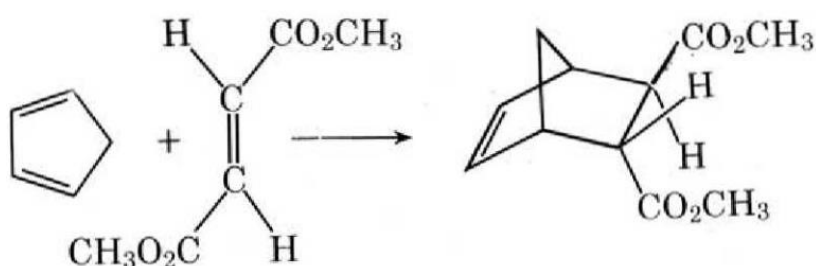


### § 3. KEMIJSKA KINETIKA

#### 3.1. Zakoni brzina kemijskih reakcija

**Z88.** Diels-Alderova reakcija je važna periciklička reakcija kojom se u organskoj sintezi dobivaju strukture sa šesteročlanim prstenovima poznate stereoselektivnosti i regioselektivnosti. Primjer Diels-Alderove reakcije je reakcija ciklopentadiena i dimetil fumarata



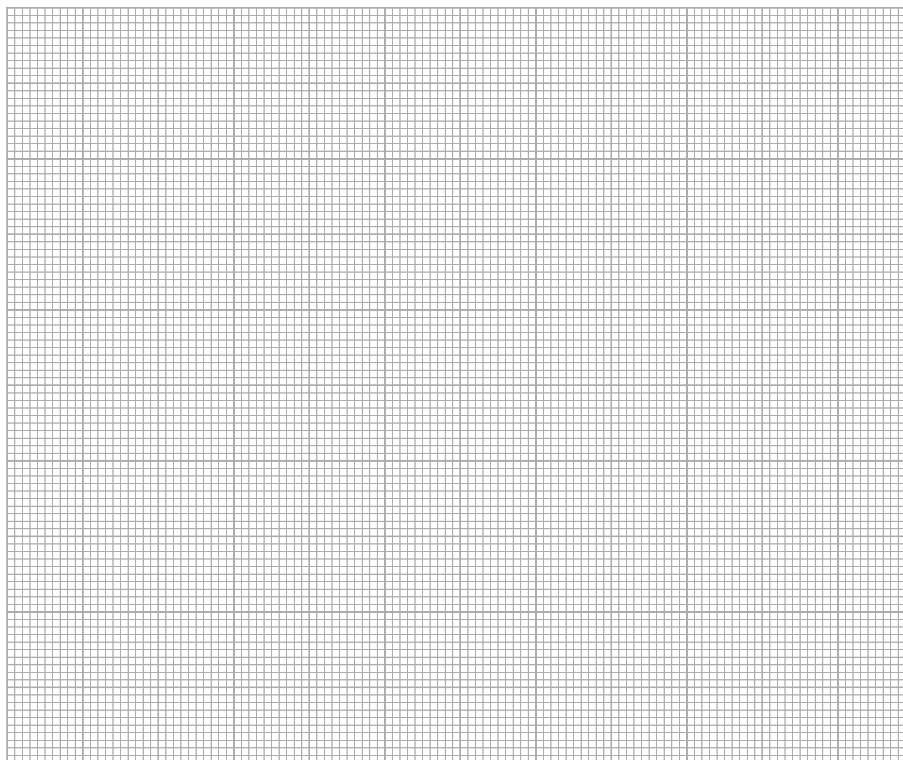
Kinetika ove reakcije praćena je plinskom kromatografijom uz jednake početne koncentracije oba reaktanta (tablica 19.).

Tablica 19. Koncentracija dimetil fumarata u ovisnosti o vremenu tijekom Diels-Alderove reakcije između ciklopentadiena i dimetil fumarata pri 25 °C.

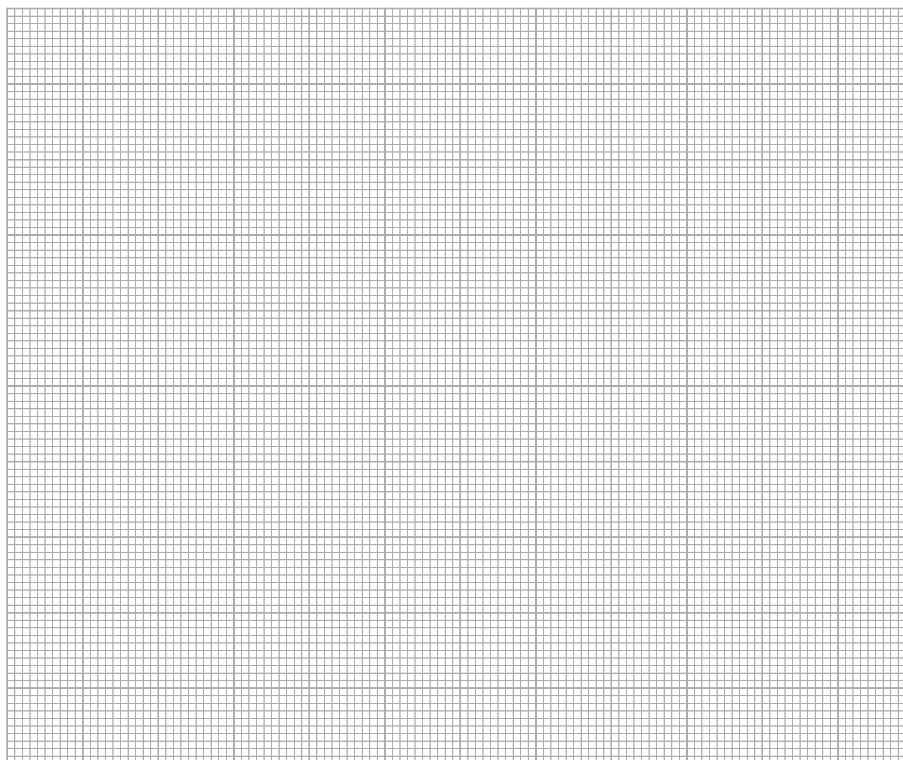
| $t / \text{min}$ | $c_t / \text{mol dm}^{-3}$ | $\ln(c_t / \text{mol dm}^{-3})$ | $c_t^{-1} / \text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$ |
|------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 24               | 0,220                      |                                 |                                          |
| 42               | 0,176                      |                                 |                                          |
| 60               | 0,149                      |                                 |                                          |
| 70               | 0,136                      |                                 |                                          |
| 100              | 0,113                      |                                 |                                          |

a) Upotpunite tablicu 19. s prirodnim logaritmima koncentracija i recipročnim vrijednostima koncentracija dimetil fumarata.

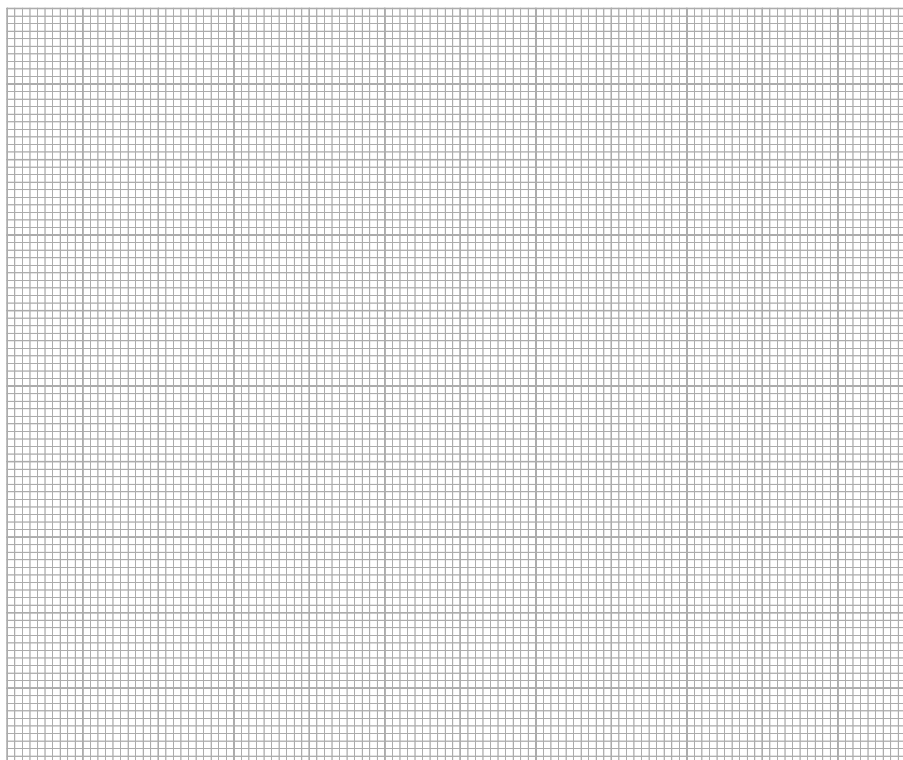
b) Prema podacima iz tablice 19. odredite ukupni red promatrane reakcije. ( $R: n = 2$ )



Slika 54. Kinetika 0. reda prema podacima iz tablice 19.



Slika 55. Kinetika 1. reda prema podacima iz tablice 19.



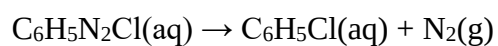
Slika 56. Kinetika 2. reda prema podacima iz tablice 19.

**Kinetika reakcije ciklopentadiena s dimetil fumaratom je \_\_\_\_\_ reda.**

- c) Odredite opaženi koeficijent brzine reakcije ciklopentadiena s dimetil fumaratom pri 25 °C.

(R:  $k = 0,0572 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ min}^{-1}$ )

**Z89.** Kemijski inertan plin dušik koristi se za konzerviranje hrane (npr. grickalice). Jedan od načina dobivanja dušika je raspad benzendiazonijsklorida.



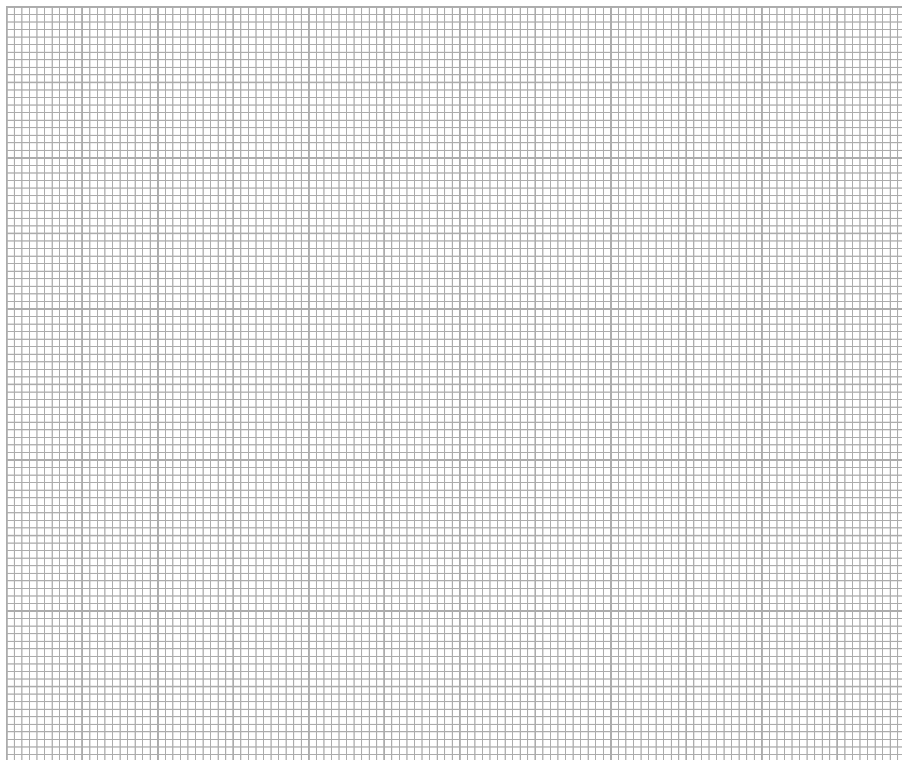
Kinetika ove reakcije praćena je pri 50 °C mjerenjem volumena razvijenog dušika pri konstantnom tlaku od 10 bara (tablica 20.).

Tablica 20. Oslobađanje dušika tijekom raspada benzendiazonijsklorida ( $c_0 = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ ) pri 10 bara i 50 °C.

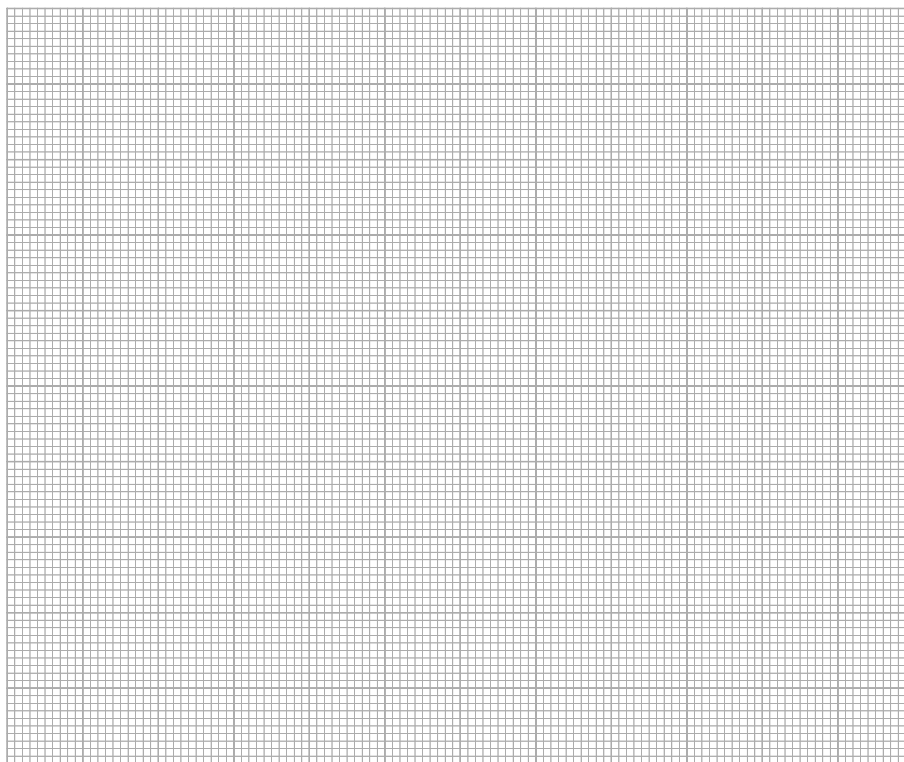
| $t / \text{min}$ | $V(\text{N}_2) / \text{mL}$ | $c_t / \text{mol dm}^{-3}$ | $\ln(c_t / \text{mol dm}^{-3})$ | $c_t^{-1} / \text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$ |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 1                | 7,2                         |                            |                                 |                                          |
| 7                | 28,5                        |                            |                                 |                                          |
| 13               | 41,3                        |                            |                                 |                                          |
| 19               | 48,1                        |                            |                                 |                                          |
| 25               | 52,3                        |                            |                                 |                                          |

- a) Upotpunite tablicu 20. s izrazima za nulti, prvi i drugi red reakcije, ako je početna koncentracija benzendiazonijeva klorida u volumenu otopine od 434 mL iznosila  $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ .

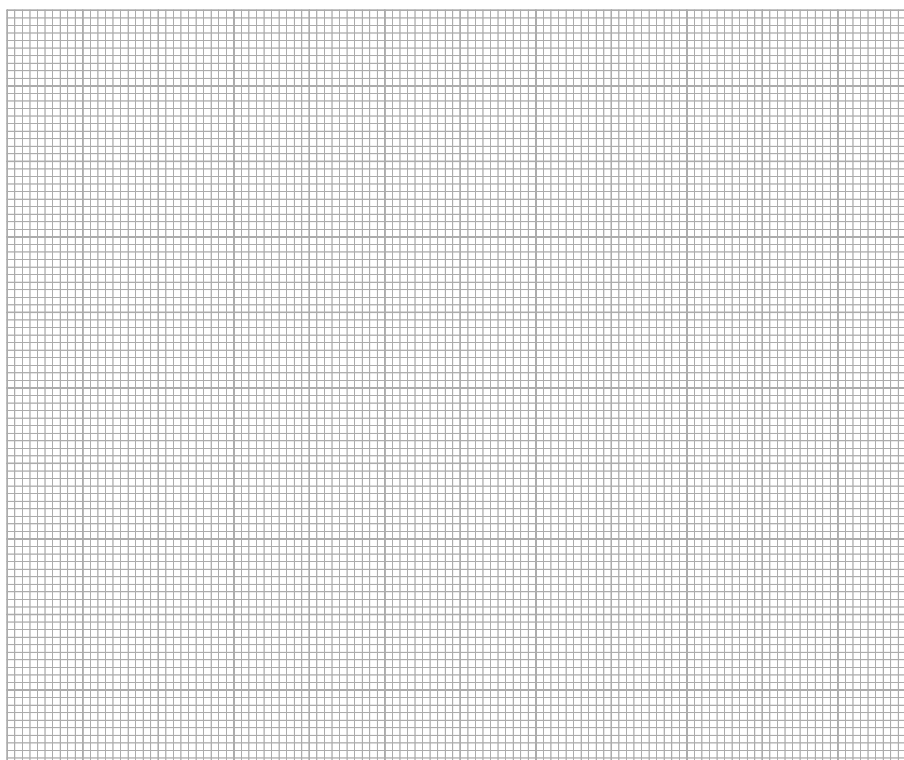
- b) Prema podacima iz tablice 20. odredite red promatrane reakcije. (R:  $n = 1$ )



Slika 57. Kinetika 0. reda prema podacima iz tablice 20.



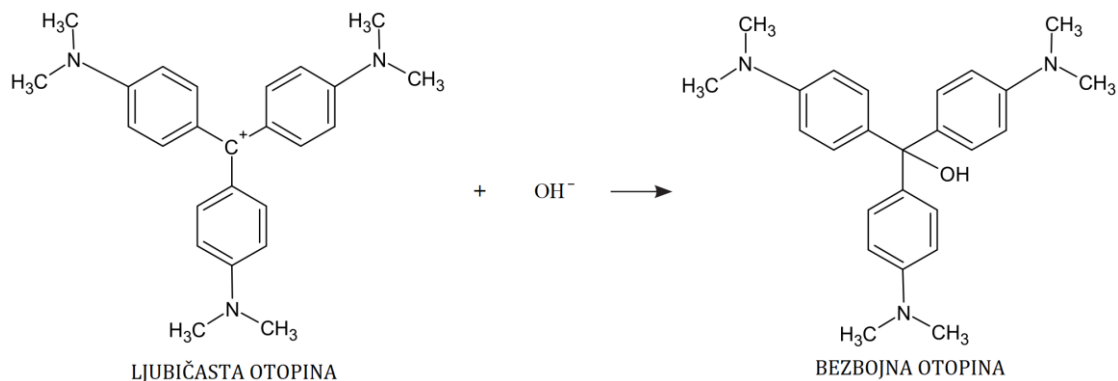
Slika 58. Kinetika 1. reda prema podacima iz tablice 20.



Slika 59. Kinetika 2. reda prema podacima iz tablice 20.

**Kinetika reakcije raspada benzendiazonijeva klorida je \_\_\_\_\_ reda.**

**Z90.** “Gencijana-violet” ( $\text{CV}^+$ ) je triarilmetansko bojilo koje se primjenjuje u Gramovoj metodi razvrstavanja bakterija. U jako lužnatom mediju ljubičasta otopina  $\text{CV}^+$  se obezboji pa je kinetiku ove reakcije pogodno pratiti spektrofotometrijski.



Spektrofotometrijski je praćena kinetika obezbojenja otopine “gencijana-violet” (tablica 21.) pri čemu je početna koncentracija NaOH bila znatno veća ( $c_0 = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ ) od početne koncentracije  $\text{CV}^+$  ( $c_0 = 12,5 \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3}$ ). Prije kinetičkog mjerenja određen je molarni apsorpcijski koeficijent vodene otopine  $\text{CV}^+$  pri 565 nm i 25 °C u iznosu  $0,0626 \text{ dm}^3 \text{ } \mu\text{mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ .

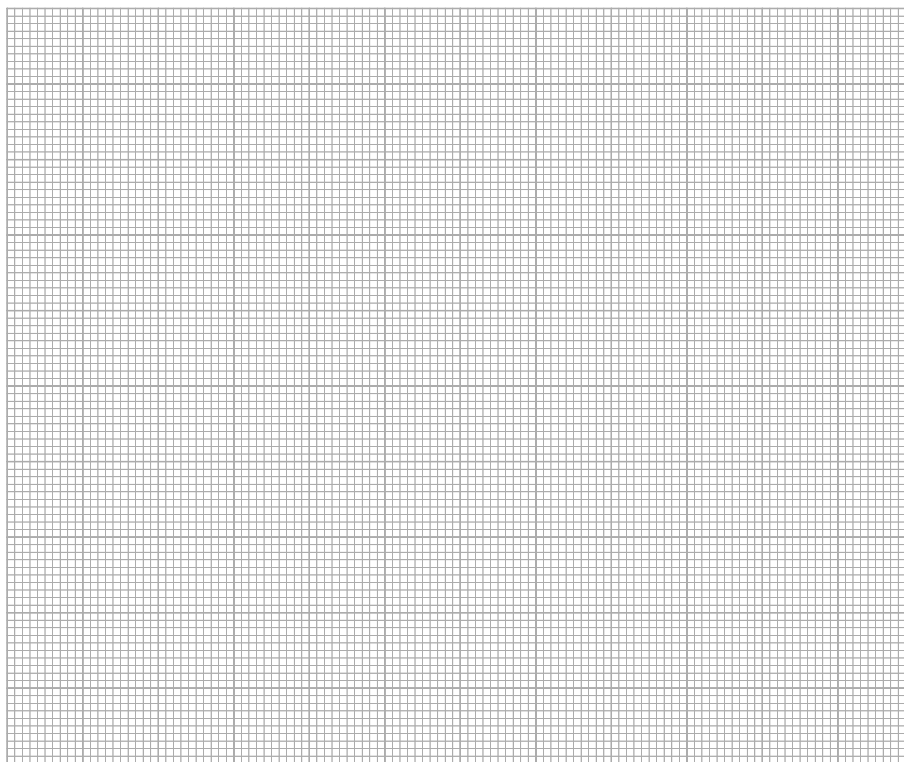
Tablica 21. Apsorbancija vodene otopine “gencijana-violet” ( $c_0 = 12,5 \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3}$ ) i NaOH ( $c_0 = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ ) snimljena u kiveti debljine 1 cm pri 565 nm i 25 °C u ovisnosti o vremenu.

| $t / \text{s}$ | $A$   | $c_t / \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3}$ | $\ln(c_t / \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3})$ | $(c_t / \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3})^{-1}$ |
|----------------|-------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 60             | 0,746 |                                        |                                             |                                               |
| 300            | 0,557 |                                        |                                             |                                               |
| 420            | 0,475 |                                        |                                             |                                               |
| 600            | 0,375 |                                        |                                             |                                               |
| 900            | 0,250 |                                        |                                             |                                               |

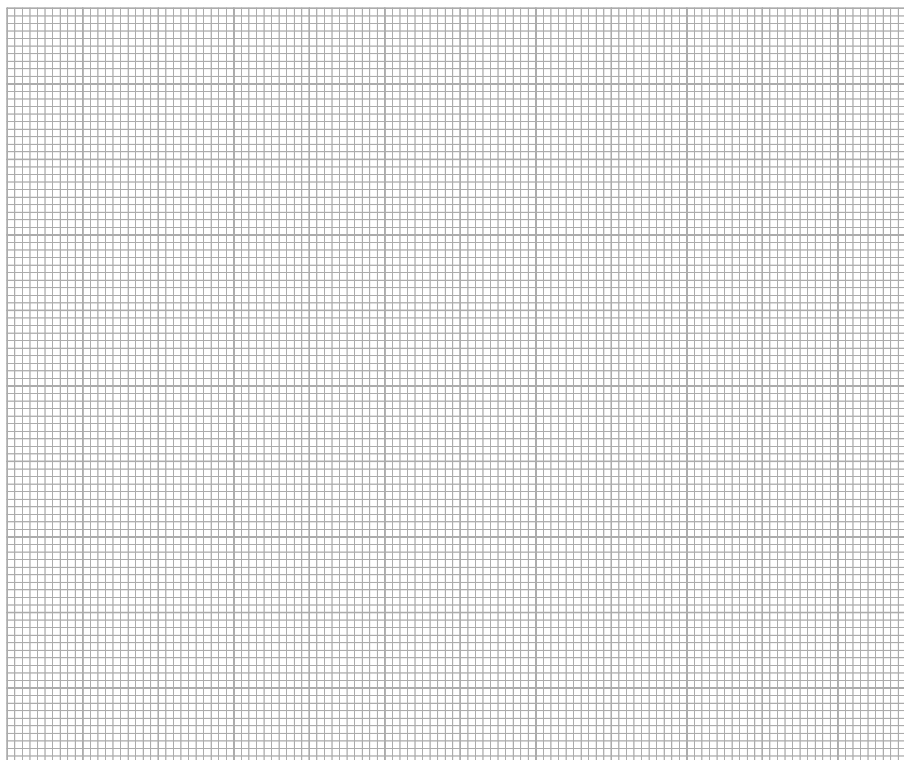
a) Pretpostavite da je  $\text{CV}^+$  jedina kemijska vrsta koja apsorbira zračenje pri 565 nm i upotpunite tablicu 21. s koncentracijama, logaritmima koncentracija i recipročnim vrijednostima koncentracija  $\text{CV}^+$ .

- b) Prema podacima iz tablice 21. odredite parcijalni red reakcije s obzirom na  $CV^+$ .  
(R:  $n = 1$ )

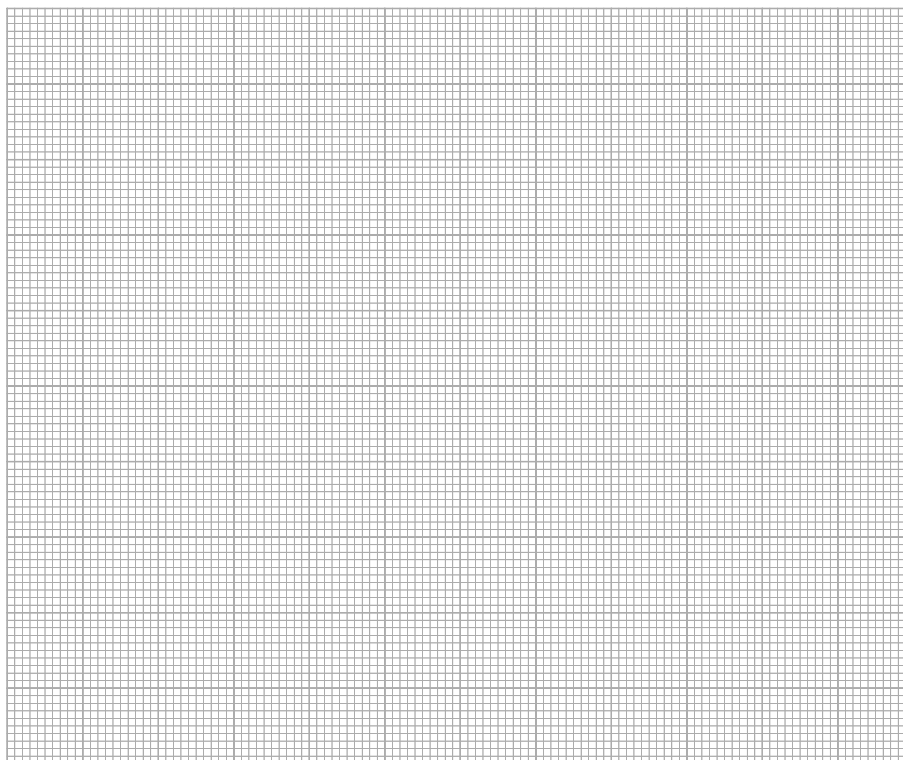




Slika 60. Kinetika 0. reda s obzirom na  $CV^+$  prema podacima iz tablice 21.



Slika 61. Kinetika 1. reda s obzirom na  $CV^+$  prema podacima iz tablice 21.



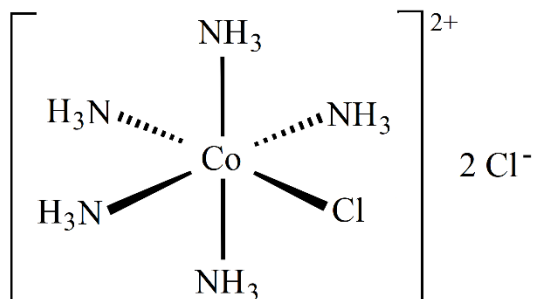
Slika 62. Kinetika 2. reda s obzirom na  $\text{CV}^+$  prema podacima iz tablice 21.

- c) Odredite opaženi koeficijent brzine reakcije  $\text{CV}^+$  s  $\text{OH}^-$  ionima ( $c_0 = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ ) pri  $25^\circ\text{C}$ .  
(R:  $k_{\text{obs}} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

- d) Ako opaženi koeficijent brzine reakcije  $\text{CV}^+$  s  $\text{OH}^-$  ionima pri koncentraciji  $\text{NaOH}$   $5 \text{ mmol dm}^{-3}$  i  $25^\circ\text{C}$  iznosi  $6,5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  odredite parcijalni red reakcije s obzirom na  $\text{OH}^-$  ione, koeficijent brzine reakcije i napišite zakon brzine promatrane reakcije.

(R:  $m = 1$ ,  $k = 0,13 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ,  $v = 0,13 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1} \times c_t(\text{CV}^+) \times c_t(\text{OH}^-)$ )

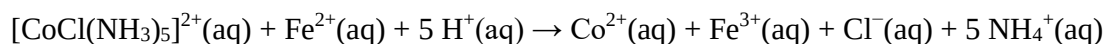
**Z91.** Alfred Werner jedan je od utemeljitelja koordinacijske kemije koji je 1913. godine za svoj rad dobio Nobelovu nagradu za kemiju. Jedan od kompleksnih spojeva koje je Werner istražio bio je kloropentaaminkobaltov(III) klorid (slika 63.).



Slika 63. Struktura kompleksnog spoja kloropentaaminkobaltovog(III) klorida.

- a) Pripravljena je vodena otopina ovog spoja koncentracije  $0,02 \text{ mol dm}^{-3}$  te joj je u kiveti debljine 1 cm izmjerena transmitancija pri 520 nm i  $25^\circ\text{C}$  u iznosu 7,5 %. Odredite molarni apsorpcijski koeficijent ovog spoja pri navedenim uvjetima.  
(R:  $\varepsilon = 56,3 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )

b) U kiselom mediju  $\text{Fe}^{2+}$  ioni reduciraju  $\text{Co}^{3+}$  ion u kompleksu do  $\text{Co}^{2+}$  iona



Spektrofotometrijski je praćena kinetika ove reakcije (tablica 22.) pri čemu je početna koncentracija  $\text{Fe}^{2+}$  iona bila znatno veća ( $c_0 = 0,300 \text{ mol dm}^{-3}$ ) od početne koncentracije  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  iona ( $c_0 = 0,033 \text{ mol dm}^{-3}$ ).

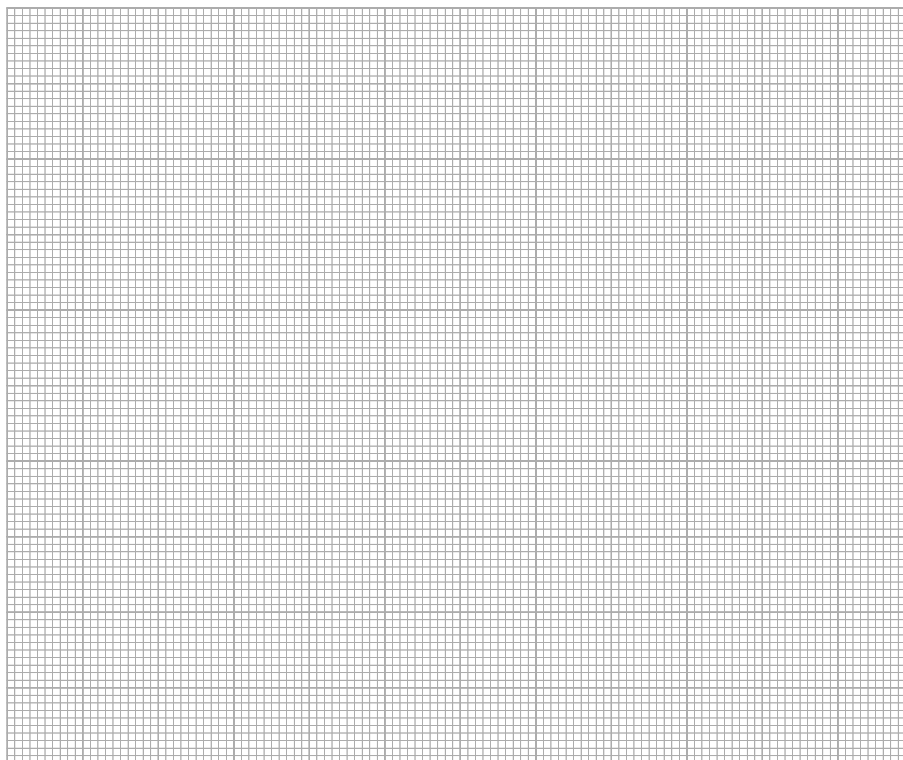
Tablica 22. Apsorbancija reakcijske smjese tijekom redukcije  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  iona ( $c_0 = 0,033 \text{ mol dm}^{-3}$ ) s  $\text{Fe}^{2+}$  ionima ( $c_0 = 0,300 \text{ mol dm}^{-3}$ ) snimljena u kiveti debljine 1 cm pri 520 nm i 25 °C.

| $t / \text{min}$ | $A$   | $c_t / \text{mol dm}^{-3}$ | $\ln(c_t / \text{mol dm}^{-3})$ | $c_t^{-1} / \text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$ |
|------------------|-------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 10               | 1,150 |                            |                                 |                                          |
| 20               | 0,875 |                            |                                 |                                          |
| 40               | 0,558 |                            |                                 |                                          |
| 60               | 0,410 |                            |                                 |                                          |

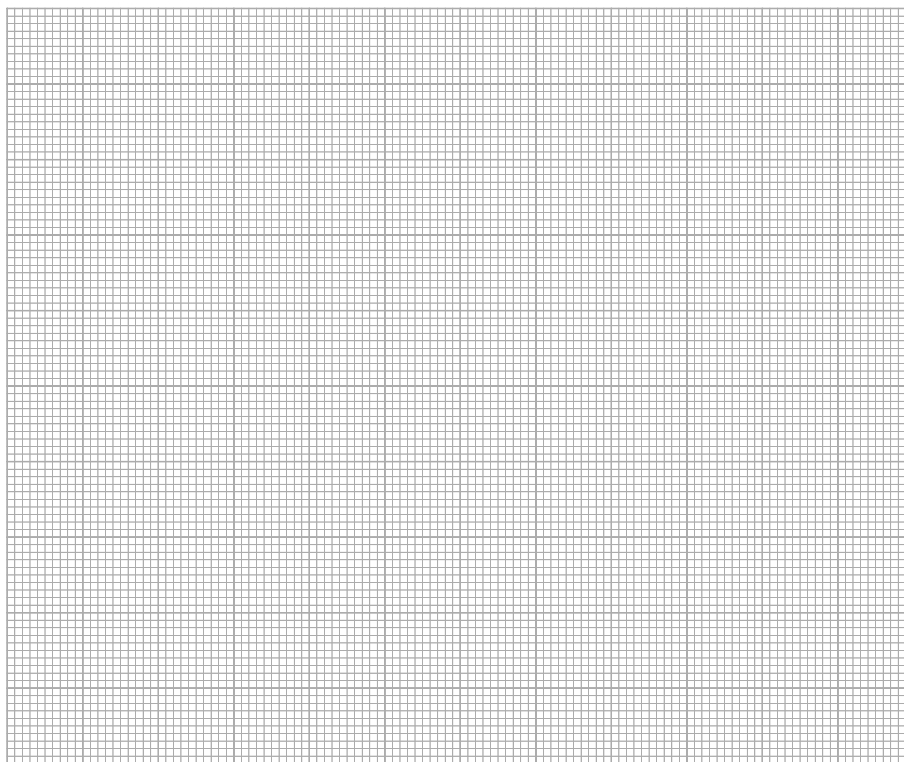
Pretpostavite da je  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  jedina kemijska vrsta koja apsorbira zračenje pri 520 nm i upotpunite tablicu 22. s koncentracijama, logaritmima koncentracija i recipročnim vrijednostima koncentracija  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  iona.

- c) Ako brzina promatrane reakcija ovisi samo o koncentraciji  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  i  $\text{Fe}^{2+}$  iona i prvog je reda s obzirom na  $\text{Fe}^{2+}$  ione, prema podacima iz tablice 23. odredite ukupni red reakcije.

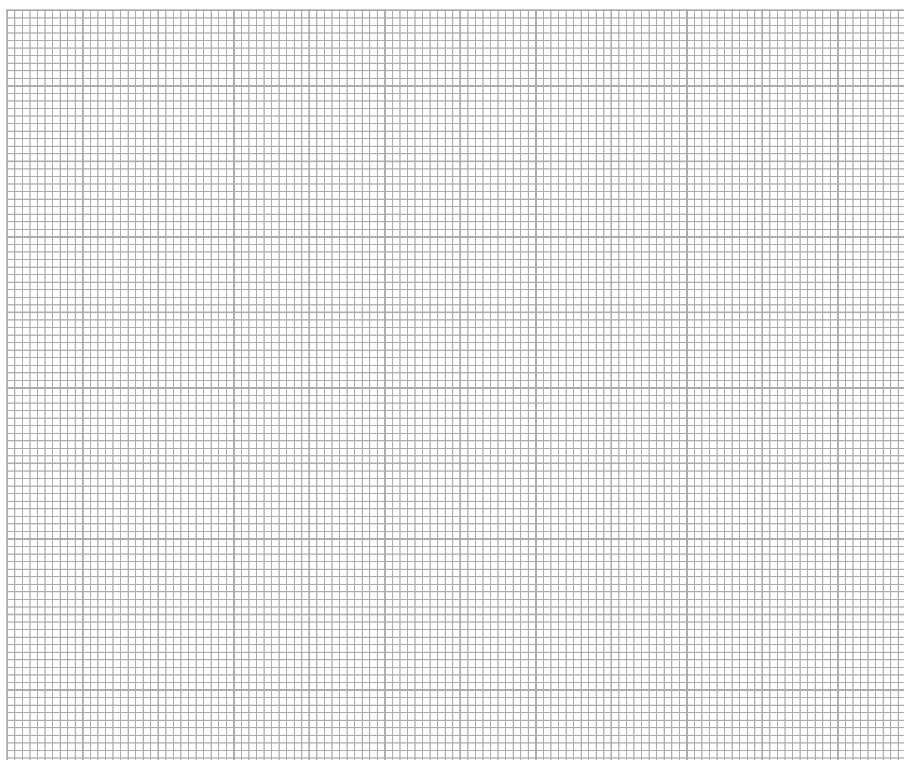
(R:  $n = 3$ )



Slika 64. Kinetika 0. reda s obzirom na  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  ion prema podacima iz tablice 23.



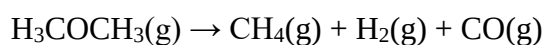
Slika 65. Kinetika 1. reda s obzirom na  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  ion prema podacima iz tablice 23.



Slika 66. Kinetika 2. reda s obzirom na  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  ion prema podacima iz tablice 23.

**Kinetika redukcije  $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$  iona  $\text{Fe}^{2+}$  ionima je \_\_\_\_\_ reda.**

**Z92.** Pri 504 °C dimetileter, jedan od rashladnih plinova u hladnjacima, se raspada prema jednađbi kemijske reakcije



Ukupni tlak reakcijskog sustava stalnog volumena praćen je kao funkcija vremena (tablica 24.) kako bi se proučila kinetika raspada dimetiletera.

Tablica 24. Ukupni tlak reakcijske smjese prilikom raspada dimetiletera pri 504 °C.

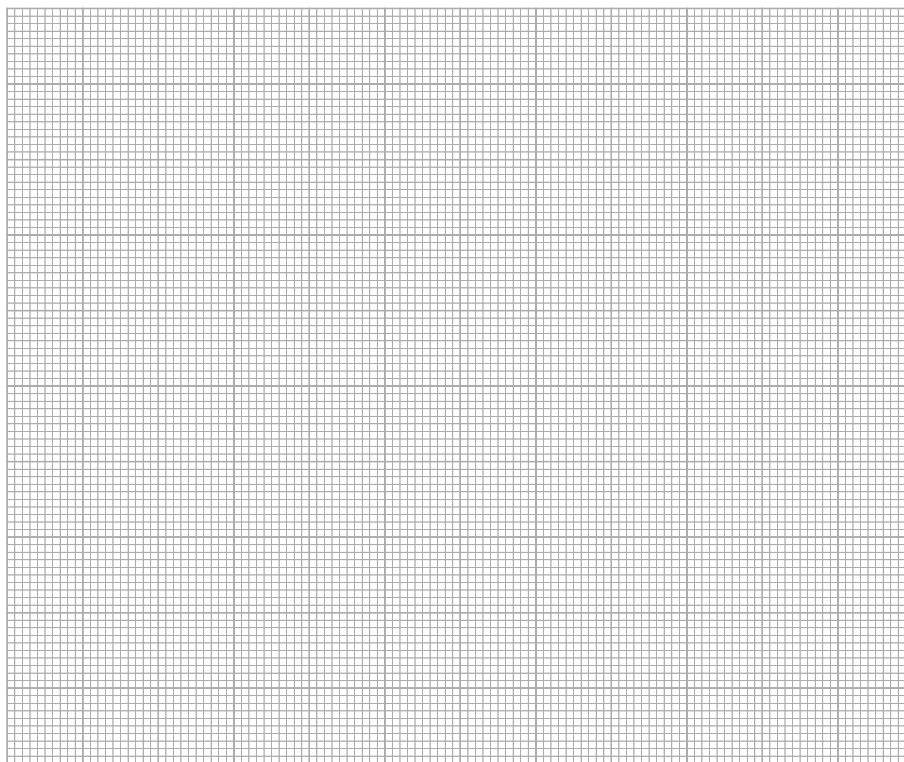
|                |                              | 0. RED | 1. RED | 2. RED |
|----------------|------------------------------|--------|--------|--------|
| $t / \text{s}$ | $p_{\text{uk}} / \text{kPa}$ |        |        |        |
| 0              | 41,6                         |        |        |        |
| 777            | 65,1                         |        |        |        |
| 1195           | 74,9                         |        |        |        |
| 3155           | 103,9                        |        |        |        |

a) Upotpunite tablicu 24. s izrazima za nulti, prvi i drugi red reakcije i odredite ukupni red reakcije raspada dimetiletera. Pretpostavite idealno ponašanje plinova.

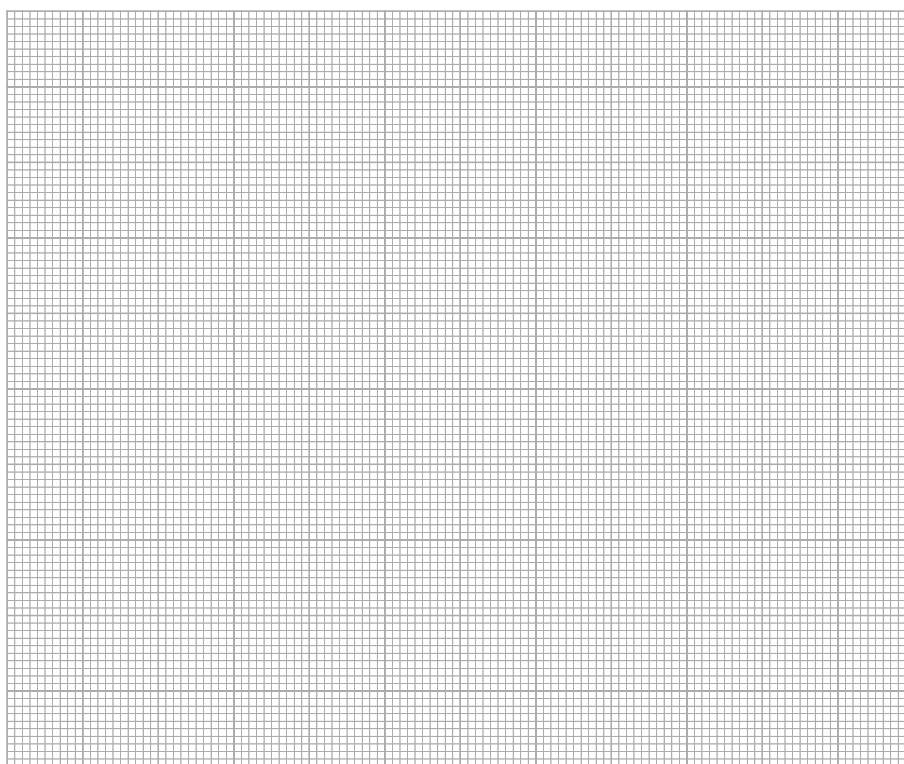
(R:  $n = 1$ )



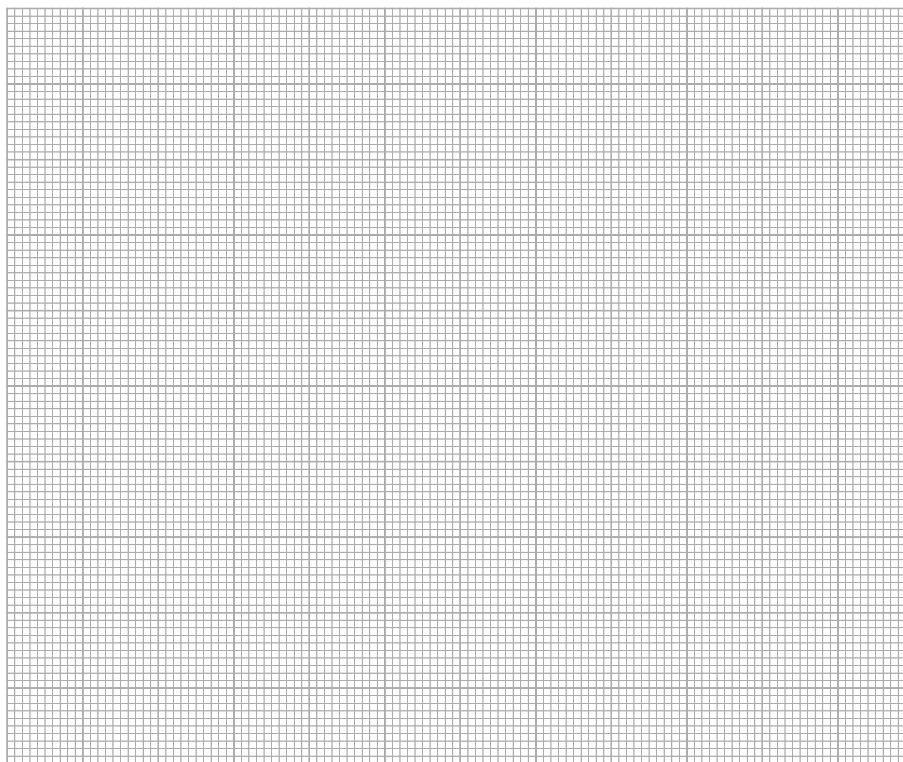




Slika 67. Kinetika 0. reda prema podacima iz tablice 24.



Slika 68. Kinetika 1. reda prema podacima iz tablice 24.



Slika 69. Kinetika 2. reda prema podacima iz tablice 24.

**Kinetika reakcije raspada dimetiletera je \_\_\_\_\_ reda.**

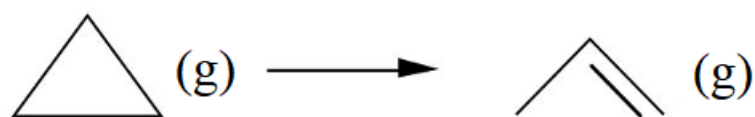
b) Odredite koeficijent brzine raspada dimetiletera pri 504 °C.

(R:  $k = 4,38 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )

c) Izračunajte vrijeme polureakcije raspada dimetiletera pri 504 °C.

(R:  $t_{1/2} = 1581,3$  s)

**Z93.** Ciklopropan se do sredine 1980-tih koristio za anesteziju u medicini. Ovaj anestetik pri višim temperaturama izomerizira u propen:



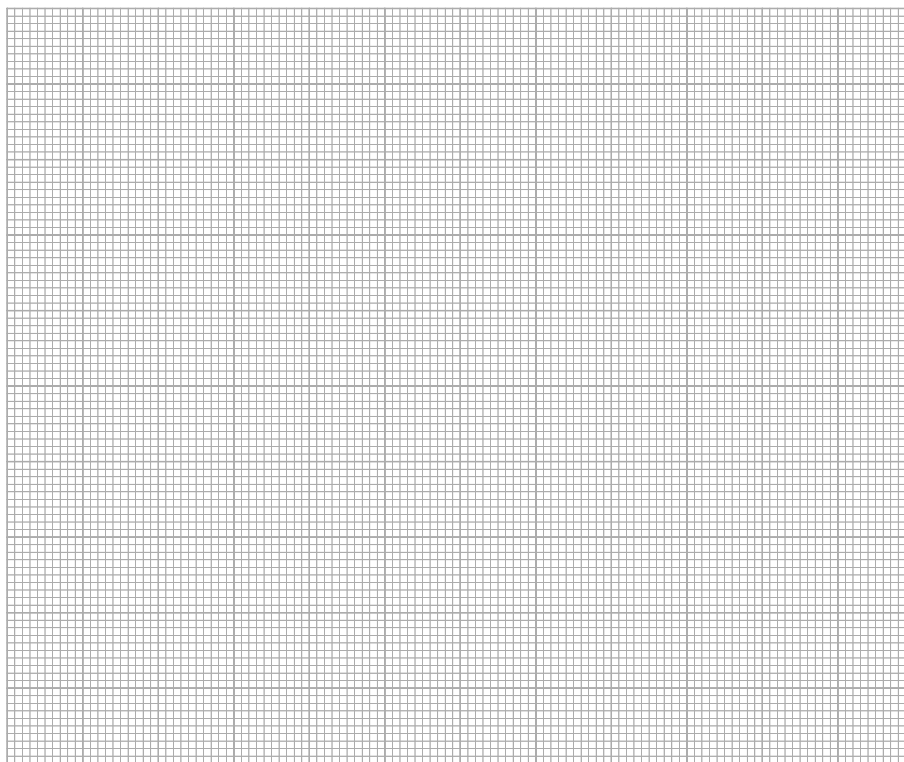
U zatvorenoj posudi stalna volumena praćen je parcijalni tlak plinovitog ciklopropana za vrijeme izomerizacije (tablica 25.).

Tablica 25. Kinetika izomerizacije ciklopropana u propen pri 500 °C i početnom tlaku od 1,3 bara.

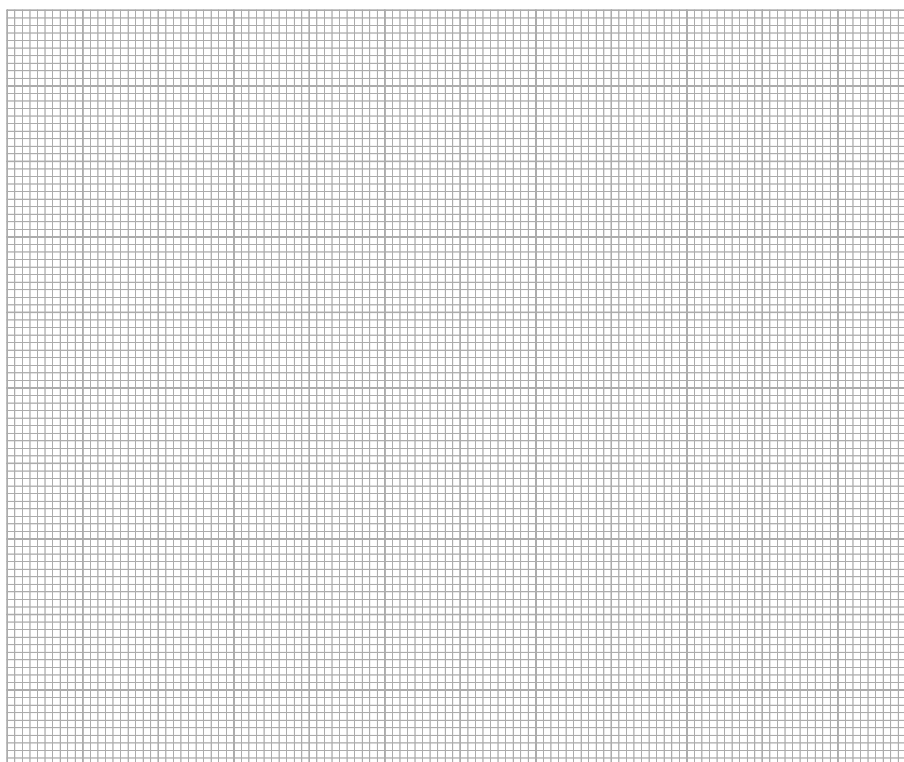
|                  |                    | 0. RED | 1. RED | 2. RED |
|------------------|--------------------|--------|--------|--------|
| $t / \text{min}$ | $p_t / \text{bar}$ |        |        |        |
| 10               | 0,8980             |        |        |        |
| 40               | 0,2960             |        |        |        |
| 70               | 0,0974             |        |        |        |
| 100              | 0,0321             |        |        |        |

a) Upotpunite tablicu 25. s izrazima za nulti, prvi i drugi red reakcije te odredite ukupni red reakcije raspada ciklopropana. Pretpostavite idealno ponašanje plinova.

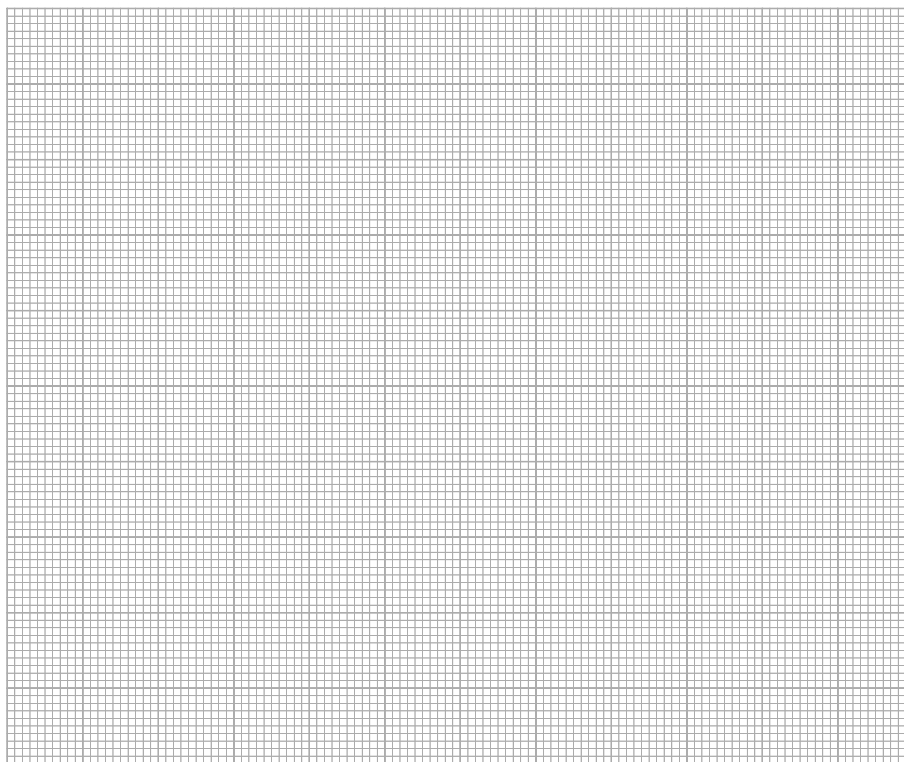
(R:  $n = 1$ )



Slika 70. Kinetika 0. reda prema podacima iz tablice 25.



Slika 71. Kinetika 1. reda prema podacima iz tablice 25.



Slika 72. Kinetika 2. reda prema podacima iz tablice 25.

**Kinetika reakcije izomerizacije ciklopropana je \_\_\_\_\_ reda.**

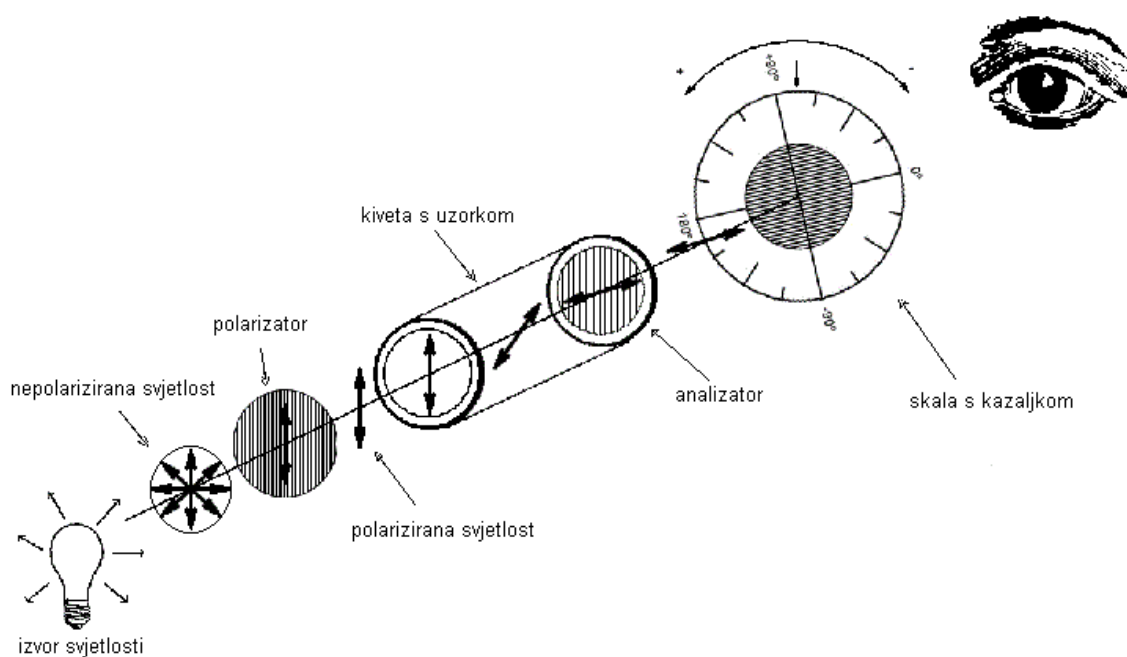
b) Odredite koeficijent brzine izomerizacije ciklopropana pri 500 °C.

(R:  $k = 6,0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ )

**Z94.** Brzina vezanja glukoze ( $C_6H_{12}O_6$ ) na enzim heksokinazu koji je imobiliziran na površini zlatne pločice ovisi samo o koncentraciji glukoze u otopini. Kako bi se proučila kinetika ovog procesa polarimetrom (slika 73. i 74.) mjeren je kut zakretanja linearno polarizirane svjetlosti otopine optički aktivne glukoze na samom početku procesa pri različitim početnim koncentracijama glukoze (tablica 26.).



Slika 73. Polarimetar.



Slika 74. Princip rada polarimetra.



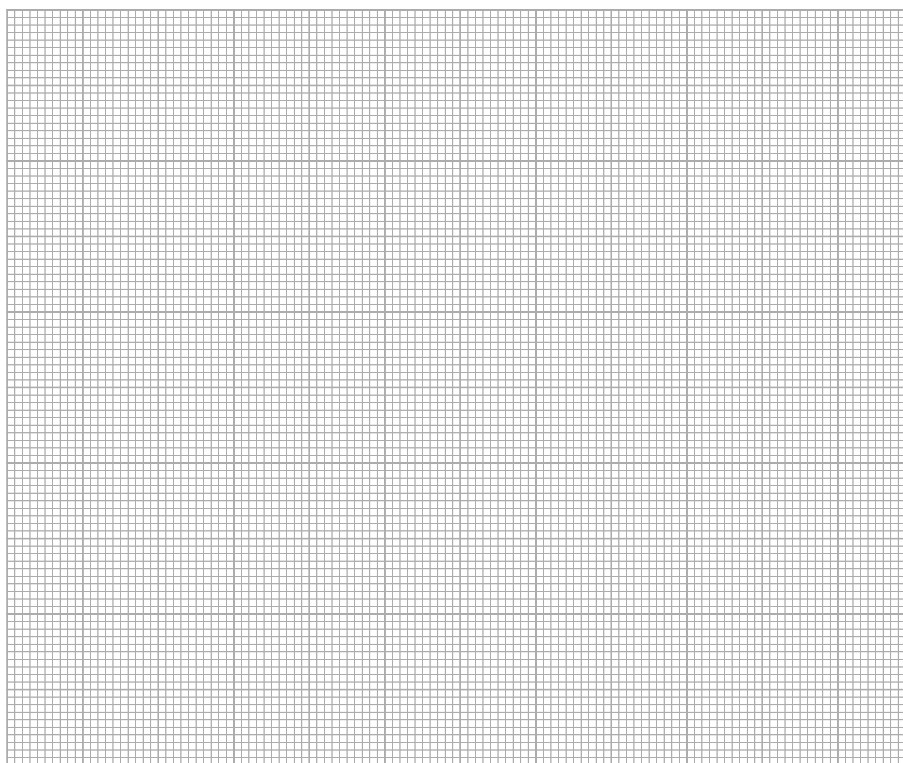
Tablica 26. Kut zakretanja linearno polarizirane svjetlosti izmjeren u debljini kivete 1 dm pri 20 °C i 589,3 nm na samom početku ( $\Delta t = 1 \mu s$ ) vezanja glukoze na imobilizirani enzim heksokinazu u ovisnosti o početnoj koncentraciji glukoze.

| $c_0 / \text{mmol dm}^{-3}$ | $\alpha / ^\circ$ | $c / \text{mmol dm}^{-3}$ | $v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ | $\log(c_0 / \text{mol dm}^{-3})$ | $\log(v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1})$ |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1,00                        | 0,00945           |                           |                                           |                                  |                                                 |
| 1,54                        | 0,01455           |                           |                                           |                                  |                                                 |
| 3,12                        | 0,02947           |                           |                                           |                                  |                                                 |
| 4,02                        | 0,03798           |                           |                                           |                                  |                                                 |

- a) Ako specifični kut zakretanja vodene otopine glukoze pri 20 °C i 589,3 nm iznosi  $52,7 ^\circ \text{ dm}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3$  izračunajte koncentracije glukoze ( $c$ ) nakon 1  $\mu s$  promatranog procesa i upotpunite tablicu 26.

b) Za različite početne koncentracije glukoze izračunajte početne brzine promatrane reakcije ( $v_0$ ) i pripadajuće logaritamske vrijednosti te upotpunite tablicu 26.

c) Nacrtajte graf ovisnosti  $\log(v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-3})$  o  $\log(c_0 / \text{mol dm}^{-3})$ .

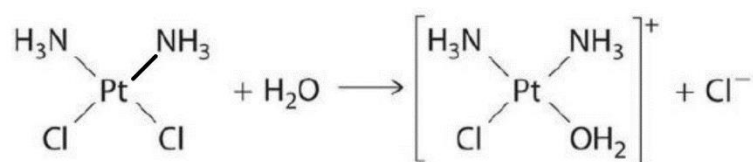


Slika 75. Početna brzina vezanja glukoze na heksokinazu u ovisnosti o početnoj koncentraciji glukoze prema podacima iz tablice 26.

d) Metodom početnih brzina odredite red i koeficijent brzine reakcije vezanja glukoze na imobilizirani enzim pri 20 °C.

(R:  $n = 1$ ,  $k = 4,92 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ )

**Z95.** Cisplatin je jedan od prvih anorganskih kemoterapijskih lijekova koji se koristi za liječenje čitavog niza karcinoma. Farmakološki aktivna forma cisplatina nastaje njegovom hidrolizom

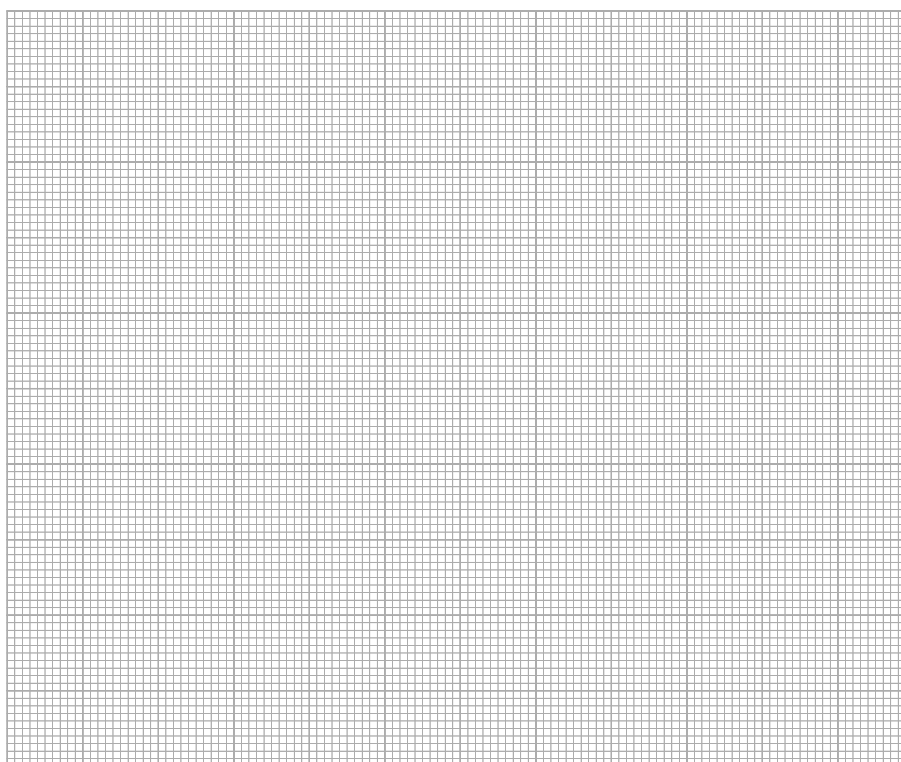


koja dalje vodi do vezanja molekula aktiviranog cisplatina na DNA i time do inhibicije rasta tumorskih stanica. Kako bi se bolje proučila kinetika hidrolize cisplatina, određena je početna brzina ove reakcije pri različitim početnim koncentracijama reaktanta (tablica 27.).

Tablica 27. Početna brzina hidrolize cisplatina u ovisnosti o početnoj koncentraciji cisplatina pri 25 °C i pH = 7,0.

| $c_0 / \text{mol dm}^{-3}$ | $10^5 v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ | $\log(c_0 / \text{mol dm}^{-3})$ | $\log(v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1})$ |
|----------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0,006                      | 0,91                                             | -2,22                            | -5,04                                             |
| 0,012                      | 1,80                                             | -1,92                            | -4,74                                             |
| 0,024                      | 3,59                                             | -1,62                            | -4,44                                             |
| 0,030                      | 4,52                                             | -1,52                            | -4,34                                             |

- a) U tablici 27. napisane su i logaritamske vrijednosti početnih koncentracija i početnih brzina za hidrolizu cisplatina. Prema tim podacima nacrtajte grafički prikaz ovisnosti logaritma početne brzine o logaritmu početne koncentracije cisplatina.



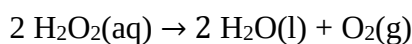
Slika 76. Početna brzina hidrolize cisplatina u ovisnosti o početnoj koncentraciji cisplatina prema podacima iz tablice 27.

- b) Metodom početnih brzina odredite red i koeficijent brzine hidrolize cisplatina pri 25 °C i pH = 7,0.

(R:  $n = 1$ ;  $k = 1,41 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ )

- c) Koliko je vremena potrebno da se hidrolizira 90,0 % molekula cisplatina pri 25 °C i  
pH = 7,0?  
( $t = 1633$  min)

**Z96.** Raspad vodikova peroksida spora je reakcija koja se može ubrzati dodatkom katalizatora kalijeva jodida.



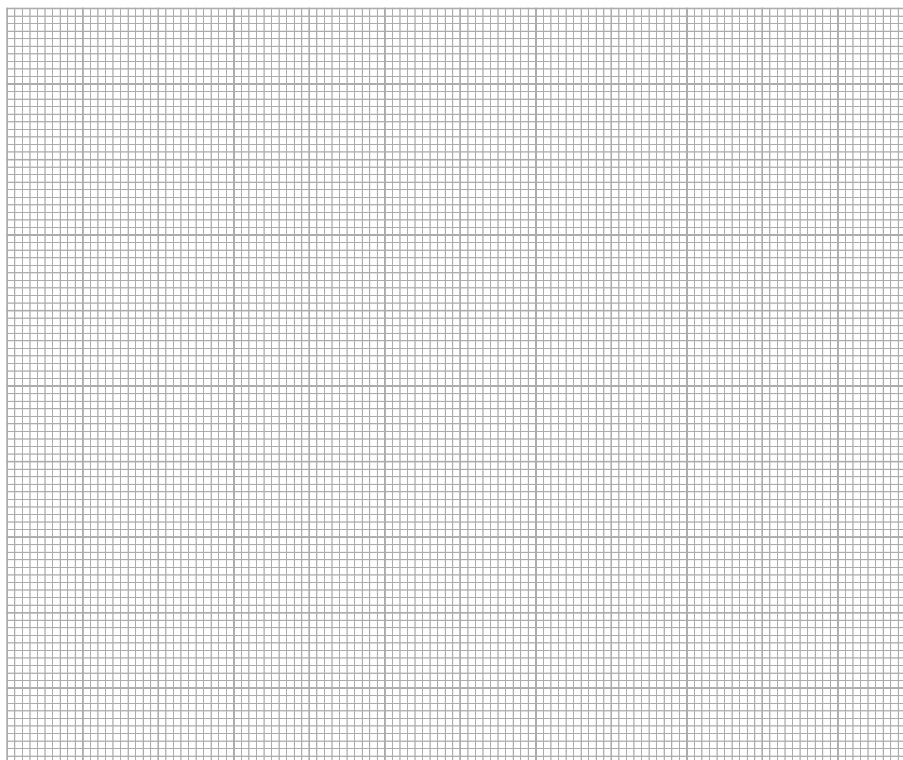
Brzina raspada u tom slučaju osim što ovisi o koncentraciji  $\text{H}_2\text{O}_2$  ovisi i o koncentraciji katalizatora (KI). Na samom početku raspada, volumen razvijenog kisika linearno se mijenja u vremenu pa se jednostavno može odrediti početna brzina te reakcije.

a) Učinjen je set kinetičkih eksperimenata u kojima su određene početne brzine raspada  $\text{H}_2\text{O}_2$  za različite početne koncentracije KI (tablica 28.). Pri tome je u svim eksperimentima početna koncentracija  $\text{H}_2\text{O}_2$  bila jednaka i puno veća od početne koncentracije KI.

Tablica 28. Početna brzina raspada vodikova peroksida ( $c_0 = 0,948 \text{ mol dm}^{-3}$ ) pri 20 °C u ovisnosti o početnoj koncentraciji katalizatora kalijeva jodida.

| $c_0(\text{KI}) / \text{mol dm}^{-3}$ | $10^4 v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ | $\log[c_0(\text{KI})/\text{mol dm}^{-3}]$ | $\log[v_0/\text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}]$ |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 0,05                                  | 4,5                                            | -1,30                                     | -3,35                                         |
| 0,10                                  | 9,5                                            | -1,00                                     | -3,02                                         |
| 0,15                                  | 14,0                                           | -0,82                                     | -2,85                                         |
| 0,20                                  | 19,3                                           | -0,70                                     | -2,71                                         |

Prema podacima iz tablice 28. nacrtajte grafički prikaz ovisnosti logaritma početne brzine raspada  $\text{H}_2\text{O}_2$  o logaritmu početne koncentracije KI.



Slika 77. Utjecaj početne koncentracije KI na početnu brzinu raspada  $\text{H}_2\text{O}_2$  prema podacima iz tablice 28.

b) Metodom početnih brzina odredite parcijalni red reakcije s obzirom na KI.

(R:  $m = 1$ )



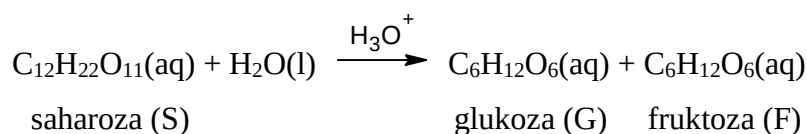
- c) Analogno prvom, učinjen je drugi set kinetičkih eksperimenata u kojima su određene početne brzine raspada  $\text{H}_2\text{O}_2$  ali ovoga puta za različite početne koncentracije  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Pri tome je u svim eksperimentima početna koncentracija KI bila jednaka i iznosila je  $0,15 \text{ mol dm}^{-3}$ . Eksperimentalno dobivena ovisnost logaritma početne brzine raspada  $\text{H}_2\text{O}_2$  o logaritmu početne koncentracije  $\text{H}_2\text{O}_2$  pri  $20^\circ\text{C}$  glasi

$$\log(v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}) = 1,0026 \times \log[c_0(\text{H}_2\text{O}_2) / \text{mol dm}^{-3}] - 2,8569$$

Metodom početnih brzina odredite parcijalni red reakcije s obzirom na  $\text{H}_2\text{O}_2$  te koeficijent brzine raspada  $\text{H}_2\text{O}_2$  kataliziranog s KI.

(R:  $n = 1$ ;  $k = 9,3 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )

**Z97.** U kiselom mediju saharoza hidrolizira na svoje sastavne monosaharide glukozu i fruktozu. To možemo prikazati pojednostavljenom jednadžbom kemijske reakcije:



Kinetika ove reakcije praćena je polarimetrom (tablica 29.).

Tablica 29. Kut zakretanja linearno polarizirane svjetlosti izmjeren u debljini kivete 1 dm pri 20 °C i 589 nm tijekom hidrolize saharoze u otopini HCl ( $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ ).

| $t / \text{min}$ | $\alpha_t / ^\circ$ | $c_t(\text{S}) / \text{mol dm}^{-3}$ |
|------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 0                | 11,27               |                                      |
| 60               | 8,76                |                                      |
| 120              | 6,69                |                                      |

a) Reakcijska smjesa sadrži tri optički aktivne tvari (saharozu, glukozu i fruktozu) pa će izmjereni kut zakretanja te otopine u nekom trenutku  $t$  biti jednak

$$\alpha_t = \alpha_t(\text{S}) + \alpha_t(\text{G}) + \alpha_t(\text{F})$$

pri čemu su  $\alpha_t(\text{S})$ ,  $\alpha_t(\text{G})$  i  $\alpha_t(\text{F})$  kutevi zakretanja saharoze, glukoze i fruktoze u tom trenutku vremena. Izračunajte koncentraciju saharoze na početku hidrolize, u 60. i 120. minuti hidrolize te upotpunite tablicu 29. Specifični kutevi zakretanja otopina saharoze, glukoze i fruktoze pri 20 °C i 589 nm redom iznose  $66,4^\circ \text{ dm}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3$ ,  $52,7^\circ \text{ dm}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3$  i  $-92,0^\circ \text{ dm}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3$ .



- b) Iz kuteva zakretanja utvrđena je koncentracija saharoze na početku hidrolize ( $c = 0,4959 \text{ mol dm}^{-3}$ ), u 60. minuti ( $c = 0,4117 \text{ mol dm}^{-3}$ ) i u 120. minuti hidrolize ( $c = 0,3422 \text{ mol dm}^{-3}$ ). Bez crtanja grafova odredite kojeg je reda promatrana reakcija i izračunajte koeficijent brzine te reakcije pri  $20^\circ\text{C}$  i koncentraciji HCl  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ .  
(R:  $n = 1$  i  $k = 0,0031 \text{ min}^{-1}$ )

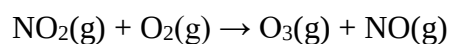
- c) Zakon brzine hidrolize saharoze pri 20 °C i koncentraciji HCl 0,5 mol dm<sup>-3</sup> glasi

$$v = 0,0115 \text{ min}^{-1} \times c_t(\text{S})$$

Nakon koliko vremena od početka hidrolize će omjer množina saharoze, glukoze i fruktoze u reakcijskoj smjesi biti 1:1:1 pri navedenim eksperimentalnim uvjetima?

( $t = 60,3 \text{ min}$ )

**Z98.** Ozon koji se nalazi u višim dijelovima atmosfere (stratosferi) nas štiti od štetnog UV zračenja. S druge strane, ozon koji se nalazi u nižim dijelovima atmosfere (u troposferi) zbog svojih izraženih oksidirajućih svojstva oštećuje ljudski respiratorni sustav. U urbanim područjima ozon nastaje reakcijom kisika s dušikovim dioksidom kojeg u velikoj mjeri ispuštaju automobili i tvornice



Zakon brzine za navedenu reakciju glasi:

$$v = k \cdot c(\text{NO}_2)$$

- a) Kojeg je reda napisana kemijska reakcija?
- b) Da bi se koncentracija  $\text{NO}_2$  u atmosferi smanjila na četvrtinu početne koncentracije pri 20 °C potrebno je 3 minute i 18 sekundi. Izračunajte koeficijent brzine reakcije kojom nastaje ozon. Pretpostavite idealno ponašanje plinova.  
(R:  $k = 7,0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

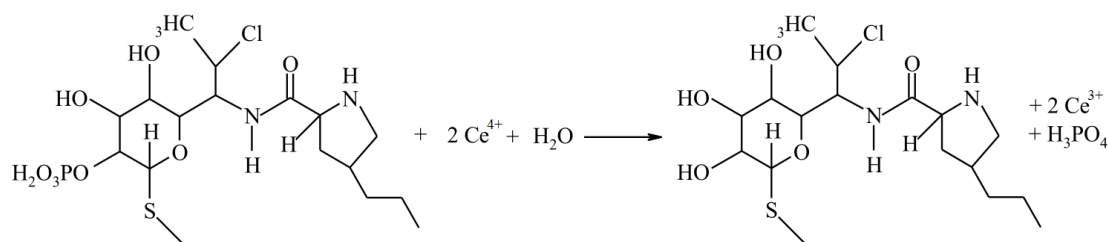
- c) Množinski udio dušikova dioksida u zraku je  $10^{-7}$  (0,1 ppm). Izračunajte početnu brojčanu koncentraciju molekula  $\text{NO}_2$  u atmosferi (u  $\text{cm}^{-3}$ ) pri 101 325 Pa i 20 °C.  
(R:  $C_0 = 2,5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ )

- d) Ako pretpostavimo da u atmosferi na početku nije bilo ozona, kolika će biti brojčana koncentracija ozona (u  $\text{cm}^{-3}$ ) nakon 1 minute?

(R:  $C(\text{O}_3) = 8,6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ )



**Z99.** Klindamicin fosfat (CYN-P) je semisintetski antibiotik koji se pripravlja iz linkomicina. Ovaj antibiotik djelotvoran je protiv gram-pozitivnih bakterija, toksoplazma i mikoplazma te mnogih anaerobnih bakterija. Oksidacijom klindamicin fosfata s  $\text{Ce}^{4+}$  ionima u vodenoj otopini perkloratne kiseline nastaje hidroksilna forma klindamicin fosfata (CYN-OH)



Zakon brzine ove reakcije pri stalnom pH otopine i konstantnoj temperaturi glasi

$$v = kc(\text{Ce}^{4+})c(\text{CYN-P})$$

pri čemu je  $k$  koeficijent brzine reakcije, a  $c(\text{Ce}^{4+})$  i  $c(\text{CYN-P})$  su koncentracije reaktanata.

U slučaju kada je početna koncentracija CYN-P,  $c_0(\text{CYN-P})$ , značajno veća od početne koncentracije  $\text{Ce}^{4+}$  iona,  $c_0(\text{Ce}^{4+})$ , ovisnost koncentracije tih iona o vremenu ( $t$ ) bit će dana izrazom

$$c(\text{Ce}^{4+}) = c_0(\text{Ce}^{4+})e^{-2kc_0(\text{CYN-P})t}$$

- a) Kada su početne koncentracije klindamicin fosfata  $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  i  $\text{Ce}^{4+}$  iona  $5,00 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$  vrijeme polureakcije s obzirom na  $\text{Ce}^{4+}$  ione pri  $25^\circ\text{C}$  iznosi 12,3 minuta. Odredite koeficijent brzine oksidacije klindamicin fosfata pri  $25^\circ\text{C}$ .  
(R:  $k = 0,470 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )

- b) Izračunajte brzinu oksidacije klindamicin fosfata i koncentraciju  $\text{Ce}^{4+}$  iona u 20-toj minuta nakon početka reakcije pri 37 °C kada su početne koncentracije klindamicin fosfata  $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  i  $\text{Ce}^{4+}$  iona  $5,00 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ . Pri 37 °C koeficijent brzine oksidacije klindamicin fosfata iznosi  $0,870 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

(R:  $v = 5,39 \times 10^{-9} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

- c) Kolika je koncentracija produkta CYN-OH u petoj minuti nakon početka oksidacije klindamicin fosfata pri 37 °C, ako su početne koncentracije klindamicin fosfata  $1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  i  $\text{Ce}^{4+}$  iona  $5,00 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ ? Pretpostavite da na početku reakcije nije bilo CYN-OH u otopini.

(R:  $c(\text{CYN-OH}) = 1,02 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ )

**Z100.** Folati (često zvani i vitamini B9) grupa s spojeva koji imaju pozitivan biološki efekt na ljudsko tijelo. Ovi spojevi nalaze se u hrani poput špinata, kelja, brokule, jaja i telećih jetra. Kuhanjem ili pečenjem ove hrane folati se raspadaju prema kinetici 1. reda na biološki manje aktivne spojeve.

a) U špinatu se 60,0 % folata po množini nalazi u obliku 5-metil-tetrahidrofolata (5MTHF), 20,0 % u obliku tetrahidrofolata (THF) te po 10 % u obliku folne kiseline (FA) i 10-formilfolne kiseline (10FFA). Za ove spojeve određen je koeficijent brzine raspada u vodi pri 100 °C i pH = 3,0 (tablica 30.).

Tablica 30. Koeficijenti brzine raspada folata koji se nalaze u špinatu pri 100 °C i pH = 3,0.

| FOLAT | $k / \text{min}^{-1}$ |
|-------|-----------------------|
| 5MTHF | $2,8 \cdot 10^{-2}$   |
| THF   | $1,6 \cdot 10^{-2}$   |
| FA    | $4,0 \cdot 10^{-5}$   |
| 10FFA | $1,8 \cdot 10^{-3}$   |

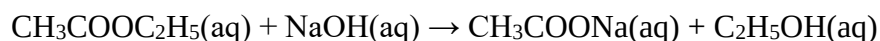
Ako pretpostavite da se odmah na početku kuhanja svi folati ekstrahiraju iz špinata, koji oblik folata će se najsporije raspadati pri 100 °C i pH = 3,0?

- b) Za koliki će se postotak smanjiti ukupna množina folata ekstrahiranih iz špinata ako se kuhaju sat vremena u vodi pri 100 °C i pH = 3,0?

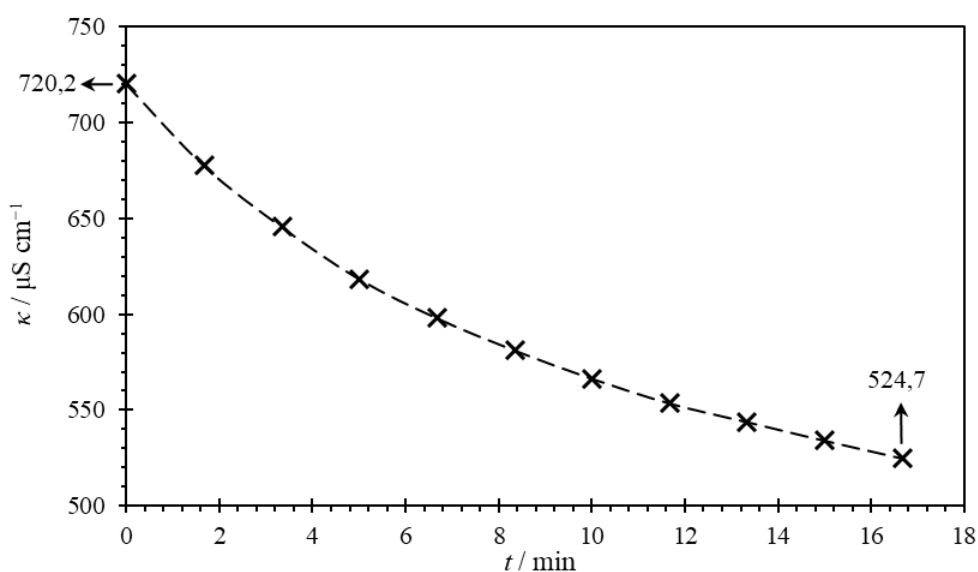
(R:  $x = 62,2 \%$ )

- c) Koliki je udio folne kiseline od ukupne množine folata prisutan u smjesi nakon sat vremena kuhanja špinata u vodi pri 100 °C i pH = 3,0?

(R:  $x = 26,4 \%$ )

**Z101.** Hidroliza etil-acetata u vodenoj otopini natrijeva hidroksida

industrijski je značajan proces kojim se dobiva etanol i natrijev acetat. Kinetika ove reakcije drugog reda (1. reda s obzirom na oba reaktanta) praćena je mjerenjem električne provodnosti reakcijske smjese u vremenu (slika 78.) za slučaj kada su početne koncentracije reaktanata bile jednake.



Slika 78. Vremenska ovisnost električne provodnosti reakcijske smjese tijekom hidrolize etil-acetata natrijevom lužinom pri 50 °C.

- a) Napišite izraz za zakon brzine promatrane reakcije, ako koeficijent brzine iznosi  $0,437 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$  pri 50 °C.

$$(R: v = 0,437 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1} \times c_t(\text{NaOH})^2 = 0,437 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1} \times c_t(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5)^2)$$



- b) Prema slici 78. izračunajte maksimalnu brzinu hidrolize etil-acetata pri istraženim uvjetima. Ionske molarne provodnosti pri beskonačnom razrjeđenju i 50 °C za ione  $\text{Na}^+$ ,  $\text{OH}^-$  i  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  redom iznose  $86,9 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$ ,  $288,7 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$  i  $81,8 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$ .

(R:  $v_{\text{max}} = 1,6 \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

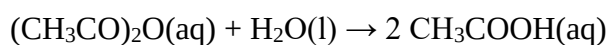
c) Kolika je koncentracija etil-acetata u desetoj minuti ove reakcije?

(R:  $c_t(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 1,3 \text{ mmol dm}^{-3}$ )

d) Koliko vremena je potrebno da množine etil-acetata i natrijeva acetata budu jednake u reakcijskoj smjesi?

(R:  $t = 1193,4 \text{ s}$ )

**Z102.** Acetanhidrid je vjerojatno najvažniji član anhidrida organskih kiselina, jer se često koristi za acetiliranje u organskoj sintezi. Ovaj anhidrid reagira s vodom



pri čemu nastaje octena kiselina. Kako je octena kiselina slabi elektrolit, hidrolizu acetanhidrida pogodno je pratiti konduktometrijski.

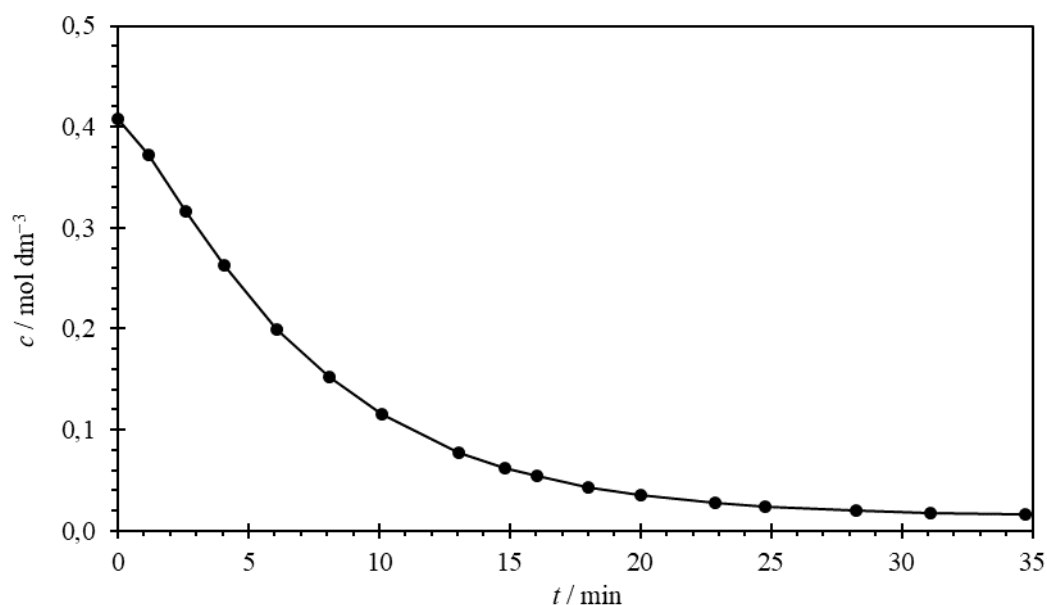
a) U reakcijskoj ćeliji pomiješan je acetanhidrid s deioniziranom vodom i nakon četvrte minute hidrolize izmjerena je električna provodnost otopine pri 23 °C. Provodnost je iznosila 873,6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . Izračunajte stupanj disocijacije octene kiseline pri 23 °C u tom trenutku hidrolize. Molarna provodnost octene kiseline pri beskonačnom razrjeđenju iznosi 390,5  $\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}$ , dok je koncentracijska konstanta disocijacije octene kiseline u vodi  $1,75 \cdot 10^{-5} \text{mol dm}^{-3}$ .

(R:  $\alpha = 7,76 \cdot 10^{-3}$ )



- b) Kolika je koncentracija acetanhidrida nakon četvrte minute hidrolize provedene pri 23 °C, ako je početna koncentracija acetanhidrida bila 0,4075 mol dm<sup>-3</sup>?  
(R:  $c_t = 0,2634$  mol dm<sup>-3</sup>)

- c) Konduktometrijskim mjerenjima ustanovljeno je da hidroliza acetanhidrida prati kinetiku 1. reda. Na slici 79. prikazano je smanjenje koncentracije acetanhidrida tijekom hidrolize pri 23 °C. Skicirajte na slici 79. kako bi izgledala vremenska ovisnost koncentracije acetanhidrida tijekom njegove hidrolize pri 20 °C, ako je početna koncentracija acetanhidrida ista kao i pri 23 °C.



Slika 79. Vremenska ovisnost koncentracije acetanhidrida tijekom njegove hidrolize pri 23 °C. Početna koncentracija acetanhidrida bila je 0,4075 mol dm<sup>-3</sup>.

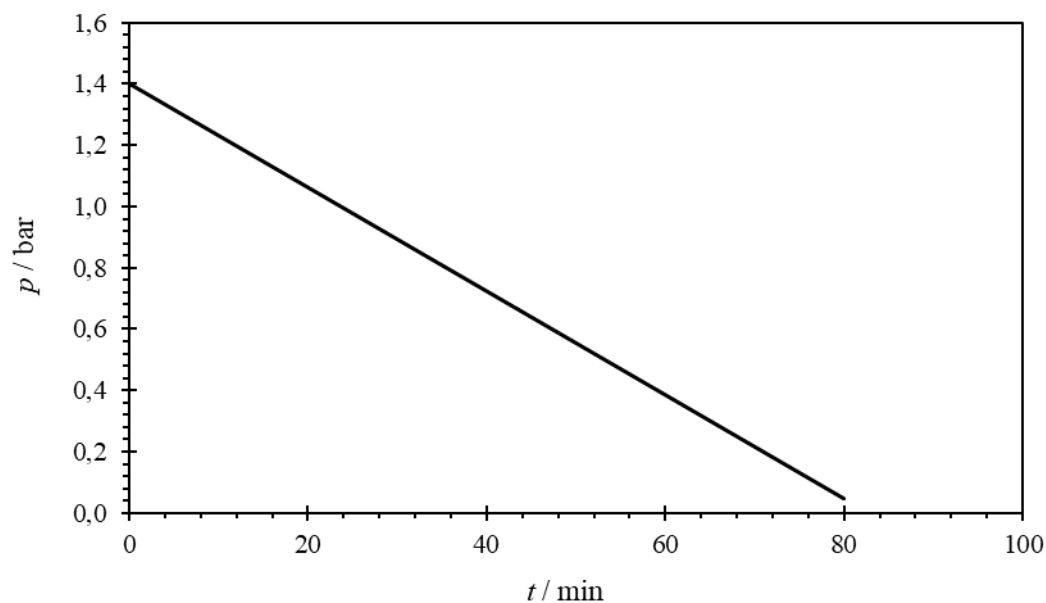
- d) Izračunajte koncentraciju acetanhidrida nakon četvrte minute hidrolize provedene pri 20 °C, ako je početna koncentracija acetanhidrida  $0,4075 \text{ mol dm}^{-3}$ . Koeficijent brzine hidrolize acetanhidrida pri 20 °C iznosi  $0,106 \text{ min}^{-1}$ .

(R:  $c_t = 0,2667 \text{ mol dm}^{-3}$ )

**Z103.** Pri 856 °C plinoviti amonijak se raspada na elementarni dušik i vodik



U jednom eksperimentu je u reakcijskoj posudi stalnog volumena praćeno kako se mijenja parcijalni tlak amonijaka u vremenu prilikom njegova raspada pri 856 °C (slika 80.).



Slika 80. Parcijalni tlak amonijaka u ovisnosti o vremenu prilikom njegovog raspada u reakcijskoj posudi stalnog volumena pri 856 °C.

a) Kojeg je reda promatrana reakcija?

(R:  $n = 0$ )

- b) Ako je eksperimentalno određeno da se parcijalni tlak amonijaka tijekom raspada mijenja prema izrazu

$$p = -0,0169 \text{ bar min}^{-1} \times t + 1,3989 \text{ bar}$$

odredite koeficijent brzine te reakcije pri 856 °C i izrazite ga u  $\text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ .

(R:  $k = 1,5 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

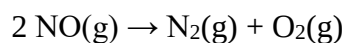


c) Kolika je množinska koncentracija amonijaka (izražena u  $\text{mol dm}^{-3}$ ) nakon jednog sata od početka raspada?

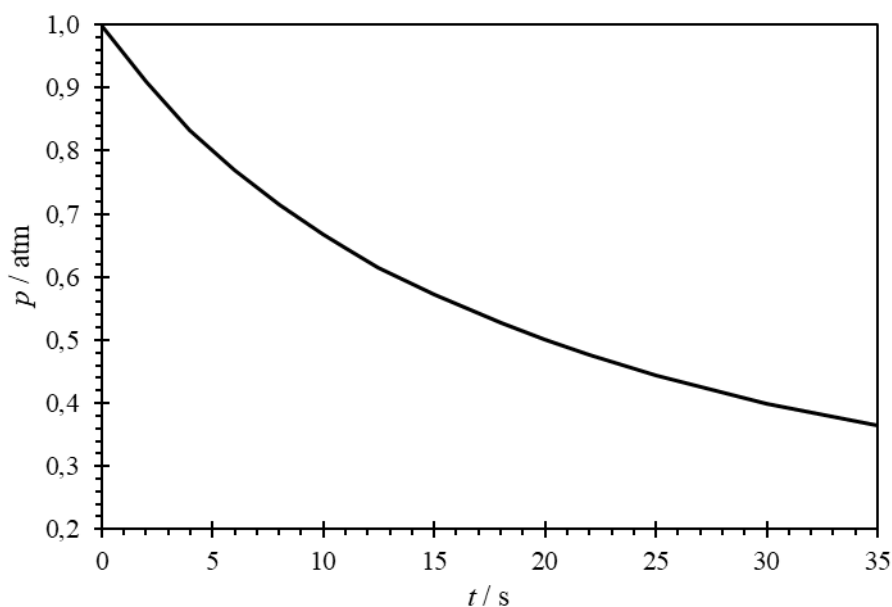
(R:  $c_t = 0,0041 \text{ mol dm}^{-3}$ )

d) Na slici 80. skicirajte ovisnost promjene parcijalnog tlaka amonijaka prilikom njegovog raspada pri  $856^\circ\text{C}$  kada je početni parcijalni tlak amonijaka 1,0 bar.

**Z104.** Pri visokim temperaturama dušikov monoksid se raspada na kisik i dušik



Ovaj raspad slijedi kinetiku 2. reda što se vidi na slici 81. iz vremenske promjene parcijalnog tlaka dušikova monoksida.



Slika 81. Smanjenje parcijalnog tlaka dušikova monoksida tijekom njegovog raspada pri 1200 °C. Početni parcijalni tlak dušikova monoksida bio je 1 atm.

a) Sa slike 81. odredite vrijeme poluraspada dušikova monoksida, tj. vrijeme koje je potrebno da se parcijalni tlak dušikova monoksida smanji na polovinu početnog.

(R:  $t_{1/2} = 20 \text{ s}$ )

- b) Na temelju vremena poluraspada izračunajte koeficijent brzine raspada dušikova monoksida pri 1200 °C. U računu pretpostavite idealno ponašanje plinova.

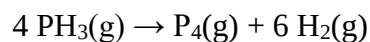
(R:  $k = 3,02 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )

- c) Izračunajte množinsku koncentraciju dušikova monoksida u desetoj sekundi njegova raspada pri 1200 °C i iskažite je u mol dm<sup>-3</sup>.

(R:  $c_t = 5,52 \cdot 10^{-3}$  mol dm<sup>-3</sup>)



**Z105.** Fosfin je proziran, zapaljiv i vrlo otrovan plin koji se pri 698 °C uz nanočestice volframa kao katalizatora raspada na elementarni fosfor i vodik



Pri velikim tlakovima fosfina i 698 °C ovaj raspad slijedi kinetiku 0. reda uz koeficijent brzine od  $4,22 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ .

a) Raspadom fosfina koji se nalazi u bakrenoj posudi stalnog volumena povećava se broj čestica plina, a time i tlak unutar posude raste. Kada tlak unutar posude postigne kritičnu vrijednost od 1,7 bara posuda će puknuti. Izračunajte koliko vremena mora proći od početka raspada fosfina da posuda pukne, ako je na početku reakcije u posudi bio prisutan samo fosfin pri tlaku od 1,0 bar. Pretpostavite idealno ponašanje plinova.

(R:  $t = 6847 \text{ s}$ )



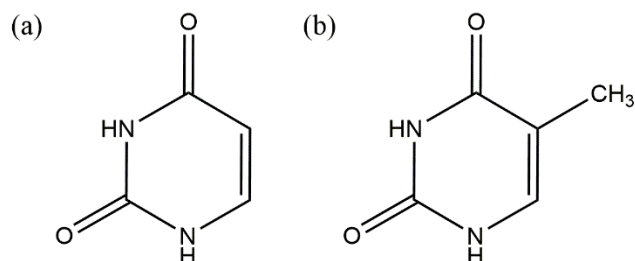
- b) Izračunajte koliki je maksimalni tlak koji se može postići u posudi raspadom fosfina pri 698 °C kada bi se sav fosfin potrošio. U računu pretpostavite idealno ponašanje plinova te da je na početku reakcije u posudi bio prisutan samo fosfin pri tlaku od 1,0 bar.

(R:  $p_{uk,t} = 1,75$  bar)

- c) Za razliku od velikih tlakova kod kojih je brzina raspada fosfina katalizirana nanočesticama volframa neovisna o koncentraciji fosfina, pri malim tlakovima fosfina brzina njegovog raspada bit će proporcionalna njegovoj koncentraciji. Zašto pri velikim tlakovima brzina raspada fosfina prestaje ovisiti o koncentraciji fosfina?

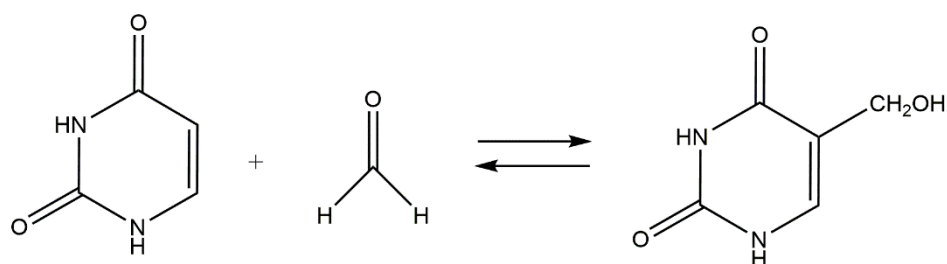


**Z106.** Uracil (slika 82a) je jedna od četiri dušične baze koja se nalazi u ribonukleinskoj kiselini (RNK). U strukturi deoksiribonukleinske kiseline (DNK) umjesto uracila nalazi se timin (slika 82b) koji se razlikuje od uracila za samo jednu metilnu skupinu.



Slika 82. Kemijska struktura (a) uracila i (b) timina.

Pretpostavlja se da je timin nastao iz uracila davno u Zemljinoj prošlosti dok još nije bilo značajnih količina kisika u atmosferi. Za nastanak timina ključna je bila reverzibilna reakcija uracila i formaldehida kojom nastaje 5-hidroksi-metiluracil



a) Pri pH = 7,0 i 25 °C koeficijent brzine nastanka 5-hidroksi-metiluracila iz uracila i formaldehida iznosi  $2,20 \times 10^{-7} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Pri istim uvjetima koeficijent brzine raspada 5-hidroksi-metiluracila na uracil i formaldehid iznosi  $4,85 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ . Izračunajte koncentracijsku konstantu ravnoteže za nastanak 5-hidroksi-metiluracila, ako su obje reakcije elementarni procesi.

(R:  $K_c = 45360,8 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ )

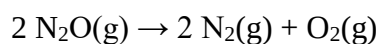


- b) Koliko je minimalno godina bilo potrebno da se uspostavi ravnoteža između uracila i 5-hidroksi-metiluracil u vodi na Zemlji pri 25 °C ako su početne koncentracije uracila i formaldehida bile 0,1 mol dm<sup>-3</sup>? Pretpostavite da na početku reakcije u vodi nije bilo 5-hidroksi-metiluracila te da je brzina raspada 5-hidroksi-metiluracila zanemariva u odnosu na brzinu njegovog nastanka.

(R:  $t = 96,36$  godina)

### 3.2. Utjecaj temperature na brzinu reakcije

**Z107.** Tijekom industrijske proizvodnje najlona kao nusprodukt nastaje dušikov(I) oksid. Dušikov(I) oksid je staklenički plin koji doprinosi globalnom zatopljenju Zemlje. Jedan od načina kojim se smanjuje otpuštanje dušikovog(I) oksida u atmosferu je katalitičkom razgradnjom dušikovog(I) oksida na platinskoj mreži do elementarnog dušika i kisika



Poznato je da navedeni katalitički raspad dušikovog(I) oksida prati kinetiku 0. reda.

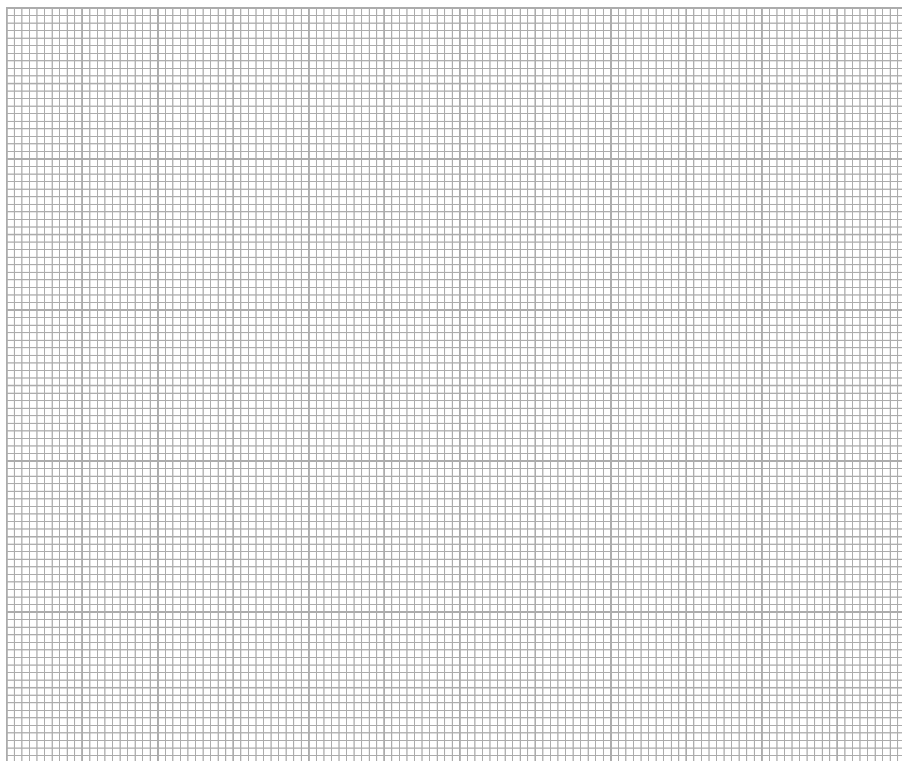
a) Energija aktivacije za raspad dušikovog(I) oksida na platini je  $131,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ , a predeksponencionalni faktor je  $589 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ . Izračunajte početnu brzinu navedene reakcije pri  $775 \text{ }^\circ\text{C}$ .

(R:  $v = 1,63 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

- b) Koliko vremena je potrebno da se u potpunosti katalitički raspadne nastali dušikov(I) oksid pri 775 °C i 1010 hPa, ako je množinski udio dušikovog(I) oksida u smjesi nastalih plinova na početku raspada 40,0 %. Pretpostavite idealno ponašanje dušikovog(I) oksida.

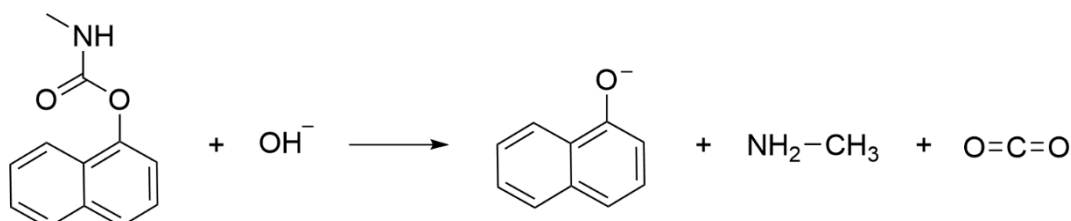
(R:  $t = 14,2$  s)

- c) Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti brzine raspada  $\text{N}_2\text{O}$  na platini o vremenu pri 775 °C i 1010 hPa.

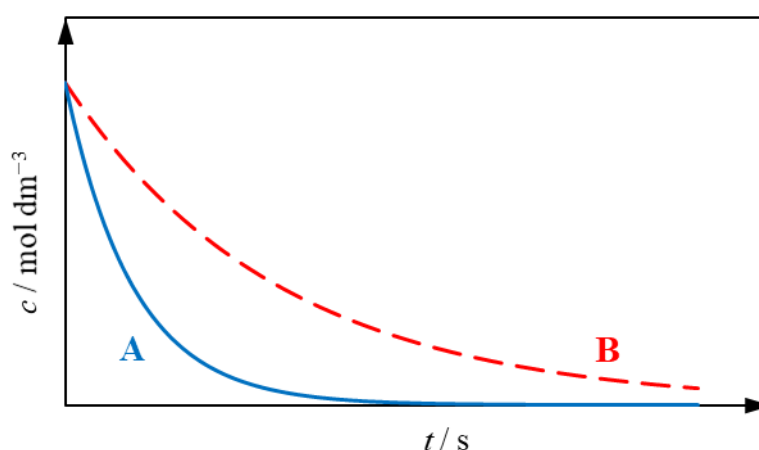


Slika 83. Vremenska ovisnost raspada dušikovog(I) oksida na platini pri 775 °C i 1010 hPa.

**Z108.** Karbaril je organski spoj koji se više od pola stoljeća koristi u poljoprivredi kao insekticid. Zbog svoje toksičnosti karbaril predstavlja veliku opasnost za ekosustav. Jedan od načina kako se ovaj ekološki neprihvatljivi spoj može zbrinuti je tako da se hidrolizira. Hidrolizom karbarila u lužnatom mediju nastaju značajno manje toksični spojevi 1-naftoksid, metilamin i ugljični dioksid



a) Na slici 84. shematski je prikazano kako se koncentracija karbarila smanjuje tijekom hidrolize provedene u otopini natrijeve lužine pri pH = 10,0 i pH = 10,5.



Slika 84. Vremenska ovisnost koncentracije karbarila za reakciju karbarila s natrijevom lužinom pri 20 °C te pH = 10,0 i pH = 10,5.

Odgovara li iscrtkana krivulja B hidrolizi karbarila provedenoj pri pH = 10,0 ili pH = 10,5? Hidroliza karbarila reakcija je prvoga reda s obzirom na oba reaktanta.

- b) Pri 20 °C koeficijent brzine za reakciju karbarila s natrijevom lužinom iznosi  $1,82 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Kolika bi trebala biti minimalna pH-vrijednost otopine da se pri 20 °C 90 % molekula karbarila u 10 minuta prevede u manje toksične produkte? Pretpostavite da se ioni ponašaju idealno te da je na početku natrijeva lužina dodana u velikom suvišku.

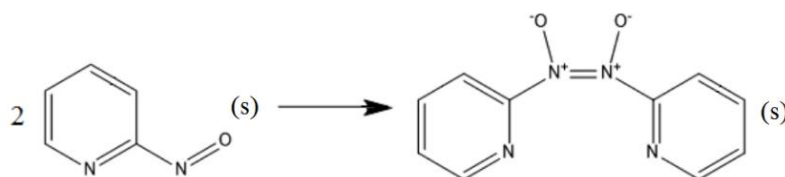
(R: pH = 11,3)



- c) Jedan od načina kako se može ubrzati hidroliza karbarila povećanje je temperature reakcijske smjese. Izračunajte koliko će se puta ubrzati hidroliza karbarila, ako se temperatura smjese poveća s 25 °C na 35 °C. Energija aktivacije za reakciju karbarila s natrijevom lužinom iznosi 70,7 kJ mol<sup>-1</sup>.

(R:  $v_2/v_1 = 2,5$ )

**Z109.** Reakcijama u čvrstom stanju nisu potrebna ekološki neprihvatljiva otapala. Jedna od takvih reakcija je dimerizacija 2-nitrozopiridina pri kriogenim temperaturama:

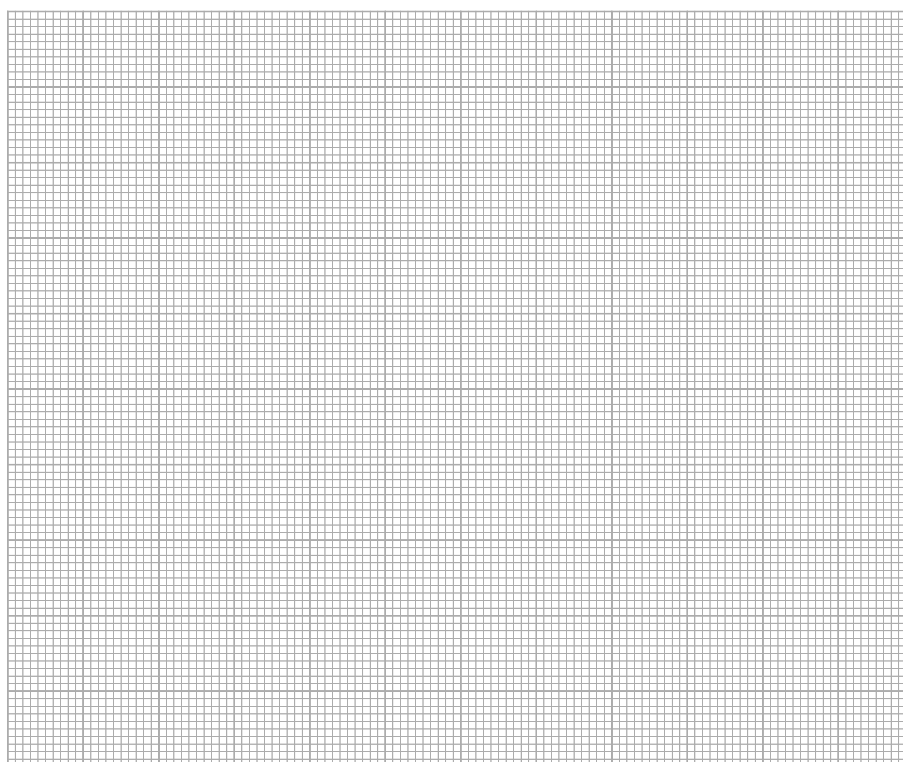


Pripravljen je 2-nitrozopiridin fotolizom Z-dimera prikazanog na shemi reakcije te je praćena brzina dimerizacije u temperaturnom području od 80 do 115 K (tablica 31.).

Tablica 31. Ovisnost koeficijenta brzine dimerizacije 2-nitrozopiridina o temperaturi.

| $T / \text{K}$ | $10^4 k / \text{s}^{-1}$ | $T^{-1} / \text{K}^{-1}$ | $\ln(k / \text{s}^{-1})$ |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 80             | 2,23                     |                          |                          |
| 90             | 3,71                     |                          |                          |
| 100            | 4,91                     |                          |                          |
| 105            | 6,23                     |                          |                          |
| 115            | 8,47                     |                          |                          |

a) Upotpunite tablicu 31. i nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $\ln(k/\text{s}^{-1})$  o  $T^{-1}$ .



Slika 85. Utjecaj temperature na brzinu dimerizacije prema podacima iz tablice 31.

b) Izračunajte energiju aktivacije za promatranu reakciju u čvrstom stanju.

(R:  $E_a = 2,85 \text{ kJ mol}^{-1}$ )

c) Energija aktivacije dimerizacije pripravljenog 2-nitrozopiridina u čvrstom stanju iznosi  $2,85 \text{ kJ mol}^{-1}$ , a u kloroformu ( $\text{CHCl}_3$ ) iznosi  $84,5 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Objasnite zašto se energije aktivacije za tu reakciju u čvrstom stanju i u  $\text{CHCl}_3$  toliko razlikuju. Je li ta reakcija pri istoj temperaturi brža u čvrstom stanju ili u  $\text{CHCl}_3$ ? Pretpostavite da su predeksponencijalni faktori za ta dva slučaja jednakog iznosa.

**Z110.** Malonska kiselina je dikarboksilna kiselina koja se raspada pri višim temperaturama:



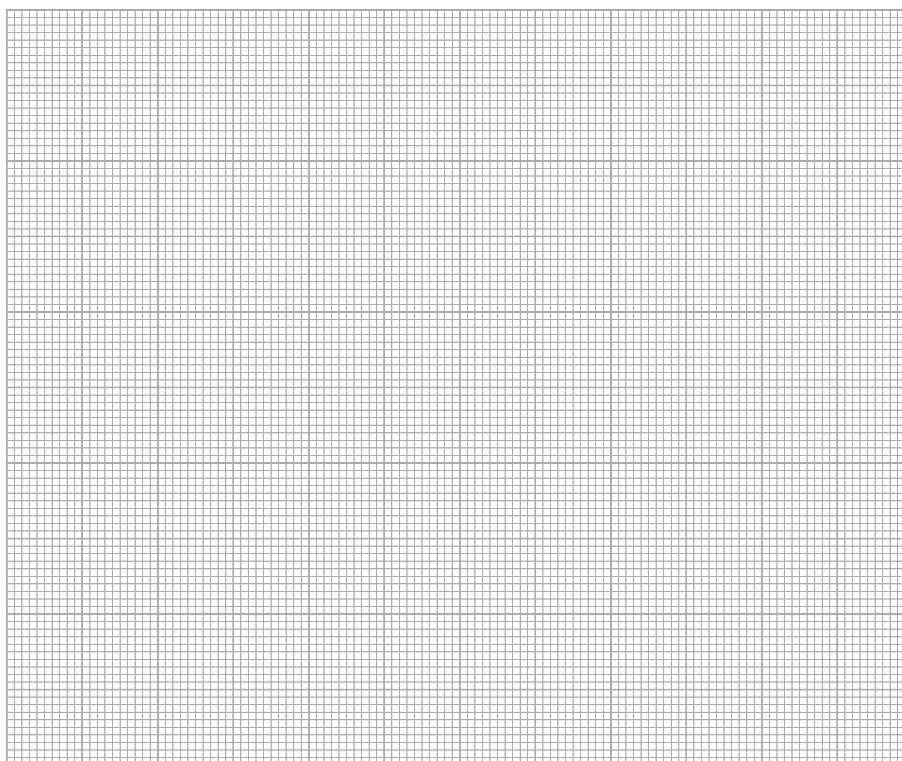
Za ovu reakciju određena je temperaturna ovisnost koeficijenta brzine (tablica 32.).

Tablica 32. Ovisnost koeficijenta brzine raspada malonske kiseline o temperaturi.

| $\theta / ^\circ\text{C}$ | $10^3 k / \text{s}^{-1}$ | $10^3 T^{-1} / \text{K}^{-1}$ | $\ln(k / \text{s}^{-1})$ |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 153,6                     | 1,083                    |                               |                          |
| 143,2                     | 0,410                    |                               |                          |
| 134,2                     | 0,169                    |                               |                          |
| 129,4                     | 0,107                    |                               |                          |

a) Kojeg reda je promatrana reakcija i na temelju čega to zaključujete?

b) Upotpunite tablicu 32. i nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $\ln(k/\text{s}^{-1})$  o  $10^3 T^{-1} / \text{K}^{-1}$ .

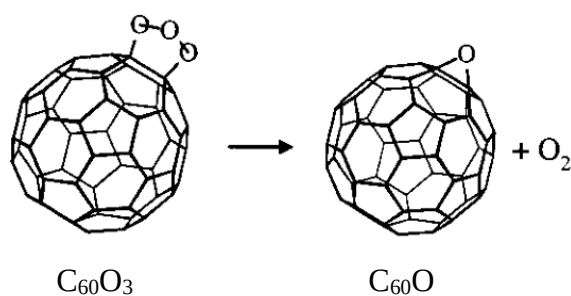


Slika 86. Kinetika raspada malonske kiseline prema podacima iz tablice 32.

c) Odredite energiju aktivacije za promatranu reakciju.

(R:  $E_a = 138,1 \text{ kJ mol}^{-1}$ )

**Z111.** Uz dijamant i grafit, fuleren je treća alotropska modifikacija ugljika koja je otkrivena 1985. godine. Molekula fulerena sastoji se od 60 atoma ugljika povezanih u 12 peterokuta i 20 šesterokuta i slična je nogometnoj lopti. Ozonizacijom fulerena nastaje  $C_{60}O_3$ . Ovaj derivat fulerena je nestabilan pa se brzo raspada u organskim otapalima prema kinetici prvog reda na  $C_{60}O$  i molekularni kisik



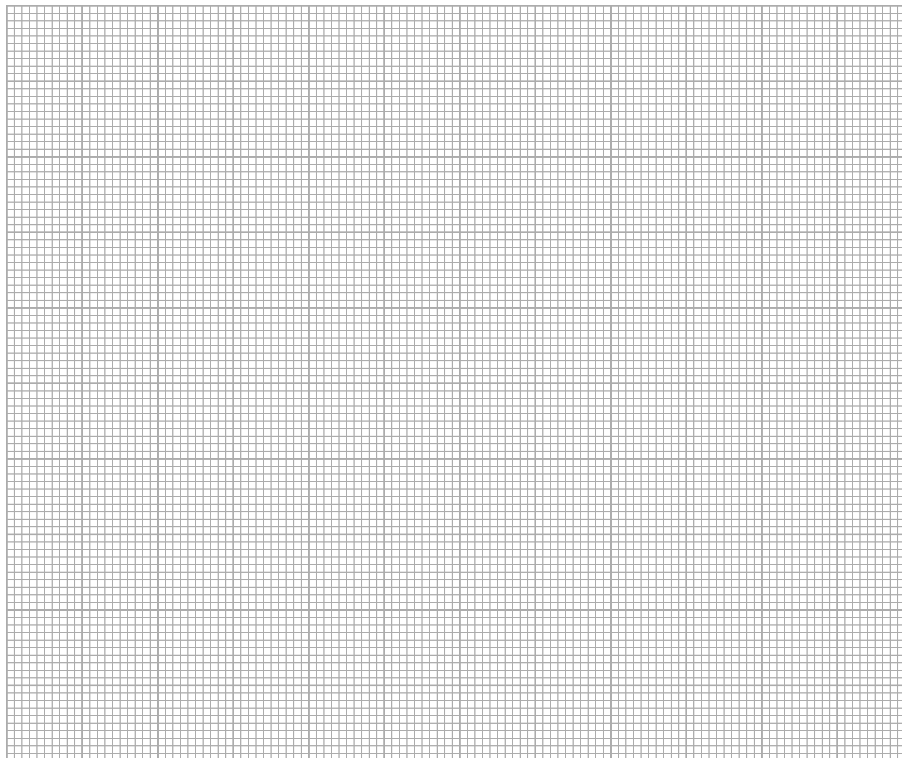
a) Spektrofotometrijski su određena vremena poluraspada  $C_{60}O_3$  u toluenu pri nekoliko temperatura (tablica 33.).

Tablica 33. Ovisnost vremena poluraspada  $C_{60}O_3$  u toluenu o temperaturi.

| $\theta / ^\circ\text{C}$ | $t_{1/2} / \text{min}$ | $10^3 k / \text{min}^{-1}$ | $10^3 T^{-1} / \text{K}^{-1}$ | $\ln(k / \text{min}^{-1})$ |
|---------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 0,40                      | 239                    |                            |                               |                            |
| 9,90                      | 70,7                   |                            |                               |                            |
| 14,2                      | 40,5                   |                            |                               |                            |
| 23,0                      | 14,9                   |                            |                               |                            |

Upotpunite tablicu 33. s iznosima recipročnih vrijednosti termodinamičke temperature i pripadajućim koeficijentima brzine te njihovim logaritamskim vrijednostima.

b) Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $\ln(k/\text{min}^{-1})$  o  $T^{-1}$ .



Slika 87. Utjecaj temperature na brzinu raspada  $\text{C}_{60}\text{O}_3$  u toluenu prema podacima iz tablice 33.

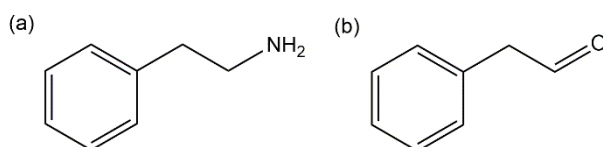
c) Odredite energiju aktivacije i predeksponencijalni faktor za promatranu reakciju raspada  $\text{C}_{60}\text{O}_3$  u toluenu.

(R:  $E_a = 138,1 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $A = 1,73 \cdot 10^{13} \text{ min}^{-1}$ )



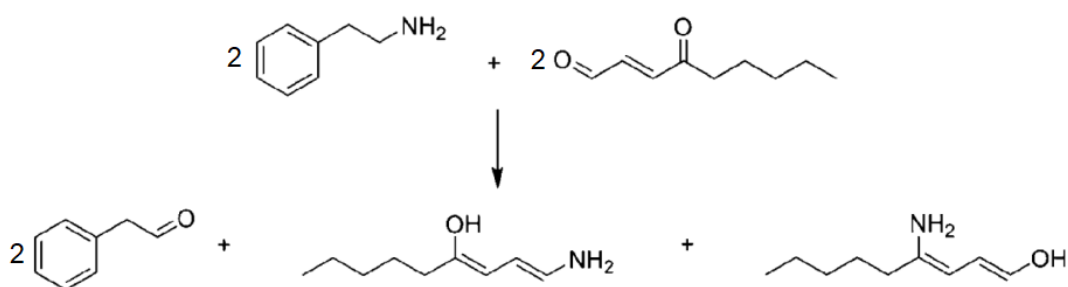


**Z112.** Feniletilamin (slika 88a) je neuromodulator koji nas čini uzbuđenima i sretnim. Pri zaljubljenosti u mozgu se stvaraju povećane količine ovog spoja pa se feniletilamin naziva i „molekulom zaljubljenosti“. Feniletilamin se prirodno sintetizira u ljudskom organizmu iz aminokiseline fenilalanina, a može se pronaći i u određenoj hrani poput čokolade pa neki tvrde da je čokolada afrodizijak. U čokoladi se nalazi i fenilacetaldehid (slika 88b). Fenilacetaldehid je derivat feniletilamina koji čokoladi uz ostale arome daje karakterističan miris.



Slika 88. Kemijska struktura (a) feniletilamina i (b) fenilacetaldehida.

Fenilacetaldehid se može pripremiti iz feniletilamina u reakciji s 4-okso-2-nonenalom



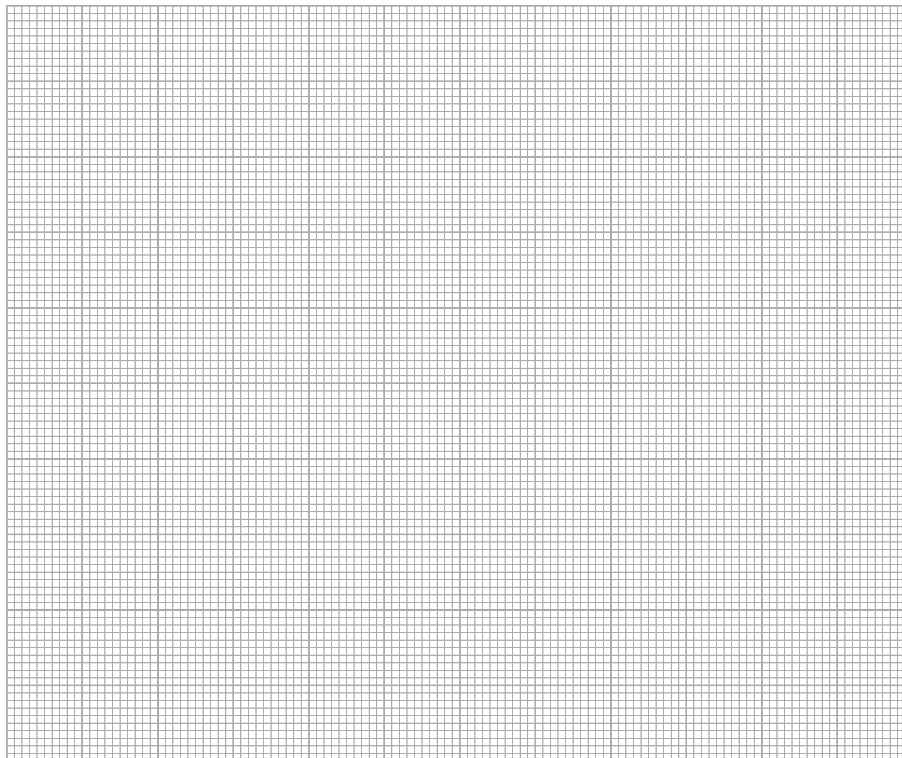
Za ovu reakciju određena je temperaturna ovisnost koeficijenta brzine (tablica 34.).

Tablica 34. Ovisnost koeficijenta brzine reakcije feniletilamina i 4-okso-2-nonenala pri pH = 3,0 o temperaturi.

| $\theta / ^\circ\text{C}$ | $10^3 k / \text{mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ | $10^3 T^{-1} / \text{K}^{-1}$ | $\ln(k / \text{mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1})$ |
|---------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|
| 180                       | 82,1                                           |                               |                                                |
| 160                       | 41,2                                           |                               |                                                |
| 140                       | 20,2                                           |                               |                                                |
| 120                       | 9,1                                            |                               |                                                |

a) Upotrijebite tablicu 34. s iznosima recipročnih vrijednosti termodinamičke temperature i pripadajućim logaritamskim vrijednostima koeficijenta brzine.

b) Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $\ln(k/\text{mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1})$  o  $10^3 T^{-1} / \text{K}^{-1}$ .

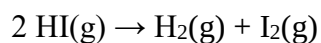


Slika 89. Utjecaj temperature na brzinu sinteze fenilacetaldehida iz feniletilamina prema podacima iz tablice 34.

c) Odredite energiju aktivacije i predeksponencijalni faktor za promatranu reakciju.  
(R:  $E_a = 54,3 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $A = 1,48 \cdot 10^5 \text{ mol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ )



**Z113.** Brzina raspada jodovodika koja se odvija jednim elementarnim procesom

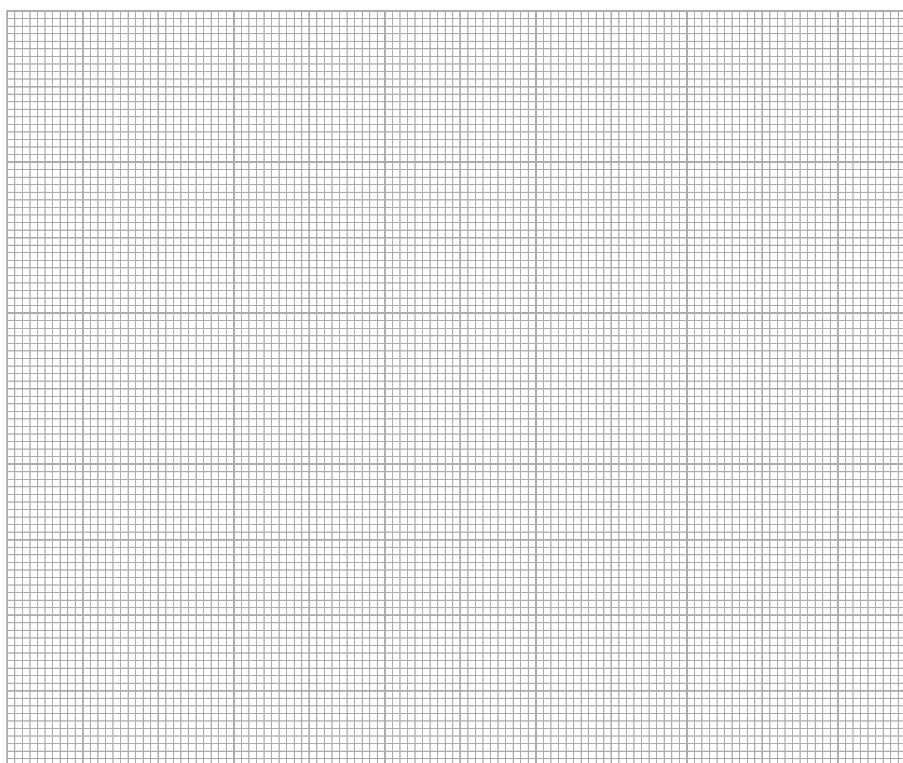


praćena je u temperaturnom području od 647 do 781 K (tablica 35.).

Tablica 35. Ovisnost koeficijenta brzine reakcije raspada HI o temperaturi.

| $T / \text{K}$ | $k / \text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$ | $T^{-1} / \text{mK}^{-1}$ | $\ln(k / \text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{s}^{-1})$ |
|----------------|-------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|
| 647            | $8,59 \times 10^{-5}$                           |                           |                                                      |
| 683            | $5,11 \times 10^{-4}$                           |                           |                                                      |
| 716            | $2,50 \times 10^{-3}$                           |                           |                                                      |
| 781            | $3,95 \times 10^{-2}$                           |                           |                                                      |

a) Upotpunite tablicu 35. i nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $\ln(k/\text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{s}^{-1})$  o  $T^{-1}$ .

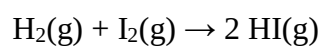


Slika 90. Kinetika raspada HI prema podacima iz tablice 35.

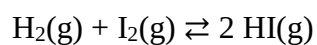
b) Odredite predeksponencijalni faktor i energiju aktivacije za reakciju raspada HI.

(R:  $A = 2,9761 \times 10^{11} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$  i  $E_a = 192,8 \text{ kJ mol}^{-1}$ )

- c) Predeksponencijalni faktor i energija aktivacije za sintezu jodovodika iz elemenata, koja se odvija u jednom elementarnom procesu



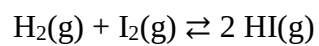
iznose  $8,6493 \times 10^{11} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$  i  $176,3 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Izračunajte standardnu konstantu ravnoteže za reverzibilnu reakciju



pri 700 K uz pretpostavku idealnog ponašanja plinova.

(R:  $K^\ominus = 44,6$ )

d) Objasnite kako povišenje temperature utječe na ravnotežu reakcije



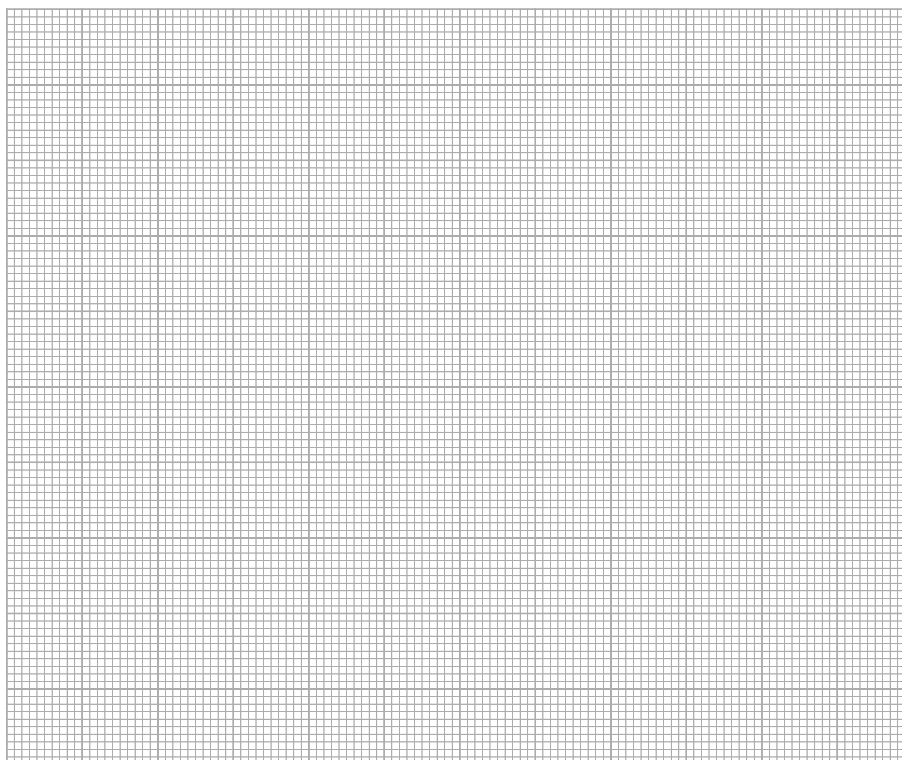
### 3.3. Kinetika enzimski kataliziranih reakcija

**Z114.** Praćena je kinetika reakcije hidrolize adenzin-trifosfata (ATP) katalizirane miozinom pri 25 °C i pH = 7,0 (tablica 36.).

Tablica 36. Početna brzina hidrolize ATP-a katalizirana miozinom pri 25 °C i pH = 7,0 u ovisnosti o početnoj koncentraciji supstrata.

| $c_0 / \mu\text{mol dm}^{-3}$ | $v_0 / \mu\text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ | $c_0^{-1} / \text{dm}^3 \mu\text{mol}^{-1}$ | $v_0^{-1} / \text{s dm}^3 \mu\text{mol}^{-1}$ | $(v_0 / c_0) / \text{s}^{-1}$ |
|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| 7,5                           | 0,067                                        |                                             |                                               |                               |
| 12,5                          | 0,095                                        |                                             |                                               |                               |
| 43,5                          | 0,150                                        |                                             |                                               |                               |
| 62,5                          | 0,180                                        |                                             |                                               |                               |
| 320,0                         | 0,190                                        |                                             |                                               |                               |

a) Upotpunite tablicu 36. i nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $1/v_0$  o  $1/c_0$ .



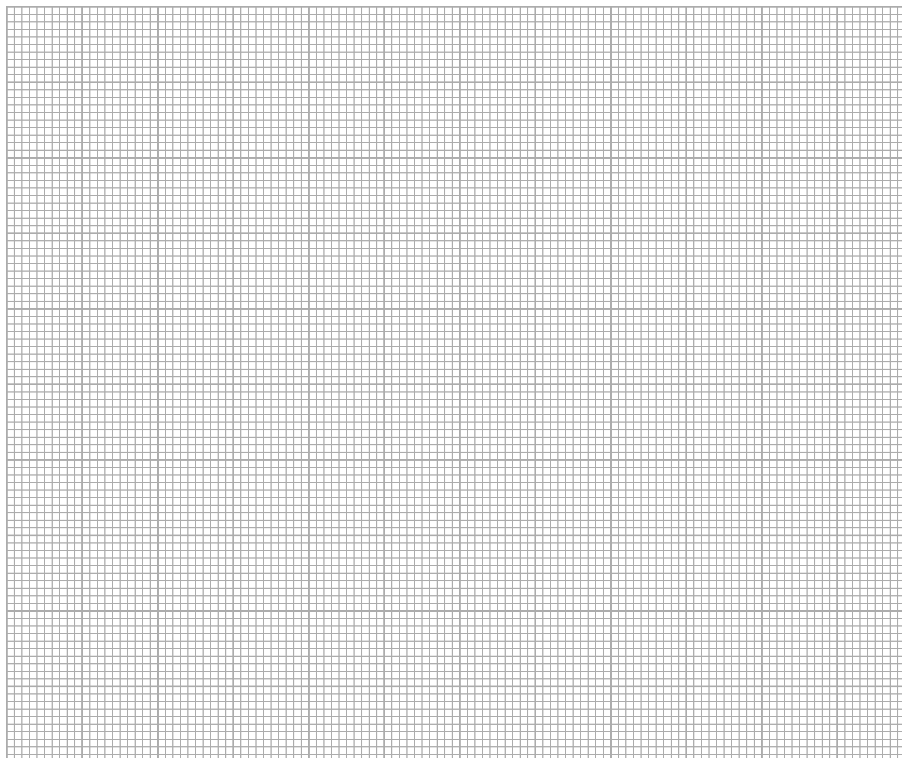
Slika 91. Lineweaver-Burkov prikaz prema podacima iz tablice 36.



- b) Odredite maksimalnu brzinu reakcije i Michaelisovu konstantu za promatranu enzimsku reakciju koristeći se Lineweaver-Burkovom linearizacijom Michaelis-Menteničine jednačbe.

(R:  $v_{\max} = 0,211 \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ;  $K_M = 15,9 \text{ } \mu\text{mol dm}^{-3}$ )

c) Upotpunite tablicu 36. i nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $v_0$  o  $(v_0 / c_0)$ .



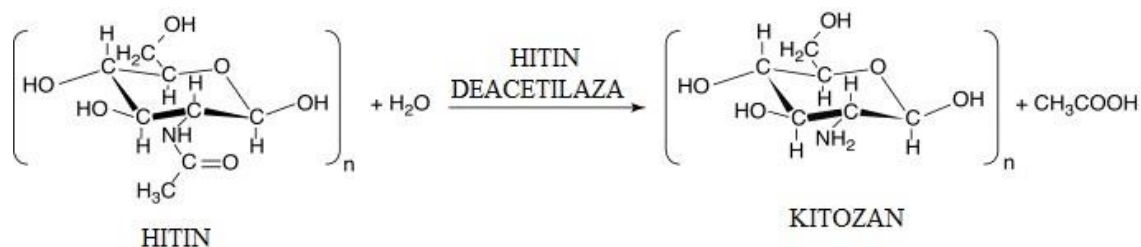
Slika 92. Eadie-Hofsteeov prikaz prema podacima iz tablice 36.

d) Odredite maksimalnu brzinu reakcije i Michaelisovu konstantu za promatranu enzimsku reakciju koristeći se Eadie-Hofsteeovom linearizacijom Michaelis-Menteničine jednadžbe.

(R:  $v_{\max} = 0,208 \mu\text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$ ;  $K_M = 15,2 \mu\text{mol dm}^{-3}$ )



**Z115.** Enzim hitin deacetilaza je jedini poznati enzim koji katalizira hidrolizu prirodnog polisaharida hitina do drugog biopolimera kitozana i octene kiseline



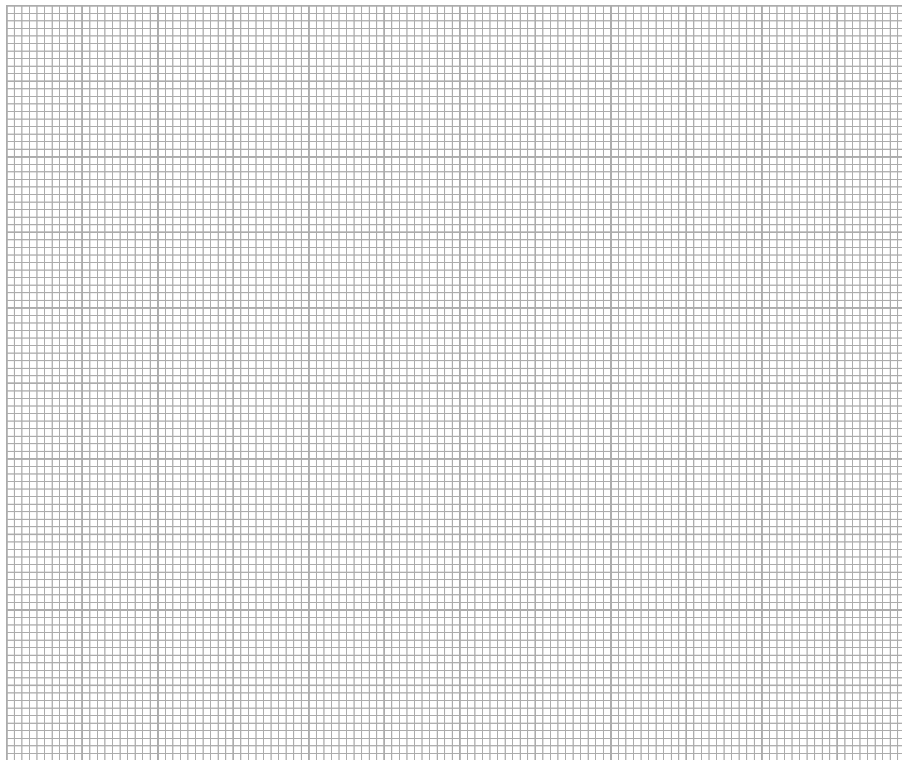
Kinetika navedene reakcije praćena je pri početnoj koncentraciji enzima 0,823 mg dm<sup>-3</sup>, 50 °C i pH = 4,0 (tablica 37.).

Tablica 37. Početna brzina hidrolize hitina katalizirana hitin deacetilazom ( $\gamma = 0,823$  mg dm<sup>-3</sup>) pri 50 °C i pH = 4,0 u ovisnosti o početnoj koncentraciji acetiliranih monomernih jedinica hitina.

| $c_0$ / mmol dm <sup>-3</sup> | $v_0$ / mmol dm <sup>-3</sup> min <sup>-1</sup> | $c_0^{-1}$ / dm <sup>3</sup> mmol <sup>-1</sup> | $v_0^{-1}$ / min dm <sup>3</sup> mmol <sup>-1</sup> |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 10,00                         | 7,71                                            |                                                 |                                                     |
| 6,75                          | 6,99                                            |                                                 |                                                     |
| 5,00                          | 6,82                                            |                                                 |                                                     |
| 1,35                          | 2,98                                            |                                                 |                                                     |

a) Upotpunite tablicu 37. s recipročnim vrijednostima koncentracija supstrata i recipročnim vrijednostima početnih brzina.

b) Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $1/v_0$  o  $1/c_0$ .



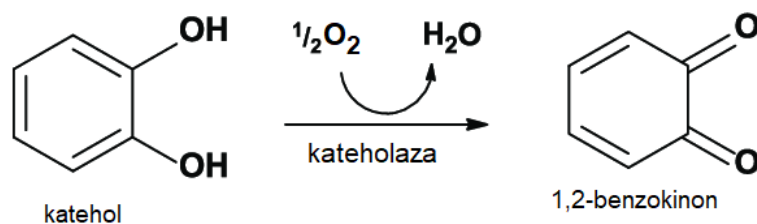
Slika 93. Lineweaver-Burkov prikaz prema podacima iz tablice 37.

c) Odredite maksimalnu brzinu reakcije i Michaelisovu konstantu za promatranu enzimsku reakciju koristeći se Lineweaver-Burkovom linearizacijom Michaelis-Menteničine jednačbe.

(R:  $v_{\max} = 7,7 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ ;  $K_M = 2,1 \text{ mmol dm}^{-3}$ )



**Z116.** Enzim kateholaza nalazi se u brojnom voću i povrću poput jabuka i banana. Ovaj enzim katalizira oksidaciju katehola kisikom iz zraka do 1,2-benzokinona



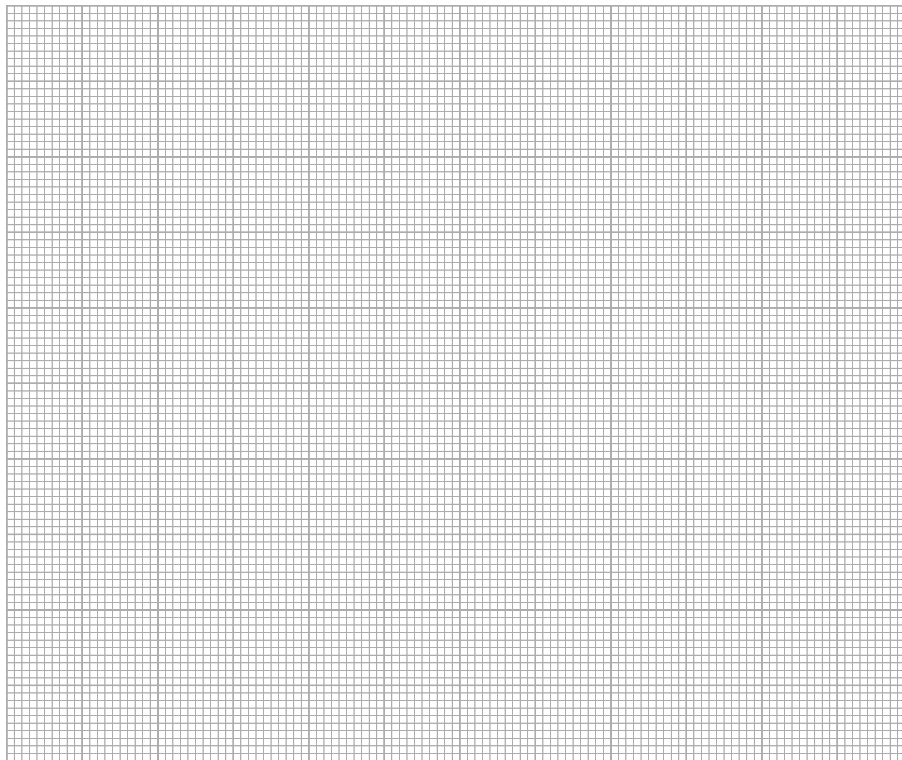
Nastali produkt 1,2-benzokinon polimerizira što za posljedicu ima posmeđivanje voća i povrća. Kinetika oksidacije katehola uz kateholazu izoliranu iz jabuka praćena je spektrofotometrijski (tablica 38.).

Tablica 38. Početna brzina oksidacije katehola katalizirana kateholazom pri 25 °C i pH = 7,0 u ovisnosti o početnoj koncentraciji katehola.

| $c_0 / \text{mol dm}^{-3}$ | $v_0 / \text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ | $c_0^{-1} / \text{dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ | $v_0^{-1} / \text{s dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ |
|----------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0.1000                     | 0.1311                                    |                                           |                                             |
| 0.0100                     | 0.0512                                    |                                           |                                             |
| 0.0075                     | 0.0402                                    |                                           |                                             |
| 0.0050                     | 0.0310                                    |                                           |                                             |

d) U potpunosti tablicu 38. s recipročnim vrijednostima koncentracija supstrata i recipročnim vrijednostima početnih brzina.

e) Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $1/v_0$  o  $1/c_0$ .



Slika 94. Lineweaver-Burkov prikaz prema podacima iz tablice 38.

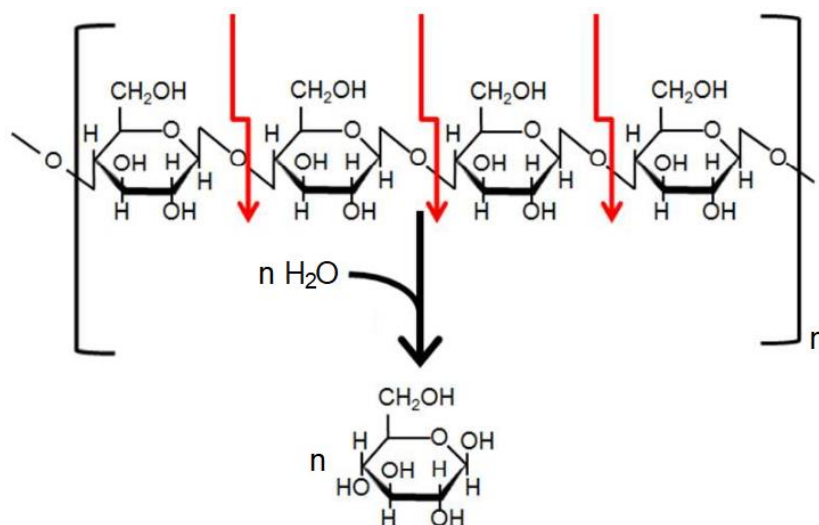
f) Odredite maksimalnu brzinu reakcije i Michaelisovu konstantu za promatranu enzimsku reakciju koristeći se Lineweaver-Burkovom linearizacijom Michaelis-Menteničine jednadžbe.

(R:  $v_{\max} = 0,173 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ;  $K_M = 22,9 \text{ mmol dm}^{-3}$ )





**Z117.** Endo-(1,4)- $\beta$ -D-glukanaza je enzim koji razgrađuje polisaharid celulozu do glukoze tako da cijepa (1,4)- $\beta$  glikozidnu vezu u lančanoj molekuli celuloze (slika 95.).



Slika 95. Predložena reakcijska shema za enzimsku hidrolizu celuloze. Crvenim strelicama su označene glikozidne veze koje cijepa endo-(1,4)- $\beta$ -D-glukanaza.

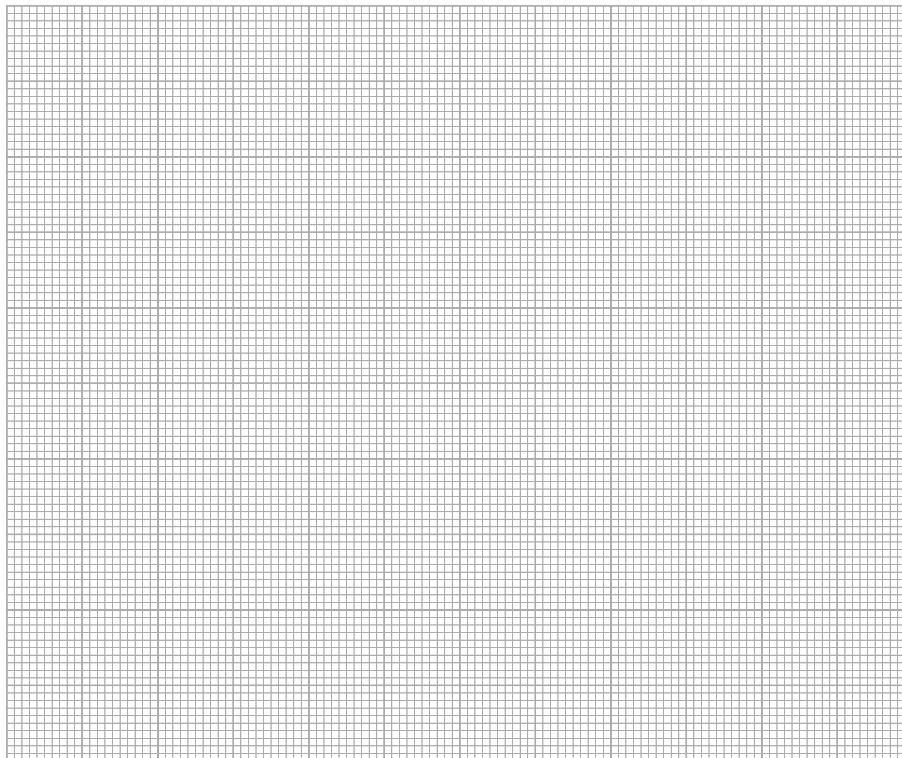
Kinetika ove reakcije praćena je spektrofotometrijski tako da su određene početne brzine ove reakcije u ovisnosti o početnoj koncentraciji celuloze (tablica 39.).

Tablica 39. Početna brzina hidrolize celuloze katalizirana endo-(1,4)- $\beta$ -D-glukanazom ( $c_0 = 1,7 \text{ mmol dm}^{-3}$ ) pri  $25^\circ\text{C}$  i  $\text{pH} = 5,0$  u ovisnosti o početnoj masenoj koncentraciji supstrata.

| $\gamma_0 / \text{g dm}^{-3}$ | $v_0 / \text{mmol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ | $(\gamma_0 / v_0) / \text{g min mmol}^{-1}$ |
|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 5                             | 24,66                                        |                                             |
| 15                            | 32,16                                        |                                             |
| 25                            | 35,65                                        |                                             |
| 35                            | 35,89                                        |                                             |
| 50                            | 37,22                                        |                                             |

a) Upotpunite tablicu 39. s omjerom masenih koncentracija supstrata i početnih brzina ( $\gamma_0 / v_0$ ).

b) Prema podacima iz tablice 39. nacrtajte grafički prikaz ovisnosti ( $\gamma_0 / v_0$ ) o  $\gamma_0$ .

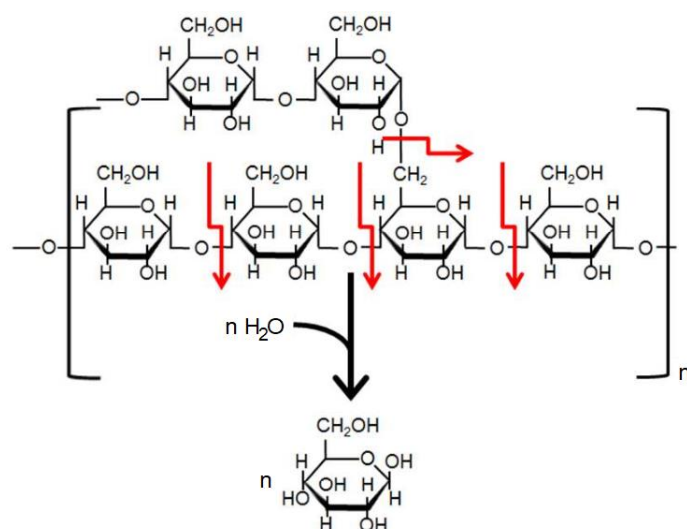


Slika 96. Hanesov prikaz prema podacima iz tablice 39.

c) Odredite maksimalnu brzinu reakcije (u  $\text{mmol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ ) i Michaelisovu konstantu (u  $\text{g dm}^{-3}$ ) za promatranu enzimsku reakciju koristeći se Hanesovom linearizacijom Michaelis-Menteničine jednačbe.

(R:  $v_{\text{max}} = 39,5 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ ;  $K_M = 2,67 \text{ g dm}^{-3}$ )

- d) Osim celuloze endo-(1,4)- $\beta$ -D-glukanaza može razgraditi i amilopektin (slika 97.). Amilopektin je razgranati polisaharid izgrađen od molekula D-glukoze povezanih (1,4)- $\alpha$  glikozidnom vezom u strukturi ravnog lanca i (1,6)- $\alpha$  glikozidnom vezom na mjestima grananja.



Slika 97. Predložena reakcijska shema za enzimsku hidrolizu amilopektina.

Crvenim strelicama su označene glikozidne veze koje cijepa endo-(1,4)- $\beta$ -D-glukanaza.

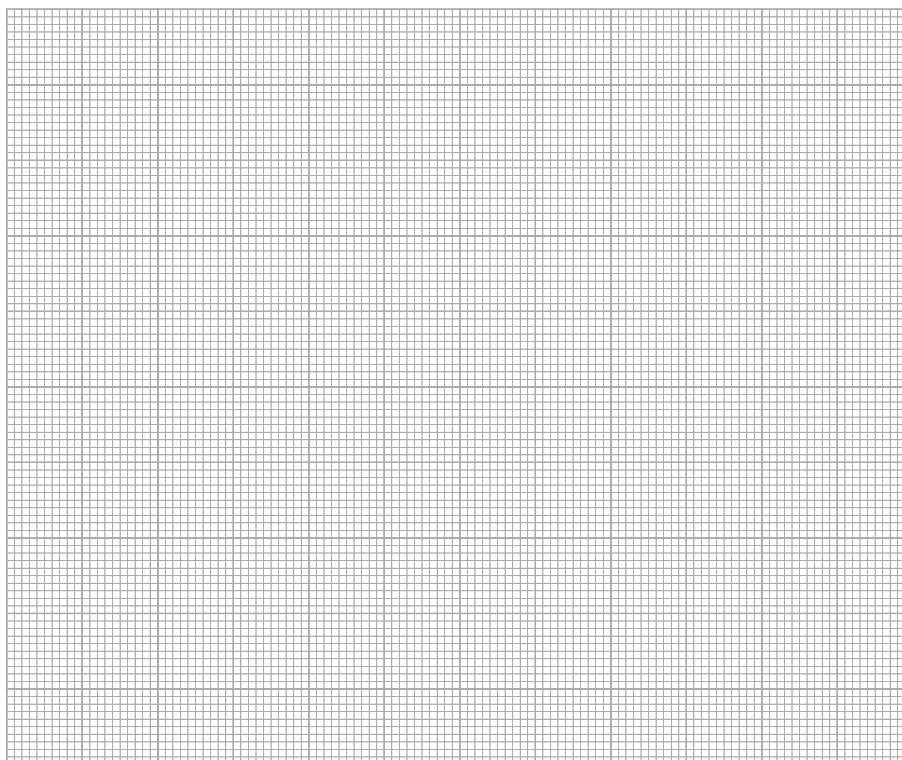
Očekujete li da će katalitička efikasnost endo-(1,4)- $\beta$ -D-glukanaze biti veća ili manja kada je supstrat amilopektin?

**Z118.** Enzim ugljikova anhidraza katalizira hidrolizu ugljikova(IV) oksida u crvenim krvnim stanicama do nestabilne ugljične kiseline. Kinetika navedene reakcije praćena je pri početnoj koncentraciji enzima  $2,3 \text{ nmol dm}^{-3}$ ,  $0,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $\text{pH} = 7,1$  (tablica 40.).

Tablica 40. Početna brzina hidrolize  $\text{CO}_2$  katalizirana ugljikovom anhidrazom ( $c = 2,3 \text{ nmol dm}^{-3}$ ) pri  $0,35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $\text{pH} = 7,1$  u ovisnosti o početnoj koncentraciji supstrata.

| $c_0 / \text{mmol dm}^{-3}$ | $v_0 / \text{mmol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ | $c_0^{-1} / \text{dm}^3 \text{ mmol}^{-1}$ | $v_0^{-1} / \text{s dm}^3 \text{ mmol}^{-1}$ |
|-----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1,25                        | 0,0278                                     |                                            |                                              |
| 2,50                        | 0,0500                                     |                                            |                                              |
| 5,00                        | 0,0833                                     |                                            |                                              |
| 20,00                       | 0,1670                                     |                                            |                                              |

a) Upotpunite tablicu 40. i nacrtajte grafički prikaz ovisnosti  $1/v_0$  o  $1/c_0$ .



Slika 98. Lineweaver-Burkov prikaz prema podacima iz tablice 40.

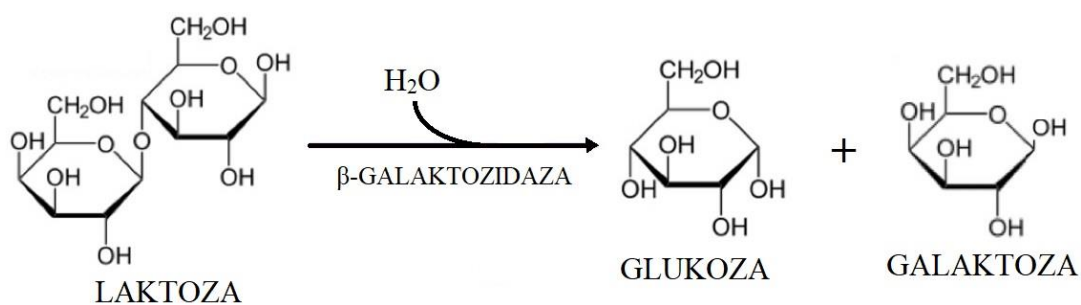
- b) Odredite maksimalnu brzinu reakcije i Michaelisovu konstantu za promatranu enzimsku reakciju koristeći se Lineweaver-Burkovom linearizacijom Michaelis-Menteničine jednačbe.

(R:  $v_{\max} = 0,250 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ;  $K_M = 9,98 \text{ mmol dm}^{-3}$ )

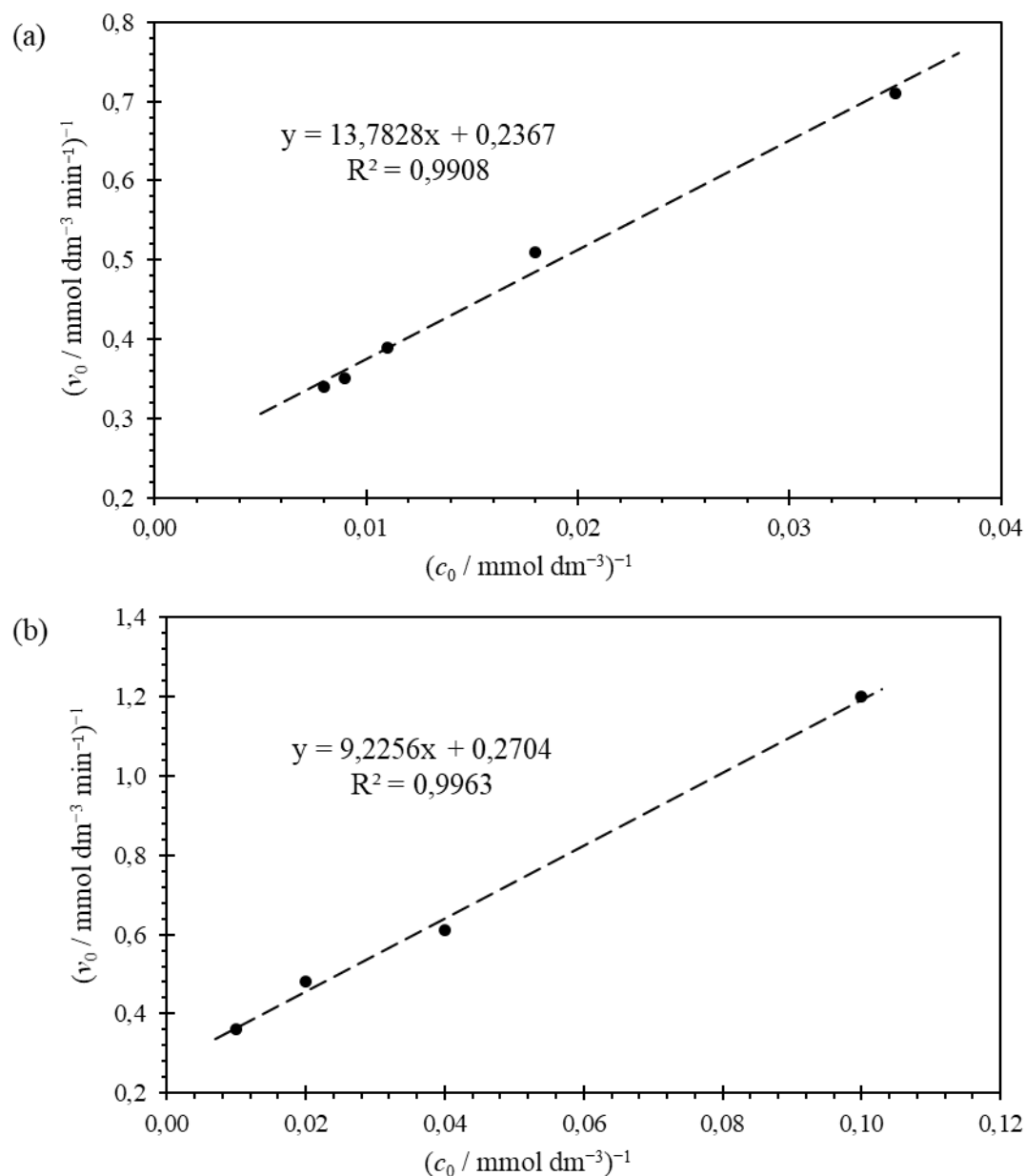
c) Izračunajte katalitičku konstantu (obrtni broj) i katalitičku efikasnost ugljikove anhidraze pri navedenim eksperimentalnim uvjetima.

$$(R: k_{\text{cat}} = 1,09 \times 10^5 \text{ s}^{-1}; \varepsilon = 1,09 \times 10^7 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1})$$

**Z119.** Intolerancija na laktozu je poremećaj probave karakteriziran pojavom probavnih tegoba nakon konzumiranja hrane koja sadrži laktozu poput mlijeka i mliječnih proizvoda. Glavni uzrok intolerancije na laktozu smanjena je aktivnost enzima  $\beta$ -galaktozidaze koji katalizira hidrolizu disaharida laktoze na monosaharide glukozu i galaktozu



Eksperimenti su pokazali da se kinetika ove enzimski katalizirana reakcija može zadovoljavajuće opisati Michaelis-Menteničinom jednačbom kada se kao katalizator koristi  $\beta$ -galaktozidaza izolirana iz kvasca *Kluyveromyces lactis* i  $\beta$ -galaktozidaza izolirana iz plijesni *Aspergillus oryzae* (slika 99.).



Slika 99. Lineweaver-Burkov prikaz kinetike hidrolize laktoze pri 32 °C i pH = 6,8  $\beta$ -galaktozidazom izoliranom iz kvasca *Kluyveromyces lactis* (a) i  $\beta$ -galaktozidazom izoliranom iz plijesni *Aspergillus oryzae* (b). Početna koncentracija enzima u oba eksperimenta bila je  $1,4 \mu\text{mol dm}^{-3}$ .



- a) Na temelju eksperimentalno određenih jednadžbi pravaca sa slike 99. odredite maksimalnu brzinu reakcije i Michaelisovu konstantu za hidrolizu laktoze kataliziranu  $\beta$ -galaktozidazom izoliranom iz kvasca i iz plijesni.

(R: za kvasac:  $v_{\max} = 4,2 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ ;  $K_M = 58,2 \text{ mmol dm}^{-3}$ ;

za plijesan:  $v_{\max} = 3,7 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ min}^{-1}$ ;  $K_M = 34,1 \text{ mmol dm}^{-3}$ )

b) Pri istraženim eksperimentalnim uvjetima izračunajte katalitičku konstantu (obrotni broj) i katalitičku efikasnost  $\beta$ -galaktozidaze izolirane iz kvasca i iz plijesni.

(R: za kvasac:  $k_{\text{cat}} = 3017,4 \text{ min}^{-1}$ ;  $\varepsilon = 51,8 \text{ dm}^3 \text{ mmol}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ;

za plijesan:  $k_{\text{cat}} = 2641,5 \text{ min}^{-1}$ ;  $\varepsilon = 77,4 \text{ dm}^3 \text{ mmol}^{-1} \text{ min}^{-1}$ )

c) Jedan od načina kojima ljudi intolerantni na laktozu mogu probaviti ovaj šećer je uzimanje pripravaka (kapi ili tableta) koje sadrže  $\beta$ -galaktozidazu. Hoće li kod ovih pripravaka u svome djelovanju biti efikasnija  $\beta$ -galaktozidaza izolirana iz kvasca *Kluyveromyces lactis* ili  $\beta$ -galaktozidaza izolirana iz plijesni *Aspergillus oryzae*?