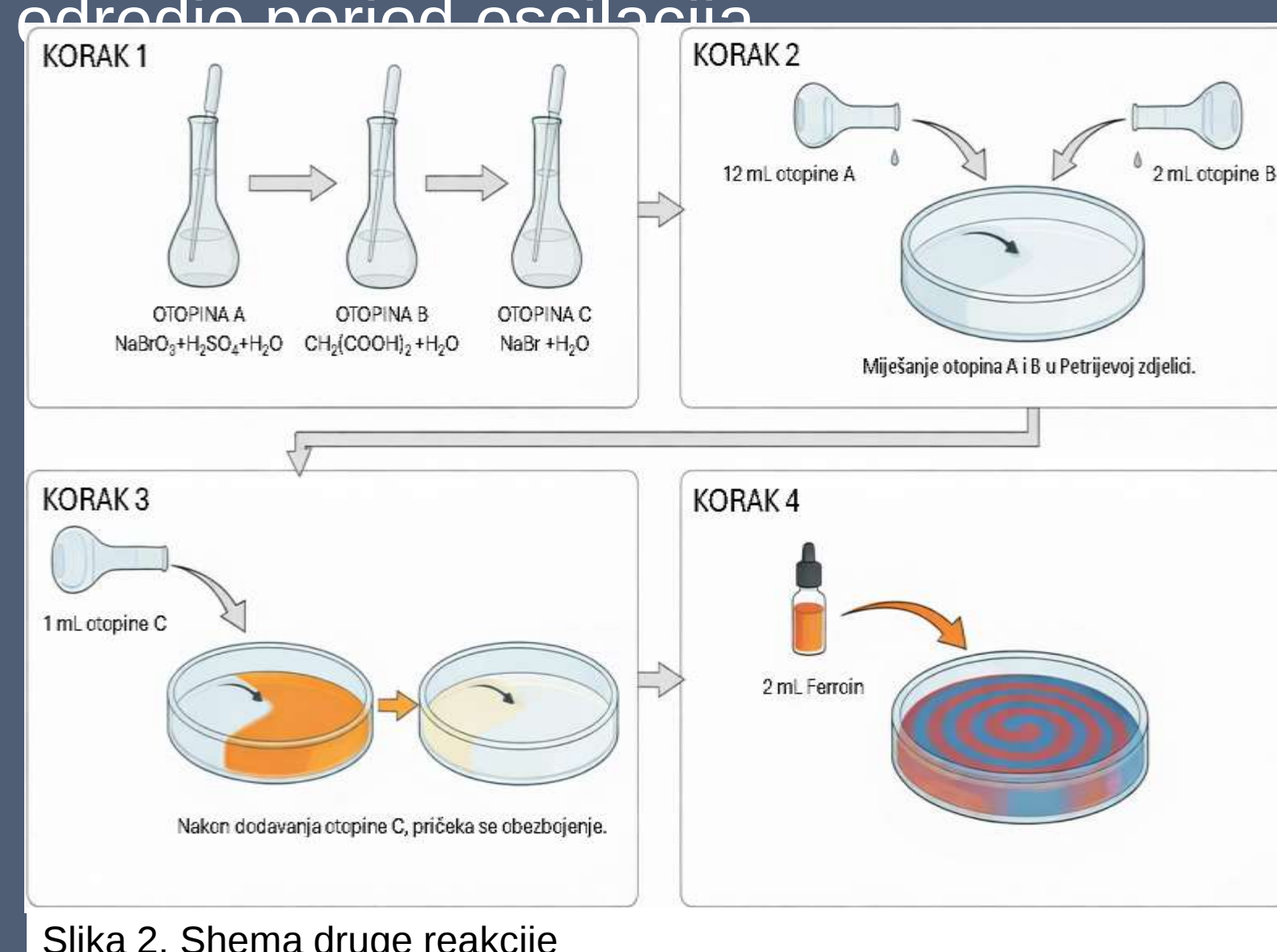
$$2 \text{BrO}_3^- + 3 \text{CH}_2(\text{COOH})_2 + 2 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{BrCH}(\text{COOH})_2 + 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$$

Reakcija se odvija kroz tri faze: inhibicijsku, autokatalitičku i povratnu. Sustav prelazi između stanja niske i visoke oksidacijske aktivnosti, što se očituje promjenom boje. Oscilacije se mogu opisati matematičkim modelima, od kojih je najpoznatiji Oregonator model, temeljen na FKN mehanizmu. Model koristi sustav diferencijalnih jednadžbi za opis dinamike reakcije i može objasniti pojavu oscilacija i prostornih uzoraka (Field i Noyes, 1974). Cilj rada je proučiti utjecaj koncentracije kiseline i katalizatora na BZ reakciju. **Hipoteze:**

- Sustav će oscilirati, što će biti vidljivo promjenom boje
- Period oscilacija ovisit će o koncentraciji reaktanata
- Veća koncentracija kiseline smanjit će period oscilacija
- Veća koncentracija katalizatora povećat će period oscilacija

METODE Izrađen je matematički model koji jednadžbama opisuje sustav te omogućuje računalne simulacije koje pokazuju oscilacije koncentracija iona u vremenu.

Prvom reakcijom ispitano je utjecaj koncentracije sumporne kiseline (20-40%) i katalizatora (Mn^{2+}) na period oscilacija. U otopinu sumporne kiseline dodani su kalijev bromat, malonska kiselina i manganov(II) sulfat. Otopina je postavljena na magnetnu miješalicu, a reakcije su snimljene mobitelom. Snimke su računalno obrađene u Pythonu kako bi se odredio period oscilacija.



Slika 2. Shema druge reakcije



Slika 1. Druga reakcija

Za drugu reakciju pripremljene su tri otopine (natrijeva bromata, malonske kiseline i natrijeva bromida), koje su zatim pomiješane u Petrijevoj zdjelici. Na kraju je dodan ferroin kao indikator (Slika 2). Reakcija se odvijala bez miješanja te su promatrane promjene boje i pojave specifičnih struktura (krugova).

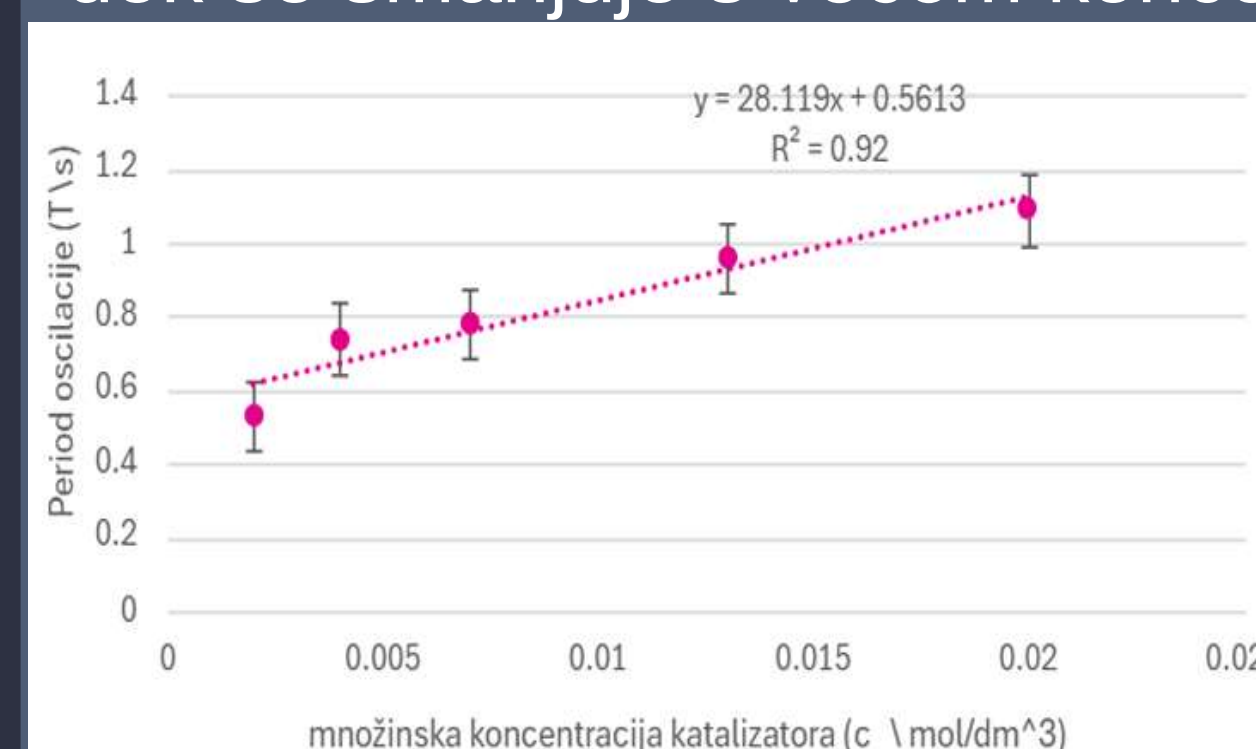
REZULTATI I RASPRAVA

Kod svih reakcija uočene su oscilacije, što se očituje kao promjena boja na slikama 3-5.

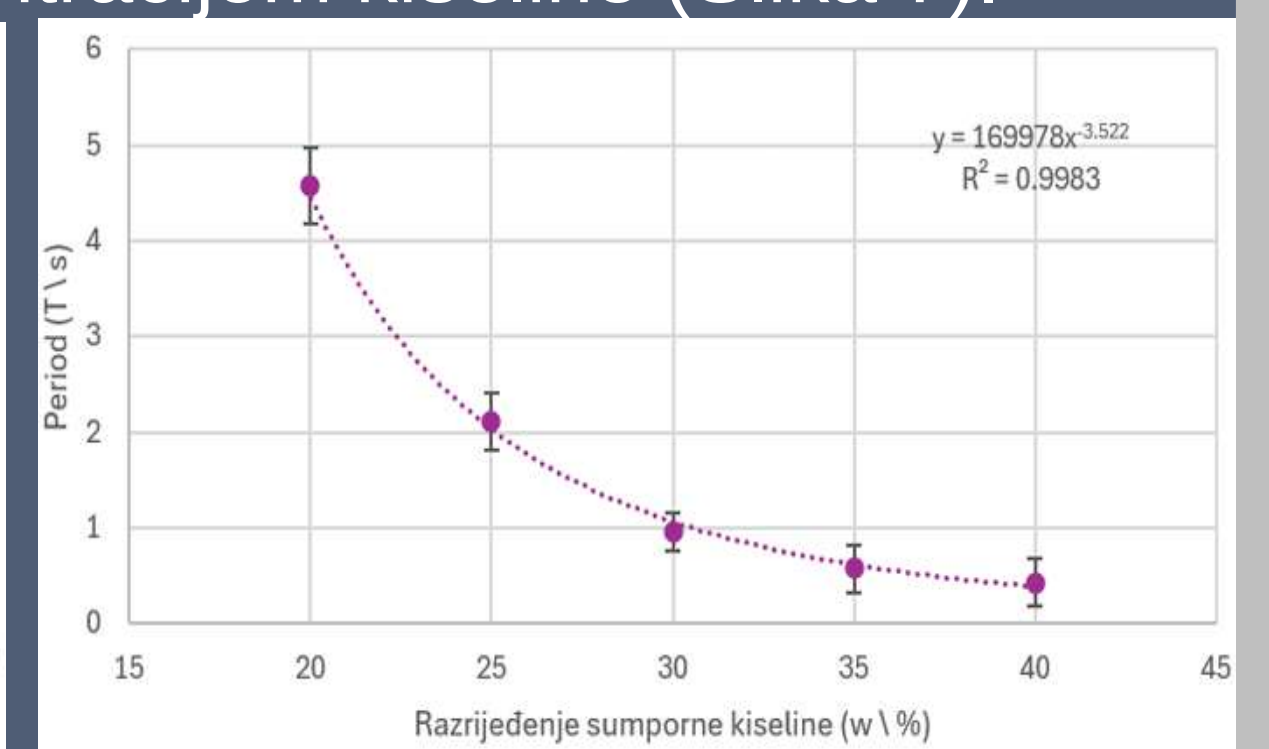


Slika 3. Reakcija nakon 2 s Slika 4. Nakon 2.5 s Slika 5. Reakcija nakon 3 s

Slikom 6 uočeno je da se oscilacijski period povećava s većom koncentracijom katalizatora što se slaže s Barzykinom (2020), dok se smanjuje s većom koncentracijom kiseline (Slika 7).

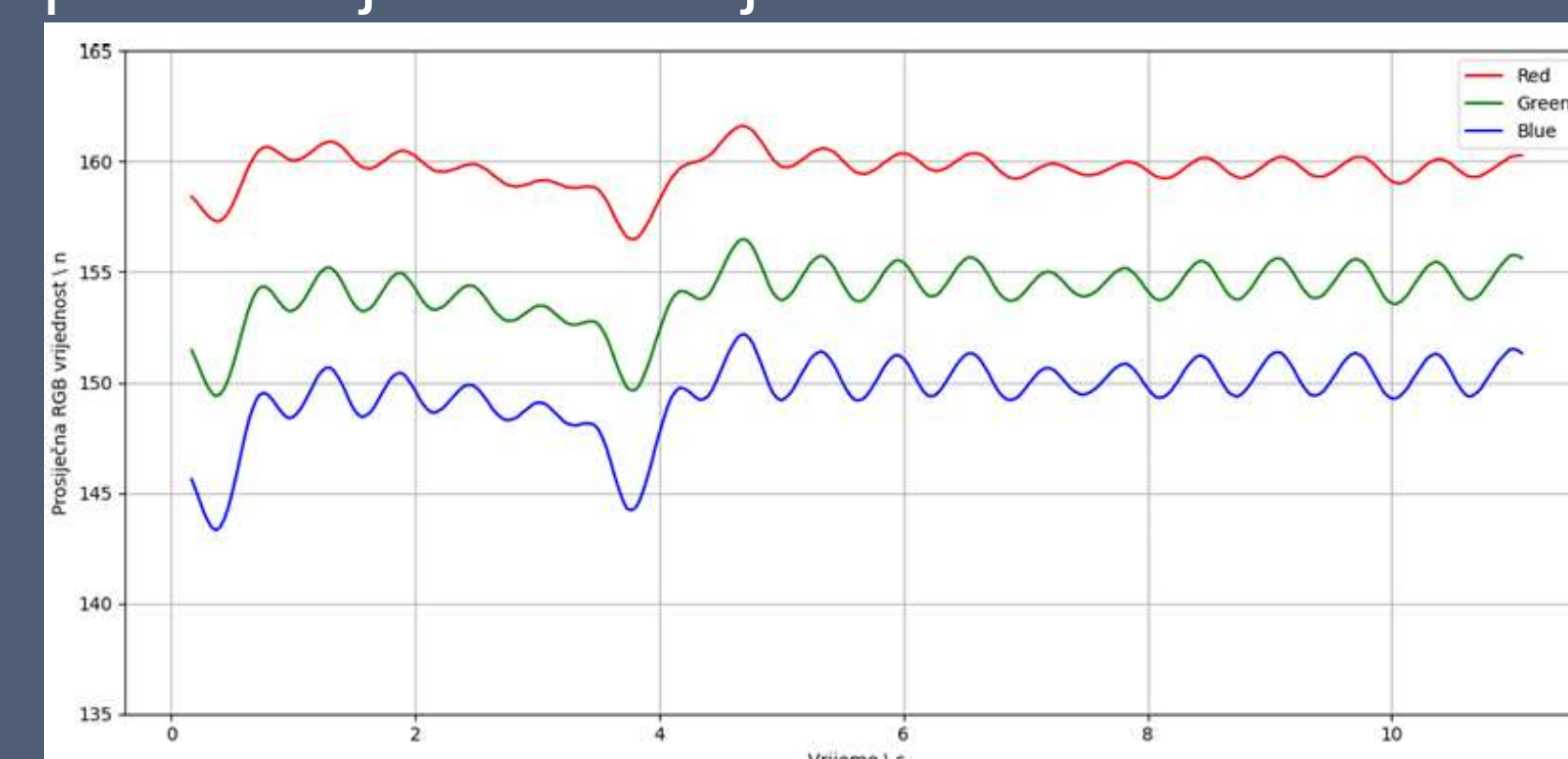


Slika 6. Ovisnost perioda o množinskoj koncentraciji katalizatora



Slika 7. Ovisnosti perioda o razrijeđenju sumporne kis.

Grafovi RGB spektra (slika 8) pokazuju pravilne oscilacije u vremenu, čime potvrđuju oscilacijsko ponašanje sustava i podudaraju se s teorijskim modelom.



Slika 8. Promjena spektra snimke u vremenu

U drugoj reakciji dobivene su prostorne strukture u obliku koncentričnih kružnica (Slika 1).

ZAKLJUČAK I LITERATURA

Istraživanjem je potvrđeno da BZ reakcija stabilno sustav s periodičnom promjenom boje, pri čemu se period smanjuje povećanjem koncentracije sumporne kiseline, a povećava s koncentracijom katalizatora, čime su potvrđene sve hipoteze. Uočene su i prostorne strukture u obliku koncentričnih krugova te kvalitativno slaganje s matematičkim modelom.

- Barzykina, I. (2020). Chemistry and Mathematics of the Belousov-Zhabotinsky Reaction in a School Laboratory. Journal of Chemical Education, 97: 1895–1902.
Field, R. J. & Noyes, R. M. (1974). Oscillations in chemical systems. 4. Limit cycle behavior in a model of a real chemical reaction. Journal of Chemical Physics, 60: 1877–1884.
Nicolis, G. & Prigogine, I. (1977). Self-organization in Nonequilibrium Systems. Wiley, New York.