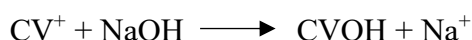


Nestanak boje u trenu: koliko se brzo reakcije stvarno odvijaju?

Brzina reakcije jedno je od temeljnih svojstava neke kemijske reakcije. Područje kemije koja proučava koliko brzo dolazi do pretvorbe reaktanata u produkte zove se kemijska kinetika. Na brzinu reakcije utječu različiti čimbenici, poput koncentracije, temperature, veličina čestica, agregacijskog stanja i pristunosti tvari koje mogu reakciju ubrzati ili usporiti a da se same ne mijenjaju. U ovom pokusu prati se reakcija između reaktanta, boje kristalno ljubičasto (CV) i natrijeve lužine, pri čemu dolazi do obezbojenja otopine. Nestanak intenzivne ljubičaste boje omogućuje jednostavno vizualno praćenje napredovanja reakcije. Jednadžba kemijske reakcije koja se proučava u ovom pokusu može se zapisati kao:



Mjerenjem vremena potrebnog za obezbojenje može se procijeniti brzina kemijske reakcije. Promjenom koncentracije hidroksidnih iona ispituje se njihov utjecaj na brzinu reakcije.

Pribor: čaša od 25 mL, magnetič, magnetska miješalica, zaporna ura, pipeta od 20 mL, propipeta, mikroepruvete s poklopcem (*epice*) (A – F), kapalica

Kemikalije: vodena otopina boje kristalno ljubičasto (CV), vodena otopina natrijeva hidroksida koncentracije 10,000 mol dm⁻³ (u *epicama*)

Postupak (*pročitaj postupak u cijelosti prije negoli započneš s eksperimentom*):

- U čašu od 25 mL stavi magnetič i postavi je na magnetsku miješalicu. Centriraj čašu tako da magnetič ne dodiruje njezine rubove.
- Pipetom odmjeri 20 mL vodene otopine boje kristalno ljubičasto, prebaci otopinu u čašu od 25 mL i uključi miješalicu. Provjeri vrti li se magnetič pravilno (ako se vrti pravilno, vidjet ćeš vrtlog).
- Kapalicom dodaj vodu u *epicu* označenu slovom A do oznake od 1 mL. Promiješaj sadržaj *epice*, prebaci u čašu s bojom i započni mjerenje na štoperici.
- U trenutku obezbojenja reakcije zaustavi štopericu i vrijeme zapiši u tablicu 1.
- Sadržaj baci u kantu za kemijski otpad, a čašu i magnetič dobro isperi destiliranom vodom.
- Ponovi postupak a) – e) za *epice* naznačene ostalim slovima (B – F).

1. U tablici 1 za ishodišnu množinsku koncentraciju vodene otopine boje kristalno ljubičasto dani su volumeni natrijeve lužine u svakoj od *epica* prije dodatka vode. Izračunaj početne koncentracije NaOH u pokusima te ih zajedno s izmjerenim vremenima upiši u tablicu.

Tablica 1. Praćenje kinetike reakcije obezbojenja boje kristalno ljubičasto (CV) koncentracije $0,00500 \text{ mmol dm}^{-3}$ s otopinom NaOH pri sobnoj temperaturi.

	Oznaka epice	$V(\text{NaOH}) / \mu\text{L}$	$c_0(\text{NaOH}) / \text{mmol dm}^{-3}$	t / s
Pokus 1	A	100	47,6	452
Pokus 2	B	200	95,2	258
Pokus 3	C	400	190	128
Pokus 4	D	750	357	68
Pokus 5	E	1000	476	62
Pokus 6	F	Nepoznato		150

$$n(\text{NaOH})_{\text{epica}} = n(\text{NaOH})_{\text{reakcija}}$$

$$c(\text{NaOH})_{\text{epica}} \cdot V(\text{NaOH})_{\text{epica}} = c_0(\text{NaOH})_{\text{reakcija}} \cdot V(\text{NaOH})_{\text{reakcija}}$$

$$c_0(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{NaOH})_{\text{epica}} \cdot V(\text{NaOH})_{\text{epica}}}{V(\text{NaOH})_{\text{reakcija}}}$$

$$c_0(\text{NaOH})_1 = \frac{c(\text{NaOH})_{\text{epica}} \cdot V(\text{NaOH})_{\text{epica } 1}}{V(\text{NaOH})_{\text{reakcija } 1}} = \frac{10,000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,100 \text{ mL}}{(20,0 + 1,00) \text{ mL}}$$

$$c_0(\text{NaOH})_1 = 0,0476 \text{ mol dm}^{-3} = 47,6 \text{ mmol dm}^{-3}$$

$$c_0(\text{NaOH})_2 = \frac{10,000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,200 \text{ mL}}{(20,0 + 1,00) \text{ mL}} = 0,0952 \text{ mol dm}^{-3} = 95,2 \text{ mmol dm}^{-3}$$

$$c_0(\text{NaOH})_3 = \frac{10,000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,400 \text{ mL}}{(20,0 + 1,00) \text{ mL}} = 0,190 \text{ mol dm}^{-3} = 190 \text{ mmol dm}^{-3}$$

$$c_0(\text{NaOH})_4 = \frac{10,000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,750 \text{ mL}}{(20,0 + 1,00) \text{ mL}} = 0,357 \text{ mol dm}^{-3} = 357 \text{ mmol dm}^{-3}$$

$$c_0(\text{NaOH})_5 = \frac{10,000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 1,00 \text{ mL}}{(20,0 + 1,00) \text{ mL}} = 0,476 \text{ mol dm}^{-3} = 476 \text{ mmol dm}^{-3}$$

Točno izračunate koncentracije NaOH

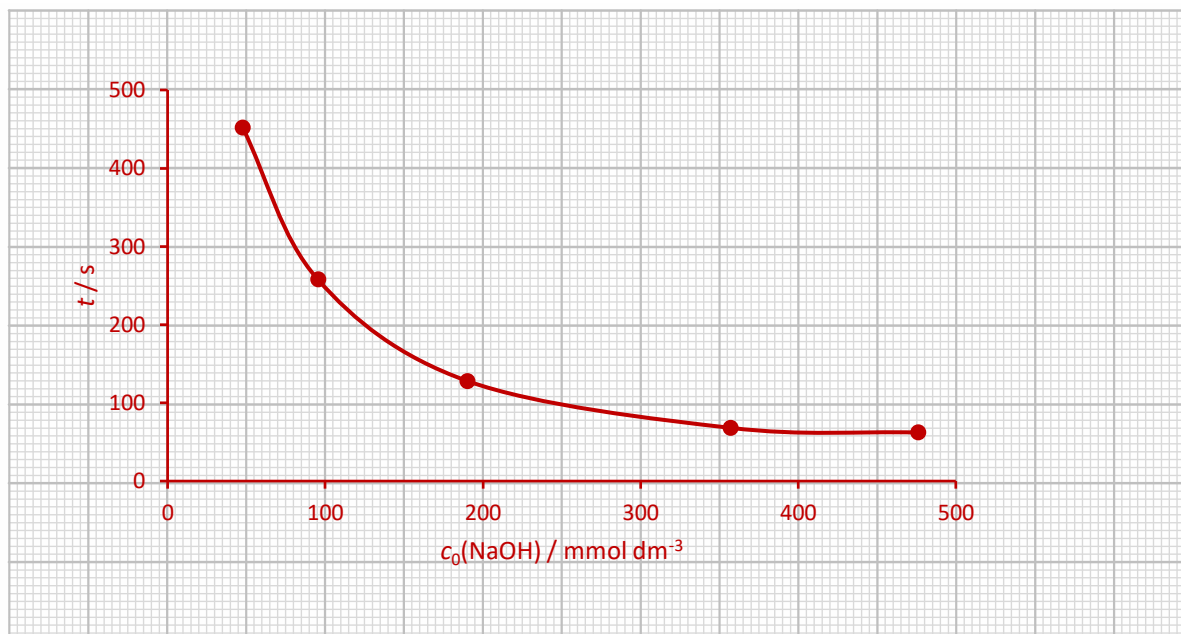
5×1 bod

Točno određena vremena reakcije (10% odstupanje od rješenja)

6×0,5 bodova

Zadatak 1. ukupno 8 bodova

2.a) Na milimetarskom papiru nacrtaj graf ovisnosti vremena reakcije o početnoj koncentraciji natrijeva hidroksida tako da ucrtas točke (kružice) dobivene u eksperimentu za koje je poznata koncentracija NaOH, a zatim prostoručno provuci krivulju kroz te točke.



Točno označena y i x os.

2 × 0,5 bodova

Točno ucrtane točke.

5 × 0,5 bodova

Točno nacrtana krivulja (mora biti imati oblik eksponencijalne krivulje).

0,5 bodova

2.b) Na krivulji (oznakom X) označi točku koja odgovara vremenu reakcije nepoznatog uzorka i odredi nepoznati volumen NaOH u toj *epici* prije dodatka vode.

$$t = 150 \text{ s}$$

$$\text{Očitavanjem s grafa: } c_0(\text{NaOH})_x = 164 \text{ mmol L}^{-1}$$

$$c_{\text{epica}}(\text{NaOH})_x \cdot V_{\text{epica}}(\text{NaOH})_x = c_0(\text{NaOH})_x \cdot V_{\text{reakcija}}(\text{NaOH})_x$$

$$V_{\text{epica}}(\text{NaOH})_x = \frac{c_0(\text{NaOH})_x \cdot V_{\text{reakcija}}(\text{NaOH})_x}{c_{\text{epica}}(\text{NaOH})_x} = \frac{164 \text{ mmol dm}^{-3} \cdot 21,0 \text{ mL}}{10000 \text{ mmol dm}^{-3}}$$

$$V_{\text{epica}}(\text{NaOH})_x = 0,344 \text{ mL}$$

Točno ucrtan nepoznati uzorak

0,5 bodova

Točno određen volumen u *epici* s mjernom jedinicom

1 bod

Zadatak 2. ukupno 5,5 bodova

RJEŠENJA

3. a) Promatrajući krivulju riječima opiši ovisnost brzine reakcije o koncentraciji NaOH.

Brzina reakcije (nelinearno ili eksponencijalno) raste s koncentracijom NaOH.

Brzina reakcije raste s koncentracijom NaOH 0,5 bodova

Brzina reakcije nelinearno (ili eksponencijalno) raste 0,5 bodova

Napomena: priznaje se ako učenik samo napiše da reakcija "ubrzava".

b) Može li se iz navedenih podataka izračunati brzina kemijske reakcije. Objasni!

Ne. Brzina ove kemijske reakcije nije stalna (ovisi o trenutnoj koncentraciji reaktanta).

Samo odgovor "Ne" 0,5 bodova

Objašnjenje (priznati svaku smislenu rečenicu) 0,5 bodova

c) Izračunaj vrijeme potrebno da dođe do obezbojenja uz množinsku koncentraciju NaOH od $64,3 \text{ mmol dm}^{-3}$.

$$c_0(\text{NaOH}) = 64,3 \text{ mmol dm}^{-3}$$

Očitavanjem s grafa: $t = 349 \text{ s}$

Pravilno određena koncentracija NaOH (Ne mora biti točan broj) 0,5 bodova

d) Mijenja li se lužnatost tijekom reakcije? Objasni.

Da. U reakciji se troši OH^- te lužnatost pada.

Za točan odgovor pod d) "Da" 0,5 bodova

Za točno objašnjenje pod d) (Priznati i objašnjenje pomoću pH vrijednosti) 0,5 bodova

3.e) Mjerenjem koje fizikalne veličine je moguće preciznije pratiti tijek reakcije?

Absorbancija, pH, molarna provodnost.

Priznati sve što ima smisla 0,5 bodova

Zadatak 3. ukupno 4 bodova

4. a) Izračunaj prosječne brzine trošenja natrijeve lužine (u $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$) u pokusima 1–6 i popuni tablicu traženim podacima.

$$c_{\text{boca}}(\text{CV})V_{\text{boca}}(\text{CV}) = c_0(\text{CV})V_0(\text{CV}) \rightarrow c_0(\text{CV}) = \frac{c_{\text{boca}}(\text{CV})V_{\text{boca}}(\text{CV})}{V_0(\text{CV})} = \frac{0,00500 \text{ mmol L}^{-1} \cdot 20 \text{ mL}}{21 \text{ mL}}$$

$$c_0(\text{CV}) = 0,004762 \text{ mmol dm}^{-3}$$

$$\bar{v}_1 = \frac{\Delta c(\text{NaOH})}{v\Delta t} = \frac{\Delta c(\text{CV})}{vt_1} = \frac{0 - 0,004762 \text{ mmol dm}^{-3}}{-452 \text{ s}}$$

$$\bar{v}_1 = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ mmol dm}^{-3} \text{s}^{-1} = 1,05 \cdot 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_2 = \frac{0 - 0,004762 \text{ mmol dm}^{-3}}{-258 \text{ s}} = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mmol dm}^{-3} \text{s}^{-1} = 1,85 \cdot 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_3 = \frac{0 - 0,004762 \text{ mmol dm}^{-3}}{-128 \text{ s}} = 3,72 \cdot 10^{-5} \text{ mmol dm}^{-3} \text{s}^{-1} = 3,72 \cdot 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_4 = \frac{0 - 0,004762 \text{ mmol dm}^{-3}}{-68 \text{ s}} = 7,00 \cdot 10^{-5} \text{ mmol dm}^{-3} \text{s}^{-1} = 7,00 \cdot 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$$

$$\bar{v}_5 = \frac{0 - 0,004762 \text{ mmol dm}^{-3}}{-62 \text{ s}} = 7,68 \cdot 10^{-5} \text{ mmol dm}^{-3} \text{s}^{-1} = 7,68 \cdot 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$$

Da bi lakše nacrtao graf, svaku prosječnu brzinu pomnoži s 1×10^8

$c_0(\text{NaOH}) / \text{mmol dm}^{-3}$	$\bar{v} / \text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$	$1 \cdot 10^8 \cdot \bar{v} / \text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$
47,6	$1,05 \cdot 10^{-8}$	1,05
95,2	$1,85 \cdot 10^{-8}$	1,85
190	$3,72 \cdot 10^{-8}$	3,72
357	$7,00 \cdot 10^{-8}$	7,00
476	$7,68 \cdot 10^{-8}$	7,68

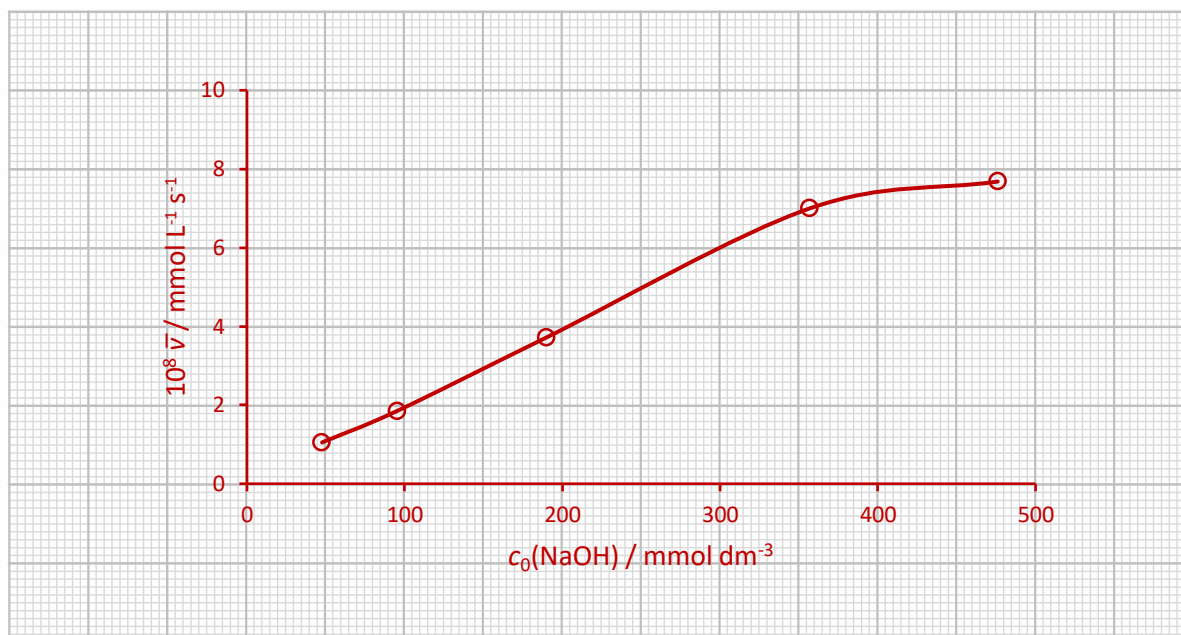
Za uočavanje da je $\Delta c(\text{NaOH}) = \Delta c(\text{CV})$

Za svaku izračunatu prosječnu brzinu

0,5 bodova

$5 \times 0,5$ bodova

4.b) Na milimetarskom papiru nacrtaj graf ovisnosti prosječne brzine reakcije (pomnožene s 1×10^8) o početnoj koncentraciji natrijeva hidroksida.



Za točno označene osi

$2 \times 0,5$ bodova

Za točno ucrtane točke

$5 \times 0,5$ bodova

4.c) Koje je fizikalno značenje horizontalnog dijela krivulje (asimptote, vrijednosti prosječne brzine reakcije kojoj krivulja teži)?

To je maksimalna prosječna brzina za danu početnu koncentraciju boje CV.

Za odgovor da je maksimalna početna brzina

0,5 bodova

Ako je dodatno napisano da ovisi o početnoj koncentraciji CV

0,5 bodova

4.d) Za linearni dio krivulje približno vrijedi zakon brzine reakcije:

$$\bar{v} = kc_0(\text{NaOH})c_0(\text{CV})$$

gdje je k jedna od najbitnijih fizikalnih veličina u kemijskoj kinetici, a zove se koeficijent brzine reakcije. Odredi jednadžbu pravca ovisnosti prosječne brzine reakcije o početnoj koncentraciji NaOH za dio krivulje gdje je ovisnost linearna, te odredi koeficijent brzine reakcije, k .

$$y = 0,0194x - 0,0627$$

$$y = \bar{v}, x = c_0(\text{NaOH}), a = kc_0(\text{CV})$$

$$k = \frac{a}{c_0(\text{CV})} = \frac{0,0194 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}}{4,762 \cdot 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}} = 4,07 \cdot 10^{-5} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

Za točno određenu jednadžbu pravca

1 bod

Uočena povezanost nagiba pravca s umnoškom $kc_0(\text{CV})$

0,5 bodova

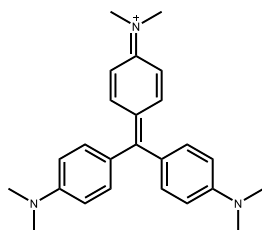
Točno određen koeficijent k s mjernom jedinicom

$2 \times 0,5$ bodova

Zadatak 4. ukupno 10 bodova

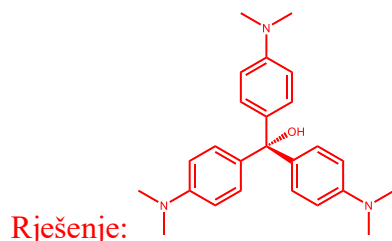
RJEŠENJA

5. Kristalno ljubičasto je po kemijskom sastavu kloridna sol organskog kationa prikazanog na slici, pri čemu je nacrtana jedna od mogućih rezonancijskih struktura.



5.a) Nacrtaj strukturu produkta koji nastaje u reakciji koju promatrate. (koristi vezne crtice)

POMOĆ: 1. Nastaje alkohol. 2. Molekula produkta je električki nenabijena.



Za adiciju OH^- na središnji ugljikov atom

1 boda

Za točno nacrtan ostatak molekule

1 boda

5.b) Kakav alkohol je nastao s obzirom na broj ugljikovih atoma vezanih za ugljik na kojem se nalazi hidroksilna skupina?

tercijarni (alkohol).

Točan odgovor

0,5 bodova

5.c) S obzirom na prostorni razmještaj atoma (veza) oko središnjeg atoma C, koja se najznačajnija promjena dogodila u reakciji?

U reaktantu je raspored atoma oko središnjeg C atoma planaran, dok je u produktu tetraedarski. Priznati i prijelaz središnjeg C atoma iz sp^2 u sp^3 hibridizaciju.

Točan odgovor

1 bod

d) Koja je ovo vrsta reakcije.

(Nukleofilna) adicija.

Točan odgovor

0,5 bodova

Zadatak 5. ukupno 4 bodova

6. Odgovori na pitanja:

6.a) Što je brzina kemijske reakcije?

Brzina kemijske reakcije je promjena koncentracije reaktanata ili produkata u jedinici vremena.

6.b) Je li za svaku kemijsku reakciju u prirodi brzina konstantna?

Ne.

Za svaki točan odgovor

2 × 0,5 bodova

Zadatak 6. ukupno 1 bod

7. Zaokruži T za svaku tvrdnju koja će biti točna a N za svaku netočnu tvrdnju, ako je OH⁻ prisutan u velikom suvišku u reakcijskoj smjesi.

Koncentracija OH⁻ ostaje približno konstantna tijekom reakcije T

S obzirom na boju otopine CV može se zaključiti da je kruti CV ljubičast N

Povećanjem temperature po završetku reakcije biti će prisutno više produkta N

Brzina reakcije uvijek je najveća na kraju reakcije. N

Koncentracija CV⁺ ne utječe na brzinu N

Energija aktivacije smanjuje se povećanjem koncentracije OH⁻ iona N

Po završetku reakcije pH otopine je 7,0 N

Za svaki točan odgovor 0,5 bodova

7 × 0,5 bodova

Zadatak 7. ukupno 3,5 bodova

8. Odgovori na pitanje.

Usporedi dvije reakcije $A \rightarrow B$. U prvoj reakciji mala promjena temperature jako povećava brzinu, a u drugoj reakciji mala promjena temperature gotovo ne utječe na brzinu.

U kojoj reakciji je energija aktivacije veća?

Energija aktivacije je veća u prvoj reakciji.

Kako se zove tvar koja smanjenjem energije aktivacije ubrzava neku kemijsku reakciju?

Katalizator.

Za svaki točan odgovor

$2 \times 0,5$ bodova

Zadatak 8. ukupno 1 bod

9. Za pripravu produkta C potrebne su dvije uzastopne reakcije koje se odvijaju u reaktoru: $A \rightarrow B$ i $B \rightarrow C$, pri čemu je poznato da je prva reakcija spora a druga brza.

Odgovori na pitanja:

9.a) Koja reakcija određuje ukupnu brzinu dobivanja produkta C? Objasni.

Prva (ili sporija) reakcija. Sporija reakcija je uvijek ograničavajući korak.

9.b) Hoće li dodatak katalizatora koji ubrzava reakciju $B \rightarrow C$ ubrzati dobivanje spoja C? Objasni.

Ne. Katalizator neće ubrzati prvu reakciju koja je ograničavajuća.

9.c) Hoće li zagrijavanje reakcijske smjese ubrzati dobivanje spoja C? Objasni.

Da. Zagrijavanje smjese ubrzat će obje reakcije, pa tako i dobivanje konačnog produkta.

Za svaki točan odgovor pod a), b) i c) po 0,5 bodova

$3 \times 0,5$ bodova

Za svako smisljeno objašnjenje pod a), b) i c) po 0,5 bodova

$3 \times 0,5$ bodova

Zadatak 9. ukupno 3 boda