

# Vernier mjerni instrumenti i osjetila

---

Šošić, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:167:634447>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-22**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**VERNIER MJERNI INSTRUMENTI I OSJETILA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MATEA ŠOŠIĆ**

**Matični broj: 1395**

**Split, rujan 2016.**



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**  
**STRUČNI STUDIJ KEMIJSKE TEHNOLOGIJE**  
**SMJER: PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA**

**VERNIER MJERNI INSTRUMENTI I OSJETILA**

**ZAVRŠNI RAD**

**MATEA ŠOŠIĆ**

**Matični broj: 1395**

**Split, rujan 2016.**

**UNIVERSITY OF SPLIT**  
**FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**  
**PROFFESIONAL STUDY OF CHEMICAL TECHNOLOGY**  
**COURSE: FOOD TECHNOLOGY**

**VERNIER MEASURMENT INSTRUMENTS AND  
SENSORS**

**BACHELOR THESIS**

**MATEA ŠOŠIĆ**

**Parent number: 1395**

**Split, September 2016.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu  
Kemijско-tehnološki fakultet u Splitu  
Stručni studij kemijske tehnologije; smjer Prehrambena tehnologija

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti  
**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija  
**Tema rada** je prihvaćena na 4. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijско-tehnološkog fakulteta  
**Mentor:** Doc. dr. sc. Ivana Generalić Mekinić, znan. sur.

### VERNIER MJERNI INSTRUMENTI I OSJETILA

Matea Šošić 1395

**Sažetak:**

U ovom završnom radu opisani su glavne značajke i princip mjerenja sa uređajima i odgovarajućim osjetilima tvrtke Vernier Software & Technology (Beavertonu, Oregon) koja je vodeći svjetski proizvođač instrumenata, osjetila, programskih paketa i ostale opreme koja se koristi u znanstvenom obrazovanju. Opisan je instrument LabQuest 2 kao i različita njemu kompatibilna osjetila kao što su temperaturno osjetilo, pH osjetilo, plinsko osjetilo (za određivanje O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>), etanolno osjetilo, osjetilo za određivanje otopljenog O<sub>2</sub>, ion-selektivne elektrode, osjetilo za mjerenje provodnosti, svjetlosno osjetilo, te SpectroVis<sup>®</sup> Plus spektrofotometar. Također, u radu su dani primjeri eksperimenata u kojima se pojedina osjetila koriste te načini prikupljanja, analize i interpretiranja dobivenih eksperimentalnih podataka.

**Ključne riječi:** Vernier, LabQuest, osjetila, mjereni instrumenti

**Rad sadrži:** 48 stranica, 37 slika, 1 tablica, 8 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Sastav Povjerenstva za obranu:**

1. Dipl. ing. Renato Stišpišić, viši predavač - predsjednik
2. Dr. sc. Franko Burčul, viši asistent - član
3. Doc. dr. sc. Ivana Generalić Mekinić - član-mentor

**Datum obrane:** ( 22. rujana 2016.)

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku** pohranjen u Knjižnici Kemijско-tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split  
Faculty of Chemistry and Technology Split  
Professional study of Chemical Technology; Course: Food Technology

**Scientific area:** Biotechnical sciences  
**Scientific field:** Food Technology  
**Thesis subject** was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology, session no. 4.  
**Mentor:** Assistant professor Ivana Generalić Mekinić, Research associate

### VERNIER MEASUREMENT INSTRUMENTS AND SENSORS

Matea Šošić 1395

**Abstract:**

This study aimed to investigate the major characteristics and measurement principles using Vernier Software & Technology (Beaverton, Oregon) instruments and sensors. The company is a leading producer of interfaces, sensors, softwares and other accessories that is used in science education. LabQuest 2 instrument and different sensors, such as temperature probe, pH sensor, gas sensors (both for O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>), ethanol probe, dissolved oxygen probe, ion-selective electrodes, conductivity probe, light sensor, SpectroVis<sup>®</sup> Plus spectrophotometer, were described. Also, some experimental examples were given, regarding the use of different sensors, as well as the possibilities of data recording, analysis and interpretation of the obtained experimental data.

**Keywords:** Vernier, LabQuest, sensors, measurement instruments

**Thesis contains:** 47 pages, 37 figures, 1 table, 8 references

**Original in:** Croatian

**Defence committee:**

1. Renato Stišpišić, dipl. ing., senior lecturer - chair person
2. Franko Burčul, PhD, higher assistant - member
3. Ivana Generalić Mekinić, PhD, assistant prof - supervisor

**Defence date:** (September 22 2016.)

**Printed and electronic (pdf format) version of** thesis is deposited in Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

*Završni rad je izrađen u Zavodu za prehrambenu tehnologiju i biotehnologiju,  
Kemijско-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom doc. dr. sc. Ivane  
Generalić Mekinić, znan. sur., u razdoblju od ožujka do rujna 2016.godine.*



## *ZAHVALA*

*Zahvaljujem se svojoj mentorici doc. dr. sc. Ivani Generalić Mekinić na ukazanom povjerenju, korisnim savjetima, te velikoj pomoći pri izradi ovog završnog rada.*

*Iskreno se zahvaljujem i svojoj obitelji, kao i prijateljima na ukazanoj podršci i pomoći.*

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Zadatak ovog rada bio je opisati glavne značajke odabranih mjernih instrumenata i osjetila tvrtke Vernier Software & Technology, te navesti neke primjere rada s istima.

## SAŽETAK

U ovom završnom radu opisani su glavne značajke i princip mjerenja sa instrumentima i odgovarajućim osjetilima tvrtke Vernier Software & Technology (Beaverton, Oregon) koja je vodeći svjetski proizvođač instrumenata, osjetila, programskih paketa i ostale opreme koja se koristi u znanstvenom obrazovanju. Opisan je instrument LabQuest 2 kao i različita njemu kompatibilna osjetila kao što su temperaturno osjetila, pH osjetila, plinska osjetila (za određivanje O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>), etanolno osjetilo, osjetilo za određivanje otopljenog O<sub>2</sub>, ion-selektivne elektrode, senzor za mjerenje provodljivosti, svjetlosni senzor, te SpectroVis<sup>®</sup> Plus spektrofotometar. Također, u radu su dani primjeri eksperimenata u kojima se pojedina osjetila koriste te načini prikupljanja, analize i interpretiranja dobivenih eksperimentalnih podataka.

## SUMMARY

This study aimed to investigate the major characteristics and measurement principles using Vernier Software & Technology (Beaverton, Oregon) instruments and sensors. The company is a leading manufacturer of interfaces, sensors, softwares and other accessories that are used in science education. LabQuest 2 interface and different sensors, such as temperature probe, pH sensor, gas sensors (both for O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>), ethanol probe, dissolved oxygen probe, ion-selective electrodes, conductivity probe, light sensor, SpectroVis<sup>®</sup> Plus spectrophotometer, were described. Also, some experimental examples were given, regarding the use of different sensors, as well as the possibilities of data recording, analysis and interpretation of the obtained experimental data.

## SADRŽAJ

UVOD . . . . .	1
<b>1. OPĆI DIO . . . . .</b>	<b>2</b>
1.1. LabQuest 2 . . . . .	2
1.1.1. Glavne značajke LabQuest 2 . . . . .	3
1.2. Mjerna osjetila . . . . .	5
1.2.1. Temperaturno osjetilo. . . . .	5
1.2.2. pH osjetilo . . . . .	6
1.2.3. Osjetila plina . . . . .	8
1.2.3.1. Osjetilo za određivanje plinovitog O <sub>2</sub> . . . . .	8
1.2.3.2. Osjetilo za određivanje plinovitog CO <sub>2</sub> . . . . .	9
1.2.3.3. Osjetilo za određivanje etanola . . . . .	11
1.2.3.4. Osjetilo za određivanje otopljenog kisika . . . . .	12
1.2.4. Ion-selektivne elektode . . . . .	13
1.2.4.1. Kalcijeva-ion selektivna elektroda . . . . .	16
1.2.5. Osjetila za mjerenje provodnosti . . . . .	17
1.2.6. Osjetilo za mjerenje jačine svjetlosti . . . . .	19
1.3. Spektrometri . . . . .	20
1.3.1. SpectroVis Plus spektrometar . . . . .	22
1.4. Dodatna oprema . . . . .	26
1.4.1. Reakcijske posude . . . . .	26
1.4.2. Kivete . . . . .	27
1.4.3. LabQuest stanica za punjenje . . . . .	28

1.4.4. Logger PRO . . . . .	29
1.4.5. LabQuest Postolje . . . . .	29
1.4.6. LabQuest Armor . . . . .	30
1.4.7. Boost LabQuest 2 baterija . . . . .	31
<b>2. RAD SA LABQUESTOM I MJERNIM OSJETILIMA . . . . .</b>	<b>32</b>
2.1. Primjena osjetila temperature za određivanje točke smrzavanja vode	32
2.2. Primjena pH osjetila za određivanje kiselo-bazne titracije . . . . .	34
2.3. Osjetilo za određivanje plinovitog O <sub>2</sub> i CO <sub>2</sub> . . . . .	36
2.4. Eksperimentalna primjena etanolnog osjetila . . . . .	39
2.5. Osjetilo za mjerenje provodljivosti . . . . .	41
2.6. Primjena osjetila za mjerenje jačine svjetlosti . . . . .	43
2.7. Spektrometar . . . . .	44
2.7.1. Mjerenje apsorbancije otopine bojila kristal violeta . . . . .	44
2.7.2. Mjerenje apsorpcije klorofila . . . . .	46
<b>3. LITERATURA . . . . .</b>	<b>48</b>







## UVOD

Tvrtka Vernier je osnovana 1981. godine u Portlandu, Oregon. Njen osnivač je David Vernier koji je prije nego li je osnovao tvrtku bio srednjoškolski učitelj fizike i prirodnih znanosti. David je na početku svog rada počeo razvijati različite simulacije i informatičke programe koji su omogućavali brz i jednostavan unos različitih eksperimentalnih podataka, njihovu obradu i grafički prikaz, a krajem 80-tih godina tvrtka se okrenula proizvodnji različitih osjetila.

Danas je sjedište tvrtke u Beavertonu, Oregon, a Vernier je postao vodeći svjetski proizvođač instrumenata, osjetila, programskih paketa i ostale opreme koja se koristi u znanstvenom obrazovanju kako bi se stekla osnovna znanja u prikupljanju, analizi i interpretiranju eksperimentalnih podataka. Danas tvrtka Vernier proizvodi oko 75 različitih osjetila i 6 instrumenata za mjerenje podataka, a u ovom radu su opisani neki od njih (1,2).

## 1. OPĆI DIO

Kao što je već navedeno u uvodu u ovom radu će biti opisane glavne značajke mjernih instrumenata i odabranih osjetila tvrtke Vernier Software & Technology koji se koriste u prikupljanju, analizi i interpretiranju eksperimentalnih podataka. Tvrtka Vernier proizvodi 6 instrumenata za mjerenje podataka, a u sljedećem tekstu više pozornosti će se posvetiti instrumentu LabQuest 2 i njegovoj kompatibilnosti sa odabranim osjetilima.

### 1.1. LabQuest 2

LabQuest 2 je u načelu vrlo jednostavan, ali svestran instrument čija je svrha primjena u obrazovanju na području znanosti, tehnologije i inženjerstva, odnosno prirodnih znanosti poput fizike, kemije, biologije, astronomije, geologije i mnogih drugih (tzv. STEM, eng. *Science, Technology, Engineering and Mathematics*).

LabQuest 2 je samostalni instrument, koji se koristi za prikupljanje podataka dobivenih od mjernih osjetila, te ima ugrađenu mogućnost grafičkog prikaza rezultata i analize istih. Zaslona instrumenta je vrlo visoke rezolucije i osjetljiv je na dodir što omogućava vrlo jednostavno upravljanje te prikupljanje, analizu i dijeljenje podataka dobivenih u eksperimentu. LabQuest 2 se može povezati preko USB spoja na računalo na kojem je instaliran *Logger Pro* program za obradu podataka. Tako dobiveni podaci mogu se slati na jedan ili više mobilnih uređaja, tableta i slično, na kojima su instalirane aplikacije za iOS, Android ili Chrome (*1*).

LabQuest 2 (slika 1) je kompatibilan sa više od 70 Vernierovih mjernih osjetila.



**Slika 1.** LabQuest 2 (*1*).

### 1.1.1. Glavne značajke LabQuest 2

#### **Opće karakteristike**

- samostalna i računalna jedinica sa zaslonom na dodir
- kompatibilan sa više od 70 Vernierovih mjernih osjetila
- zaslon visoke rezolucije sa portretnim i pejzažnim orijentacijama
- omogućuje brzo prikupljanje podataka
- baterija uređaja je punjiva i visokog kapaciteta

- uređaj je kompatibilan sa Windows i Macintosh operativnim sustavima
- mogućnost besplatne nadogradnje software-a

#### **Karakteristike hardware-a**

- zaslon visoke rezolucije
- sadrži ugrađena osjetila kao što je akcelerometar
- Mogućnost povezivanja preko Wi-Fi-a i Bluetooth-a
- Brzina prikupljanja podataka sa 100 000 uzoraka po sekundi

#### **Karakteristike software-a**

- stvarno-vremensko, grafičko i direktno prikazivanje podataka
- mogućnost analize sa linearnim i nelinearnim krivuljama
- ugrađena periodična tablica, štoperica, znanstveni kalkulator itd.
- dodirna igla za biranje i zapisivanje, te navigacija za efikasnost i preciznost

## 1.2. MJERNA OSJETILA

Mjerenje je postupak kojim se ostvaruje informacija o kemijskoj i fizikalnoj prirodi promatranog procesa. Mjerenje se izvodi mjernim instrumentima koji su sastavljeni od: OSJETILA, PRETVORNIKA i POKAZIVALA. Mjerno osjetilo neposredno osjeća promatranu veličinu, te na svom izlazu daje signal analogan toj veličini. Svaka mjerna veličina zahtjeva svoje mjerno osjetilo. Već je spomenuto da tvrtka Vernier proizvodi 70 ili više različitih osjetila, a u nastavku ovog rada će biti opisani neki od njih koji su kompatibilni sa LabQuest 2.

### 1.2.1. Temperaturno osjetilo

Temperaturno osjetilo je osjetilo sa sondom od nehrđajućeg čelika je koji je namijenjen mjerenju temperature (slika 2), a moguće ga je koristiti u organskim kapljevinama, otopinama soli, kiselinama i lužinama. Primjena ovog osjetila je vrlo široka, pa se može koristiti u različitim granama znanosti.



**Slika 2.** Temperaturno osjetilo Vernier (1).

Specifičnosti temperaturnog osjetila su:

- Mjerno područje od - 40°C do 135°C
- Maksimalna temperatura koju osjetilo može očitati bez oštećenja je 150°C
- Rezolucija kao pokazatelj točnosti, ovisno o temperaturnom intervalu se mjeri:
  - 0,17°C (od -40°do 0°C)
  - 0,03°C (od 0°C do 40°C)
  - 0,1°C (od 40°C do 100°C)
  - 0,25°C (od 100°C do 135°C)
- Točnost:  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  pri 0°C,  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  pri 100°C
- Vrijeme potrebno za očitavanje promjene
  - 10 sekundi u vodi uz miješanje
  - 400 sekundi u mirnom zraku
- 90 sekundi u pokretnom zraku
- Dimenzije osjetila
  - duljina 15,5 cm (ručka + proba)
  - duljina mjerne probe od nehrđajućeg čelika: 10,5 cm, promjer 4,0 mm
  - duljina ručke: 5,0 cm, promjer 1,25 cm.

### 1.2.2. pH osjetilo

pH vrijednost je definirana kao logaritamska vrijednost koncentracije pozitivnih vodikovih iona u nekoj otopini. Ovisno o koncentraciji vodikovih iona razlikujemo stanje kiselosti (prisutan višak  $\text{H}^+$  iona) i lužnatosti (manjak  $\text{H}^+$  iona). Za izražavanje

vrijednosti pH koristi se skala u rasponu vrijednosti od 0 do 14, dok se neutralnom vrijednošću smatra pH vrijednost 7 (3).

Mjerenja pH vrijednosti moguće je provesti na više načina: pH metrom, kapljevitim indikatorom i indikator papirima. (1,2,4).



**Slika 3.** pH osjetilo Vernier (1).

pH mjerno osjetilo tvrtke Vernier omogućava vrlo lako korištenje, jer ima dodatne prednosti automatiziranog prikupljanja podataka, grafičkog prikaza i analize podataka.

Ovaj instrument je pogodan za korištenje praćenja tijekom kiselo-baznih titracija, ali i kod praćenje promjena u pH vrijednosti tijekom različitih reakcija.

Specifičnosti pH osjetila su sljedeće:

- Tip osjetila: zatvoreni, punjen gelom sa epoksidnim tijelom, Ag/AgCl
- Promjer: 12 mm
- Vrijeme odziva: 90% finalnog čitanja za vrijeme od 1 sekunde
- Temperaturni raspon: od 5 do 80°C
- Mjerljivost: pH 0–14
- Točnost:  $\pm 0.2$  pH jedinica
- Izopotencijalna pH: pH 7 (točka kod koje temperatura nema utjecaja).





### 1.2.3. Osjetila plina

Najčešća primjena različitih plinskih osjetila je kod mjerenja koncentracije ispušnih plinova kod motora s unutarnjim sagorijevanjem u automobilima i drugim vozilima. Mjerenje ugljikovog-dioksida je važno i za praćenje kvalitete zraka u zatvorenim prostorima, ali se koristi i kod praćenja promjene razine CO<sub>2</sub> tijekom disanja. Ronioci koriste slične instrumente za mjerenje parcijalnog tlak kisika, a jedna od primjena je i u ispitivanju „disanja tla“. Plinska osjetila se mogu koristiti i u prehrambenoj industriji za utvrđivanje svježine mesa i ribe te kod respiracije voća i povrća (1).

#### 1.2.3.1. Osjetilo za mjerenje plinovitog O<sub>2</sub>

Osjetilo za određivanje plinovitog O<sub>2</sub> od Verniera prikazano je na slici 4.



**Slika 4.** Vernierovo osjetilo za mjerenjenje plinovitog O<sub>2</sub> (1).

Mjerno osjetilo za mjerenje plinovitog O<sub>2</sub> je osjetilo koje se koristi za mjerenje koncentracije plinovitog kisika u raznim biološkim i kemijskim eksperimentima.

Osjetilo je namijenjeno za mjerenja udjela kisika samo u plinovitim, a ne kapljevitim sustavima.

Osjetilo za mjerenje plinovitog O<sub>2</sub> mjeri koncentraciju kisika u zraku, a njegova radna temperatura je prilagođena korištenju u različitim okruženjima pa se može se koristiti u studijama proučavanja ljudskog i staničnog disanja.

Specifičnosti osjetila:

- Mjerni raspon: 0–27% (0-270 ppt)
- Točnost (pri standardnom tlaku od 760 mm Hg): +/- 1% volume O<sub>2</sub>
- Rezolucija: 0.01%
- Vrijeme odziva: ~12 sekundi do 90% finalne vrijednosti
- Vrijeme potrebno da se zagrije: manje od 5 sekundi do 90% finalne vrijednosti
- Efekt tlaka:
  - direktno proporcionalan
  - raspon: 0.5 atm do 1.5 atm
- Princip mjerenja: difuzija
- Optimalna radna temperatura: 25 °C (±5 °C)
- Raspon radne temperature: 5 do 40 °C (uz kalibraciju)
- Radni raspon relativne vlažnosti: 0 do 95%
- Temperatura čuvanja: –20 do +60 °C
- Dimenzije: duljina 120 mm (duljina osjetila 45 mm)

### 1.2.3.2. Osjetilo za određivanje plinovitog CO<sub>2</sub>

Osjetilo za mjerenje plinovitog CO<sub>2</sub> (slika 5) mjeri razinu plinovitog ugljikovog dioksida, i to u dva raspona koncentracije; od 0 do 10000 ppm i od 0 do 100000 ppm.

Specifikacija osjetila:

- Vrijeme odziva: 95% potpunog čitanja za vrijeme od 120 sekundi

- Vrijeme zagrijavanja: 90 sekundi
- Efekt tlaka: 0,19 očitanih mm/Hg pri standardnom tlaku
- Raspon izlaznog signala: 0-4.0 V
- Princip mjerenja: difuzija
- Optimalna radna temperatura: 25°C (±5 °C)
- Optimalni raspon radne vlažnosti: 5-95% (bez kondenzacije)
- Temperatura čuvanja: -40 do 65 °C
- Rezolucija:
  - 0 do 10000 ppm CO<sub>2</sub> : 3 ppm
  - 0 do 100000 ppm CO<sub>2</sub> : 30 ppm
- Točnost (pri standardnom tlaku 1 atm):
  - Niski raspon:
    - 0 do 1000 ppm: ± 100 ppm
    - 1000 do 10000 ppm: ± 10% od očitano
  - Visoki raspon:
    - 0 do 1000 ppm: ± 100 ppm
    - 1000 do 10000 ppm: ± 20% od očitano
- Raspon mjerenja:
  - Niski raspon: 0 do 10000 ppm CO<sub>2</sub>
  - Visoki raspon: 0 do 100000 ppm CO<sub>2</sub>



**Slika 5.** Vernierovo osjetilo za mjerenje plinovitog CO<sub>2</sub> (1).

Kisikovo osjetilo i CO<sub>2</sub> osjetilo može se koristiti istovremeno, prilikom određivanja tijekom fermentacije, te pri staničnom disanju .

**1.2.3.3. Osjetilo za određivanje etanola**

Osjetilo za određivanje etanola (slika 6) mjeri koncentraciju etanola u zraku iznad kapljevityh uzoraka, a može se koristiti u velikom broju različitih eksperimenata kao što su npr. utvrđivanje stupnja proizvodnje etanola tijekom procesa fermentacije, kao i za mjerenje malih količina etanola u određenom uzorku. Osim na etanol, ovaj mjerni osjetnik je vrlo osjetljiv na vodik, izobutan, ugljični monoksid, i metan.

Ovim osjetilom se mjeri koncentracija plinovitog etanola, iz kojeg se može zaključiti kolika je koncentracija etanola u otopini. Otpor osjetila se smanjuje u prisutnosti etanola, te na taj način utječe na vrijednost napona na izlazu iz osjetila. Napon osjetila, mjerni pretvornik izražava u jedinicama koncentracije etanola (1).



**Slika 6.** Vernierovo mjerno osjetilo za određivanje etanola (1).

Specifikacija instrumenta:

- Mjerni raspon: 0% do 3%
- Vrijeme odziva: 90% potpunog čitanja za vrijeme od 60 sekundi
- Rezolucija:

<b>Koncentracija</b>	<b>Rezolucija</b>
2-3%	0.02%
1-2%	0.01%
0-1%	0.001%

#### **1.2.3.4. Osjetilo za određivanje otopljenog kisika**

Osjetilo za određivanje otopljenog kisika je pogodan za primjenu u biologiji, kemiji, ekologiji kao i za mnoga druga znanstvena istraživanja. Pogodan je za izvođenje raznih eksperimenata, pa tako i pri određivanju promjena u razini otopljenog kisika u vodenim sustavima pošto je on jedan od najvažnijih parametara kvalitete vodenog svijeta.

- moguća je temperaturna kompenzacija kod kalibracije u laboratoriju, a nakon toga i mogućnost mjerenja na otvorenom bez potrebne kalibracije
- čaše za jednokratnu upotrebu s membranama omogućuje brzu i povoljnu promjenu membrana
- kalibracija je moguća u većem broju jedinica: % otopljenog kisika, mg/L ili ppm otopljenog kisika

**Specifikacija osjetila:**

- Raspon: 0 do 15 mg/L (ili ppm)
- Točnost:  $\pm 0.2$  mg/L
- Vrijeme odziva: za 30 sekundi 95% finalne vrijednosti, za 45 sekundi 98%
- Rezolucija: 0.014 mg/L
- Temperaturna kompenzacija: automatski od 5-35 °C
- Kompenzacija tlaka: ručno
- Kompenzacija slanoće: ručno
- Minimalni protok uzorka: 20 cm/sekundi



**Slika 7.** Vernierovo mjerno osjetilo za određivanje otopljenog kisika (*1*).

#### 1.2.4. Ion-selektivne elektrode

Ion-selektivne elektrode su selektivne membranske elektrode koje imaju vrlo široku primjenu u izradi potenciometrijskih osjetila odnosno u potenciometriji. To su

osjetila čiji potencijal ovisi o aktivitetu samo jedne molekulske vrste prisutne u potenciometrijskoj ćeliji. Ion-selektivne elektrode obično sadrže dvije membrane; hidrofobnu tj. propusnu membranu za plin i membranu selektivnu za određene ione koja je najčešće staklena membrana pH elektrode. Između njih se nalazi tanki sloj elektrolitne otopine (5).

Vernier u svojoj ponudi ima nekoliko ion-selektivnih elektroda i to: nitratna, kalcijeva, kalijeva, amonijeva i kloridna ion-selektivna elektroda.

Nitratna ion-selektivna elektroda se može koristiti kod određivanja koncentracije nitratnih iona u uzorcima vode, npr. ispitivanje kiselih kiša, vode nakon upotrebe gnojiva na tlu, itd., dok se kalcijevom ion-selektivnom elektrodom može izmjeriti tvrdoća vode (koncentracija  $\text{Ca}^{2+}$ ). U daljnjem tekstu nešto više će biti riječ o kalcijevoj ion-selektivnoj elektrodi (1).



**a)** nitratna ion-selektivna elektroda



**b)** amonijeva ion-selektivna elektroda



**c)** kloridna ion-selektivna elektroda



**d)** kalijeva ion-selektivna elektroda

**Slika 8.** Vernierove ion-selektivne elektrode (1).



#### 1.2.4.1. Kalcijeva ion-selektivna elektroda

Kalcijeva ion-selektivna elektroda se koristi za mjerenje koncentracije kalcija ( $\text{Ca}^{2+}$ ) u vodenim uzorcima, a dobiveni podaci mogu dati dobar uvid u tvrdoću vode pa se određena koncentracija  $\text{Ca}^{2+}$  se može primijeniti kao krajnji indikator u EDTA Ca/Mg titraciji tvrde vode.

##### **Specifikacija elektrode:**

- Interferencija iona:  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$
- Razina pH: 2 do 8
- Raspon temperature: 0 do 40°C
- Nagib elektroda: +26 mV
- Otpornost elektroda: 100 MΩ
- Uranjanje prilikom mjerenja: 2.8 cm



**Slika 9.** Kalcijeva ion-selektivna elektroda (1).

#### 1.2.5. Osjetilo za mjerenje provodnosti

Konduktometrija je analitička metoda koja se temelji na mjerenju električne provodnosti elektrolita u ćeliji. Konduktometrija nije selektivna metoda jer svi prisutni ioni sudjeluju u električnoj vodljivosti. Jedinica SI sustava za električnu provodnost je S/m, dok se industrijskim primjenama tradicionalno se koristi jedinica  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Mjerenje električne provodnosti koristi se u industriji kao brza, jeftina i pouzdana metoda provjere ionskog sadržaja otopine. Tipičan primjer industrijske primjene je kod pročišćavanja vode. Deionizirana voda, tj. voda koja je visoke kvalitete ima električnu provodnost od oko  $5.5 \mu\text{S}/\text{m}$ , standardna voda za piće ima električnu provodnost od 5 do  $50 \text{ mS}/\text{m}$ , a morska voda oko 5 (2,6).

Konduktometar određuje ionski sadržaj u vodenoj otopini, pri mjerenju njene provodnosti, pa stoga ima široku primjenu u kemiji, biologiji, te znanosti o okolišu.

Dodatne mogućnosti:

- Brzo vrijeme odziva: doseže 98% ukupne vrijednosti u manje od 5 sekundi

- Brza i jednostavna kalibracija
- Ugrađena temperaturna kompenzacija omogućava kalibraciju osjetila u laboratoriju i mjerenje izvan laboratorija bez utjecaja na podatke
- Naizmjenična struja svojim elektrodama sprječava polarizaciju i elektrolizu, te smanjuje onečišćenja otopine
- Tijelo grafitne elektrode eliminira mogućnost korozije metalne elektrode

Specifikacije osjetila:

- Raspon:
  - Niski raspon: 0 do 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0 do 100 mg/L TDS)
  - Srednji raspon: 0 do 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0 do 1000 mg/L TDS)
  - Visoki raspon : 0 do 20,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0 do 10,000 mg/L TDS)



**Slika 10.** Osjetilo za mjerenje provodnosti (1).

- Rezolucija:
  - Niski raspon: 0.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0.05 mg/L TDS)

- Srednji raspon: 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0.5 mg/L TDS)
- Visoki raspon: 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (5 mg/L TDS)
- Točnost upotrebe tvorničke kalibracije:
  - $\pm 8\%$  potpunog očitavanja za nisku razinu
  - $\pm 3\%$  potpunog očitavanja za srednju razinu
  - $\pm 4\%$  potpunog očitavanja za visoku razinu
- Točnost upotrebe uobičajene kalibracije:  $\pm 2\%$  potpunog očitavanja za svaki raspon
- Vrijeme odziva: 98% potpunog očitavanja za 5 sekundi, 100% očitavanja u 15 sekundi
- Temperaturna kompenzacija: automatska od 5 do 35°C
- Temperaturni raspon: 0 do 80°C
- Konstanta ćelije: 1.0  $\text{cm}^{-1}$
- Opis: ABS tijelo, paralelne ugljikove (grafitne) elektrode
- Dimenzije: 12 mm OD i 150 mm dužina

### 1.2.6. Osjetilo za mjerenje jačine svjetlosti

Osjetilo za mjerenje jačine svjetlosti koriste fotoelektrična svojstva pojedinih poluvodičkih materijala tj. mogućnost pretvorbe električnog signala u svjetlost (LED) i mogućnost promjene vodljivosti poluvodičkog materijala pomoću svjetlosti (foto-diode i foto-tranzistora) (7).

Vernier proizvodi svjetlosna osjetila koje možemo koristiti za mjerenje jačine svjetlosti u različitim situacijama kao kod proučavanja jačine svjetlosti potrebnog za rast biljaka, kod istraživanja polarizacije, refleksije ili sunčeve energije. Vernierova svjetlosna osjetila koriste silicijeve foto-diode, koje stvaraju napon koji je

proporcionalan jačini svjetlosti.

Specifikacija svjetlosnog osjetilaa:

Raspon: 0-600 luksa je najosjetljivije, te se koristi za niske razine osvjetljenja

0-6000 luksa za veće razine unutrašnjih osvjetljenja

0-150 000 luksa koristi se uglavnom za mjerenja jačine svjetlosti sunca



**Slika 11.** Osjetilo jačine svjetlosti ( $I$ ).

### 1.3. SPEKTROMETRI

Spektroskopija je znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem emisijskih i apsorpcijskih elektromagnetskih spektara atoma i molekula, a pomoću nje mjeri se jačina zračenja koja ovisnosti o energiji, valnoj duljini, frekvenciji ili količini gibanja ( $\lambda$ ).

Spektroskopija se dijeli na brojne poddiscipline prema:

1. Vrsti zračenja tj. frekvenciji (radio, mikrovalna, infracrvena, vidljiva, ultraljubičasta, rendgenska, gama)

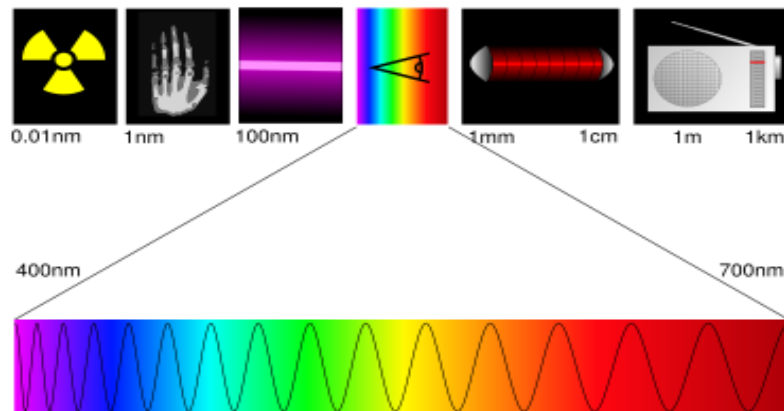
2. Razini interakcije (nuklearna, atomska, molekularna, agregacijska)

3. Pronalazaču (Ramanova, Mesbauerova)

4. Tehnici (Furijeova, rezonantna, laserska, koherentna, emisijska, apsorpcijska)

Spektroskopija se upotrebljava u kemiji, medicini, astronomiji, metalurgiji i drugdje zbog mogućnosti određivanja fizikalnih i kemijskih osobina neke tvari, a najčešće se dijeli prema spektralnom području koje ovisi o grani znanosti koja je koristi. Kao rezultat spektroskopskog istraživanja dobiva se spektar (2,8).

### Spektar elektromagnetskog zračenja



**Slika 12.** Elektromagnetski spektar (8).

Na slici 12 prikazan je elektromagnetski spektar u području od gama zraka do radiovalova, a vidljiva svjetlost obuhvaća tek jedan mali dio:

Gama-zrake ~ 0,01 nm,

h-zrake ~ 1 nm,

ultraljubičaste zrake ~ 100 nm,

vidljiva svjetlost ~400-700 nm,

infracrveni zrake ~ 1mm-1 cm

radio-valovi 1 m - 1 km.

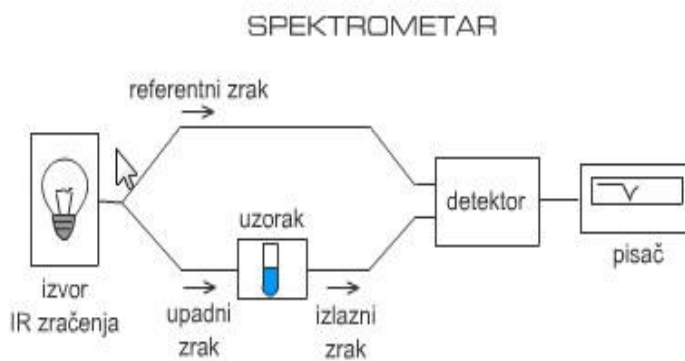
Proučavanje spektra elektromagnetskog zračenja provodi se pomoću spektrometra, a analizom rezultata se dobivaju podaci o prisutnosti raznih vrsta atoma i molekula u tvari. Spektrometar služi za identifikaciju nepoznatih vrsta spojeva pa se vrlo često upotrebljava u znanosti, medicini, industriji i slično (8).

Spektrofotometar je instrument kojim se intenzitet komponente elektromagnetskog zračenja određene valne duljine. Općenito, spektrofotometar se sastoji od izvora zračenja, monokromatora i detektora. Princip rada mjernog instrumenta se zasniva na tome da se u spektrometar stavi uzorak koji se promatra, te se mjeri intenzitet određene valne duljine elektromagnetskoga zračenja koji je uzorak emitirao, apsorbirao ili reflektirao. Spektrofotometar mjeri jačinu svjetla koje je prošlo kroz analizirani uzorak te ga uspoređuje s intenzitetom upadnog svjetla. Spektrofotometri mogu imati jedan ili dva snopa svjetlosti. Kod instrumenata s jednim snopom mjerenje se izvodi u dva koraka:

1. Mjeri se apsorbancija slijepe probe

2. Mjerenje uzorka

Kod instrumenata s dva snopa ulazni snop se dijeli na dva snopa prije prolaska kroz uzorak. Jedan služi kao referentni snop, a drugi prolazi kroz uzorak. Najčešće se mjere kapljeviti uzorci, iako se mogu mjeriti i kruti te plinoviti uzorci. Uzorak je smješten u prozirnoj posudi (kiveti) (8).



**Slika 13.** Princip rada spektrometra (8).

### 1.3.1. SpectroVis® Plus spektrofotometar

SpectroVis Plus je prijenosni i vrlo pristupačni vidljivi spektrometar s mogućnostima mjerenja fluorescencije. Mjeri valne duljine od 380 nm do 950 nm i analizira rezultate u svim bojama. SpectroVis Plus je obrazovni spektrofotometar koji kombinira fluorescentne mogućnosti s linearnim CCD (engl. *Charge-coupled device*) detektorom, kao kompaktnom jedinicom koja ne zahtjeva vanjsko napajanje. Dvije različite, uzbuđene valne duljine omogućuju analizu spojeva kao što su fluorescein, klorofil ili GEP (*eng.* Gene expression programming) (1).

- Izravno povezivanje SpectroVis-a sa LabQuest-om ili računalom preko USB spoja
- Brzo odrađeni eksperiment s jednostavnom kalibracijom
- Prikupljanje podataka u okviru jedne sekunde sa spektrometrijskom tehnologijom
- Analiza podataka spektra svih valnih duljina u svim bojama sa Logger Pro



**Slika 14.** SpectroVis Plus (1).



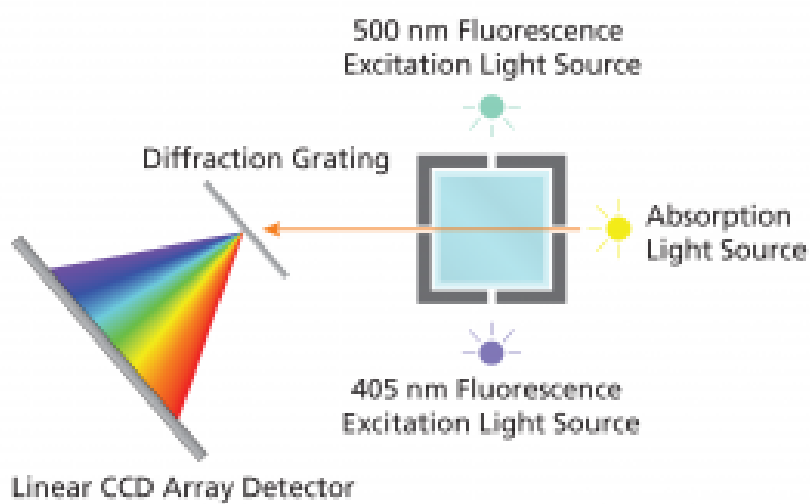
## **Spektrometrija sa SpectroVis Plus**

SpectroVis Plus omogućava širok raspon spektroskopskih eksperimenata za kemiju, biologiju i fiziku

- Omogućava određivanje maksimalne valne duljine, pri prikupljanju podataka o koncentraciji otopine, kod utvrđivanja ili kontrole procesnih koraka u proizvodnji piva
- Prikuplja cjelokupan spektar valnih duljina (380 nm do 950nm) za mjerenje postotka prolaska apsorbancije, fluorescencije i emisije
- Ponašanje enzima pri kinetičkim eksperimentima
- Omogućava proučavanje vrijeme apsorbancije u odnosu na koncentraciju
- Obavljanje kolorimetrijskih ili fluorescentnih bioloških testova
- Upotreba SpectroVis Plus optičkih pribora za mjerenje emisije iz testova plamena ili drugih izvora svjetlosti

## Princip rada SpcetroVis Plus-a

SpectroVis Plus koristi LED i žarulju za odašiljanje svjetlosti kroz otopinu koja sadrži ispitivani uzorak. Odašlana svjetlost zatim prolazi kroz visoko kvalitetne difrakcijske rešetke, potom difraktirana svjetlost se prikuplja i razvrstava na polja linearnog CCD detektora.



Slika 15. Princip rada SpectroVis Plus (1).

### Specifikacija instrumenta:

- Raspon valnih duljina: 380 nm do 950nm
- Pokretač za fluorescenciju: Dva pobuđena izvora koja se nalaze u rasponu od 404 nm do 500nm
- Prikaz intervala valnih duljina : ~ 1nm između utvrđenih vrijednosti (prikuplja oko 570 vrijednosti)
- Rezolucija:
  - 4.0 nm
  - 25 nm

- Točnost valnih duljina:  $\pm 3.0$  nm (na 650 nm) i  $\pm 7.0$  (na 450 nm)
- Točnost fotometrije:  $\pm 13.0\%$  (utvrđena sa standardnim nikal sulfatom od 0.1 do 1.0 A. U.)
- Dimenzije: 15 cm  $\times$  9 cm  $\times$  4 cm
- Izvor svjetlosti: žarulja, oko 8000 sati trajanja, jedan korak kalibracije, LED-rasvjeta, s oko 100 000 sati trajanja. Nepotrebno vanjsko napajanje

## 1.4. DODATNA OPREMA:

### 1.4.1. Reakcijske posude

Instrumenti za mjerenje dolaze u kombinaciji sa različitom dodatnom opremom, kao što su reakcijske posude BioChamber 2000 ili BioChamber 250. BioChamber 2000 ili 250 (slika 16) je plastična komora koja se može koristiti sa CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> plinskim osjetilima, za istovremeno kontroliranje plinovitog ugljikovog dioksida i razine kisika u zatvorenom sustavu, pa je stoga naročito korisna kod praćenja staničnog disanja i fotosinteze. Veliki otvor na vrhu pruža lagan pristup za umetanje, prilagođavanje ili uklanjanje uzorka, a posude također sadrže i otvore na koje se postave osjetila.



a)



b)

**Slika 16.** BioChamber a) 2000 i b) 250 (1).



**Slika 17.** Primjer postavljanja osjetila na mjerne posude (*1*).

#### 1.4.2. Kivete

Kivete (slika 18) su male posude kružnog ili četvrtastog poprečnog presjeka, zatvorene na jednom kraju, napravljene od plastike ili stakla, a dizajnirane za upotrebu u spektrometrijskim eksperimentima. Iako mogu biti različitog volumena, one koje se koriste za mjerenja na Spectro Vis Plus uređaju imaju volumen od 3,5 mL.



**Slika 18.** Kivete (1).

### 1.4.3. LabQuest stanica za punjenje

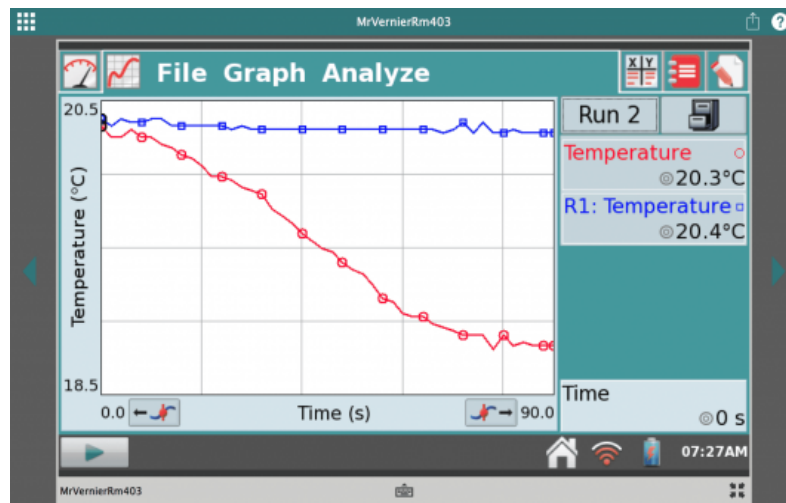
LabQuest stanica za punjenje služi za jednostavno punjenje i pohranjivanje LabQuest 2 ili LabQuest Stream instrument, te ima mogućnost punjenja i pohrane četiri instrumenta u istom trenutku.



**Slika 19.** LabQuest stanica za punjenje (1).

#### 1.4.4. Logger PRO

Logger PRO je programski paket koji prikazuje i kontrolira zaslon LabQuest 2 instrumenta, može se koristiti i za grupne prezentacije, u studentskim laboratorijima.



Slika 20. LabQuest Viewer (1).

#### 1.4.5. LabQuest Postolje

Glavna funkcija postolja je zaštitna, ali može služiti za prenosivost LabQuest 2 uređaja, kao i za njegovo korištenje na različitim mjestima, kao npr. laboratorijski stol, te lakše gledanje u određenim situacijama.



**Slika 21.** LabQuest postolje (*1*).

#### 1.4.6. LabQuest Armor

LabQuest Armor je „oklop“ koji služi kao dodatna zaštita za LabQuest, izrađena od gumenog materijala, od potencijalnog izlivanja tijekom eksperimenata i/ili oštećenja uzrokovanih padom uređaja.



**Slika 22.** LabQuest Armor (*1*).



#### 1.4.7. Boost LabQuest baterija

LabQuest baterija je vanjska baterija za punjenje sa originalnim LabQuest 2 ili LabQuest Stream. Dodatna snaga vanjskog akumulatora može poslužiti za prikupljanje podataka na području gdje mrežni napon nije dostupan.



**Slika 23.** Boost LabQuest baterija (1).

## 2. RAD SA LABQUESTOM I MJERNIM OSJETILIMA

U ovom dijelu završnog rada navedeni su primjeri nekih eksperimenata korištenjem sustava LabQuest i njemu odgovarajućih osjetila. Ukratko su opisani postupci u pojedinim mjerenjima, prikazani su dobiveni rezultati, te njihov prikaz preko LabQuest 2.

### 2.1. Primjena osjetila temperature za određivanje točke smrzavanja vode

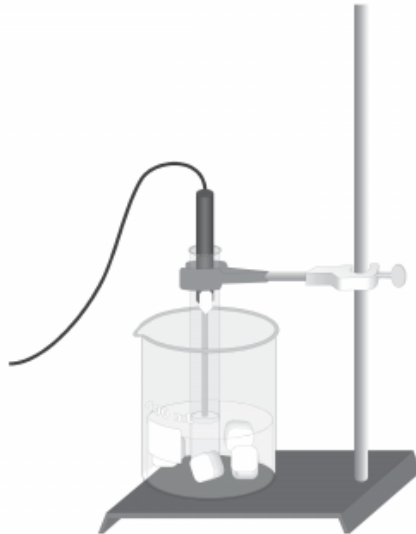
Eksperiment u kojem se koristi temperaturno osjetilo, a koji će biti opisan vezan je za određivanje točke smrzavanja vode.

Temperatura smrzavanja je temperatura na kojoj tvari iz kapljevitog stanja prelaze u kruto stanje, dok je temperatura taljenja, temperatura na kojoj tvar iz krutog stanja prelazi u kapljevito stanje. Obje temperature predstavljaju fizikalna svojstva neke tvari.

U ovom eksperimentu se istražuje ponašanje vode tijekom hlađenja, odnosno zamrzavanja. Analizom dobivenih podataka se određuje temperatura smrzavanja vode.

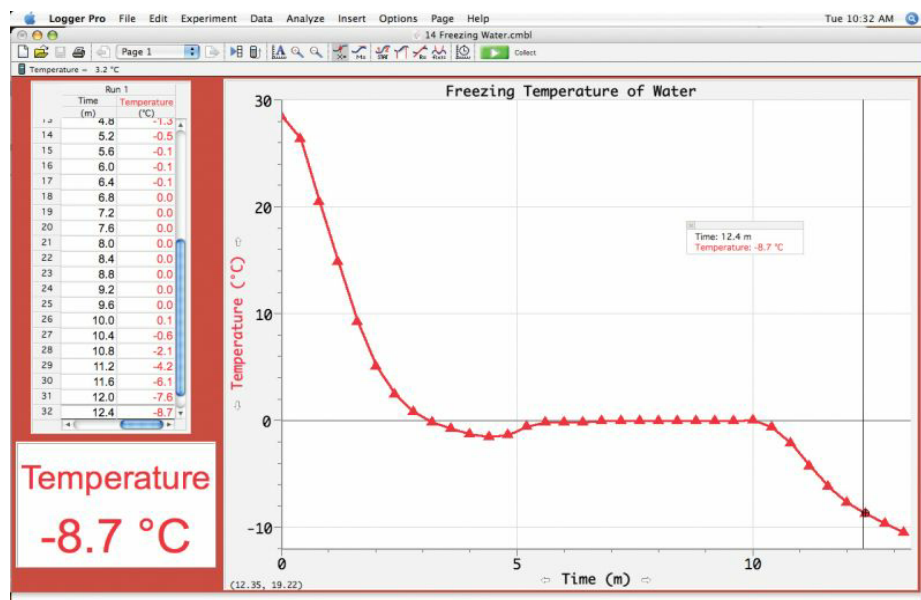
#### **Opis eksperimenta:**

Na početku eksperimenta se načini ledena kupelj tako da se čaša od 400 mL napuni ledom do  $\frac{2}{3}$  volumena i doda se 100 mL vode. U epruvetu koja je postavljena na aparaturu iznad čaše se doda 5 mL vode i u nju se uroni temperaturno osjetilo. Epruveta u kojoj se nalazi voda i osjetilo uroni se u čašu sa ledom te se pokrene mjerenje temperature u određenim vremenskim intervalima. U hladnu kupelj se potom doda pet žlica kuhinjske soli te se smjesa miješata. Uz miješanje sadržaja hladne kupelji, potrebno je miješati vodu u epruveti korištenjem osjetila. Nakon određenom vremena dolazi do smrzavanja sadržaja epruvete. Nakon smanjenja prestaje se s miješanjem u epruveti, ali se mjerenje nastavlja. Mjerenje temperature vode u epruveti provodi se tijekom 15 minuta. Dobiveni rezultati prikazani su na LabQuest 2 (slika 24).



**Slika 24.** Aparatura za određivanje temperature smrzavanja vode (*I*)

Kao što je vidljivo sa slike 25, na lijevoj strani u obliku tablice prikazane su vrijednosti izmjerene temperature u vremenskim intervalima od 15 sekundi, dok je krivulja ovisnosti temperature o vremenu prikazana na desnoj strani. U donjem lijevom kutu prikazana je trenutno izmjerena temperatura (u ovom slučaju  $-8,7^{\circ}\text{C}$  što je temperatura u zadnjoj točki mjerenja odnosno 12,4 minuti).



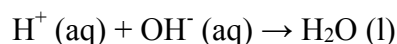
**Slika 25.** Izgled rezultata smrzavanja vode dobivenih korištenjem temperaturnog osjetila (*I*).

Sa slike je vidljivo da se prvih par minuta mjerena temperatura naglo smanjuje do 0 °C, ali i nešto ispod nule nakon što je u hladnu kupelj dodana sol. Nakon toga slijedi jedan period od cca 5 minuta u kojem je mjerena temperatura konstantna tj. 0 °C, nakon čega opet dolazi do pada temperature. Upravo je ova temperatura koja se zadržava neko vrijeme (0 °C) konačni rezultat eksperimenta tj. vrijednost temperature na kojoj dolazi do smrzavanja vode u epruveti.

## 2.2. Primjena pH osjetila za određivanje kiselo-bazne titracije

Eksperiment u kojem je opisano korištenje pH osjetila je zapravo praćenje tijeka kiselo-bazne titracije. Titracija je postupak u kojem se određuje volumen određene otopine koji je potreban za reakciju sa određenom količinom ispitivane tvari.

U ovom eksperimentu cilj je odrediti molarnu koncentraciju nepoznate kiseline, provodeći titraciju iste s lužinom poznate koncentracije, pri čemu se koristi otopina jake kiseline HCl-a, a titracija se vrši sa otopinom NaOH. Reakcija koja se odvija u sustavu je sljedeća:

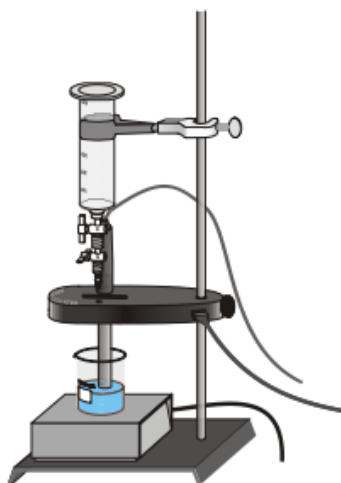


Područje najbrže promjene pH vrijednosti se koristi za određivanje točke ekvivalencije titracije, a utrošen volumen titranta se koristi i za određivanje molaliteta otopine HCl-a.

### Opis eksperimenta:

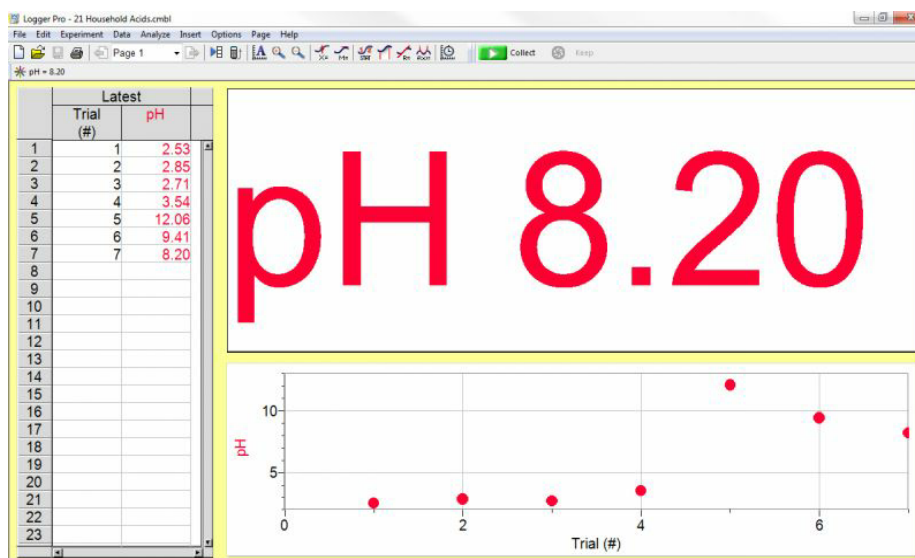
U ovom eksperimentu kao najjednostavniji primjer kiselo-bazne titracije prati se titracija otopine klorovodične kiseline sa otopinom natrijevog hidroksida. Za izvođenje eksperimenta potrebna je miješalica koja će osiguravati miješanje sadržaja koji se titrira (kiseline), čaša, te bireta u kojoj se nalazi tvar kojom se titrira (lužina). Potrebna oprema se postavi kao na slici 26.

Kada uključimo mjerenje pH vrijednosti otopine kiseline polako se, kap po kap, puštata otopina NaOH da istječe iz birete u čašu sa kiselinom. Miješanje sadržaja u čaši je konstantno.

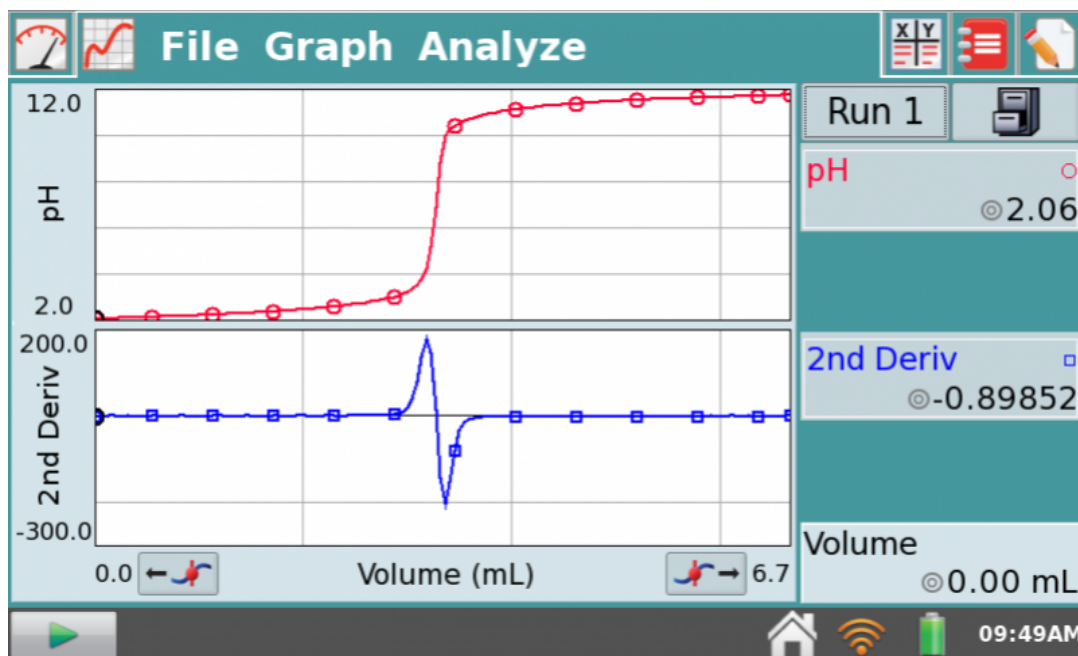


**Slika 26.** Aparatura za kiselo-baznu titraciju (1).

Dobiveni rezultati prikazani su na slici 27. Mjerenje pH vrijednosti otopine kod ovog eksperimenta vrši se svake minute, tako da su lijevo u tablici prikazani rezultati dok se desno nalazi grafički prikaz. Konačnom točkom titracije odnosno točkom ekvivalencije se smatra točka u kojoj je došlo do infleksije u rezultatu izmjerene pH vrijednosti. Ukoliko se u otopinu kiseline doda indikator (fenolftalein) onda se rezultat mjerenja pH osjetilom može potvrditi i vizualno promjenom boje otopine u ljubičastu. Rezultat ovog eksperimenta je ili pH vrijednost koja je zabilježena kod određene točke infleksije ili pak utrošak otopine hidroksida kod titracije.



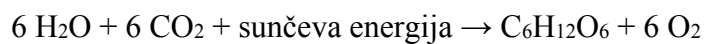
**Slika 27.** Izgled rezultata kod određivanja točke ekvivalencije ( $\Delta$ ).



**Slika 28.** Grafički prikaz rezultata ( $\Delta$ ).

### 2.3. Osjetilo za određivanje plinovitog O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>

Fotosinteza je proces u kojem biljke pretvaraju sunčevu energiju u kemijsku energiju koju potom pohranjuju u obliku šećera. Kada je biljci potrebna ta nastala energija one je koriste u procesu koji se naziva stanična respiracija. Proces fotosinteze uključuje korištenje svjetlosne energije za pretvaranje ugljikovog dioksida i vode u šećer, kisik i druge organske spojeve. Ovaj proces je prikazan sljedećom reakcijom:



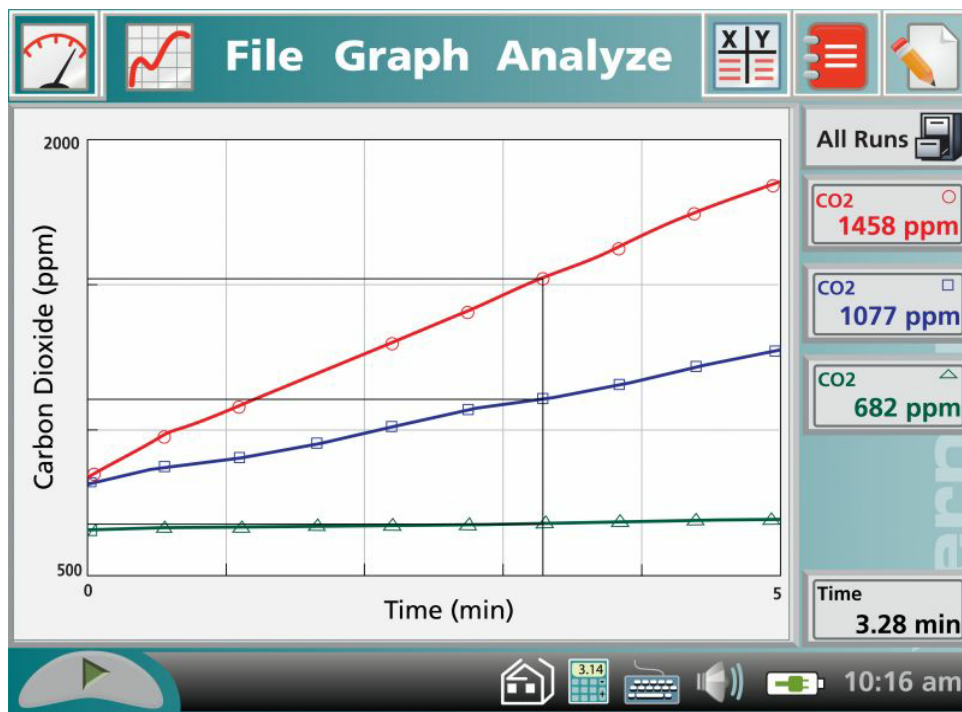
Stanična respiracija je proces obrnut od procesa fotosinteze, odnosno on podrazumijeva pretvaranja kemijske energije u oblik iskoristiv za organizme. U nastavku je prikazana jednadžba stanične respiracije:



Kao jedan od najboljih primjera za proces respiracije često se uzima grašak kod kojeg je poznato da je tijekom klijanja ima jako izraženu respiraciju. Kod ovog eksperimenta će se upotrebom CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> osjetila pratiti količina kisika i ugljikovog dioksida tijekom procesa staničnog disanja i fotosinteze.

### Opis eksperimenta - respiracija:

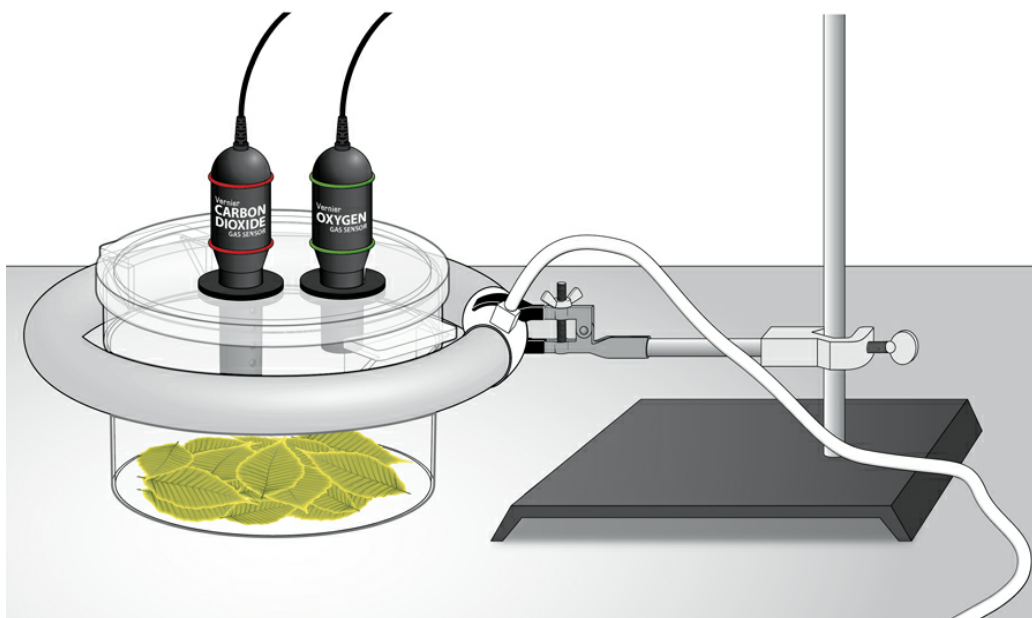
U ovom eksperimentu će se pratiti proces stanične respiracije korištenjem CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> osjetila. Za izvođenje eksperimenta potrebna je i BioChamber reakcijska posuda u koju su stavi 25 zrna proklijali grašaka. Osjetila CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> se postave na reakcijsku posudu te se mjeri CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> svakih 10 sekundi. Već nakon 10 minuta vidljiv je značajan porast vrijednost koncentracije CO<sub>2</sub> i niža vrijednost koncentracije O<sub>2</sub> u odnosu na početak mjerenja. Respiracijom se troši kisik, a povećava udio ugljikovog dioksida. Sa porastom koncentracije CO<sub>2</sub> proces respiracije se usporava. Grafički prikaz rezultata na LabQuesta2 je vidljiv na slici 29.



Slika 29. Rezultati praćenja promjena koncentracije CO<sub>2</sub> tijekom stanične respiracije graška (*V*).

### Opis eksperimenta - fotosinteza:

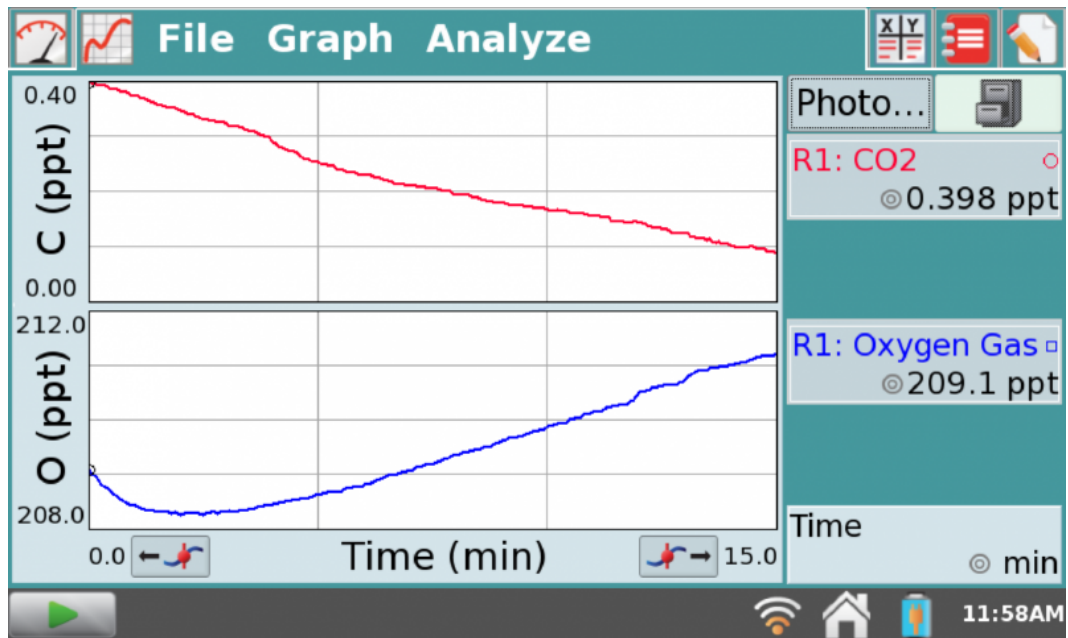
U ovom eksperimentu se uz pomoć CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> osjetila mjeri razina kisika i ugljikovog dioksida tijekom procesa fotosinteze. Za ovaj eksperiment je potrebno par zelenih listova špinata i BioChamber posuda u koju se listovi špinata stave. Osjetila se umetnu kroz za to predviđene otvore na reakcijskoj posudi. Za ovaj eksperiment je potrebna i svjetiljka pošto je biljkama za proces fotosinteze potrebna svjetlost (slika 30).



**Slika 30.** Apratura za proces fotosinteze (1).

Promjene koncentracije CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> se prate preko LabQuest2 uređaja tijekom 15 minuta. Vidljivo je da se razina kisika u posudi povećava, dok se koncentracija ugljikovog dioksida smanjuje, a dobiveni rezultati prikazani su grafički na slici 31.





**Slika 31.** Grafički prikaz rezultata procesa fotosinteze (1).

#### 2.4. Eksperimentalna primjena etanolnog osjetila

Eksperiment u kojem se koristi osjetilo etanola je praćenje brzine fermentacije monosaharida. Šećeri imaju vrlo značajnu ulogu za žive organizme, te kvasci neke od njih koriste kao izvor hrane tako da ih fermentiraju, i to na dva načina, aerobno ili anaerobno. U oba slučaja kao produkt reakcije nastaje  $\text{CO}_2$ .

##### Opis eksperimenta:

U ovom eksperimentu se prati brzina fermentacije glukoze, fruktoze, galaktoze i vode od strane kvasaca. Za eksperiment su potrebne 5%-tne otopine šećera, te po 7 grama kvasca. Kako kao produkt fermentacije nastaje i  $\text{CO}_2$ , u ovom eksperimentu se osim osjetila etanola koristi i  $\text{CO}_2$  osjetilo.

U BioChamber 2000 posudu se stavi 300 mL vode, te doda suspenzija kvasca i određenog šećera, te se uz pomoć miješalice osigura konstantno miješanje sadržaja. Postupak mjerenja traje 10 minuta.

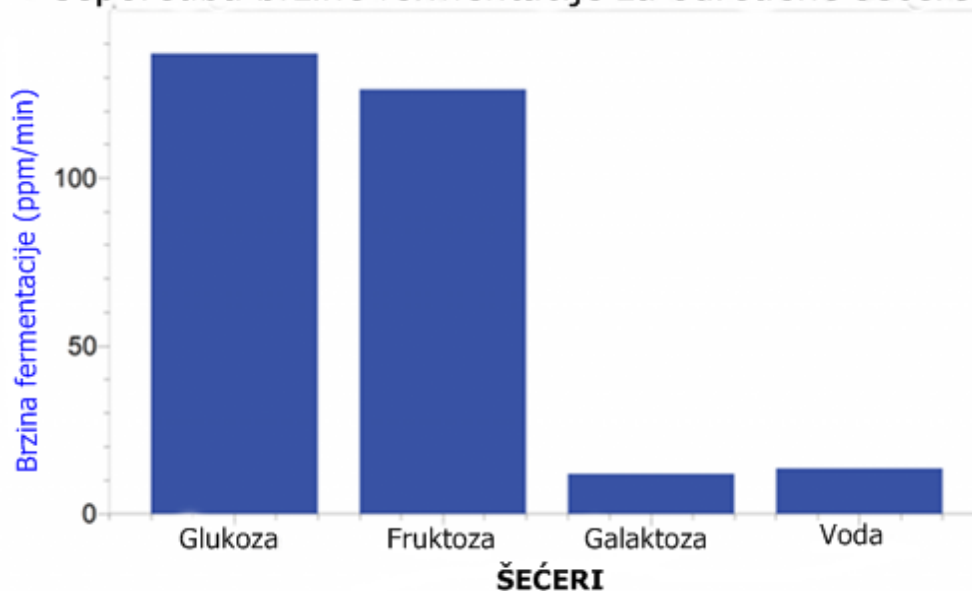
Po završetku eksperimenta iz dobivenih rezultata, vidljivo je da kvasci ne mogu

sve monosaharide jednako dobro fermentirati. Najbolji rezultati su dobiveni za glukozu (137,1 ppm/min) i fruktozu (126,4 ppm/min), pa se može zaključiti da su to dva šećera koja su najbolja hrana za kvasce, dok s druge strane galaktoza i voda nisu pokazale značajne rezultate. Prikaz rezultata je vidljiv u tablici 1 te na slici 32.

**Tablica 1.** Brzina fermentacije monosaharida (1).

Šećer	Molekulska formula	Brzina respiracije (ppm/min)
Fruktoza	$C_6H_{12}O_6$	126,4
Glukoza	$C_6H_{12}O_6$	137,1
Galaktoza	$C_6H_{12}O_6$	11,91
Voda (kontrola)	$H_2O$	13,54

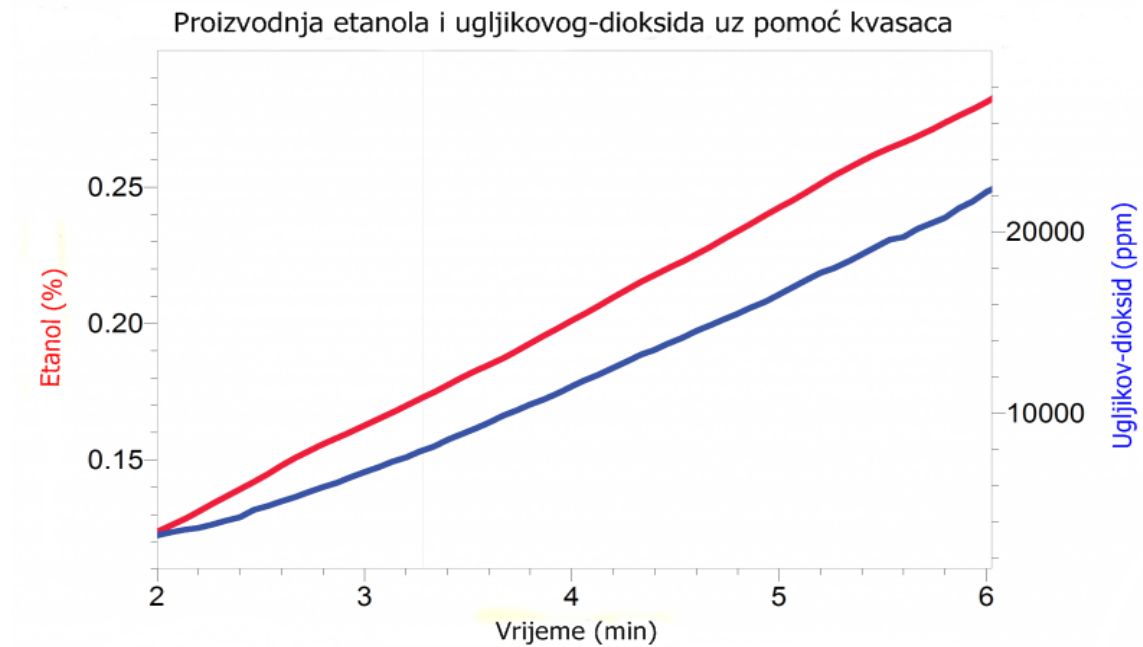
Usporedba brzine fermentacije za određene šećere



**Slika 32.** Rezultati određivanja brzine fermentacije monosaharida (1).

Nadalje, uz pomoć  $CO_2$  i etanolnog osjetila praćena je i količina nastalog

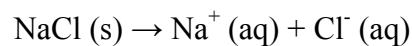
ugljkovog dioksida i etanola tijekom 6 minuta. Tijekom fermentacije, što je vrijeme odmicalo udio CO<sub>2</sub> i etanola je rastao. Na slici 33 se nalazi grafički prikaz rastuće proizvodnje etanola i ugljikovog dioksida.



**Slika 33.** Grafički prikaz dobivanja etanola i CO<sub>2</sub> procesom fermentacije (1).

## 2.5. Osjetilo za mjerenje provodnosti

Otapanjem ionskog spoja u vodi on disocira i rezultat je otopina koja provodi struju. Otapanjem soli natrijevog klorida u vodi dolazi do disocijacije njegovih iona prema jednadžbi:



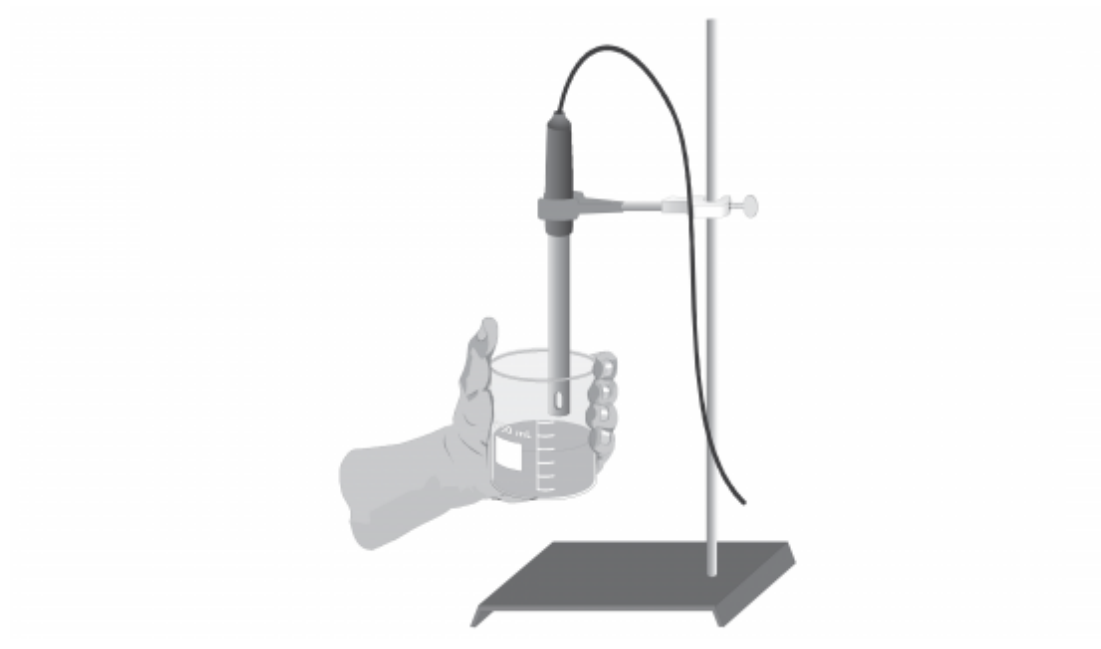
U ovom eksperimentu mjeri se učinak povećanja koncentracije ionskog spoja u otopini na njenu provodnost koja se mjeri kao koncentracija otopine i raste sa porastom broja dodanih kapi NaCl-a u otopinu. Eksperiment se radi sa tri otopine klorida, ali koristeći spojeve koji sadrže veći broj atoma klora u svojoj molekuli i to aluminij klorid (AlCl<sub>3</sub>) i kalcij klorid (CaCl<sub>2</sub>). Provodnost otopina mjeri se konduktometrom i izražava se u mikrosimensima po centimetru (μS/cm).

### Opis eksperimenta:

U ovom eksperimentu se uz pomoć konduktometra proučava utjecaj koncentracije soli na njenu provodnost. Za izvođenje eksperimenta potrebna je posuda s destiliranom vodom, bireta u kojoj se nalazi otopina soli, te miješalica koja omogućava kontinuirano miješanje sadržaja u otopini, te konduktometar koji se postavi da mjeri u intervalu od 0-2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

U čašu od 100 ml se ulije 70 ml destilirane vode, a u biretu postavljenu iznad čaše se ulije 1,0 M otopina NaCl. Izmjeri se provodnost čiste destilirane vode te se potom kap po kap dodaje otopina soli iz birete na način da se nakon dodatka svake kapi otopina dobro izmiješa te joj se izmjeri provodnost. Osim testiranja sa otopinom NaCl-a, ispituje se i dodatak otopine  $\text{AlCl}_3$  i  $\text{CaCl}_2$ . Potrebna oprema za ovaj eksperiment se postavi kao na slici 34.

Dobiveni rezultati prikazuju linearan porast u provodnosti otopine sa povećanjem broja kapi dodanih otopine soli. Iz nagiba dobivenih pravaca koji pokazuju tu ovisnost vidljivo je koja je od otopina soli bolji vodič.



**Slika 34.** Aparatura za mjerenje provodnosti (1)

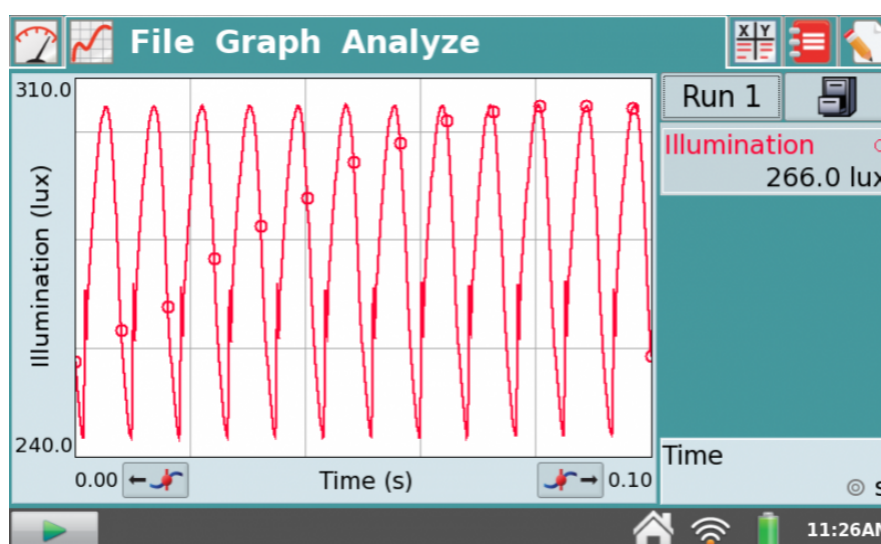
## 2.6. Primjena osjetila za mjerenje jačine svjetlosti

Osjetilo jačine svjetlosti moguće je koristiti u vrlo jednostavnom eksperimentu mjerenja jačine kućne svjetiljke, ali i za mjerenje jačine svijetla u različitim situacijama kao što su utvrđivanje treperenja fluorescentnih i ostalih svjetiljki, za proučavanje solarnih svjetiljki, refleksije svjetlosti, te mjerenja jačine svjetlosti u različitim dijelovima nekog objekta. Osjetilo jačine svjetlosti može se koristiti i za proučavanje potrebne svjetlosti za rast biljaka.

### Opis eksperimenta:

Za ovaj eksperiment proučavanje jačine svjetlosti korištenjem svjetlosnog osjetila, potrebna je kućna svjetiljka i LabQuest 2 uređaj, pomoću kojega ćemo dobiti grafički prikaz rezultata.

Brzina kojom se mjeri jačina svjetlosti kućne svjetiljke je 1000 uzoraka/s, a raspon svjetlosti je 0-600 luxa. Eksperiment se izvodi tako da se osjetilo jačine svjetlosti približili svjetiljci, te se svjetiljka uključi. LabQuest 2 očitava jačinu svjetlosti. U našem eksperimentu jačina svjetlosti koju je osjetilo za jačinu svjetlosti izmjerilo iznosila je 266.0 luxa. Raspon svjetlosti nam govori kakva je razina osvjetljenja kućne svjetiljke. Grafički prikaz rezultata se nalazi na slici 35.

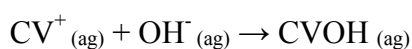


**Slika 35.** Grafički prikaz rezultata određivanja jakosti svjetla ( $I$ ).

## 2.7. Spektrometar

### 2.7.1. Mjerenje apsorbancije otopine bojila kristal violeta

Primarni cilj ovog eksperimenta je promatranje reakcije kristal violeta (gencijan violet) i natrijeva hidroksida, odnosno proučavanje potrebne koncentracije bojila za reakciju sa lužinom tijekom određenog vremenskog perioda. Pojednostavljena verzija jednadžbe je:



dok je opći oblik formule za ovu reakciju:

$$k[\text{CV}^+]^m [\text{OH}^-]^n$$

gdje je  $k$  konstanta reakcije,  $m$  red reakcije obzirom na kristal violet (gencijan violet), a  $n$  red u odnosu na hidroksid ion. Tijekom eksperimenta otopina kristal violeta će iz ljubičaste boje preći u prozirni produkt što se prati spektrofotometrom SpectroVis Plus. U konačnici se mjeri količina svjetla koju apsorbira otopina, a otopine veće koncentracije više će apsorbirati svjetlo nego li one niže koncentracije.

#### Opis eksperimenta:

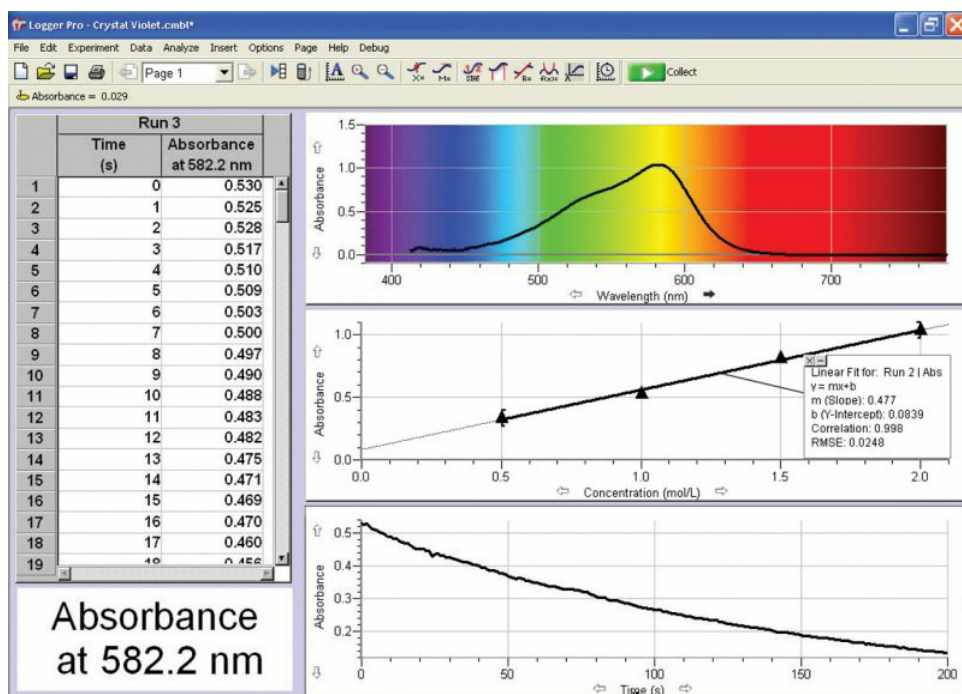
Prije samog eksperimenta instrument se kalibrirala destiliranom vodom. Za ovaj eksperiment nam je potrebno 10 mL 0,10 M otopine NaOH i 10 mL  $2,5 \times 10^{-5}$  M otopine kristal violeta.

Na početku eksperimenta snimi se cijeli spektar ljubičaste otopine čistog gencijan violeta (400-725 nm) iz kojeg se vidi da otopina najveću apsorbanciju (0,835) u žutom dijelu spektra pri valnoj duljini 582 nm. Prikaz rezultata se nalazi na slici 35.

Osim testiranja čiste otopine kristal violeta maksimalne koncentracije  $2,5 \times 10^{-5}$  M, također su testirane otopine nižih koncentracija i to: 0,5; 1,0; 1,5 i 2,0 M otopina. Što je koncentracija otopine bila veća to je i vrijednost izmjerene apsorbancije veća, pa kada se te dvije stvari stave u odnos dobije se linearan pravac kao na slici 35.

U drugom dijelu eksperimenta se pomiješaju otopine kristal violeta i hidroksida, otopina zbog dodatka NaOH postaje slabije obojana, te se smjesa ulije u kivetu (do 3/4 volumena). Kako je koncentracija NaOH je 1 000 puta veća nego koncentracija kristal violeta, tijekom eksperimenta se prati promjena apsorbancije kristal violeta.

Nakon što smo izmjerili apsorbanciju čistog gencijan violeta, otopinu smo pomiješali sa natrijevim hidroksidom (opis priprave otopine opisana je na početku eksperimenta). Pripravljenoj smjesi se ponovno mjeri apsorbancija odnosno njena promjena (eksponencijalni pad) pri valnoj duljini od 585 nm tijekom 200 sekundi. Na kraju se dobije grafički prikaz rezultata (slika 36).



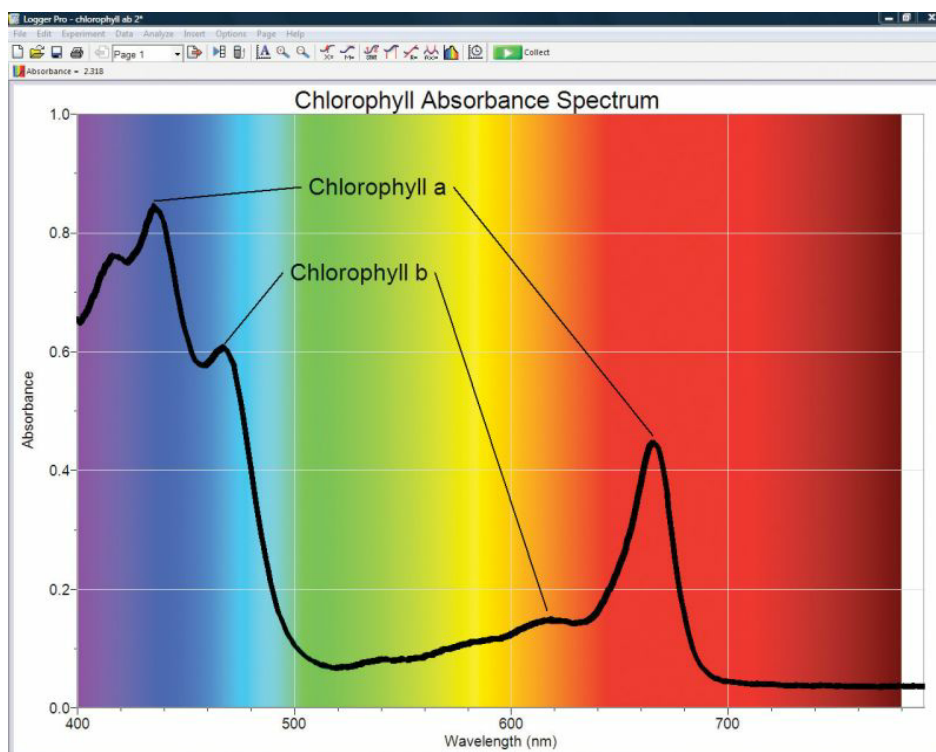
**Slika 36.** Prikaz rezultata mjerenja apsorbancije otopina kristal violeta (*I*).

## 2.7.2. Mjerenje apsorpcije klorofila

Klorofil je zeleni biljni pigment koji apsorbira nekoliko valnih duljina svjetlosti. Najveća apsorpcija je u plavom području spektra (400-500 nm) te u žuto-crvenom području (600-700 nm). Kombinacija tih valnih duljina rezultira zelenom bojom vidljivom ljudskom oku, ali različiti međusobni omjeri vrsta klorofila mogu stvoriti nijanse zelene boje. U biljkama su prisutni razni klorofili: klorofil a, b, c, te drugi. U ovom eksperimentu ćemo mjeriti apsorpciju klorofila izoliranog iz listova špinata, i to klorofila a (zeleno-žuta boja) i klorofila b (žuto-zelena boja).

### Opis eksperimenta:

Za ovaj eksperiment je potrebno 0,5 grama svježeg špinata i 20 mL 70%-tnog izopropanola za ekstrakciju klorofila a, dok je klorofil b komercijalno nabavljen. Dobiveni ekstrakt se ulije u kivete te se snima spektar za obje otopine (klorofil a i b) korištenjem SpectroVis Plus spektrometra. Kako bi se razlike bolje uočile oba spektra su prikazana na istom grafu (slika 37)



**Slika 37.** Grafički prikaz spektra klorofila a i b (*1*).



Na prikazanoj slici 37 možemo primijetiti da je klorofil a (zelene boje) maksimalno apsorbirao svjetlo na valnoj duljini 430 nm i 662 nm, a klorofil b (žuto-zelene boje) maksimalnu apsorpciju svjetla ima na valnim duljinama 453 nm i 642 nm.

### 3. LITERATURA

- (1) URL: [www.vernier.com](http://www.vernier.com)
- (2) URL: [www.weekepedia.com](http://www.weekepedia.com) (Pristupljeno 30. srpnja 2016.)
- (3) URL: <http://eskola.chem.pmf.hr/> (Pristupljeno 08. lipnja 2016.)
- (4) URL: <http://www.fer.unizg.hr/> (Pristupljeno 16. srpnja 2016.)
- (5) URL: [http://www.periodni.com/enig/potenciometrijski\\_senzori.html](http://www.periodni.com/enig/potenciometrijski_senzori.html) (Pristupljeno 20. srpnja 2016.)
- (6) URL: [https://www.pmf.unizg.hr/\\_download/repository/5\\_AK2\\_ekstr\\_krom\\_elektro.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/5_AK2_ekstr_krom_elektro.pdf) (Pristupljeno 29. srpnja 2016.)
- (7) Piljac I. Senzori fizikalnih veličina i elektroanalitičke metode, Zagreb, PBF, 2010, 593-606.
- (8) URL: [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/Spektroskopija.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Spektroskopija.pdf) (Pristupljeno 18. kolovoza 2016.)