



Agencija za  
strukovno obrazovanje  
i obrazovanje odraslih



MODERNIZACIJA SUSTAVA  
STRUČNOG USAVRŠAVANJA  
NASTAVNIKA STRUKOVNIH PREDMETA



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

# **OBRAZOVNI MATERIJAL ZA STRUČNO USAVRŠAVANJE NASTAVNIKA STRU KOVNIH PREDMETA**

**Modul: *USAVRŠAVANJE U PODRUČJU STRUKE - NOVA DOSTIGNUĆA  
I PRAĆENJE PROMJENE***

**Autor: *Nada Pitinac, dipl. ing. kemijske tehnologije***

## Opis modula

OSNOVNI PODATCI		
<b>Naziv modula</b>	Usavršavanje u području struke: nova dostignuća i praćenje promjena	
<b>Bodovna vrijednost i način izvođenja nastave</b>	<b>Kreditni bodovi</b>	1
	<b>Broj sati vođene edukacije (uživo)</b>	min 12
	<b>Broj sati osobnih aktivnosti polaznika</b>	max 18
CILJ MODULA		
Cilj modula je ojačati strukovne kompetencije nastavnika strukovnih predmeta.		
OPIS MODULA		
<p>Modul je generički i namijenjen za predstavljanje novih dostignuća i promjena u struci i srodnim područjima i aspektima (npr. zakonska regulativa i sl.) nastavnicima koji bi ih trebali implementirati u vlastitoj praksi i nastavi.</p> <p>Preporučeni sadržaj/struktura modula:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Izazovi i iskustva u vlastitoj strukovnoj/stručnoj praksi;</li> <li>• Nova znanja, tehnologije i dobre prakse u struci;</li> <li>• Primjeri svladavanja izazova u strukovnoj/stručnoj praksi (rješavanje problema) uz pomoć novih znanja, tehnologije i dobre prakse u struci;</li> <li>• Implementacija novih znanja, tehnologija i dobre prakse u vlastitu strukovnu/stručnu i nastavnu praksu;</li> <li>• Vrednovanje primjene novih znanja, tehnologija i dobre prakse u struci;</li> <li>• Prijenos novih znanja, tehnologija i dobre prakse na učenike i suradnike.</li> </ul>		
ISHODI UČENJA ZA MODUL		
<p>Nakon uspješno završenog modula polaznik će moći:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• objasniti inovacije/novine i unapređenja u struci;</li> <li>• integrirati nova znanja, tehnologije i dobre prakse u vlastitu strukovnu/stručnu i nastavnu praksu i rješavanje problema;</li> <li>• vrednovati korisnost i efikasnost primjene novih znanja, tehnologija i dobre prakse u struci;</li> <li>• osmisliti prijenos novih znanja, tehnologija i dobre prakse na učenike i suradnike.</li> </ul>		
NAČIN VREDNOVANJA		
<b>Elementi praćenja i provjeravanja</b>	<b>Opterećenje u kreditnim bodovima</b>	
Vođena edukacija	0.4	

Samostalne aktivnosti polaznika	0.6
Završno vrjednovanje	0
<b>Ukupno</b>	<b>1</b>
<b>KADROVSKI UVJETI</b>	
Modul trebaju realizirati stručnjaci iz pojedinih obrazovnih sektora zaposleni na visokoškolskim institucijama (npr. za prijenos novih znanja, tehnologija), u realnom sektoru (npr. za prijenos tehnologija i dobre prakse) ili pak srodnim strukovnim školama (npr. primjeri dobre prakse implementacije novih dostignuća).	

**Napomena:** opis modula sastavni je dio Koncepta novog modela stručnog usavršavanja nastavnika strukovnih predmeta kojega je Agencija razvila u okviru ESF-ovog projekta

## **Razrada obrazovnog materijala u okviru modula**

**Napomena:** svaki obrazovni sadržaj iz prethodne tablice opisa modula potrebno je povezati s pripadajućim ishodom/ima učenja te za njega razraditi poseban opis obrazovnog sadržaja te predložiti načine vrednovanja/ ostvarivanja ishoda učenja.

**Sadržaj modula:** Izazovi i iskustva u vlastitoj strukovnoj/stručnoj praksi;

### **Ishod/i učenja koji se ostvaruju kroz sadržaj:**

- **Eksperimentalno izmjeriti brzinu kemijske reakcije sa i bez katalizatora**
- **Za konkretnu reakciju odrediti red reakcije sa i bez katalizatora**
- **Pripremiti potreban pribor i kemikalije**
- **Primijeniti osobna zaštitna sredstva za rad**
- **Pri provedbi eksperimenta primijeniti dobru laboratorijsku praksu**
- **Izračunati potrebnu masu ili volumen za pripremu otopina iz osnovnih otopina ili krutina**
- **Pripremiti potrebne otopine**
- **Pravilno primijeniti uputu za rad**
- **Izmjeriti potrebne mjerne veličine**
- **Provesti analizu podataka**
- **Tablično i grafički prikazati podatke**
- **Na temelju provedenog eksperimenta izvesti valjani zaključak te usporediti s postavljenom hipotezom**
- **Osmisliti način provedbe eksperimenta s učenicima**
- **Izraditi kratki primjer provjere i vrednovanja učeničkih postignuća na navedenom eksperimentu**
- **Povezati sadržaj s primjenom u industriji i svakodnevnoj praksi**

## Opis obrazovnog sadržaja:

### Utjecaj koncentracije katalizatora kalijevog jodida na brzinu raspada vodikovog peroksida

#### 1. Dio

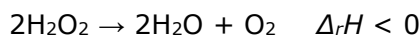
#### Uputa za sudionike:

**Upoznati se s teoretskim dijelom sadržaja. Definirati problem koji bi trebao biti riješen, predmet i ciljevi istraživanja, te postaviti hipotezu (pretpostavku) o očekivanim rezultatima.**

#### **Teoretski uvod:**

Vodikov peroksid je spoj vodika i kisika u kojem je oksidacijski broj kisika  $-I$ . Molekula vodikovoga peroksida je nelinearna molekula s polarnim vezama između kisika i vodika. Zbog nesimetričnosti molekule vodikov peroksid je polarnoga karaktera i pri standardnim uvjetima je bezbojna tekućina. Vodikov peroksid ima široku primjenu u znanosti i industriji. U medicini se koristi za dezinfekciju instrumenata i velikih površina, poput stolova. U kemijskoj i tekstilnoj industriji koristi se kao ekološki prihvatljiva alternativa koja zamjenjuje mnoge štetne i otrovne tvari poput sumpor (IV) oksida. Također se sve više primjenjuje kao pogonsko gorivo u raketama kao jeftinija zamjena za tekući vodik.

Vodikov peroksid se pri standardnim uvjetima spontano raspada na vodu i kisik prema jednadžbi:



Reakcija je iznimno spora i gotovo je nemoguće izmjeriti promjenu koncentracije tvari uobičajenim metodama analize.

Reakciju raspada ubrzavaju razne strane tvari poput nečistoća i katalizatora te svjetlost i toplina.

Brzina kemijske reakcije se definira kao promjena koncentracije reaktanata, odnosno produkata, u promatranom vremenskom intervalu.

Brzina kemijske reakcije ovisi o:

kinetičkoj energiji čestica, samim time ovisi i o temperaturi jer se temperatura sustava povećava proporcionalno s kinetičkom energijom čestica, koncentraciji reaktanata, agregacijskom stanju reaktanata, vrsti i koncentraciji katalizatora.

Prosječna brzina raspada vodikova peroksida matematički se definira izrazom:

$$\bar{v} = \frac{\Delta c(\text{H}_2\text{O}_2)}{-v\Delta t}$$

Srednja brzina kemijske reakcije je omjer promjene koncentracije reaktanata ili produkata i umnoška vremenskog intervala i stehiometrijskog koeficijenta reaktanta ili produkta.

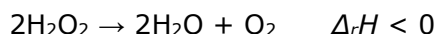
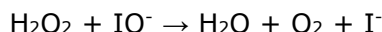
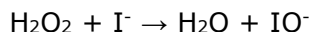
**Cilj je eksperimenta promatrati, odnosno pratiti utjecaj koncentracije katalizatora KI na brzinu raspada vodikovoga peroksida, te eksperimentalno odrediti red reakcije raspada vodikovoga peroksida sa i bez katalizatora.**

Katalizatori iznimno utječu na brzinu reakcije, što se može i eksperimentalno dokazati. Brzinu kemijskih reakcija u industrijskim procesima važno je kontrolirati te se u tu svrhu koriste katalizatori najčešće da bi se vrlo spore reakcije ubrzale.

Time se štedi na vremenu. Ovisno o koncentraciji i vrsti, katalizatori različito utječu na brzinu kemijske reakcije.

Kalijev jodid ubrzava reakciju raspada vodikovoga peroksida.

Jednadžba reakcije s katalizatorom glasi:



Prema jednadžbi, vidljivo je da u reakciji raspada vodikova peroksida sudjeluje jodidni ion ( $\text{I}^-$ ) iz kalijeva jodida.

Kako bi odredili brzinu reakcije i ispitali utjecaj koncentracije katalizatora, kalijevog jodida različitih koncentracija, na brzinu raspada vodikovoga peroksida, potrebno je provesti niz mjerenja kojima će se pratiti promjenu koncentracije vodikova peroksida.

### **Uputa za sudionike:**

**Sudionici će se podijeliti u pet grupa, a u svakoj grupi će biti 3 člana.**

**Grupa 1: provodi eksperiment bez katalizatora (umjesto katalizatora dodati radi kompenzacije volumena isti volumen destilirane vode)**

**Grupa 2: provodi eksperiment s katalizatorom, otopinom KI,  $c=0,02$  mol/L**

**Grupa 3: provodi eksperiment s katalizatorom, otopinom KI,  $c=0,04$  mol/L**

**Grupa 4: provodi eksperiment s katalizatorom, otopinom KI,  $c=0,06$  mol/L**

**Grupa 5: provodi eksperiment s katalizatorom, otopinom KI,  $c=0,08$  mol/L**

### **Uputa za provedbu eksperimentalnog dijela:**

**Pribor i kemikalije:** odmjerna tikvica volumena 100mL, Erlenmeyerove tikvice volumena 250 mL, čaša volumena 100 i 250 mL, menzura volumena 25 i 100 mL, odmjerne pipete volumena 5 i 10mL, bireta volumena 50 mL, stalak s hvataljkom i mufom, vodikov peroksid(30%), otopina kalijevog jodida( $c=0,1$  mol/L) ili krutina kalijevog jodida za pripremu otopine, otopina  $\text{H}_2\text{SO}_4(1:1)$ , ili konc. sumporna kiselina za pripremu razrijeđene otopine (1:1), otopina  $\text{KMnO}_4(c=0,02\text{mol/L})$ , destilirana voda, kapalice, boca štrcaljka, etikete, ubrusi.

### **Postupak:**

Izračunati masu ili volumen KI za pripremu 100 mL otopine zadane koncentracije, ovisno o agregacijskom stanju polazne tvari.

Izračunati volumen  $\text{H}_2\text{O}_2$  za pripremu otopine koncentracije 0,2 mol/L.

U odmjernoj tikvici volumena 100 mL pripremiti otopinu  $\text{H}_2\text{O}_2$  množinske koncentracije 0,2 mol/L. Pripremljenu otopinu usipati u Erlenmeyerovu tikvicu, te uz miješanje dodati 20 mL otopine KI zadane množinske koncentracije koja se prethodno pripremi u odmjernoj tikvici volumena 100 mL (napomena: svaka grupa dodaje prethodno dogovorenu koncentraciju otopine kalijevog jodida). U suhu Erlenmeyerovu tikvicu usipati 150 mL destilirane vode i

5 mL razrijeđene sumporne kiseline (1:1). Pipetom kvantitativno prenijeti 10 mL otopine vodikovog peroksida iz prve tikvice u tikvicu sa sumpornom kiselinom i vodom. U trenutku pipetiranja zabilježiti vrijeme početka praćenja reakcije (u trenutku dodatka otopine u kiseli medij reakcija raspada vodikovog peroksida se prekida). Promjenu koncentracije vodikovoga peroksida u ovisnosti o vremenu pratiti permanganometrijskom metodom. Otopinu vodikova peroksida titrirati sa otopinom kalijevog permanganata poznate koncentracije (0,02 mol/L) do točke ekvivalencije. U točki ekvivalencije, kalij permanganat, otopinu oboji svijetlo ljubičasto, odnosno, crveno-ljubičasto, ovisno o koncentraciji katalizatora i trenutku mjerenja. Titracija je završena kada se obojenje zadrži tridesetak sekundi. Postupak se ponovi najmanje 10 puta u vremenskim intervalima od 5-10 min.

### Jednadžba kemijske reakcije:



### Mjerni podaci:

Broj mjerenja	Vrijeme	t/s	V(KMnO <sub>4</sub> )/mL	c(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/mol/L
0.				
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

### Uputa za sudionike:

**Navesti i povezati ishode učenja za modul, ishode učenja koji se ostvaruju kroz sadržaj te predložiti načine vrednovanja/ ostvarivanja ishoda učenja.**

Ishodi učenja za modul	Ishode učenja koji se ostvaruju kroz sadržaj	Načine vrednovanja/ ostvarivanja ishoda učenja
<ul style="list-style-type: none"> <li>objasniti inovacije/novine i unapređenja u struci;</li> <li>integrirati nova znanja, tehnologije i dobre prakse u vlastitu strukovnu/stručnu i nastavnu praksu i rješavanje problema;</li> <li>vrednovati korisnost i efikasnost primjene novih znanja, tehnologija i dobre prakse u</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pripremiti potreban pribor i kemikalije;</li> <li>pripremiti potrebne otopine;</li> <li>primijeniti uputu za rad;</li> <li>primijeniti osobna zaštitna sredstva;</li> <li>izmjeriti potrebne mjerne veličine;</li> <li>primjeniti osobna zaštitna sredstava za rad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zbrinuti kemikalije na propisan način;</li> <li>pravilno odabrati pribor i koristiti sredstva zaštite pri radi;</li> <li>izračunati koncentraciju ili volumen kemikalija za pripremu otopine;</li> <li>vizualno provjeriti ispravnost postavljene aparature;</li> <li>provjeriti točnost pripremljene otopine;</li> </ul>

<p>struci;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>osmisлити prijenos novih znanja, tehnologija i dobre prakse na učenike i suradnike.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>vizualno provjeriti ispravno i točno rukovanje aparaturom i preciznost mjerenja;</li> <li>pregledom dnevnika rada provjeriti pravilno pisanje mjernih jedinica.</li> </ul>
--	--	---

### 3. Dio

#### Matematička obrada podataka:

$$V(\text{H}_2\text{O}_2) = 10 \text{ mL}$$

$V(\text{KMnO}_4) \rightarrow$  različiti pri mjerenju

$$c(\text{KMnO}_4) = 0,02 \text{ mol/L.}$$

Prema jednadžbi kemijske reakcije trenutnu koncentraciju vodikovog peroksida izračunati prema izrazu:

$$c(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{5c(\text{KMnO}_4)V(\text{KMnO}_4)}{2V(\text{H}_2\text{O}_2)}$$

#### Uputa za sudionike:

**Svaka grupa će za svoju zadanu koncentraciju KI izračunati koncentraciju vodikovog peroksida u ovisnosti o vremenu, recipročnu vrijednost koncentracije i tablično prikazati kao u dolje navedenom primjeru.**

Bez katalizatora				
Mjerenje	Interval / s	V(KMnO <sub>4</sub> ) / mL	c (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) / mol/L	1 / c (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
0.	0	40,0	0,2	5
1.	360	39,9	0,1995	5,012
2.	780	39,8	0,199	5,025
3.	1260	39,6	0,198	5,05
4.	1740	39,6	0,198	5,05
5.	2160	39,5	0,1975	5,06
6.	2640	39,3	0,1965	5,089
7.	3000	39,2	0,196	5,1
8.	3600	39,1	0,1955	5,11
9.	4140	39,0	0,195	5,128



c (KI) = 0,02 mol/L				
Mjerenje	Interval / s	V(KMnO <sub>4</sub> ) / mL	c (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) / mol/L	1 / c (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
0.	0	40,0	0,2	5
1.	60	35,2	0,176	5,6818
2.	360	34,3	0,1715	5,8309
3.	1020	32,7	0,1635	6,1162
4.	1560	31,4	0,157	6,3694
5.	2040	30,7	0,1535	6,5147
6.	2580	29,6	0,148	6,7568
7.	3000	28,8	0,144	6,9444
8.	3360	28,5	0,1425	7,0175

#### 4. Dio

##### Uputa za sudionike:

**Sudionici će koristeći suvremene računalne i matematičke metode analizirati i grafički obraditi podatke dobivene eksperimentalnim putem.**

##### Teoretski uvod:

Suvremene analize u eksperimentalnoj kemiji ne mogu se zamisliti bez rada s mjernim instrumentima i donošenja znanstveno utemeljenih zaključaka na osnovi mjernih podataka koji moraju biti objektivni, provjerljivi i ponovljivi. Mjerenje se može definirati kao eksperimentalno određivanje prave vrijednosti mjerene veličine s određenom točnošću.

Važne komponente u laboratorijskom radu su: uredan i pregledan zapis rezultata mjerenja, razvijanje iskustva u prikupljanju i analiziranju podataka, pravilno rukovanje mjernim instrumentima i pravilan način mjerenja, izračunavanje pouzdanih rezultata mjerenja, interpretacija eksperimentalnih podataka i izvođenje zaključaka na temelju mjernih podataka.

Kako bi se mjerni podaci interpretirali na valjan način, potrebno je poznavati pojmove opisane niže.

##### Pogreške pri mjerenju

Odstupanje vrijednosti od prave vrijednosti definira se kao pogreška mjerenja.

Pogreške mjerenja mogu biti:

- sistematske (sustavne)
- slučajne
- grube.

**Sistematske pogreške** vezane su za sam instrument i mogu se predvidjeti. Javljuju se zbog netočne kalibracije, nepravilne uporabe instrumenta, nepridržavanja pravila rada s instrumentom, starenja instrumenta i djelovanja vanjskih utjecaja na instrument (temperatura, tlak i dr.).

Ove vrste pogrešaka ponovljive su i uvijek su u istom smjeru i iznosu.

Sistematske pogreške ne mogu se ukloniti povećanjem broja mjerenja, već se mogu umanjiti praćenjem i stalnom kontrolom rada mjernih instrumenata, poboljšavanjem mjernih postupaka te kontinuiranim obučavanjem osoba koje rade s instrumentima.

**Slučajne pogreške** statistička su odstupanja rezultata mjerenja u oba smjera, a uzroci su često nepredvidivi i ne mogu se ukloniti, već se nastoje smanjiti na minimum povećanjem broja mjerenja.

**Grube pogreške** posljedica su nemarnog rada na instrumentu, loše tehnike ili nekoga drugog propusta u postupku mjerenja. Ovakve pogreške lako se opažaju jer mjerne vrijednosti vidljivo odstupaju te ih je potrebno isključiti iz daljnje obrade podataka.

Pri mjerenju treba uzeti u obzir nesigurnost rezultata mjerenja koju je jako važno pravilno odrediti i objasniti. **Nesigurnost mjerenja** određena je preciznošću i točnošću mjerenja.

Nesigurnost mjerenja neke fizičke veličine definira se na sljedeći način:

**Fizička veličina = izmjerena vrijednost ± mjerna nesigurnost [mjerna jedinica]**

Zapis konačnog rezultata mjerenja neke fizičke veličine može se prikazati izrazom:

$$x = \bar{x} \pm a \text{ [mjerna jedinica]}$$

gdje su:

$x$  – oznaka mjerene fizičke veličine

$\bar{x}$  – srednja vrijednost mjerene fizičke veličine

$a$  – nesigurnost rezultata mjerenja (može biti iskazana kao apsolutna pogreška, relativna pogreška ili standardna devijacija).

**Srednja vrijednost** mjerenja neke fizičke veličine  $\bar{x}$  dobije se kada se zbroj rezultata mjerenja podijeli s brojem mjerenja,  $n$ , i može se izraziti jednadžbom:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n}$$

**Medijan** je središnja vrijednost u nizu rezultata mjerenja poredanih po veličini. Ako je broj mjerenja paran, medijan se dobije kao prosječna vrijednost dvaju srednjih rezultata mjerenja u nizu.

### Točnost i preciznost mjerenja

**Točnost** (eng. *accuracy*) podatak je koji govori koliko se izmjerena vrijednost podudara sa stvarnom, pravom vrijednošću promatrane veličine. Kako se prava vrijednost mjerene veličine najčešće ne može odrediti, potrebno je pogreške svesti na minimum, provesti više mjerenja te ih statistički obraditi. Time se određuje interval u kojemu se najvjerojatnije nalazi prava vrijednost mjerene veličine.

Točnost se može izraziti kao:

1. Apsolutna pogreška mjerenja  $i$ ,  $\Delta x_i$ , koja se može izračunati pomoću jednadžbe:

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i$$

gdje su:

$\bar{x}$  – srednja vrijednost

$x_i$  – izmjerena vrijednost.

Rezultat mjerenja prikazan pomoću apsolutne pogreške može se prikazati na dva različita načina, kao  $x_{\Delta}$  i  $x_{\Delta,max}$  (jednadžbe 2.4. i 2.5.):

$$x_{\Delta} = (\bar{x} \pm \Delta x)_n$$

$$x_{\Delta,max} = (\bar{x} \pm \Delta x_{max})_n$$

Apsolutna pogreška niza mjerenja,  $\Delta x$ , može se prikazati izrazom:

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n}$$

2. Relativna pogreška,  $r_x$ , izračunava se pomoću sljedećeg izraza:

$$r_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Rezultat mjerenja izražen pomoću relativne pogreške niza mjerenja može se prikazati izrazom:

$$x_r = (\bar{x} \pm r_x)_n$$

$$x_{r,max} = (\bar{x} \pm r_{max})_n$$

**Preciznost** (eng. *precision*) izražava razinu ponovljivosti ili slaganje između rezultata ponovljenih mjerenja, tj. prosječne raspodjele rezultata mjerenja (Slika 1).

Preciznost se definira **standardnom pogreškom, odnosno standardnom devijacijom,  $\sigma$ , i varijancom,  $\sigma^2$ .**

Srednja kvadratna pogreška, odnosno standardna devijacija pojedinog mjerenja, mjera je odstupanja (nepreciznost mjerenja) pojedinih vrijednosti,  $x_i$ , od srednje vrijednosti,  $\bar{x}$ , i računa se prema izrazu:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Standardna devijacija poprima stalnu vrijednost za dovoljan broj mjerenja koji je u pravilu  $\geq 10$ .

Varijanca,  $\sigma^2$ , izračunava se kao kvadrat srednje kvadratne pogreške, odnosno standardne devijacije.

### Grafičko prikazivanje rezultata mjerenja

Kako bi se rezultati mjerenja mogli matematički opisati i na pravilan način interpretirati, te izvesti znanstveno utemeljeni zaključci, rezultate mjerenja važno je prikazati i grafički.

Iz grafičkog se prikaza na jasan i lako vidljiv način može definirati ovisnost između mjerenih veličina, a također i otkriti pogreške nastale prilikom mjerenja.

Grafički se prikazuje međusobna ovisnost dvije mjerene fizičke veličine ( $x_i, y_i$ ) u koordinatnom sustavu, na osnovi čega se može definirati matematička ovisnost fizičkih veličina  $y = f(x)$  koja može biti linearna ili nelinearna.

### Pravila grafičkog prikaza rezultata mjerenja

1. Grafički prikaz treba imati naslov koji izražava cilj mjerenja te eventualno podatke o ostalim parametrima i uvjetima vezanim za prikazano mjerenje. Koordinatne osi trebaju biti imenovane te se na svakoj osi uz oznaku veličine koja je na njoj treba pridružiti i odgovarajuća mjerna jedinica SI sustava.
2. Kao **x varijabla** odabire se preciznije mjerena **zadana veličina**, tj. varijabla koja se neovisno mjeri (najčešće vrijeme ili prostorna koordinata) i nanosi na os **apscise (x-os)**. **Y varijabla** veličina je koja se **mjeri u eksperimentu** u ovisnosti o veličini **x** i nanosi se na os **ordinate (y-os)** u koordinatnom sustavu.
3. Grafički prikaz crta se na papiru (milimetarskom) s linearnom ili logaritamskom podjelom.
4. Mjernu skalu treba prikazati na način da unesene točke budu dovoljno razmaknute kako bi se mogla točno uočiti ovisnost između mjerenih veličina.
5. Dijelovi mjerne skale na pojedinoj osi moraju biti jednaki.
6. Prije ucrtavanja mjernih točaka potrebno je odrediti najmanju i najveću vrijednost mjerene veličine, te prema njima prilagoditi podjelu na koordinatnim osima. Ishodište koordinatnog sustava ne mora odgovarati točki (0,0) ako u navedenom području nema izmjerenih veličina.
7. Točke se označavaju na različite načine, primjerice pomoću simbola  $o$  ili  $x$  ili  $+$  te pomoću drugih primjerenih simbola. Kada se kroz označenu raspodjelu točaka provuče pravac ili krivulja, oznake točaka moraju ostati vidljive. Točke se nikada ne spajaju međusobno.
8. Pravac ili krivulja bi samo u idealnim uvjetima potpuno točnih i preciznih mjerenja prolazili kroz sve točke. Pravac kod linearne ovisnosti ili krivulja kod nelinearne ovisnosti ucrtavaju se tako da podjednaki broj točaka ima raspodjelu ispod i iznad pravca ili krivulje. Pri tome suma kvadrata odstupanja između rezultata mjerenja i rezultata koji se opisuju pomoću pravca ili krivulje mora biti minimalna.

## Analiza linearne ovisnosti mjerenih veličina

Ako je iz grafičkog prikaza vidljiva linearna ovisnost mjerenih veličina koja se može opisati jednačinom pravca  $y = a \cdot x + b$ , potrebno je za interpretaciju rezultata odrediti nagib ili koeficijent smjera pravca,  $a$ , te odsječak na osi ordinate,  $b$ . U slučaju kada je  $b = 0$ , pravac prolazi kroz ishodište koordinatnog sustava.

Dobivena linearna ovisnost može poslužiti za procjenu (približno određivanje) vrijednosti veličine  $y$  za poznate vrijednosti  $x$  unutar područja mjerenja (interpolacija rezultata) ili izvan područja mjerenja (ekstrapolacija rezultata).

Koeficijenti jednačine pravca,  $a$  i  $b$  mogu se odrediti:

### Grafičkim postupkom

Grafičkim postupkom određuje se najbolje prilagođeni pravac (eng. *best fit*) tako da se ucrtava točka  $T_{sr}(\bar{x}, \bar{y})$  te se povlači pravac kroz ovu točku pazeći pritom da se jednak broj mjernih točaka nalazi iznad i ispod pravca. Zbroj svih udaljenosti ostalih točaka od pravca mora biti minimalan.

Kroz  $T_{sr}(\bar{x}, \bar{y})$  provlače se još dva pravca, jedan s najmanje mogućim nagibom i jedan s najvećim mogućim nagibom, označe se dvije točke  $T_1$  i  $T_2$  za koje se očitavaju vrijednosti  $x$  i  $y$  i daljnjom matematičkom obradom izračuna nagib pravca,  $a$ . Kako nagib najbolje prilagođenog pravca uvelike ovisi o subjektivnoj procjeni mjeritelja, ovaj postupak ne može se primijeniti kada analiza zahtijeva veću pouzdanost rezultata.

## Metodom najmanjih kvadrata

Da bi se eliminirala sva odstupanja od pravca koja su posljedica slučajnih pogrešaka pri mjerenju, za određivanje nagiba pravca,  $a$ , i odsjeka,  $b$ , primjenjuje se statistički postupak linearne regresije, tj. metoda najmanjih kvadrata. Pravac koji se može opisati jednadžbom dobivenom postupkom linearne regresije naziva se regresijski pravac. Parametri  $a$  i  $b$  matematički se računaju primjenjujući metodu najmanjih kvadrata korištenjem sljedećih jednadžbi:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Koeficijent korelacije,  $R$ , računa se prema izrazu:

$$R = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

Ako koeficijent korelacije,  $R$ , teži vrijednostima 1 ili -1, mjerni podaci bliži su regresijskom pravcu, a u slučaju kada koeficijent korelacije teži nuli, podaci su raspršeniji oko pravca.

Za  $R = \pm 1$  sve točke leže na regresijskom pravcu, tj. mjerni podaci potpuno su linearno ovisni.

Za  $R = 0$  ne postoji linearna ovisnost između mjernih podataka.

Uobičajeni prikaz statističke analize  $n$  rezultata izravno mjerene istovrsne fizičke veličine metodom najmanjih kvadrata prikazan je u Tablici 4.

Tablica 4. Statistička analiza rezultata  $n$  mjernih podataka metodom najmanjih kvadrata

$n$	$x_i$	$y_i$	$x_i y_i$	$x_i^2$	$y_i^2$		
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
$n$	$\sum x_i$	$\sum y_i$	$\sum x_i y_i$	$\sum x_i^2$	$\sum y_i^2$	$(\sum x_i)^2$	$(\sum y_i)^2$

### Analiza nelinearnih ovisnosti između izmjerenih veličina

Kako bi se mogla provesti interpretacija mjernih veličina između kojih postoji nelinearna ovisnost, potrebno je provesti postupak linearizacije grafičkog prikaza na način da se primijeni pravilo logaritmiranja.

Ako je funkcionalna ovisnost mjernih veličina oblika  $y = bx^a$ , logaritmiranjem se dobije izraz:

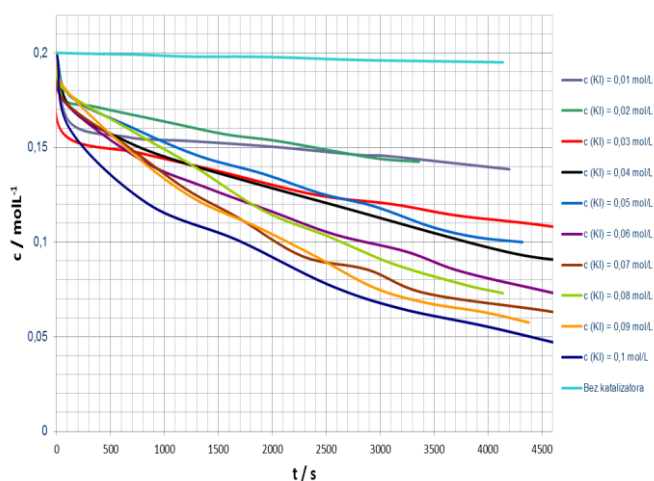
$$\log y = a \cdot \log x + \log b$$

koji predstavlja linearnu ovisnost vrijednosti logaritamskih veličina,  $\log y = f(\log x)$ , pri čemu je  $a$  koeficijent smjera, a  $b$  odsječak pravca. Koeficijenti  $a$  i  $b$  pravca određuju se istim postupkom kao i u slučaju kada su mjerne veličine linearno ovisne.

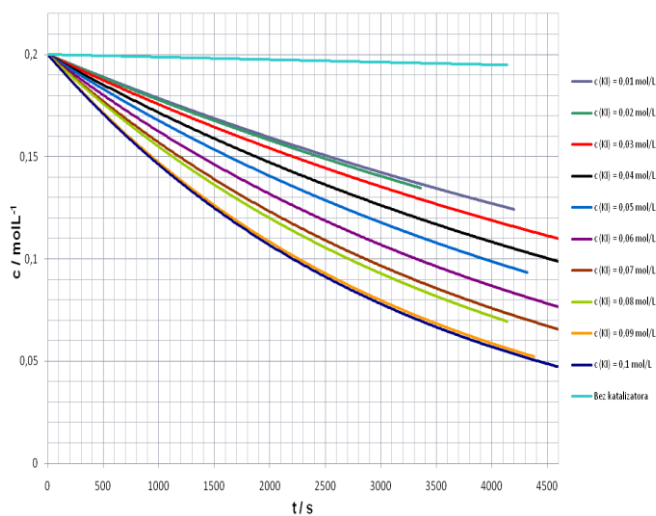
## Računalna i matematička obrada podataka:

### Uputa za sudionike:

**Određivanje linearne ovisnosti mjernih veličina, odnosno linearna regresija, danas se vrlo brzo i jednostavno provodi uz korištenje, primjerice, programskog paketa Microsoft Excel kao što je prikazano na sljedećim primjerima i što će sudionici koristiti pri obradi podataka. Svaka će grupa računalno i matematički obraditi tablične podatke mjerenja svih grupa te ih grafički prikazati kao u dolje navedenom primjeru. Zadatak za sudionike je zaključiti utječe li povećanje koncentracije katalizatora kalijevog jodida na povećanje promjene koncentracije vodikovoga peroksida u nekom vremenskom intervalu.**



Primjer grafičkog prikaza promjene koncentracije vodikovoga peroksida u vremenu bez KI i uz prisutnost KI različitih koncentracija.



Primjer računalno obrađenog grafičkog prikaza rezultata mjerenja

## Uputa za sudionike:

### Svaka grupa će računalno odrediti jednadžbu eksponencijalne (nelinearne) krivulje.

### U ovom će dijelu sudionici računskim putem odrediti red reakcije.

Važno je odrediti red reakcije kako bi se mogla odrediti brzina reakcije u nekom određenom trenutku  $t$ .

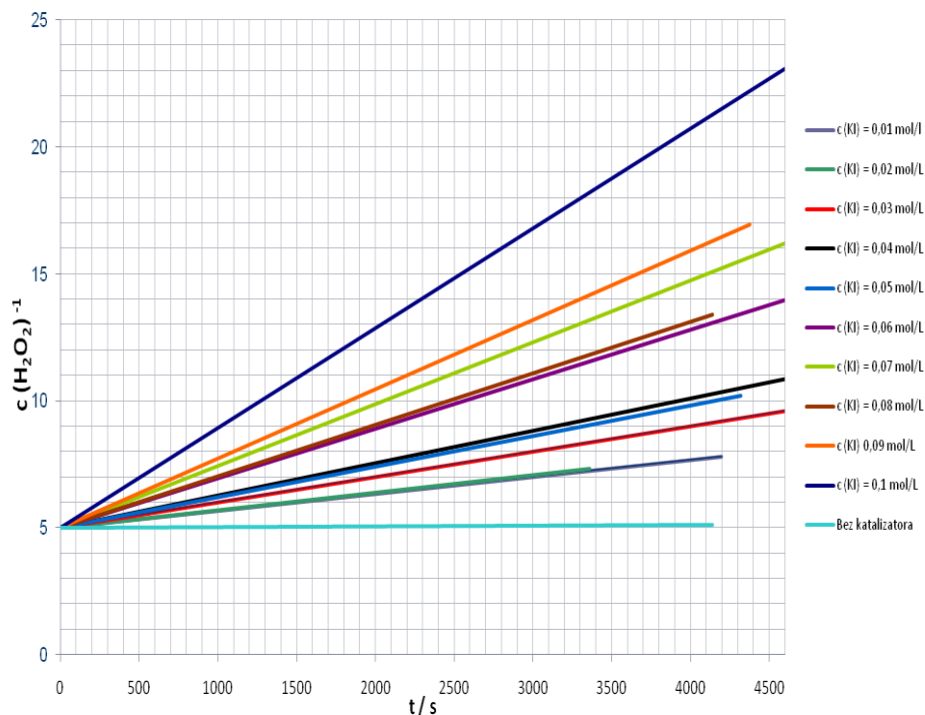
Reakcije 1. reda su one reakcije čija brzina ovisi o koncentraciji reaktanata i proporcionalna je s njihovom koncentracijom. Reakcije 2. reda su nešto složenije te njihova brzina ovisi o produktu koncentracija dvaju tvari ili o kvadratu koncentracije jedne od tvari u reakciji.

Također, na brzinu reakcija drugog reda utječe i koncentracija stranih tvari, poput katalizatora i ponekih nečistoća. Izrazi za reakciju 1. i 2. reda glase:

$$v = kc_A$$

$$v = kc_A^2$$

Kako bi se odredilo je li reakcija raspada vodikovog peroksida uz prisustvo katalizatora KI reakcija 1. ili 2. redu potrebno je grafički prikazati ovisnost recipročne vrijednosti koncentracije vodikovoga peroksida o vremenu kao u dolje navedenom primjeru.



Vidljivo je kako svi prvaci koji označavaju reakciju sa katalizatorom imaju određeni nagib, dok pravac koji označava reakciju bez katalizatora ima vrlo mali nagib koji je gotovo

neprimjetan na ovome prikazu. Razlog zbog kojega je pravac reakcije bez katalizatora gotovo horizontalan jest vrlo mala vrijednost koeficijenta pravca u odnosu na druge pravce što je karakteristično za reakcije prvoga reda.

Pravci na grafičkom prikazu mogu se izraziti matematički jednadžbom pravca koja u uopćenom obliku glasi:

$$\frac{1}{c_{A,t}} = kt + \frac{1}{c_{A,0}}$$

gdje je: k je koeficijent smjera pravca, t (vrijeme) je vrijednost x,  $1/c_{A,0}$  je odsječak na osi ordinata (y).

### **Uputa za sudionike:**

**Sudionici će računalno odrediti jednadžbu pravca. Izračunati će srednju brzinu raspada vodikovog peroksida u zadanom vremensko intervalu (npr. 2000 do 3000 s) za sve zadane koncentracije kalijeveg jodida, prema izrazu:**

$$\bar{v} = \frac{\Delta c(H_2O_2)}{-v\Delta t}$$

**Sudionici će dobivene podatke tablično i grafički prikazati kao u dolje navedenom primjeru.**

Tablica 5: Srednja brzina reakcije u intervalu 0 – 1000 s

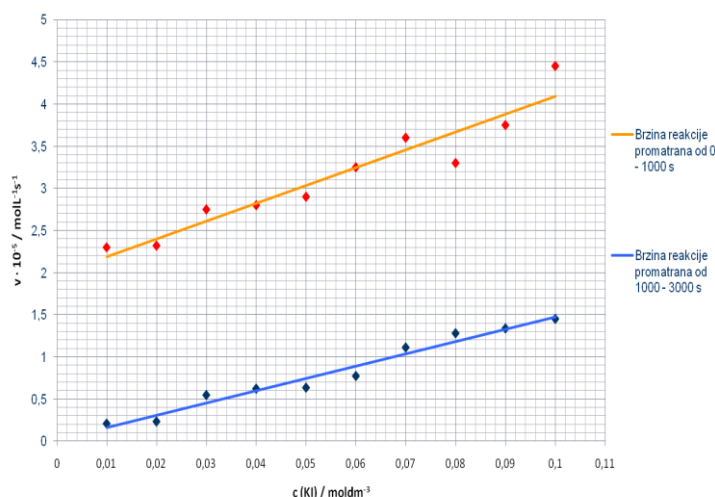
c (KI) / mol/L	v · 10 <sup>-5</sup> molL <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
Bez KI	0,075
0,01	2,3
0,02	2,32
0,03	2,75
0,04	2,8
0,05	2,9
0,06	3,25
0,07	3,6
0,08	3,3
0,09	3,75
0,1	4,45

Tablica 5. Srednja brzina reakcije u intervalu 1000 – 3000 s



c (KI) / mol/L	v · 10 <sup>-5</sup> molL <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
Bez KI	0,0625
0,01	0,2125
0,02	0,2375
0,03	0,55
0,04	0,625
0,05	0,6375
0,06	0,775
0,07	1,112
0,08	1,28
0,09	1,3375
0,1	1,45

**Sudionici će grafički prikazati ovisnost srednje brzine reakcije o koncentracije katalizatora za zadani vremenski interval.**



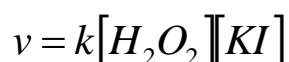
Iz grafičkih prikaza i tablica vidljivo je da porastom koncentracije kalijevog jodida raste i promjena koncentracije vodikovoga peroksida. Vidljivo je da s porastom koncentracije katalizatora linearno raste i srednja brzina reakcije. U grafičkom prikazu ovisnosti recipročne vrijednosti koncentracije vodikovoga peroksida o vremenu ovisnost je linearna, tj. pravac s odsječkom i nagibom što upućuje na reakciju 2. reda.

**Sudionici će na temelju rezultata potvrditi postavljenu hipotezu i donijeti zaključak.**

**Ovisi li brzina raspada vodikovog peroksida linearno o koncentraciji katalizatora kalijevog jodida?**

**Je li reakcija raspada vodikovoga peroksida bez katalizatora (KI) – reakcija 1. reda?**

**Može li se reakcija raspada vodikovoga peroksida uz prisutnost katalizatora (KI) definirati kao reakcija 2. reda i prikazati izrazom:**



**Uputa za sudionike:**

**Navesti i povezati ishode učenja za modul, ishode učenja koji se ostvaruju kroz sadržaj te predložiti načine vrednovanja/ ostvarivanja ishoda učenja.**

Ishodi učenja za modul	Ishode učenja koji se ostvaruju kroz sadržaj	Načine vrednovanja/ ostvarivanja ishoda učenja
<ul style="list-style-type: none"> <li>• inovacije/novine i unapređenja u struci;</li> <li>• integrirati nova znanja, tehnologije i dobre prakse u vlastitu strukovnu/stručnu i nastavnu praksu i rješavanje problema;</li> <li>• vrednovati korisnost i efikasnost primjene novih znanja, tehnologija i dobre prakse u struci;</li> <li>• osmisliti prijenos novih znanja, tehnologija i dobre prakse na učenike i suradnike.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tablično i grafički prikazati podatke;</li> <li>• provesti analizu podataka;</li> <li>• izvesti valjani zaključak te usporediti s postavljenom hipotezom;</li> <li>• povezati sadržaj s primjenom u svakodnevnoj i laboratorijskoj praksi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• očitati rezultat iz grafičkog prikaza;</li> <li>• usporediti dobivene rezultate;</li> <li>• povezati dobivene rezultate s postavljenom hipotezom;</li> <li>• provjeriti tablični i grafički prikaza rezultata na radnom listići.</li> </ul>

**Uputa za sudionike:**

**Polaznici će osmisliti način i mogućnosti primjene usvojenih sadržaja u nastavi te primjer provjere i vrednovanja učeničkih postignuća.**

1. Vodikov peroksid se pri \_\_\_\_\_ uvjetima spontano raspada na \_\_\_\_\_ i \_\_\_\_\_.
2. Brzinu kemijske reakcije u industrijskim procesima važno je kontrolirati i u tu svrhu koriste se katalizatori koji:
  - a) Usporavaju kemijsku reakciju
  - b) Ubrzavaju kemijsku reakciju
  - c) Ubrzavaju spore kemijske reakcije
  - d) Nemaju nikakav utjecaj na kemijsku reakciju.
3. Napiši kemijsku jednadžbu reakcije raspada vodikovog peroksida s pripadajućim agregacijskim stanjima.
4. Pronađi i prekriži uljeza: bireta, pipeta, Liebigovo hladilo, Erlenmeyerova tikvica.

5. Iz podataka mjerenja odredi brzinu raspada vodikovog peroksida u periodu od 3. do 7. mjerenja pri koncentraciji katalizatora od 0,02 mol/L i 0,08 mol/L.

## Literatura:

1. I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija I. i II. dio, Školska knjiga, Zagreb, 1985.
2. M. Banović, Analitička kemija, Školska knjiga, Zagreb, 1999.
3. S. Rupčić Petelinc, Z. Weihnacht, Praktikum iz fizikalne kemije za srednje škole, Školska knjiga, Zagreb.
4. M. Sikirica, Stehiometrija, Školska knjiga, Zagreb, 1983.
5. D. A. Skoog, D. M. West, F. J. Holler, Osnove analitičke kemije, 1. izd., Školska knjiga, Zagreb, 1999, str. 6–59.
6. Ž. Mioković, Fizika 1, Priručnik za laboratorijske vježbe, Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2013