

# Pokusi sa svijećom i mjerenja u nastavi kemije

---

**Bilić, Nikolina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:601377>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Kemijski odsjek

Nikolina Bilić

# **Pokusi sa svijećom i mjerenja u nastavi kemije**

## **Diplomski rad**

predložen Kemijskom odsjeku

Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

radi stjecanja akademskog zvanja

profesorice fizike i kemije

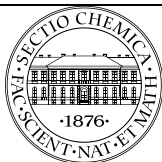
Zagreb, 2019. godina

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zavodu za opću i anorgansku kemiju Kemijskog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom i neposrednim vodstvom izv. prof. dr. sc. Nenada Judaša.

Zahvaljujem mojim roditeljima na dugogodišnjoj podršci, vjeri u mene i strpljenju da ovaj dio svog školovanja privedem kraju.

Hvala mome mentoru, profesoru Judašu na vremenu provedenom u diskusijama te na iznimnom strpljenju i trudu uloženom u pripremu ovog rada.

Hvala Natko!



## SAŽETAK

### **Pokusi sa svijećom i mjerenja u nastavi kemije**

Nikolina Bilić

Jedan od temeljnih ciljeva istraživanja na području kemijskog obrazovanja je spoznavanje dinamike kojom učenici razvijaju (usvajaju) temeljne kemijske pojmove i vještine.

Tijekom učenja kemije, ali i drugih prirodoslovnih predmeta, učenici trebaju učiti i naučiti što je znanost i kako znanstvenici dolaze do novih spoznaja. Jednostavno rečeno, cilj je uputiti učenike u znanstveni način rješavanja problema i donošenja zaključaka.

Da bi to bilo moguće, nastava kemije (kao i ostalih prirodoslovnih predmeta) mora biti utemeljena na pokusima. Na žalost, u praksi često nije tako. Uzroci takvom stanju su različiti.

U ovom diplomskom radu ponuđena je drugačija nastavna uporaba poznatog pokus sa svijećom koja gori u plitici s vodom pa bude poklopljena čašom da se ugasi. Prijedlog se temelji na nastavnoj strategiji učenja otkrivanjem i predstavlja izravnu vježbu učenika u primjeni znanstvene metodologije. Takav pristup omogućuje učenicima da na jednostavan način istraže što se zbiva, obave sustavna mjerenja, analiziraju prikupljene podatke i tako dođu do ispravnog tumačenja rezultata.

72 (50+22) stranice, 6 slika, 36 tablica, 85 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u Središnjoj kemijskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 102a, Zagreb i Repozitoriju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

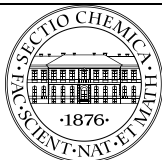
**Ključne riječi:** pokus sa svijećom, sagorijevanje, mjerenja, nastava kemije

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš, KO PMF SuZ

**Ocjenitelji:**

1. izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš, KO PMF SuZ
  2. izv. prof. dr. sc. Iva Juranović Cindrić, KO PMF SuZ
  3. doc. dr. sc. Dalibor Paar, FO PMF SuZ
  4. doc. dr. sc., Željko Skoko, FO PMF SuZ
- Zamjena: izv. prof. dr. sc. Branimir Bertoša, KO PMF SuZ  
Zamjena: dr. sc. Katarina Jeličić, pred., FO PMF SuZ

**Datum diplomskog ispita:** 30. rujna 2019.



## ABSTRACT

### **Candle experiments and measuring in chemistry teaching**

Nikolina Bilić

One of the main goals of research in chemical education is to recognize dynamics of students' learning and reception of knowledge – basic concepts and skills. Teaching chemistry, as well as other natural sciences subjects, meant to introduce students to science and scientific methodology – to teach them problem solving skills and establish proper conclusions.

This is easily enabled when experiments are central part of the classroom. Unfortunately, in many cases this is not everyday teaching practice caused by various reasons.

This diploma thesis gives a different usage of wellknown candle under jar experiment. Teaching strategy is based on guided-inquiry learning and represents an introduction to the scientific methodology. This kind of approach enables students to explore, measure and analyze data and establish proper conclusions.

72 (50+22) pages, 6 figures, 36 tables, 85 references, original in Croatian

Thesis deposited in Central Chemical Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, Zagreb, Croatia and in Repository of the Faculty of Science, University of Zagreb

Keywords: candle experiment, combustion, measurements, chemistry education

Mentor: dr. sc. Nenad Judaš, Associate Professor, FoS UniZg

#### Reviewers

1. dr. sc. Nenad Judaš, Associate Professor, FoS UniZg
  2. dr. sc. Iva Juranović Cindrić, Professor, FoS UniZg
  3. dr. sc. Dalibor Paar, Assistant Professor, FoS UniZg
  4. dr. sc. Željko Skoko, Assistant Professor, FoS UniZg
- Substitute: dr. sc. Branimir Bertoša, Professor, FoS UniZg  
Substitute: dr. sc. Katarina Jeličić, lecturer, FoS UniZg

Date of the exam: September 30<sup>th</sup> 2019

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LITERATURNI PREGLED</b> .....	<b>3</b>
<b>1. 2.1. PREGLED POVIJESTI POKUSA SA SVIJEĆOM</b> .....	<b>4</b>
2.2. O POKUSU SA SVIJEĆOM U 20. STOLJEĆU .....	11
2.2.1. <i>Nepotpuno sagorijevanje svijeće</i> .....	12
2.2.2. <i>Modifikacije pokusa sa svijećom</i> .....	13
2.2.2.1. Glanz (1963.) <sup>20</sup> .....	13
2.2.2.2. Peckham (1993.) <sup>21</sup> .....	14
2.2.2.3. Hodking (1995.) <sup>22</sup> .....	15
2.2.2.4. Birk i Lawson (1999.) <sup>23</sup> .....	15
2.2.2.5. Kernel i Glažar (2001.) <sup>18</sup> .....	16
2.2.2.6. Dhindsa (2005.) <sup>19</sup> .....	16
2.2.3. <i>Upotreba pokusa sa svijećom u nastavi</i> .....	18
2.2.4. <i>Ciljevi nastave prirodnih znanosti u Hrvatskoj</i> .....	19
2.2.4.1. Nastavni predmet Priroda i društvo .....	20
2.2.4.2. Nastavni predmet Kemija .....	21
2.2.4.3. Nastavni predmet Fizika: .....	21
2.2.5. <i>Analiza udžbenika</i> .....	22
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	<b>25</b>
3.1. OPĆI OPIS POKUSA .....	26
3.2. VARIJANTA POKUSA 1 .....	26
3.3. VARIJANTA POKUSA 2 .....	26
3.4. VARIJANTA POKUSA 3 .....	27
3.5. IZRADA BAŽDARNOG DIJAGRAMA .....	27
<b>4. REZULTATI</b> .....	<b>28</b>
<b>5. RASPRAVA</b> .....	<b>37</b>
5.1. PRIJEDLOG UPORABE POKUSA SA SVIJEĆOM U NASTAVI .....	38
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>43</b>
<b>7. LITERATURNI IZVORI</b> .....	<b>46</b>
<b>8. DODATAK</b> .....	<b>VII</b>
<b>9. ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>XXI</b>

## **1. UVOD**



Srž poučavanja kemije je poučavanje temeljnih kemijskih pojmova. Ti su pojmovi središnji elementi oko kojih treba organizirati i osmisliti nastavu, a odnosi među njima su specifični. Često se bit sljedećeg pojma ne može razumjeti, ako prethodni pojam nije dobro shvaćen. Zbog toga, nastava kao proces ne može napredovati – ne može se usvajati nove pojmove, ako nije usvojen za njih prethodeći temeljni pojam. Stoga je, jedan od temeljnih ciljeva istraživanja na području kemijskog obrazovanja spoznavanje dinamike kojom učenici razvijaju (usvajaju) temeljne kemijske pojmove i vještine. Sama dinamika ovisi o strategijama i metodama poučavanja.

Osim toga, tijekom učenja kemije, ali i drugih prirodoznanstvenih predmeta, učenici bi trebali učiti i naučiti što je znanost i kako znanstvenici dolaze do novih spoznaja. Jednostavno rečeno, cilj je uputiti učenike u znanstveni način rješavanja problema i donošenja zaključaka.

No, da bi to bilo moguće, nastava kemije (kao i ostalih prirodoznanstvenih predmeta) mora biti utemeljena na pokusima. Na žalost, u praksi često nije tako. Uzroci takvom stanju su različiti, ali se uglavnom svode na dvije riječi: skupo i opasno. Je li moguće riješiti taj problem?

Valja napomenuti i da pokusi, koji su opisani u udžbenicima, najčešće nisu pogodni za nastavu kemije koja se u hrvatskim školama još uvijek često provodi u nespecijaliziranim učionicama. Zbog svega toga, pokuse je potrebno preraditi i u nastavi uporabiti na kvalitetan način, tj. uporabiti ih za postizanje smislenih i ostvarivih nastavnih ciljeva koji su usklađeni s općim ciljevima školovanja i omogućuju razvoj kritičkog i kreativnog mišljenja.

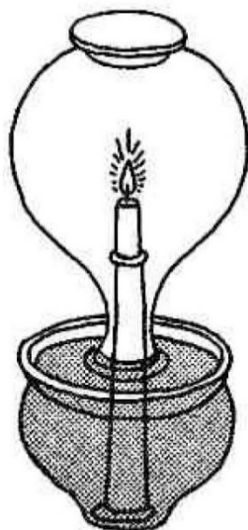
Na žalost, ima pokusa koji su jednostavni, jeftini i bezopasni, ali su u praksi često uporabljani u pogrešne svrhe.

Takav je i poznati pokus sa svijećom koja gori u plitici s vodom pa bude poklopljena čašom da se ugasi. Ovaj pokus jedan je od zlorabljnijih, a uglavnom i pogrešno tumačenih, pokusa u nastavnoj praksi općenito. Više je autora i skupina autora koje su se do sada bavile ovom tematikom i ponudile različita tumačenja rezultata pokusa i različite načine njegove izvedbe. U ovom diplomskom radu bit će opisan novi način uporabe ovog pokusa u nastavi, a predstavlja izravnu vježbu učenika u primjeni znanstvene metode. Taj pristup omogućuje učenicima da na jednostavan način istraže što se zbiva i pri tome obave sustavna mjerenja te analiziraju prikupljene podatke i tako dođu do ispravnog tumačenja rezultata.

## **2. LITERATURNI PREGLED**

## 2.1. PREGLED POVIJESTI POKUSA SA SVIJEĆOM

Povijest pokusa u kojem se zapaljena svijeća u plitici s vodom pokriva čašom seže još u antičku Grčku kada je, pretpostavlja se prvi, Filon iz Bizanta (3. stoljeće pr. Kr.) izveo pokus i zabilježio zapažanja (slika 1). Filon iz Bizanta zaključuje da je „*vatra zrak u posudi iznad svijeće, tako reći, otopila, pa se voda podigla da ispuni prostor što ga je zauzimao zrak, da ne bi poslije njega ostala praznina*”.<sup>1</sup> O Filonovom pokusu saznajemo iz *Pneumatike*, Herona iz Aleksandrije (1. stoljeće) koji također opisuje sagorijevanje i navodi „*da tijela, uslijed gorenja, vatra pretvara u sitne elementarne čestice – vodu, zrak i zemlju. Dokaz tome je vidljiv iz ugljenog ostatka koji se, iako zauzima jednak ili manji prostor nego prije gorenja, uvelike razlikuje s obzirom na masu koju je materijal imao na početku*.”<sup>2</sup>



Slika 1. Prikaz Filonovog pokusa (reproducirano iz literaturnog navoda broj 3)

Pretpostavlja se da je Filonov opis pokusa sa svijećom bio poznat i u latinskom Srednjem vijeku, a najvećem širenju doprinosi Averroes, španjolski filozof znan i kao Ibn Rushd (12. stoljeće), koji je tumačio Aristotela (grčki filozof, 4. stoljeće pr. Kr.). Iz Averroesovih komentara Aristotelove knjige *De caelo* saznajemo kako se Temistije (grčki filozof, 4. stoljeće) nije slagao s Aristotelom da se zrak lakše kreće do mjesta vode nego voda do mjesta zraka. Također saznajemo da se Temistije nije slagao ni s Aleksandrom iz Afrodizije (grčki filozof, 3. stoljeće), također komentatorom Aristotelovih djela.

Prema Temistiju, kad se trska postavi u vodu pa se zrak usisa, voda se podiže jer su površine vode i zraka vlažne i sjedinjene tako da dokle god se zrak usisava prema gore on povlači vodu za sobom. Ni zrak ni voda ne mogu se uzdići i povući zemlju prema gore, a prema Temistiju, suhoća zemlje onemogućuje sjedinjenje njezine površine s vlažnom površinom zraka (ili vode) pa će voda na dnu zagrijane posude vjerojatno porasti, jer će je ulazni zrak silovito povući.

Averroes ovdje uvodi pokus sa svijećom i primjećuje kako ni Temistije ni Aleksandar iz Afrodizije ne objašnjavaju zašto i pod kojim uvjetima voda u zagrijanoj posudi raste, a zrak ne. Pokus izvodi na drugačiji način nego Filon: on posudu sa svijećom prekriva čašom, ali toj čaši poklopcem prekriva otvor, tako poklopljenu čašu preokreće iznad svijeće i u tom trenutku uklanja poklopac da bi s njom poklopio svijeću. Voda će se pod čašom podići iako dodatni zrak nije ušao u čašu, niti je zatvoreni zrak iz nje izašao. Odbacivši Temistijevo objašnjenje prema kojem zrak nad vodom privlači vodu nudi tri moguća tumačenja koja se temelje na ideji da će plamen svijeće pretvoriti dio okolnog zraka u vatru, koja će se tada uzdići do vrha čaše. Ako je čaša uspravna, a plamen svijeće blizu otvora, zrak, koji je pretvoren u vatru, će se podizati do otvora čaše i skupljati ispod poklopca. Ostatak zraka, koji nije pretvoren u vatru, skupljat će se ispod plamena svijeće. U slučaju kad se poklopljena čaša odmah preokrene preko svijeće i ukloni poklopac, zrak pretvoren u vatru podiže se do vrha, tj. do pravog dna čaše kao i novonastala vatra stvorena od zraka oko plamena sve dok se plamen ne uguši. Kako je otvor čaše uronjen ispod površine vode i novi zrak ne može ući, voda će se uzdići te popuniti upražnjeno mjesto nastalo podizanjem vatrene materije koja se podigla do vrha preokrenute čaše. Time se spriječi nastajanje vakuuma. Kao još jednu mogućnost Averroes navodi Alexandrovo tumačenje prema kojem se vatreni dio zraka hladi, dok se čaša preokreće nad vodom, pa se zrak unutar čaše steže i zauzima manje mjesta uzrokujući da se voda digna i odmah popuni potencijalnu prazninu. Na taj način voda u porastu spriječava nastajanje vakuuma.<sup>3</sup>

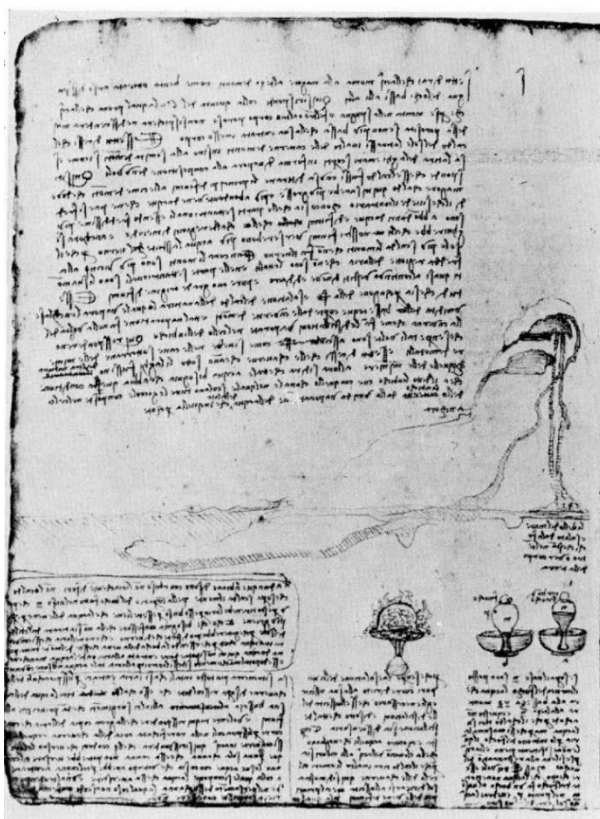
Sto godina nakon Averroesa i Petar od Auvergne, (13. stoljeće) francuski filozof i teolog, komentira Aristotela te se osvrće na pokus sa svijećom. Komentirajući, također, Aristotelovo djelo *De caelo* Petar postavlja pitanje zašto se voda podiže kad se svijeća stavi u vodu (s fitiljem iznad razine vode), a čaša se okrene naopako iznad svijeće. Predlaže dva objašnjenja (oba su pogrešna):

- 1) Aleksandar Arodizijski tvrdi da je zrak u čaši rijedak zbog topline, a da je zbog hladnoće voda aktivna prema zraku te ga uništava. Stoga zraka ima manje nego prije i posljedično zauzima manje prostora, a voda se podiže da bi se spriječilo nastajanje vakuuma. Petar navodi kako se Averroes ne slaže s tim objašnjenjem već tvrdi da kad se topla voda nalazi u posudi, voda se također podiže što ne bi bio slučaj da podizanje vode ovisi o njezinoj temperaturi.
- 2) Drugi autori smatraju da je u početku zrak povučen zbog hladnoće vode. Zrak zbog skupljanja zauzima manje mjesta te za sobom povlači vodu. Kako se zrak skuplja, voda se ubrzano podiže sve dok svojom vlažnošću ne ugasi svijeću. Petar ne prihvaća ovo objašnjenje.

Ako bi voda ubrzano pomicala zrak to bi gibanje bilo nasilno. S obzirom na to da ništa ne može opstati protivno prirodnim sklonostima voda, koja je *teška*, neće ostati zadugo na mjestu zraka. Međutim, Petar primjećuje da voda ostaje na dnu čaše nakon što se svijeća ugasila. Slijedeći Averroesa, Petar tvrdi da se voda uspinje *kombiniranom snagom* vode, zraka i čaše te da se zrak ugrijan plamenom svijeće podiže više. Dodaje i komentar, koji se ne nalazi kod Averroesa – budući da zrak ne može napustiti čašu zbog snage čaše, zrak se okreće sebi i stiže te zauzima manje prostora. Poput Averroesa i Petar potvrđuje Aleksandrovo objašnjenje koje je prethodno odbio da hladnoća vode može brzo zgusnuti zrak, jer topli zrak *lako podnosi radnje*. Kako zrak zauzima manje prostora, voda ulazi. Voda se uspinje kada je tijelo koje se kreće (zrak) jače u kretanju nego voda u mirovanju. Petar objašnjava i dvije verzije pokusa sa svijećama. Pokušava objasniti Aristotelovu tvrdnju da se zemlja ne podiže u zagrijanoj čaši. Zemlja se neće podići, jer vatra u čaši ne posjeduje veću snagu za kretanje od zemlje u mirovanju. Ako bi vatra imala veću snagu, ili bi se čaša razbila ili bi se zemlja podigla. U drugoj verziji pokusa svijeća je postavljena izvan čaše (ali blizu nje), a razina vode se smanjila. Petar objašnjava da se zrak u čaši zagrijava toplinom vanjske vatre, postaje rjeđi i zauzima veći prostor. Kao posljedica, razina vode ispod čaše se spušta. Tvrdi da je toplina svijeće uzrok razrijeđenja zraka, a posljedica je kretanje vode prema dolje.<sup>4</sup>

U svojim rukopisima Leonardo da Vinci (15. stoljeće) spominje gorenje svijeće ili ugljena ispod posude uz razne modifikacije i objašnjenja na više mjesta. U *Atlantskom Kodeksu* na tri se mjesta nalazi crtež preokrenute posude iznad vode. Uz crtež stoji kratko objašnjenje: „*Zapaljeni ugljen na dnu posude imat će snagu ispuniti je vodom*”. Skoro identičan crtež nalazi se na drugom mjestu uz napomenu: „*Uzmi posudu i postavi je naopako u zdjelu s vodom, na dno postavi zapaljeni ugljen. Ta toplina ima takvu snagu da će se voda podići i ispuniti posudu*”. Na trećem mjestu također se nalazi sličan crtež, ali ovog puta bez ikakvog objašnjenja. U *Kodeksu francuskog instituta (Kodeks A)* nalazimo crtež preokrenute posude s napomenom: „*Ako se uzme instrument rf i zagrijava na vrhu voda će prijeći od fr i penjući se prijeći u a*”. U *Leicesterskom Kodeksu* (slika 2, str. 7) nalazi se detaljniji crtež koji sadrži skicu pokusa na početku i na kraju uz napomenu: „*Ako se zapaljeni ugljen stavi u posudu n, voda koja doseže razinu rs porast će do razine n što se ne događa zato jer toplina povlači vlagu, već zbog toga što je zrak potrošen uvođenjem vatre koje nema u suvišku – voda raste da bi nadomjestila vakuum. Ako želimo biti sigurni da vodu ne privlači vatra napravimo rupu na posudi m na mjestu p i vidjet ćemo da se voda neće pomaknuti sa svog mjesta*”. Iz navedenih crteža i

objašnjenja može se zaključiti da je Leonardo zapravo prvi ispravno interpretirao Filonov pokus.<sup>5</sup>



Slika 2. Crtež koji je Leonardo da Vinci napravio o pokusu sa svijećom. Preuzeto iz literaturnog navoda broj 5.

Engleski filozof i pobornik primjene pokusa za istraživanje prirodnih fenomena Francis Bacon (16. stoljeće)<sup>1</sup> u svojem *Novom organonu*, u drugoj knjizi, poglavlju 50, u kojem govori o zatvorenim sustavima u kojima se plinovita tijela i zrak razrijeđeni visokim stupnjem topline ne mogu zadržati u zatvorenim posudama već bježe kroz njihove sitne pore. Za to navodi pokus sa svijećom kao primjer. Objasnjavajući pokus ukazuje na pogrešno tumačenje kako zagrijani zrak izlazi iz posude, jer je razrijeđen pa se smanjuje u količini, a razlog je zapravo taj što se smanjuje u prostoru prilikom čega se voda počinje uspinjati tek kad se plamen ugasi, a zrak ohladi.<sup>6</sup>

U knjizi *The works of Francis Bacon, baron of Verlam, viscount St. Alban and lord high cacellor of England* nalazimo vrlo detaljan opis *Pokusa samostalnog podizanja vode pomoću plamena* i s njim povezana opažanja. Pokus je detaljno opisan od njegovog samog početka te se navodi da će se voda podići odmah po spuštanju čaše preko svijeće što se često pogrešno pripisuje povlačenju topline, a zapravo je razlog podizanja vode gibanje fluida da bi se spriječio vakuum. Čim se svijeća prekrije, plamen se počne gušiti zrakom koji ne podržava gorenje te se

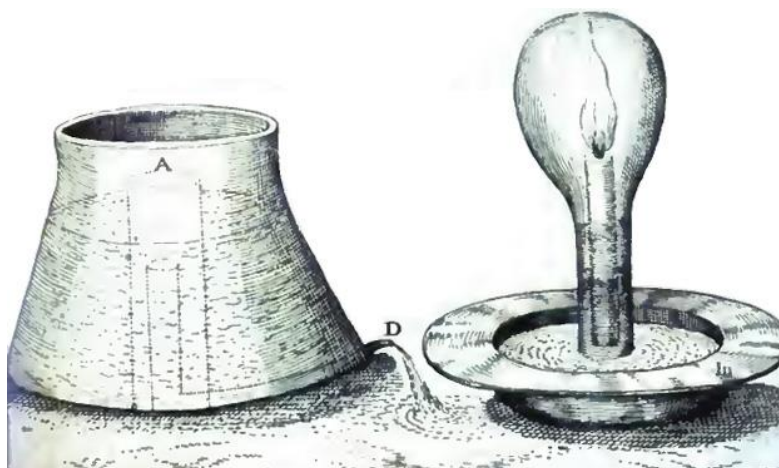
pomalo smanjuje, a za to vrijeme dolazi do manjeg podizanja razine vode jer plamen, kako se smanjuje, zauzima sve manje prostora te se voda uspijeva podići. U trenutku kad se plamen ugasi, naglo se podiže velika količina vode, jer plamen više ne zauzima prostor, a voda i zrak dolaze na njegovo mjesto. Dalje se navodi kako će se isti učinak postići kad se u posudu umjesto vode stave brašno ili pijesak.<sup>7</sup>

Iako nije ciljano proučavao pokus sa svijećom, talijanski znanstvenik Galileo Galilei (17. stoljeće) bavio se termoskopom. Termoskop se sastoji od šuplje staklene kugle s uskim staklenim cilindrom čiji je otvor uronjen u vodu u donjoj posudi. Ako se temperatura staklene kugle najprije povećava te se zatim kraj staklenog cilindra uroni u vodu, prilikom hlađenja zraka u kugli razina vode u cilindru raste. Termoskop radi na principu termičkog skupljanja toplog zraka u gornjoj posudi (staklenoj kugli) uzrokujući razliku tlakova prilikom čega se voda podiže kroz uski cilindar.<sup>8</sup> Sličan pokus predložio je ranije spomenuti Petar od Auvergne s razlikom da Petar staklenu posudu uranja u vodu prije zagrijavanja pa se zagrijavanjem posude razina vode u donjoj posudi smanjuje, dok Galileo Galilei uranja već zagrijanu posudu u vodu te se prilikom hlađenja razina vode podiže.<sup>1</sup>

Za nizozemskog kemičara Jana Baptista van Helmonta (17. stoljeće) voda je imala poseban značaj, jer ju je smatrao jednim od dva počela. Za zrak (drugo počelo) je smatrao da se u njemu pojave događaju i da od njega ništa drugo ne nastaje. U poznatom pokusu s vrbom izvagao je mladicu vrbe i zasadio je u posudu koja je sadržavala prethodno izvaganu količinu zemlje te ju je redovito zalijevao kišnicom. Nakon pet godina van Helmont je ustanovio da se masa zemlje nije promijenila, ali da se masa vrbe znatno povećala. Na temelju opažanja zaključio je da je voda kemijski element, ali i da zemlja to nije – jer je zemlja očito nastala iz vode. Na zrak nije obraćao pozornost, jer ga je smatrao prelaganim da bi se mogao usporediti s vodom. Iako je van Helmont prepoznao ugljikov dioksid kao plin različit od zraka nije shvatio ulogu koju plinovi imaju u rastu biljaka.<sup>1</sup> Neki od van Helmontovih zaključaka bili bi potpuno drugačiji da je imao potrebnu aparaturu za skupljanje i ispitivanje plinova (kasnije su to učinili pneumatski kemičari), ali ga je njegov pokus sa svijećom približio potrebnoj aparaturi i začeo put prema pneumatskoj kemiji.<sup>9</sup> Van Helmont opisuje pokus paljenja svijeće u čaši iznad vode u kojem se voda podigne i plamen ugasi. Prodiranje vode uzrokovano je potrošnjom dijela zraka: „*U zraku je nešto manje od tijela koje ispunjava prazninu i potpuno je uništeno vatrom*”. Do kontrakcije volumena dolazi zato što dim iz plamena svijeće sažima praznine koje su po prirodi stvari prisutne u zraku – zrak je tako građen da može primiti druge isparine (pare). I zrak u rudnicima,

koji je zasićen *isparinama* minerala, gasi plamen. Sve to pokazuje da je vakuum, koji je Aristotel smatrao nemogućim, nešto sasvim uobičajeno.<sup>10</sup>

Smatra se da je engleski filozof i liječnik Robert Fludd (17. stoljeće) bio prvi liječnik koji je pokušao objasniti patologiju u smislu demonstracijskih pokusa. U djelu *U triusque cosmi majoris scilicet et minoris metaphysica physica atque technica historia in duo voluminac secundum, cosmi diferenciam divisam* (Oppenheim, 1618.) nalazi se ilustracija svijeće koja gori ispod preokrenute boce (slika 3). Uz crtež je dano i objašnjenje: „voda ulazi u bocu proporcionalno potrošenom zraku, jer zrak hrani vatru. Ako je zrak evakuiran u zatvorenom prostoru ili potrošen, prazni prostor mora biti ispunjen novim tijelom.” U djelu *Integrum Morborum Mysteriorum sive Medicinae Catholicae* također se nalazi crtež pokusa koji ovom prilikom koristi za objašnjenje podrijetla „ludosti”.<sup>11</sup>



**Slika 3.** Ilustracija pokusa sa svijećom koju je napravio Robert Fludd (Oppenheim, 1618.).

Irac Robert Boyle (17. stoljeće) bavio se pokusom sa svijećom, ali za razliku od svojih prethodnika, nije istraživao uzrok podizanja razine vode, već se koncentrirao na vezu između gorenja i disanja. Boyle je zatvorio miša u staklenku te je u njoj upalio svijeću, a zatim zračnom sisaljkom isisao zrak iz staklenke. Svijeća se ugasila, a miš je umro skoro istog trena, čime je naizgled pokazano da se izgaranje i disanje oslanjaju na isti sastojak zraka i da su prema tome to slični procesi. Pokus je rađen sa isisavanjem zraka i bez isisavanja zraka te je opaženo da u posudi u kojoj zrak nije isisan svijeća gori pola do dvije minute, dok miš preživi šest minuta. Nadalje, svijeća postavljena u posudi sa isisanim zrakom ne gori, dok miš u istoj takvoj posudi može živjeti neko vrijeme. Podatci su ukazivali da miš može živjeti dvostruko dulje od plamena svijeće. U Boyleovim zapisima nema niti jednog pokusa u kojem su svijeća i miš zatvoreni pod istom posudom iz koje je isisan zrak. Thomas Hook (17. stoljeće), suvremenik Roberta Boylea i dizajner zračne sisaljke, predložio je da se rješenje problema potraži posebnim pokusom. Prvi



zabilježeni kombinirani pokus gorenja i disanja bio je pokus s pilićem i svijećom, a rezultati su odgovali Boyleovom pokus sa svijećom i mišem u zasebnim posudama, ali se nisu slagali s njegovim zaključcima. Ni u pokusu sa svijećom i mišem, ni u pokusu sa svijećom i pilićem, ni Boyle, ni Hook nisu čekali završetak pokusa u smislu da mjere koliko dugo životinja može živjeti nakon što se svijeća ugasi.

Boyle je gotovo ispravno poimao sličnosti i razlike između gorenja i disanja, no bio je neodlučan između najmanje dva tumačenja. Ipak, činjenica da je jedno od njih točno daje mu značajno mjesto među znanstvenicima 17. stoljeća.<sup>12</sup>

Potrebno je spomenuti i Boyleov zakon koji je postavio 1662. godine.

*Volumen koji plin zauzima obrnuto je razmjeran tlaku pod kojim se nalazi, odnosno, umnožak volumena i tlaka plina postojan je pri danoj temperaturi.*<sup>1</sup>

Engleski znanstvenik John Mayow (17. stoljeće), Boyleov suvremenik, iako je diplomirao pravo za profesiju je odabrao medicinu. Privlačio ga je problem sagorijevanja, a pokusi koje je proveo i opažanja doveli su ga do zaključaka koje je sto godina kasnije previdio i Lavoisier. Mayow je pretpostavio: „*potrebno je priznati da je nešto iz zraka, što god to bilo, potrebno za stvaranje bilo kakvog plamena – činjenica zbog koje su Boyleovi pokusi stavljeni izvan svake sumnje, jer je tim pokusima utvrđeno da se upaljena svijeća gasi mnogo sporije u čaši koja ne sadrži zrak od one svijeće koja se nalazi u čaši koja je napunjena zrakom, potvrđuje da se plamen ugasi, jer je lišen svoje hrane iz zraka. Na drugom mjestu bilo bi razumno pretpostaviti da su vatrene čestice zraka potrebne kao podrška plamenu koji je vezan u salitri i čini njegov aktivniji i vatrenciji dio, treba napomenuti da se salitra pomiješana sa sumporom razlaže dovoljno lako u čaši koja ne sadrži zrak.*”

Mayow je radio pokus zagrijavanja antimona u zraku i ustanovio povećanje mase krutine i smanjenje volumena zraka te je naveo: „*Možemo li objasniti povećanje mase ičime drugim osim spajanjem s nečim što je prisutno u zraku.*” Smanjenje volumena (mase) zraka primijetio je i u pokusu s mišem.<sup>13</sup> Miša je smjestio u posudu i zatvorio je vlažnim svinjskim mjehurom. Dok je miš još živio, razapeti mjehur uvlačio se u posudu jer je miš disanjem trošio zrak. U pokusu s mišem, koji je pokriven staklenim zvonom iznad vode, izmjerio je da se volumen zraka smanji za jednu četvrtinu.<sup>1</sup>

Joseph Priestley (18. stoljeće), engleski znanstvenik čiji je rad najviše doprinio kemiji plinova i otkriću kisika, također je koristio pokus s mišem. Nad posudama s vodom postavio je dva miša te ih prekrpio staklenim cilindrima. Jedan cilindar bio je ispunjen običnim zrakom, dok je drugi bio ispunjen kisikom. Miš pod cilindrom s običnim zrakom ostao je bez svijesti nakon 15

minuta te je, unatoč tome što ga je Priestley odmah izvukao, uginuo. Drugi miš, koji se nalazio ispod cilindra s kisikom bio je vrlo živahan, ali se nakon pola sata počeo čudno ponašati. Ovaj miš također je izvučen van, ali je pokus za njega bio toliko stresan da je i on uginuo. Priestleyeovo zapažanje je bilo to da novi zrak (kisik) drži miša na životu dulje nego običan zrak te ga je nazvao *deflogistoniranim zrakom*.<sup>14</sup>

Utemeljitelj suvremene kemije, francuski znanstvenik Antoine Lavoisier (18. stoljeće) također je proučavao pokus sa svijećom i njegove razne modifikacije. U svojim *Mémoire sur la combustion des chandelles dans l'air atmosphérique, et dans l'air éminemment respirable* iz 1777. godine zabilježio je da prilikom spuštanja staklenog zvana preko zapaljene svijeće gotovo uvijek bježi zrak iz zvona te više nema dovoljno zraka u zvonu da se uravnoteži s atmosferskim tlakom pa je i nemoguće znati početnu količinu zraka s kojim se radi, a samim time i je li zaista došlo do smanjenja volumena zraka i za koliko.<sup>15</sup> Nepouzdanost pokusa sa svijećom navela ga je da osmisli novi pokus o zraku kao smjesi dušika i kisika. U retorti, koja je svojim dva puta svinutim grlom bila spojena sa zrakom pod staklenim zvonom iznad žive u pneumatskoj kadi grijao je živu, 4 unce (oko 120 g), dvanaest dana pri temperaturi nešto nižoj od njezinog vrelišta. Ukupni obujam zraka od 50 kubičnih palca (oko 0,88 L) s početka pokusa smanjio se na 42 kubična palca. Na živinoj površini u retorti izlučio se živin oksid, 45 grena (oko 2,9 g), kojeg je pažljivo sabrao i zagrijao, raspao se na 41,5 grena žive i 8 do 9 kubična palca kisika koji je, pomiješan s dobivenim dušikom opet dao atmosferski zrak. Nalaz da kisik zauzima jednu šestinu obujma zraka, bio je prosjek rezultata većeg broja pokusa. Daleko točniji rezultat bio je onaj Henrya Cavendisha od jedne petine početnog obujma, dobiven pomoću dušikova monoksida. No, Lavoisierov pokus je izravan pa je zato očigledan dokaz da je zrak smjesa plinova, a ne počelo.<sup>1</sup>

## 2.2. O POKUSU SA SVIJEĆOM U 20. STOLJEĆU

Sredinom dvadesetog stoljeća znanstvenici su počeli intenzivno proučavati pokus sa svijećom i njegove modifikacije, a sve s ciljem objašnjenja školskog pokusa, koji se od početka dvadesetog stoljeća (a možda i od ranije) pogrešno koristi u nastavi. S ciljem davanja kvalitetnog objašnjenja ovog pokusa, istraživanja možemo podijeliti u tri kategorije:

- 1) nepotpuno sagorijevanje svijeće,
- 2) modifikacije pokusa sa svijećom i
- 3) upotreba pokusa sa svijećom u nastavi.

### 2.2.1. Nepotpuno sagorijevanje svijeće

Prilikom gorenja papira pod staklenim zvonom ne dolazi do potpunog sagorijevanja papira unatoč činjenici da je ta količina kisika u normalnim uvjetima (ne u zatvorenom prostoru pod staklenim zvonom) dovoljna za sagorijevanje i veće količine papira. Vitz<sup>16</sup> utvrđuje da termodinamika i stehiometrija ne mogu dati prikladne odgovore, jer je cijeli proces kinetički kontroliran. Plamen zapaljenog papira ugasit će se i prije nego što će sav papir izgorjeti pa čak i uz prisustva kisika u suvišku, jer kako koncentracija kisika pada tako pada i brzina izgaranja papira. Uslijed smanjenja brzine gorenja dolazi do pada temperature te više nema dovoljno energije da održi kemijsku promjenu. Stoga dolazi do gašenja plamena unatoč tome što kisika ima u suvišku.

U dvolitarskom spremniku sa staklenim poklopcem, koji prijanja dovoljno čvrsto uz rub da bi se spriječio dotok kisika, zapaljen je komad papira (mase 0,3 g) pričvršćen na uredsku kvačicu tako da je papir sa svih strana bio izložen zraku. Papir je zapaljen šibicom te je spremnik zatvoren poklopcem. Stehiometrijskim izračunom Vitz pretpostavlja da bi 0,017 mola kisika trebalo biti dovoljno za spaljivanje 0,45 g papira, no utvrđuje da je tijekom pokusa izgorjelo samo pola od 0,3 g papira. Kako bi bolje kontrolirao uvjete osmislio je pokus u kojem se papir pali pomoću električnog izvora bez podizanja poklopca, koji je ovaj put bio zabrtvljen silikonskom masti. Kada se papir ugasio, a temperatura posude spustila do sobne, za analizu je s dna posude plastičnom špricom uzet uzorak plina. Plinskom kromatografijom ustanovljeno je da je množinski omjer kisika i dušika u zraku prije gorenja 21 : 79, a nakon gorenja 10,5 : 89,5 – što ukazuje na smanjenje udjela kisika za 44 %.<sup>16</sup>

Sličan pokus koriste MacNeil i Volaric<sup>17</sup> u svojoj nastavi kako bi studente prve godine upoznali sa suvremenim kemijskim instrumentima. Pokus je rađen s malom svijećom, tzv. lučicom, koja se pokrivala staklenim lijevkom za prah čija je rupa zatvarana gumenim čepom, a rub lijevka namazan vakuumskom mašću kako bi se tijekom gorenja spriječilo izlaženje zraka iz posude. Prije izvođenja pokusa plinskom kromatografijom određeni su množinski udjeli kisika i dušika u zraku (udio kisika bio je 21 %). Nakon što se svijeća ispod lijevka ugasila, injekcijom je probušen gumeni čep i uzet uzorak plinovite faze za analizu. Plinskom kromatografijom utvrđen je množinski udio kisika u uzorku od 15 %, tj. da je odnos volumena kisika i dušika 15 : 75, što ukazuje na nepotpuno sagorijevanje.<sup>17</sup>

I Vitz (2000.) i MacNeil i Volaric (2003.) prilikom analize smjese plinova plinskom kromatografijom nakon gorenja navode kako zbog zadržavanja CO<sub>2</sub> na stupcima molekularnog sita nije moguće očitati udio CO<sub>2</sub> u smjesi.<sup>16,17</sup>

Krnel i Glažar (2001.) napominju da zbog nepotpunog sagorijevanja tijekom gorenja svijeće nastaje i ugljikov monoksid.<sup>18</sup>

U svojim modifikacijama pokusa sa svijećom Dhindsa (2005.)<sup>19</sup> ukazuje na važnost omjera kisika naprema ugljikovom dioksidu i omjera kisika naprema dušiku. Također spominje kako ne treba zanemariti i prisutnost ostalih plinova pod čašom: dušika, ugljikovog dioksida, ugljikovog monoksida i vodene pare te pitanje ostavlja otvorenim za daljnja istraživanja.<sup>19</sup>

Vera, Rivera i Nunez (2011.)<sup>8</sup> promatrali su pokus sa svijećom u zatvorenom sustavu te pokazali da je konačni volumen plina nakon potpunog ili nepotpunog izgaranja gotovo jednak početnom volumenu zraka. Za vrijeme izvođenja pokusa u zatvorenom sustavu razlikuju tri faze:

- a) početna faza potpunog izgaranja,
- b) faza nepotpunog izgaranja prilikom čega bilježe pojavu čađe, tj. elementarnog ugljika i
- c) završnu fazu u kojoj s vrućeg umjetnog fitilja samo isparava bijeli voštani aerosol.

Autori navode da pokus jasno pokazuje da u atmosferi koja je siromašna kisikom, nastaje čađa, C(s), što je praćeno nastajanjem ugljikovog monoksida te bi i te dvije vrste molekula trebale biti uključene u jednadžbu kemijske reakcije radi ispravnog tumačenja pokusa.

### 2.2.2. Modifikacije pokusa sa svijećom

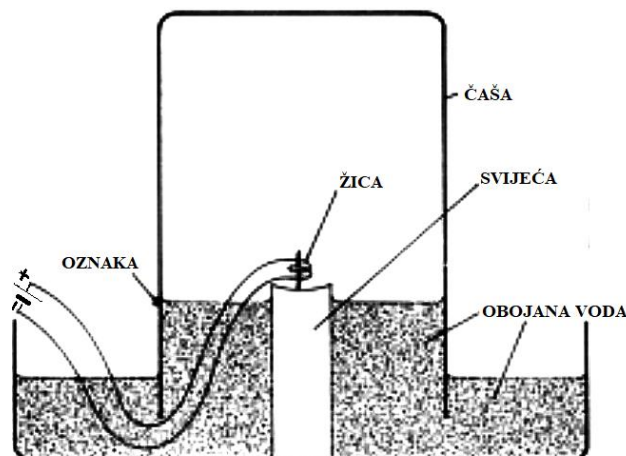
#### 2.2.2.1. Glanz (1963.)<sup>20</sup>

Glanz daje objašnjenje prema kojem podizanje vode u čaši u klasičnom pokusu sa svijećom uzrokuje atmosferski tlak, jer se preostali zrak u čaši hladi i steže pri čemu nastaje djelomični vakuum. Također navodi još jedan faktor koji se zanemaruje, a to je fizičko izbacivanje zraka iz čaše uzrokovano ulaskom svijeće u čašu. Kako bi dokazao prethodne tvrdnje predlaže pokus s papirom.

U čašu se postavi papir presavijen tako da ne može iz nje ispasti (složen u obliku harmonike). Papir se zapali te ga se, kad se plamen rasplamsa, gurne dublje u čašu i preokrenutu čašu postavi u pliticu s obojanom vodom. Nakon što se čaša ohladi, mjeri se razina vode u čaši. Rezultati pokazuju da razina vode ispod čaše dosegne i više od pola visine čaše pa autor pita: „*Trebamo li pretpostaviti da je voda zauzela mjesto potrošenog kisika i zaključiti da je volumeni udio kisika u zraku 50 % ili veći?*”

Drugom modifikacijom pokusa (slika 4) pokazuje uključenost plinova u pokus: metalnu žicu koja je spojena na izvor električne struje namota se na fitilj svijeće i čašom poklopi neupaljena

svijeća. Gumenim crijevom izvuče se nešto zraka iz čaše pri čemu se razina vode u čaši podigne, što se označi s vanjske strane čaše. Puštanjem struje kroz žicu zapali se svijeća. Kako svijeća gori razina vode u čaši se smanjuje kao posljedica toplinskog širenja zraka. Kad se plamen ugasi razina voda se vraća na početnu razinu.



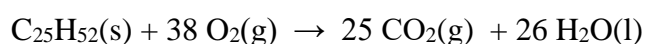
Slika 4. Prikaz druge modifikacije Glanzovog pokusa sa svijećom.

S obzirom na to da pokus sa svijećom nije dobar za dokazivanje udjela kisika u zraku od 21 % Glanz predlaže tri pokusa kojima je moguće izmjeriti 21 % udjela kisika u zraku:

- 1) U vlažnu čašu stavi se željezna vuna te se otvor čaše uroni u vodu. Željezna vuna hrđa spajajući se s kisikom iz zraka (spora oksidacija). Volumen potrošenog kisika zauzima voda pa se promjena volumena može izmjeriti.
- 2) Alkalna vodena otopina pirogalične kiseline stavi se u čašu te se otvor čaše uroni u vodu. Volumen potrošenog kisika zauzet će voda pa se promjena volumena može izmjeriti.
- 3) Komadić crvenog fosfora postavi se na plutajući komadić pluta i zapali vrućom žicom. Sve se prekrije čašom. Kako se kisik troši, voda zauzima njegov volumen. Nastali bijeli dim, uglavnom fosforov(V) oksid i fosforov(III) oksid, otapaju se u vodi ostavljajući pod čašom bezbojnu plinovitu fazu. Promjenu volumena lako je izmjeriti.

#### 2.2.2.2. Peckham (1993.)<sup>21</sup>

Na temelju jednadžbe kemijske reakcije izgaranja voska:



Peckham zaključuje da bi u slučaju potpunog sagorijevanja očekivana promjena volumena plinovite faze trebala biti 7 %. Kako bi to dokazao, autor preokrenutu čašu ne stavlja preko, već pored zapaljene svijeće. Na taj način onemogućuje izlaženje mjehurića vrućeg zraka iz čaše.

Hlađenjem do sobne temperature promjena volumena kisika trebala bi iznositi 7 %. Međutim, prilikom izvođenja pokusa nije moguće spriječiti izlazak mjehurića toplog zraka bez obzira kako se pažljivo pokus izvodi. Mjehurići izlaze, jer je tlak stupca vode premalen da bi suzbio širenje plinovite faze. Vidljivo je da rezultat pokusa nema nikakve veze s potrošnjom kisika ili nastajanjem ugljikovog dioksida već isključivo ovisi o promjeni volumena zraka u čaši, koja je uzrokovana promjenom temperature.

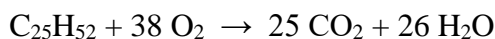
#### 2.2.2.3. Hodking (1995.)<sup>22</sup>

Kako bi pokazao da se svijeća ne gasi zato što je plamen svijeće potrošio 20 % kisika u zraku Hodking predlaže pokus s mišem. U eksikator se postavi visoka svijeća, a u dnu eksikatora je miš. Svijeću se zapali i eksikator zatvori poklopcem. Nakon nekog vremena svijeća se ugasi, a miš je i dalje živ.

Autor pretpostavlja da se svijeća *utapa* u vrućem ugljikovom dioksidu, dok je miš prenisko da bi to osjetio. Ukazuje i na problem poklopca, koji ne prijanja savršeno uz rub eksikatora pa nije sigurno da dio zraka neće izaći iz posude uslijed zagrijavanja (ili ući u nju). Kako bi doskočio tom problemu predlaže pokus sa staklenkom čiji se otvor zatvara nakon gašenja svijeće, a nakon hlađenja do sobne temperature staklenka se uranja u vodu te se pod vodom otvara poklopac tako da plin može izaći ili voda ući u staklenku. Pretpostavlja se da će se utvrditi da postoje minimalne promjene volumena, ali ni blizu 20 %. Iz navedenog zaključuje da se tijekom gorenja svijeće troši dio plinovite faze, ali i da nastaje nova plinovita faza. Hodking, kao i Glanz, predlaže pokus sa željeznom vunom kako bi se utvrdio volumni udio kisika u zraku.

#### 2.2.2.4. Birk i Lawson (1999.)<sup>23</sup>

Klasični pokus sa svijećom modificira se tako da se uz fitilj svijeće pričvrsti šibica, svijeća se poklopi čašom te se štrcaljkom uklanja dio zraka iz čaše da se razina vode pod čaši povisi. Svijeća se pali fokusiranjem Sunčevog svjetla pomoću leće. Dok svijeća gori, razina vode u čaši se smanjuje zbog toplinskog širenja zraka. Kad se svijeća ugasi, a zrak u čaši ohladi do sobne temperature, konačna razina vode u čaši daje informaciju o tome što se dogodilo nakon gorenja. Autori promjenu opisuju sljedećom jednadžbom kemijske reakcije:



te na temelju nje daju sljedećih pet predviđanja o očekivanoj promjeni volumena:

- 1) Ako se sav kisik pretvori u plinovite produkte (ugljičkov dioksid i vodu) konačna razina vode pod čašom trebala bi biti niža od početne razine za oko 7,2 %,
- 2) Ako se sav kisik pretvori plinovite produkte (ugljičkov dioksid i vodu), pri čemu se ugljičkov dioksid otopi u vodi, a voda ostane u plinovitom stanju, konačna razina vode trebala bi biti viša od početne za oko 6,6 %,
- 3) Ako se sav kisik pretvori u plinovite produkte (ugljičkov dioksid i vodu) pri čemu voda brzo kondenzira, a ugljičkov dioksid otopi u vodi konačna razina vode trebala bi biti viša od konačne za 21 %,
- 4) Ako se sav kisik pretvori u plinovite produkte (ugljičkov dioksid i vodu) pri čemu voda brzo kondenzira, a sav ugljičkov dioksid ostane u plinovitoj fazi konačna razina vode trebala bi biti viša od početne za 7,2 % i
- 5) Ako je sagorijevanje nepotpuno, tj. ako se ne potroši svih 21 % kisika iz zraka, promjenu razine vode nije moguće predvidjeti.

Rezultati pokusa ne odgovaraju niti jednom od pretpostavljenih predviđanja te se zaključuje da u kemijskoj reakciji ne sudjeluje svih 21 % kisika.

#### 2.2.2.5. *Kernel i Glažar (2001.)*<sup>18</sup>

Kako bi pokazali da je toplinsko širenje plinova uzrok podizanja razine vode, Kernel i Glažar predlažu pokus sa svijećom bez svijeće. Čaša se drži iznad plamena svijeće ili plamena plinskog plamenika kako bi se uhvatili vrući produkti gorenja. Nakon što para, koja u početku kondenzira na hladnim stijenkama čaše ispari, čaša se postavlja u posudu s vodom s otvorom okrenutim prema dolje. Razina vode u čaši se podiže, a volumen plinova u čaši smanji za oko 20 %.

U drugom pokusu čaša se zagrijava iznad plamena, ali s otvorom okrenutim prema gore, sve dok voda koja kondenzira na hladnim stijenkama čaše ne ispari te se tako zagrijana postavlja u posudu s vodom s otvorom prema dolje. Razina vode u čaši se podiže, a volumen plinova u čaši smanji za oko 35 % čime pokazuju da plinovi nastali tijekom sagorijevanja nemaju nikakvu važnost na rezultat pokusa.

#### 2.2.2.6. *Dhindsa (2005.)*<sup>19</sup>

Autor predstavlja niz modificiranih pokusa sa svijećom kako bi ukazao na, uglavnom, pogrešno usvojene tvrdnje vezane uz pokus sa svijećom.

U jednoj verziji pokusa u pliticu s vodom i svijećom uroni se komad bijelog fosfora koji je pričvršćen na žicu. Svijeća se zapali i prekrije čašom. Nakon gašenja svijeće, žicu se pogura tako da pričvršćeni bijeli fosfor izroni iz vode u plinovitu fazu ispod čaše kako bi se provjerila prisutnost kisika u čaši. Ako se pojave bijele pare (bijeli fosfor se zapali), znat će se da kisika ima u plinovitoj fazi i nakon što se svijeća ugasila.

U drugoj verziji pokusa u dvije jednake čaše postavi se pamučna vata, jedna namočena vodom, a druga natrijevom lužinom. Tako pripremljene čaše postavljaju se preokrenute preko upaljenih svijeća. Bilježi se vrijeme gorenja svijeća te promjena razine vode pod čašama. Rezultati mjerenja pokazuju da svijeća dulje gori pod čašom u kojoj je pamučna vata natopljena natrijevom lužinom (jer ona reagira s ugljikovim dioksidom) te ga na taj način uklanja. Zbog toga ugljikov dioksid ne uspijeva zagušiti plamen, tj. plamen svijeće dulje gori. S obzirom na to da je razina vode pod čašom s vatom koja je natopljena natrijevom lužinom viša nego pod čašom u kojoj je vata natopljena vodom može se zaključiti da se uklanjanjem ugljikovog dioksida iz čaše smanjuje ukupni tlak plinovite faze pa samim time i više vode ulazi u nju.

U trećoj verziji pokusa staklena čaša napuni se ugljikovim dioksidom i preokrene u pliticu s vodom. Mjeri se razina vode nakon deset sekundi, jedne minute, dvadeset minuta i tijekom noći. Iz rezultata mjerenja vidljivo je da nema porasta razine vode tijekom kratkog vremena. Autor zaključuje da topljivost ugljikovog dioksida u vodi ne utječe na rezultate klasičnog pokusa.

U četvrtoj verziji pokusa on se izvodi s tri svijeće, ali tako da se prvo zapali samo jedna svijeća, zatim dvije te na kraju tri. Povećanjem broja zapaljenih svijeća vrijeme gorenja se smanjuje, a razina vode u čaši povećava što ne odgovara pogrešnim tvrdnjama da se na gorenje utroši 20 % kisika iz zraka.

U petoj verziji pokusa manju svijeću je potrebno pričvrstiti na komadić pluta kako bi plutala na površini vode. Na otvor čaše pričvrsti se tanka žica kojom će biti moguće potopiti svijeću tijekom poklapanja svijeće. Svijeća se zapali i poklopi preokrenutom čašom i time svijeću potopi u vodu. Čim čaša dodirne površinu vode, razina vode pod čašom počne se podizati čime se dokazuje da razina vode ne raste zbog praznog prostora nastalog potrošnjom kisika već zbog nečeg drugog.



### 2.2.3. Upotreba pokusa sa svijećom u nastavi

Na globalnoj razini, pokus sa svijećom obrađuje se s učenicima starosti između 12 i 13 godina (dob sedmaša u hrvatskom školskom sustavu), kako bi se pokazao udio kisika u zraku od 20 %. Dhindsa smatra da se u nekim slučajevima općeprihvaćeno (naslijeđeno, uobičajeno) znanje smatra očitim i prihvaća kao neupitna činjenica pa se ni ne istražuje njegova točnost.

Jedan od takvih primjera je i pokus sa svijećom, čije se objašnjenje smatra jednostavnim i očitim znanjem, a malo je učinjeno kako bi se utvrdila njegova točnost. Autor je utvrdio da su i nastavnička i učenička znanja o ovom pokusu pogrešna te da se i dalje prenose kao takva. Dhindsa zaključuje da se tim pokusom, u njegovoj uobičajenoj verziji, ne smije poučavati učenike čija je dob između 12 i 13 godina, jer tumačenje pokusa zahtijeva znanja viših razina pa predlaže da ga se obrađuje u kasnijoj dobi.<sup>19</sup>

Nastavna metoda SGDBLS<sup>84,24\*</sup>, razvijena u Hrvatskoj, a potaknuta idejama Ariela H. Guerreroa<sup>85</sup> koja se temelji na *učenju otkrivanjem*, a provodi u malim učeničkim skupinama (do 5 učenika) pogodna je za usmjeravanje učenika prema ispravnom objašnjenju predstavljenog problema. U SGDBLS metodi nastavnik izbjegava dociranje (predavačku nastavu) već uglavnom postavlja pitanja. Prilikom ovakvog načina rada učenici moraju koristiti prethodna stečena znanja i primijeniti ih kako bi otkrili nove principe i usvojili nova znanja. SGDBLS metoda pokus koristi kao pitanje, a ne kao ilustraciju teme koju se obrađuje. Stoga će učenici biti potaknuti da izvedu pokus, zabilježe opažanja, diskutiraju ih i objasne.

Izvedeći pokus učenici će zabilježiti više opažanja, a za svako od njih moguće je postaviti barem po jedno pitanje. Uloga nastavnika je da pitanjima aktivira prethodna znanja učenika kako bi ih mogli primijeniti. Takvim načinom rada učenici razvijaju mentalne modele koje na druge načine ne bi razvijali. Učeničkim odgovorima na pitanja dolazi se do dva ili više mogućih objašnjenja pokusa, o kojima će se raspravljati i potvrđivati ili osporavati ideja koje stoje iza njih. Na kraju rasprave, objašnjenja poprimaju oblik hipoteza koje treba testirati. Hipoteze se testiraju dobro osmišljenim pokusima u kojima je moguće kontrolirati odabrane parametre.

Za razliku od klasične nastave, u kojoj nastavnici predstavljaju koncepte, a učenici razvijaju pogrešnu percepciju znanosti kao sustava činjenica koje treba zapamtiti, SGDBLS metoda predstavlja znanost kao kreativno, dinamičko, intelektualno i emocionalno okruženje u kojem se učenici susreću sa stvarnim interdisciplinarnim problemom, a primjenjujući dosadašnja

---

\* Kratica SGDBLS dolazi od engleskog naziva *Small-group discovery-based learning strategy* koji je prvi put uporabljen u tekstu literaturnog navoda 24.

znanja, raspravljajući o činjenicama i suprotstavljajući se argumentirano idejama, razvija se njihovo kreativno i kritičko mišljenje i osposobljava za primjenu znanstvene metodologije.<sup>24</sup>

Na značaj učeničkih pokusa u nastavi ukazali su Cvjetićanin, Obradović i Rančić u svom istraživanju *Učinkovitost učeničkih demonstracijskih pousta u početnom fizičko-kemijskom obrazovanju učenika razredne nastave*. Polazeći od činjenice da se elementarna znanja fizike i kemije počinju usvajati već u razrednoj nastavi, prilikom čega bi učenici trebali usvojiti temeljne principe istraživanja prirode (tako da postave problem, pretpostave rješenja, istražuju, izvedu zaključke i na kraju ih provjere), smatraju da ih je potrebno usmjeriti i pomoći im u traženju rješenja. Učenički pokusi omogućuju da se učenici sustavno uvode u eksperimentalne metode i na taj način uče da je put do znanja upotreba činjenica, koje su eksperimentalno i logički dokazane. Učenici rado izvode pokuse, jer zadovoljavaju svoju radoznalost, a neuspjeli pokusi ne utječu negativno na njih već ih motiviraju da ispituju uzroke neuspjeha.

Zaključak istraživanja Cvjetićanina, Obradovića i Rančića je da demonstracijski i učenički pokusi podjednako doprinose podizanju kvalitete znanja učenika na kognitivnoj razini te da učenički pokusi više doprinose uspješnom rješavanju zadataka na razini analize, evaluacije tj. kreacije.<sup>25</sup>

U studiji *Candle burning in an inverted jar over water in a trough experiment: Science teachers' conceptions*, u kojoj je istraživao koncepte nastavnika, Dhindsa zaključuje da oni ne razumiju problem pokusa sa svijećom pa učenicima ni ne mogu prenositi ispravna znanja.

Nastavnici su sumnjičavi prema ispravnim tumačenjima, ali su uvjereni u točnost svojih odgovora (iako su oni pogrešni). Dajući pogrešne odgovore ne sumnjaju u njihovu ispravnost, što znači da ne mogu prepoznati kada griješe. Istraživanjem je utvrđeno da nastavnici posjeduju dovoljno stručnih znanja da mogu pouzdano ispravno odgovoriti na postavljena pitanja, no oni ta znanja ne koriste ispravno, tj. ne povezuju ih. Zaključak je da učitelji ne mogu primijeniti svoje pohranjeno znanje za rješavanje jednostavnih problema. Zbog toga nisu sigurni u svoja ispravna znanja, ali su sigurni u svoja neispravna znanja. S pouzdanjem koriste svoje neispravno znanje kako bi poučavali svoje učenike zbog čega ovi uglavnom razvijaju pogrešna shvaćanja temeljnih koncepata.<sup>26</sup>

#### 2.2.4. Ciljevi nastave prirodnih znanosti u Hrvatskoj

U siječnju 2019. godine, u sklopu *Cjelovite kurikularne reforme – Škola za život*, doneseni su kurikulumi za sve nastavne predmete osnovnoškolskog i srednjoškolskog obrazovanja.

Stupanjem na snagu ovih kurikuluma, prestali su važiti nastavni planovi i programi koji su doneseni 2006. u sklopu donošenja *Hrvatskog nacionalnog obrazovnog standarda (HNOS)*<sup>27</sup>. Pokus sa svijećom vezan je uz nastavne sadržaje koji se obrađuju u nastavnim predmetima *Priroda i društvo*, *Kemija* i *Fizika*. Stoga je napravljena usporedba ciljeva navedenih nastavnih predmeta definiranih prema HNOS-u i prema Cjelovitoj kurikularnoj reformi (CKR).

#### 2.2.4.1. Nastavni predmet *Priroda i društvo*

Prema HNOS-u<sup>27</sup> za nastavni predmet *Priroda i društvo* definirani su sljedeći nastavni ciljevi:

- doživjeti i osvijestiti složenost, raznolikost i međusobnu povezanost svih čimbenika koji djeluju u čovjekovu prirodnom i društvenom okružju,
- razvijati pravilan odnos prema ljudima i događajima,
- snošljivo i otvoreno prihvaćati različite stavove i mišljenja te poticati znatiželju za otkrivanjem pojava u prirodnoj i društvenoj zajednici.

CKR<sup>28</sup> navodi sljedeće ciljeve:

- spoznati složenost svijeta koji ga okružuje, povezanost čovjeka, društva i prirode u vremenu i prostoru potaknut znatiželjom, vođen vlastitim iskustvom i interesima,
- razumjeti svoj rast i razvoj u interakciji s drugima i prirodom, razvijati integritet, osobni i nacionalni identitet, oblikujući pozitivan odnos prema sebi, drugima, prirodi i društvu kao cjelini,
- razvijati istraživačke kompetencije važne za spoznavanje svijeta oko sebe i kompetencije za cjeloživotno učenje te prepoznati mogućnosti primjene znanstvenih spoznaja u svakodnevnome životu i različitim djelatnostima,
- poštivati i uvažavati različitosti, poznavati svoja i uvažavati prava drugih, razvijati odgovornost i empatiju prema okružju te kritički promišljati o pitanjima iz svakodnevnoga života (društvenim, etičkim, ekološkim i sl.),
- sigurno i odgovorno koristiti se tehnologijom u svakodnevnome životu, kao i informacijsko-komunikacijskom tehnologijom za pristup, prikupljanje, obradu i prezentaciju informacija,
- povezati spoznaje iz nastavnoga predmeta *Priroda i društvo* s drugim nastavnim predmetima, međupredmetnim temama i područjima kurikuluma te razviti inovativnost, kreativnost i otvorenost za nove ideje kako bi aktivno pridonosio održivomu razvoju.

#### 2.2.4.2. Nastavni predmet Kemija

HNOS<sup>27</sup> definira sljedeće ciljeve:

- uvođenje učenika u znanstveni način razmišljanja,
- odgoj za razuman odnos prema prirodi i čovjekovoj okolini,
- stjecanje korisnih kemijskih znanja te
- osposobljavanje učenika za primjenu kemijskih znanja u svakodnevnom životu, tehnici i proizvodnji.

CKR<sup>29</sup> daje sljedeće ciljeve:

- stjecanje iskustava koja će pobuditi znatiželju, pozitivan stav i interes za kemiju i prirodoslovlje,
- razumijevanje i komuniciranje o temeljnim konceptima kemije,
- usvajanje i primjena kemijskog nazivlja i simbolike,
- razumijevanje principa znanstvenoga i etičkoga pristupa istraživanju te rješavanju kemijskih problema i
- stjecanje metakognitivnoga znanja kao preduvjeta za razvijanje samostalnosti, samopouzdanja, inovativnosti, odgovornosti i kreativnosti.

#### 2.2.4.3. Nastavni predmet Fizika:

Za nastavu fizike HNOS<sup>27</sup> navodi sljedeće ciljeve:

- omogućiti učenicima razumijevanje prirodnih pojava, osnovno poznavanje metoda i tehnika znanstvenoga istraživanja prirode,
- primjenu usvojenih spoznaja iz fizike u svakodnevnom životu, tehnici i proizvodnji, te
- razvijanje sposobnosti znanstvenoga mišljenja i samostalnoga rješavanja problema.

CKR<sup>30</sup> navodi sljedeće:

- poticanje interesa za *Fiziku* i stjecanje temeljnih znanja potrebnih za razumijevanje fizičkih fenomena, koncepata, zakona i teorija,
- razvoj znanstveno-istraživačkog pristupa, zaključivanja i eksperimentalnih vještina kroz formuliranje istraživačkih pitanja i hipoteza, provođenje kontrole varijabla, sistematiziranje i analiziranje podataka,
- razvoj formalnog kritičko-logičkog i sustavnog razmišljanja,

- razvoj vještina modeliranja fizičkih problema korištenjem matematičkih i računalnih alata te vještina rješavanja problema i vrednovanja rezultata,
- razvoj komunikacijskih vještina i jezika fizike razmjenom ideja i rezultata,
- razvijanje prirodoznanstvenog pogleda na svijet i odgovornog odnosa prema prirodi te svijesti o utjecaju fizike na društvo i njegov održivi razvoj.

Prema HNOS-u<sup>27</sup> učenici rade pokuse kako bi provjerili pretpostavku ili riješili problem. Na temelju opažanja i mjerenja samostalnim zaključivanjem pokušavaju objasniti opažene promjene na temelju već stečenog znanja.

Prema CKR<sup>29</sup> pokus omogućuje da učenik do spoznaja dolazi aktivnim metodama učenja i pritom svoje sposobnosti razvija praktičnim, perceptivnim i misaonim djelovanjem.

Nastava *Kemije* prema CKR temelji se na četiri koncepta (organizacijska područja): tvari, promjene i procesi, energija i prirodoznanstveni pristup. Prirodoznanstveni pristup uvodi se zbog potrebe da se usvajanjem sadržaja triju koncepata razvijaju učeničke eksperimentalne i matematičke vještine.

### 2.2.5. Analiza udžbenika

U nastavi *Prirode i društva*, prema dosadašnjem nastavnom planu<sup>27</sup>, pokus sa svijećom obrađuje se u nastavnoj cjelini *Svojstva i sastav zraka* četvrtog razreda te u nastavnoj cjelini *Zrak i glavni sastojci zraka* sedmog razreda nastave *Kemije*. Unatoč znanstvenim objašnjenjima pokusa i promjena koje se događaju, u školskim udžbenicima i priručnicima nastave *Prirode i društva* i *Kemija* pokus sa svijećom još uvijek se koristi u svrhu dokazivanja volumnog udjela kisika u zraku, što je pogrešno.

U priručniku za nastavnike za osnovnu školu *Upoznavanje prirode i društva: priprema za obradu teme Uzduh*<sup>31</sup> iz 1959. u obradi nastavne teme *Uzduh se zagrijavanjem širi, a ohlađivanjem skuplja* autor daje za primjer pokus s uskom bočicom koja je grlom uronjena vodu. Dno bočice se zagrijava pa se zagrijani zrak u bočici širi i izlazi u vodu u obliku mjehura. Nakon što se bočica ohladi može se vidjeti da se voda penje u grlo bočice. Autor daje objašnjenje da se zagrijavanjem zrak toliko raširio da ga je u bočici ostalo vrlo malo što se vidi po količini vode, koja se popela u bočicu umjesto zraka. Prilikom obrade teme *Sastav uzduha* autor opisuje pokus sa svijećom i navodi da će se po gašenju svijeće voda podići za 1/5 volumena čaše dok će iznad vode ostati dio zraka koji ne podržava gorenje već ga guši.

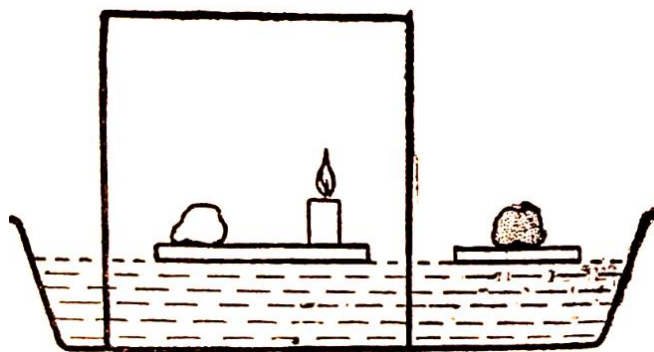
Autor taj plin naziva dušik, a plin koji podržava gorenje kisik te zaključuje da se zrak sastoji od kisika i dušika. Drugi dio priručnika posvećen je isključivo pokusima te ponovo nalazimo pokus sa svijećom (ili zapaljenom vatom natopljenom alkoholom), ali ovaj put pokus ne završava promjenom razine vode već zatvaranjem otvora čaše sa staklenom pločom, preokretanjem čaše i uranjanjem zapaljene svjeće u čašu. Autor zapaža da se svjećica trenutno ugasila, jer u zraku preostalom u čaši nema više kisika te dodaje kako pokus sa svijećom ne pokazuje točno odnose kisika i dušika u zraku, jer se razvija i nešto ugljikovog dioksida, ali da je za niže razrede dovoljno navesti samo kisik i dušik.

U svim udžbenicima ili radnim bilježnicama, koje se trenutno koriste u nastavi *Prirode i društva* za četvrti razred osnovne škole (*Moja domovina* 4<sup>32</sup>, *Pogled u svijet* 4<sup>33</sup>, *Naš svijet* 4<sup>34</sup>, *Eureka!* 4<sup>35</sup>) pojavljuje se pokus sa svijećom s objašnjenjem da se razina vode podigla za 1/5 volumena čaše što je jednako udjelu kisika u zraku. Pokusi su u tri slučaja prikazani ilustracijom, a u jednom fotografijom (ali fotografiranom iz ptičje perspektive).

U udžbenicima nastave *Prirode i društva* i popratnim radnim bilježnicama, koje se koriste od 1987. godine do danas uglavnom se nalazi pokus sa svijećom koji se koristi na pogrešan način<sup>36-52</sup>, samo je jedan udžbenik iz 2009. godine *Korak u svijet 4* u kojem se ne spominje pokus pa čak ni u popratnim nastavnim materijalima kao što su priručnik za nastavnike ili radna bilježnica<sup>53-56</sup>.

Do 1991. godine udžbenici nastave *Kemije* za sedmi razred, koji su se koristili na području Republike Hrvatske ne sadrže pokus sa svijećom, ali se u radnoj bilježnici *Svijet kemije 1*<sup>57</sup>) nalazi zadatak za učenike da sami izvedu pokus i odgovore na pitanja. Pokus se obrađuje u sklopu nastavne jedinice *Tvari od kojih nastaje voda*, a zadatak je postavljen tako da ne sugerira odgovore već ostavlja učeniku slobodu da zapiše zapažanja i objasni što se dogodilo.

Udžbenik *Kemijski i fizikalni pokusi i opažanja kojima učenik razvija svoje razumno shvaćanje prirodnih pojava*<sup>58</sup> (Knjižica za seljake i seljačke zimske škole) iz 1937. u pokus sa svijećom dodano je olovo (slika 5, str. 24). U pliticu s vodom stavi se na drvenoj pločici svijeća kraj nje komadić sjajnog olova, izvan plitice također se stavi komadić sjajnog olova. Svijeću se zapali i prekrije čašom tako da se otvor čaše uroni u vodu preko svijeće. Svijeća se ugasi, jer se ugljik spoji s kisikom pa nastaje ugljikov dioksid. Ako je rub čaše neprestano pod vodom, onda će olovo ispod čaše ostati sjajno, a ono olovo koje se nalazi izvan plitice i čaše će pocrniti. Olovo izvan čaše reagira s kisikom iz zraka (jer je dostupan), a s obzirom da je kisik pod čašom reagirao s ugljikom, olovo pod čašom ostalo je sjajno.



Slika 5. Pokus sa svijećom i olovom. Preuzeto iz literaturnog navoda broj 58.

U udžbenicima nastave *Kemije*, koji su izdani od 1991. do 2018. godine pokus sa svijećom redovito se javlja u nastavnim jedinicama koje obrađuju zrak<sup>59-75</sup>, ovisno o izdavaču, nastavne cjeline imaju različite naslove, ali sve obrađuju istu temu te se pokus uvijek tumači kao dokaz da se u zraku nalazi 20 % kisika (jer se gorenjem svijeće potrošio sav kisik pa je voda zauzela mjesto potrošenog kisika). Postoji i dio udžbenika sedmog razreda u kojima se pokus sa svijećom ne spominje u niti jednom obliku<sup>76-82</sup>.

Udžbenici nastave *Fizike* za sedmi razred osnovne škole ne sadrže pokus sa svijećom već u nastavnoj jedinici *Toplinsko širenje tekućina i plinova* koriste pokus sa staklenom tikvicom i cjevčicom koja se uroni u vodu, a rukama se zagrijava dno tikvice. Usljed zagrijavanja zrak u tikvici se širi pa iz otvora tikvice izlaze mjehurići, kad se tikvica ohladi voda iz posude ulazi u cjevčicu što pokazuje da se volumen zraka u tikvici smanjio.

Od pregledanih nastavnih sredstava na hrvatskom jeziku jedino jedna zbirka pokusa za *Fiziku* sadrži drugačije tumačenje pokusa sa svijećom od onih navedenih u udžbenicima *Prirode i društva* i *Kemije. Heureka!*<sup>83</sup> zbirka pokusa za osnovnu školu daje objašnjenje da svijeća zagrijava zrak u čaši i povećava mu tlak. Kad se svijeća, zbog nedostatka kisika ugasi, zraku se u čaši smanji tlak te dolazi do razlike u tlakovima. Razina vode u čaši se podiže sve dok se tlak u čaši ne izjednači s atmosferskim tlakom.

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**



### 3.1. OPĆI OPIS POKUSA

Da bi se utvrdilo kakva je ponovljivost pokusa, pokus je izveden mnogo puta (više od tisuću) u varijantama u kojima su mijenjani različiti parametri: oblik i visina svijeće, vrsta zaporne tekućine u plitici, vrsta i oblik čaše.

Općeniti opis postupka je sljedeći:

Svijeća određene visine učvršćena je na sredinu plastične plitice s par kapi rastaljenog voska. Staklenom čašom odmjerenom je 300 mL zaporne tekućine i naliveno u pliticu.

Svijeća je upaljena te je nakon 30 sekundi, kad se vosak oko fitilja rastalio, a plamen razgorio, poklopljena čašom određenog volumena. Poklapanje čašom izvođeno je tako da je čaša polako spuštana do vode tijekom pet sekundi.

Mjereno je vrijeme, koje je potrebno da se svijeća nakon poklapanja (zatvaranja sustava) ugasi i promjena razine zaporne tekućine u čaši  $\Delta h_0$ .

### 3.2. VARIJANTA POKUSA 1

Svijeća visine 68 mm i promjera 10 mm zapaljena je i nakon 30 sekundi poklopljena vatrootpornom plastičnom čašom konusnog oblika volumena 366 mL. Postupak je ponavljan minimalno 25 puta (ili više), a nakon svakih pet mjerenja korištena je nova svijeća, nova čaša i svježa zaporna tekućina. Između mjerenja čaša je provjetravana. Mjereno je vrijeme potrebno za gašenje svijeće i promjenu razine zaporne tekućine u čaši. Pokus je na ovaj način proveden s različitim zapornim tekućinama: destilirana voda, klorovodična kiselina  $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  i  $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$  te natrijeva lužina  $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ .

Na ovaj način pokus je ponovljen tri puta prilikom čega je mjereno vrijeme potrebno za gašenje svijeće, promjena razina zaporne tekućine 10 sekundi nakon gašenja svijeće te promjena razine zaporne tekućine u čaši 30 minuta nakon gašenja svijeće (kad je pretpostavljeno da je sustav postigao termičku ravnotežu s okolinom). Pokus je proveden sa sljedećim zapornim tekućinama: destilirana voda, klorovodična kiselina  $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$  i natrijeva lužina  $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ .

### 3.3. VARIJANTA POKUSA 2

Rođendanska svijeća visine 48 mm i promjera 5 mm zapaljena je i nakon 30 sekundi poklopljena staklenom čašom konusnog oblika volumena 536 mL. Postupak je ponavljan 25 puta, a nakon svakih pet mjerenja korištena je nova svijeća, nova čaša i svježa zaporna tekućina.

Između mjerenja čaša je provjetravana. Mjereno je vrijeme potrebno za gašenje svijeće i promjena razine zaporne tekućine u čaši. Pokus je na jednak način proveden s različitim zapornim tekućinama: destilirana voda, klorovodična kiselina  $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  i  $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$  te natrijeva lužina  $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ .

Pokus je u ovoj varijanti ponovljen još šest puta prilikom čega je mjereno vrijeme potrebno za gašenje svijeće, promjena razine zaporne tekućine u čaši 10 sekundi nakon gašenja svijeće te promjena razine zaporne tekućine u čaši 30 minuta nakon gašenja svijeće (kad je pretpostavljeno da je sustav postigao termičku ravnotežu s okolinom). Pokus je rađen sa sljedećim zapornim tekućinama: destilirana voda, klorovodična kiselina  $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  i  $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$  te natrijeva lužina  $c(\text{NaOH}) = \text{mol L}^{-1}$ .

### 3.4. VARIJANTA POKUSA 3

Svijeća visine 51 mm i promjera 10 mm zapaljena je i nakon 30 sekundi poklopljena staklenom čašom cilindričnog oblika volumena 245 mL. Postupak je ponovljen 30 puta, a nakon svakih pet mjerenja korištena je nova svijeća, nova čaša i svježja zaporna tekućina. Između mjerenja čaša se provjetravana. Mjereno je vrijeme potrebno za gašenje svijeće i promjena razine zaporne tekućine u čaši. Pokus je na jednak način proveden sa sljedećim zapornim tekućinama: destilirana voda, klorovodična kiselina  $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  i natrijeva lužina  $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ .

Pokus je na ovaj način ponovljen 11 puta pri čemu je korištena ista svijeća i ista čaša te ista destilirana voda kao zaporna tekućina. Svijeća je upaljena i ostavljena da gori 30 sekundi da se vosak oko fitilja rastali, a plamen razgori, nakon čega je poklopljena staklenom čašom. Nakon svaka 3 – 4 izvođenja pokusa fitilj je škarama skraćen za 1-2 mm. Mjerena je visina fitilja prije paljenja svijeće, vrijeme potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši.

### 3.5. IZRADA BAŽDARNOG DIJAGRAMA

Volumen tekućine koja je ušla u čašu određivan je pomoću baždarnog dijagrama koji je izrađen tako što su od dna do ruba čaše označene visine u rasponu od 0,5 cm. Do ruba čaše ulivena je voda, a kapalicom je odstranjen volumen vode do prve oznake na čaši u menzuru te je očitani volumen. Postupak je ponovljen pet puta na oznakama 0,5 cm, 1,0 cm, 1,5 cm, 2,0 i 2,5 cm. Iz rezultata mjerenja načinjen je graf pri čemu se na apscisi nalaze vrijednosti visine čaše, a na ordinati volumen vode

## **4. REZULTATI**

**Tablica 1.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_\xi = 366$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / mm$	$\Delta V_0 / mL$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	11,83	12	41,04	0,11
2	9,82	10	34,20	0,09
3	7,62	11	37,62	0,10
4	8,27	11	37,62	0,10
5	8,22	11	37,62	0,10
<b>srednja vrijednost</b>	$9,15 \pm 1,70$	$11,00 \pm 0,71$	$37,62 \pm 2,42$	$0,10 \pm 0,01$

**Tablica 2.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_\xi = 366$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / mm$	$\Delta V_0 / mL$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	9,02	11	37,62	0,10
2	6,74	14	47,88	0,13
3	5,37	15	51,30	0,14
4	4,08	11	37,62	0,10
5	8,21	10	34,20	0,09
<b>srednja vrijednost</b>	$6,68 \pm 2,02$	$12,20 \pm 2,17$	$41,72 \pm 7,41$	$0,11 \pm 0,02$

**Tablica 3.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_\xi = 366$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / mm$	$\Delta V_0 / mL$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	4,45	11	37,62	0,10
2	4,52	13	44,46	0,12
3	4,75	14	47,88	0,13
4	5,23	12	41,04	0,11
5	4,72	12	41,04	0,11
<b>srednja vrijednost</b>	$4,73 \pm 0,31$	$12,40 \pm 1,14$	$42,41 \pm 3,90$	$0,12 \pm 0,01$

**Tablica 4.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\xi} = 366$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	10,31	16	54,72	0,15
2	8,63	18	61,56	0,17
3	6,4	15	51,30	0,14
4	6,2	16	54,72	0,15
5	6,13	16	54,72	0,15
<b>srednja vrijednost</b>	$7,53 \pm 1,87$	$16,20 \pm 1,10$	$55,40 \pm 3,75$	$0,15 \pm 0,01$

**Tablica 5.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\xi} = 366$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	8,64	13	16	44,46	54,72	0,12	0,15	0,03
2	9,82	13	15	44,46	51,30	0,12	0,14	0,02
3	13,22	11	14	37,62	47,88	0,10	0,13	0,03
<b>srednja vrijednost</b>	$10,56 \pm 2,38$	$12,33 \pm 1,15$	$15,00 \pm 1,00$	$42,18 \pm 3,95$	$51,30 \pm 3,42$	$0,12 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$

**Tablica 6.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\xi} = 366$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	5,62	14	16	47,88	54,72	0,13	0,15	0,02
2	8,89	10	12	34,20	41,04	0,09	0,11	0,02
3	7,97	13	18	44,46	61,56	0,12	0,17	0,05
<b>srednja vrijednost</b>	$7,49 \pm 1,69$	$12,33 \pm 2,08$	$15,33 \pm 3,06$	$42,18 \pm 7,12$	$52,44 \pm 10,45$	$0,12 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,02$

**Tablica 7.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\xi} = 366$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	9,22	15	20	51,30	68,40	0,14	0,19	0,05
2	9,04	15	20	51,30	68,40	0,14	0,19	0,05
3	11,118	14	18	47,88	61,56	0,13	0,17	0,04
<b>srednja vrijednost</b>	$9,79 \pm 1,15$	$14,67 \pm 0,58$	$19,33 \pm 1,15$	$50,16 \pm 1,97$	$66,12 \pm 3,95$	$0,14 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$

**Tablica 8.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	8,77	17	101,18	0,19
2	6,84	18	107,13	0,20
3	7,81	15	89,27	0,17
4	6,47	17	101,18	0,19
5	6,12	17	101,18	0,19
<b>srednja vrijednost</b>	$7,20 \pm 1,08$	$16,80 \pm 1,10$	$99,99 \pm 6,52$	$0,19 \pm 0,01$

**Tablica 9a.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	19,51	16	95,23	0,18
2	16,31	16	95,23	0,18
3	15,62	16	95,23	0,18
4	14,49	17	101,18	0,19
5	23,24	12	71,42	0,13
<b>srednja vrijednost</b>	$17,83 \pm 3,55$	$15,40 \pm 1,95$	$91,65 \pm 11,60$	$0,17 \pm 0,02$

**Tablica 9b.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	17,11	16	95,23	0,18
2	16,25	16	95,23	0,18
3	12,20	18	107,13	0,20
4	19,23	14	83,32	0,16
5	12,95	16	95,23	0,18
<b>srednja vrijednost</b>	$15,55 \pm 2,93$	$16,00 \pm 1,41$	$95,23 \pm 8,42$	$0,18 \pm 0,02$

**Tablica 10.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	22,48	16	95,23	0,18
2	18,43	16	95,23	0,18
3	12,98	17	101,18	0,19
4	26,91	14	83,32	0,16
5	25,06	14	83,32	0,16
<b>srednja vrijednost</b>	$21,17 \pm 5,58$	$15,40 \pm 1,34$	$91,65 \pm 7,98$	$0,17 \pm 0,01$

**Tablica 11.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	13,32	16	17	95,23	101,18	0,18	0,19	0,01
2	10,95	16	21	95,23	124,98	0,18	0,23	0,06
3	13,11	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
4	18,11	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
5	17,54	16	17	95,23	101,18	0,18	0,19	0,01
6	13,33	18	20	107,13	119,03	0,20	0,22	0,02
<b>srednja vrijednost</b>	$14,39 \pm 2,81$	$16,33 \pm 0,82$	$18,50 \pm 1,64$	$97,21 \pm 4,86$	$110,10 \pm 9,78$	$0,18 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,02$

**Tablica 12.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	17,58	17	17	101,18	101,18	0,19	0,19	0,00
2	23,61	13	14	77,37	83,32	0,14	0,16	0,01
3	13,32	10	12	59,52	71,42	0,11	0,13	0,02
4	23,52	11	12	65,47	71,42	0,12	0,13	0,01
5	15,32	18	20	107,13	119,03	0,20	0,22	0,02
6	22,29	13	15	77,37	89,27	0,14	0,17	0,02
<b>srednja vrijednost</b>	$19,27 \pm 4,47$	$13,67 \pm 3,20$	$15,00 \pm 3,10$	$81,34 \pm 19,07$	$89,27 \pm 18,44$	$0,15 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,03$	$0,01 \pm 0,01$

**Tablica 13.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	19,57	15	16	89,27	95,23	0,17	0,18	0,01
2	14,75	20	20	119,03	119,03	0,22	0,22	0,00
3	15,26	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
4	18,3	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
5	16,27	16	16	95,23	95,23	0,18	0,18	0,00
6	13,14	18	20	107,13	119,03	0,20	0,22	0,02
<b>srednja vrijednost</b>	$16,22 \pm 2,37$	$16,83 \pm 1,83$	$18,00 \pm 1,79$	$100,19 \pm 10,92$	$107,13 \pm 10,65$	$0,19 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$	$0,01 \pm 0,01$



**Tablica 14.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	15,76	16	21	95,23	124,98	0,18	0,23	0,06
2	12,12	16	23	95,23	136,89	0,18	0,26	0,08
3	17,01	18	23	107,13	136,89	0,20	0,26	0,06
4	14,6	18	23	107,13	136,89	0,20	0,26	0,06
5	15,45	19	24	113,08	142,84	0,21	0,27	0,06
6	13,61	18	25	107,13	148,79	0,20	0,28	0,08
<b>srednja vrijednost</b>	$14,76 \pm 1,72$	$17,50 \pm 1,22$	$23,17 \pm 1,33$	$104,15 \pm 7,29$	$137,88 \pm 7,91$	$0,19 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,01$

**Tablica 15.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 245$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	5,46	30	55,52	0,23
2	4,16	31	57,37	0,23
3	5,72	31	57,37	0,23
4	6,87	30	55,52	0,23
5	6,25	31	57,37	0,23
<b>srednja vrijednost</b>	$5,69 \pm 1,01$	$30,60 \pm 0,55$	$56,63 \pm 1,01$	$0,23 \pm 0,00$

**Tablica 16a.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 245$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	7,33	30	55,52	0,23
2	6,52	30	55,52	0,23
3	5,12	28	51,82	0,21
4	4,53	29	53,67	0,22
5	4,8	31	57,37	0,23
<b>srednja vrijednost</b>	$5,66 \pm 1,21$	$29,60 \pm 1,14$	$54,78 \pm 2,11$	$0,22 \pm 0,01$

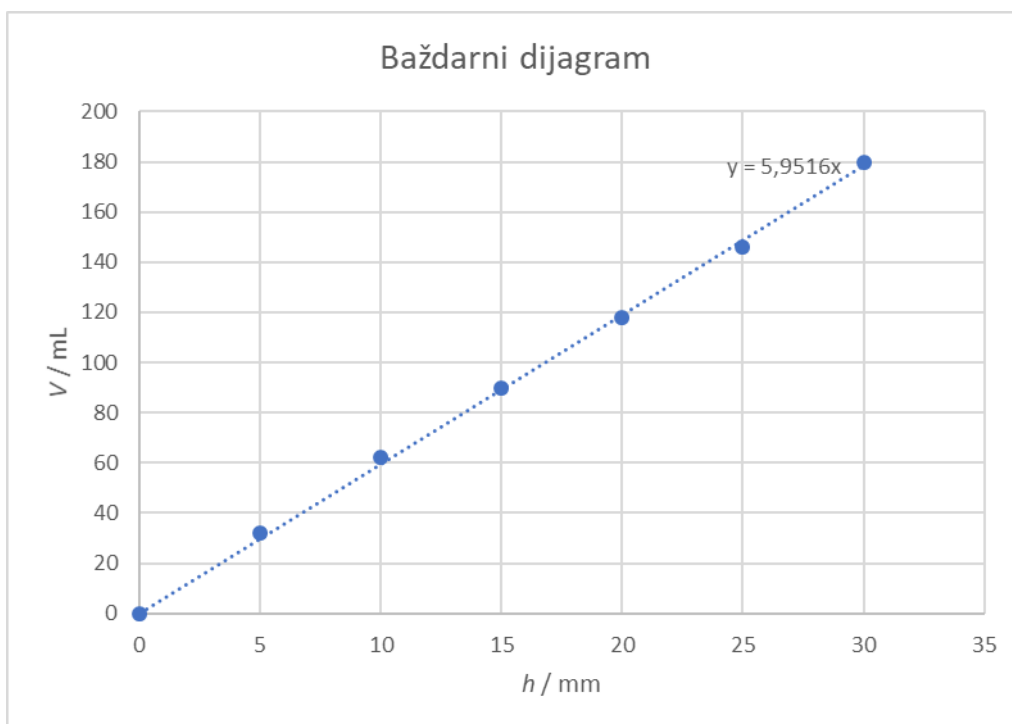
**Tablica 16b.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_\epsilon = 245$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_\epsilon$
1	4,91	33	61,08	0,25
2	3,57	39	72,18	0,29
3	4,72	30	55,52	0,23
4	5,45	29	53,67	0,22
5	4,62	31	57,37	0,23
<b>srednja vrijednost</b>	$4,65 \pm 1,06$	$32,40 \pm 3,97$	$59,97 \pm 7,36$	$0,24 \pm 0,03$

**Tablica 17.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Škarama je rezan fitilj svijeće za 1-2 mm svaka 3-4 mjerenja i mjeren prije svakog izvođenja pokusa ( $h_f$ ) Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_\epsilon = 245$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$h_f / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_\epsilon$
1	11,46	21	5	38,87	0,16
2	11,48	21	5	38,87	0,16
3	10,36	19	5	35,17	0,14
4	8,5	25	5	46,27	0,19
5	5,41	34	7	62,93	0,26
6	4,25	31	7	57,37	0,23
7	6,11	32	7	59,23	0,24
8	5,22	32	7	59,23	0,24
9	5,01	31	8	57,37	0,23
10	5,09	30	8	55,52	0,23
11	4,26	31	8	57,37	0,23

Slika 6. Baždarni dijagram



## **5. RASPRAVA**

Tijekom izrade ovog diplomskog rada, pokus sa svijećom koja gori ispod čaše izveden je mnogo puta (više od 1000). Prikupljen je velik broj podataka, koji su obrađeni i analizirani, a temeljni cilj bio je prepoznati mogućnosti primjene ovog pokusa u nastavi.

Klasičnim pokusom sa svijećom koja gori ispod čaše ne možemo saznati koliki je volumni udio kisika u zraku (iako ga se u nastavnoj praksi rabi upravo s tim ciljem). No, to ne znači da ga u nastavi ne trebamo (ne možemo, ne smijemo) uporabiti. Dapače, upravo u svom klasičnom obliku, ovaj pokus može poslužiti kao neiscrpan izvor znanja, ali samo uz uvjet da se kao glavni nastavni cilj postavi nešto drugo (nešto različito u odnosu na uobičajenu nastavnu praksu). Tako je bio i postavljen opći cilj izrade ovog diplomskog rada – iznaći drugačiji način uporabe ovog pokusa u nastavi kemije (i ne samo kemije).

Kao prvi korak, dovoljno je samo odustati od uobičajene predodžbe i ideje da se svijeća gasi, jer je potrošen sav kisik te da će promjena volumena plinovite faze ispod čaše biti 21 %. Umjesto toga, pokus valja uporabiti kao ishodište istraživanja – treba ga izvesti, zabilježiti opažanja i navesti učenike da ih objasne.

Krene li se tim putem, učenici će morati primijeniti mnoga znanja iz kemije i fizike (ali i biologije i drugih nastavnih predmeta) i integrirati ih ne bi li iznašli potrebne odgovore.

Tražeci načine kako bolje provesti (kontrolirati) pokus, da bi točnije odredili promjenu volumena plinovite faze ispod čaše, učenici će naučiti i što znači baviti se znanostima. Sve to poticati će razvoj njihovog kritičkog i kreativnog mišljenja, a posljedično i povećati njihov interes za znanjem općenito.

Umjesto uobičajene prakse da se u diplomskom radu da prijedlog jednog 90-minutnog nastavnog sata utemeljenog na nastavnoj strategiji učenja otkrivanjem, ovaj diplomski rad daje opis izvedbe nastavne strategije koja može biti provedena u različitom broju koraka ovisno o dobi i potrebnim predznanjima učenika.

### **5.1. PRIJEDLOG UPORABE POKUSA SA SVIJEĆOM U NASTAVI**

Prvi korak treba biti samo izvođenje pokusa, pri čemu je uputno da nastavnik pokazno izvede pokus i time učenicima da uputu kako želi da izvedu pokus. Nakon pripreme, pokus trebaju izvesti učenici (radeći u skupinama) i prikupiti opažanja. Kad učenici provedu pokus, zabilježena opažanja valja provjeriti (frontalno diskutirati) i time osigurati da svi učenici imaju zapisana ključna opažanja:

– zamagljenje čaše (gdje se javlja zamagljenje i kakvi su mu rubovi),

- podizanje razine vode ispod čaše (koje je u početku sporije i brže kad se plamen ugasi),
- spuštanje razine vode izvan čaše,
- pojava *stupa* aerosola (dima) nakon što se svijeća ugasi.

U sljedećem nastavnom koraku treba raspraviti o mogućem uzroku gašenja svijeće. Cilj je prikupiti moguća objašnjenja bez obzira na njihovu ispravnost. Naime, velika je vjerojatnost da će, zbog činjenice da se ovaj pokus pogrešno tumači tijekom nastave *Prirode i društva*, učenici ponuditi pogrešno objašnjenje. Ali, to je u ovom trenutku gotovo i poželjno. Učenici mogu ponuditi jedno objašnjenje, a mogu ih ponuditi i više (nema više kisika, nema više zraka, ugljikov dioksid gasi plamen...). Nastavniku je jedino bitno da učenici ponude barem jedno objašnjenje (bilo ono ispravno ili ne), jer će ono biti temelj na kojem će graditi daljnju nastavu. Sljedeću nastavnu fazu treba usmjeriti pitanjem:

*Za koliko se promijenio volumen plinovite faze ispod čaše?*

Učenici mogu ponuditi različite odgovore, ali nastavnik ih treba usmjeriti prema mjerenju što je lako postići pitanjem:

*Može li se tu promjenu izmjeriti i kako to učiniti?*

Cilj je doći do jednostavnog rješenja koje se može provesti u razredu. To podrazumijeva uporabu jednostavnog pribora (ravnila, menzure, flomastere, kapalice...). Tijekom definiranja potrebnog pribora i metodologije, rješavat će se različiti fizikalni i matematički problemi (ovi potonji uvelike ovise o obliku čaše) što određuje potrebna učenička predznanja.

Kad se iznađe procedura mjerenja, svaka skupina učenika treba provesti pet mjerenja, a rezultate valja prikupiti u jednu tablicu i komentirati ih. Raspravu treba usmjeriti na homogenost rezultata, tj. iskoristiti za uvođenje pojmova točnost i preciznost (a posljedično i pojma standardne devijacije). Time postaje moguće usporediti dobiveni rezultat s očekivanom vrijednošću i prosuditi kvalitetu (homogenost) dobivenog rezultata, tj. odlučiti je li metodologija mjerenja kojom je dobiven pouzdana ili ne.

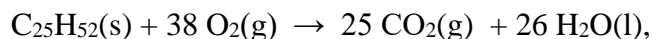
Ovisno o uzrastu učenika, moguće je raspraviti o fizikalnim problemima koji utječu na rezultat pokusa (promjene tlakova, promjene temperature, ovisnost volumena o temperaturi...), ali i o kemijskim.

Kemijski problemi odnose se primarno na kemijske promjene koje se događaju tijekom gorenja svijeće. Gorivo, tijelo svijeće, je parafinski vosak, smjesa zasićenih ugljikovodika, kojoj se u nastavnoj praksi najčešće pripisuje kemijska formula  $C_{25}H_{52}$  (iako je smjesa tvari). Gorivo

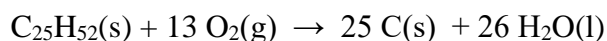
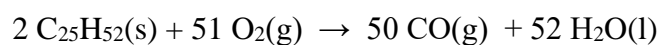
sagorijeva, reagira s kisikom iz zraka, te nastaju različiti produkti gorenja (ugljičkov dioksid, ugljičkov monoksid, čađa i voda).

Na žalost, uobičajena nastavna praksa gorenje svijeće opisuje samo jednom jednadžbom kemijske reakcije, tj. onom za potpuno sagorijevanje (što je kontradiktorno).

Potpuno sagorijevanje voska svijeće može se opisati sljedećom jednadžbom kemijske reakcije:



a za očekivati je da će nju učenici i ponuditi. Nastavnikova je zadaća podsjetiti učenike i na druge produkte gorenja svijeće te tražiti da se i za njih napiše odgovarajuće jednadžbe kemijskih reakcija:



Može se dogoditi da učenici bez podsjećanja znaju sve produkte gorenja, ali će se u tom slučaju naći u problemu – neće moći izjednačiti jednadžbu kemijske reakcije, jer ne znaju u kojoj mjeri se zbiva koja promjena.

Što god se dogodi u praksi, cilj ovog koraka upravo i je spoznati da jednom jednadžbom kemijske reakcije, koja bi uključivala sve produkte, nije moguće opisati gorenje svijeće.

U sljedećem nastavnom koraku potrebno je na temelju jednostavnih stehiometrijskih pravila i fizike plinova predvidjeti promjenu volumena sustava na temelju jedne od ove tri jednadžbe kemijske reakcije (najbolje na temelju one za potpuno sagorijevanje, jer je učenicima ona najbliža). Da bi to bilo provedeno kako treba, potrebno je s učenicima komentirati sve pretpostavke i aproksimacije koje će se pri tome napraviti (što na žalost nije slučaj u uobičajenoj nastavnoj praksi – rješavanju stehiometrijskih problema pristupa se površno). Dakle, potrebno je raspraviti sljedeće:

- proces gorenja u potpunosti opisuje odabrana jednadžba kemijske reakcije (nema drugih reaktanata i produkata),
- produkti i reaktanti su na početku i na kraju promjene (pokusa) u navedenim agregacijskim stanjima,
- nema dodatnih kemijskih promjena (npr. ugljičkov dioksid ne reagira sa zapornom tekućinom vodom),
- vrijedi model idealnog plina
- promjene brojnosti pojedinih kemijskih vrsta definirane su jednadžbom kemijske reakcije.

Hoće li se rasprava temeljiti na ovim postavkama kao predznanjima ili će one biti postavljene kao nastavni ciljevi, ovisi o uzrastu učenika. Time će biti određeno i vrijeme potrebno za obavljanje ovog nastavnog koraka.

Nakon što se razumiju (rasprave) ove postavke, može se pristupiti izračunu. Učenici trebaju prepoznati da na strani reaktanata ima 38 jedinki u plinovitoj fazi, a na strani produkata 25, tj. da će se broj jedinki u plinovitoj fazi promijeniti za 13. Kako je volumen plinovite faze proporcionalan broju jedinki, može se predvidjeti da bi se volumen trebao smanjiti za približno jednu trećinu početnog volumena,  $[(38 - 25) / 38]$ .

Sada je još potrebno usmjeriti učenike prema činjenici da jednadžba kemijske reakcije opisuje gorenje voska u čistom kisiku, a da je zrak smjesa plinova u kojoj je volumni udio kisika 21 %. Učenici sada trebaju korigirati svoje predviđanje o promjeni volumena plinovite faze ispod čaše korigirati s obzirom na sastav zraka, tj. zaključiti da bi se volumen plinovite faze ispod čaše trebao promijeniti za približno 7,5 % početnog volumena.

Da bi učenici usvojili ovaj postupak, sada ga trebaju primijeniti na preostale jednadžbe kemijskih reakcija.

Za slučaj kada nastaje ugljikov dioksid ta bi promjena trebala biti praktički zanemariva (51 molekula u plinovitoj fazi na strani reaktanata i 50 molekula na strani produkata,  $[(51 - 50) / 50] \cdot 0,21$ , približno 0,5 % početnog volumena.

U slučaju kada nastaje čađa na strani reaktanata je 13 jedinki u plinovitoj fazi, a na strani produkata nema jedinki u plinovitoj fazi pa se očekuje promjena volumena od 21 %, tj. konačni volumen plinovite faze pod čašom trebao bi biti manji upravo za volumen izreagirano kisika. Uzme li se u obzir da se tijekom gorenja svijeće ove tri kemijske promjene događaju paralelno, ali u nama nepoznatom omjeru, koji ovisi o mnogo većem broju parametara od samog sastava parafina i zraka, učenici mogu zaključiti da bi očekivana promjena volumena morala biti u intervalu od 0 % do 21 % te da su ove krajnje vrijednosti malo vjerojatne – niti se razvija samo ugljikov monoksid (inače bi broj nastradalih bio ogroman) niti se razvija tako mnogo čađe.

Na kraju učenici trebaju sumirati spoznaje i zaključiti da pokusom sa svijećom koja gori ispod čaše nije moguće odrediti volumni udio kisika u zraku;

- 1) iz fizikalnih razloga (jer je klasičnoj izvedbi sustav potpuno nekontroliran),
- 2) iz kemijskih razloga (jer je kemijska promjena složenija od mogućeg jednostavnog opisa danog jednom jednadžbom kemijske reakcije).



No, izvodeći pokus i analizirajući opažanja učenici mogu (ili sami ili uz navođenje) prepoznati (odrediti) parametre koje je potencijalno moguće kontrolirati, npr. povezati vrijeme gorenja s duljinom fitilja. Kada ih prepoznaju, trebaju i provesti mjerenja kojima će utvrditi jesu li njihova razmišljanja ispravna, tj. hoće li postići veću homogenost rezultata – je li postignuta bolja izvedba pokusa.

U ovom diplomskom radu istražena je ovisnost vremena gorenja o duljini fitilja, rezultati su prikazani u tablici 17, str. 37.

## **6. ZAKLJUČAK**

Iako je Lavoisier još u 18. stoljeću pokazao, a suvremena znanstvena istraživanja u 20. stoljeću potvrdila ispravno tumačenje pokusa sa svijećom, on se u hrvatskoj osnovnoškolskoj nastavnoj praksi još uvijek koristi u nastavi *Prirode i društva* te *Kemije* sa ciljem određivanja sastava zraka, tj. utvrđivanja činjenice da je volumni udio kisika u zraku 21 %.

Provodeći pokus s jednostavnim i jeftinim pribor, kakav se u praksi rabi u školama prikupljeni su podatci o promjeni razine zaporne tekućine pod čašom, tj. o promjeni volumena plinovite faze koja je pod njom zarobljena. Rezultati mjerenja variraju u rasponu od 9 % do 29 % na temelju čega se može reći da pokusom, ako je dizajniran na uobičajeni način, ne možemo pokazati ništa o udjelu kisika u zraku. No, to ne znači da ga je potrebno potpuno ukloniti iz nastave bilo *Prirode i društva* bilo *Kemije*.

Pokus sa svijećom, zbog niza razloga, može biti uspješno uporabljen u nastavnoj praksi. Osim što je jeftin i jednostavan, on je kratak i izvediv svakom učeniku, a da bi bio koristan potrebno je samo promijeniti mu nastavni cilj.

Stoga se ovim radom željelo ponuditi drugačiju nastavnu strategiju i odrediti druge nastavne ciljeve. Proveden je veliki broj mjerenja kako bi se pokušalo postići bolju ponovljivost rezultata mjerenja. Unatoč tome što je svako mjerenje rađeno na jednak način (visina svijeće je kontrolirana malim brojem korištenja, svijeća je uvijek jednako dugo gorjela prije pokrivanja, spuštanje čaše nad svijeću uvijek je trajalo pet sekundi, razina vode očitavana je 10 sekundi nakon gašenja plamena svijeće) nije postignuta zadovoljavajuća ponovljivost rezultata.

Mijenjanje odabranih parametara (oblik i visina svijeće, volumen čaše, materijal od kojeg je čaša napravljena, zaporna tekućina) također nije pomoglo.

Prilikom izvedbe pokusa primijećeno je da postoji povezanost između vremena gorenja svijeće i duljine fitilja, kada svijeća gori *jače* (dulji fitilj) ili *slabije* (kraći fitilj). Ovi parametri utječu i na promjenu razine vode ispod čaše pa je pokus dizajniran tako da je kontrolirana duljina fitilja svijeće. Iz opažanja se zaključuje da svijeća s duljim fitiljem gori jače, jer veća količina voska prelazi u plinovitu fazu te se postiže bolje sagorijevanje, a samim time i viša temperatura sustava. Boljim sagorijevanjem postiže se razvijanje više ugljikovog dioksida koji se brzo širi iznad i oko plamena svijeće te ga brzo gasi. Viša temperatura uzrokuje veće širenje plinovite faze pa hlađenjem sustava dolazi da veće promjene razine vode u čaši.

U slučaju kad je fitilj kraći (i ravan, bez prirodne zakrivljenosti) manja količina voska prelazi u plinovitu fazu pa je sagorijevanje slabije te se postiže niža temperatura plinovite faze. Svijeća gori dulje, ali slabijim plamenom. S obzirom na to da se ne postiže visoka temperatura ne dolazi

do velikog širenja plinovite faze, a samim time i prilikom hlađenja promjena razine vode u čaši je manja.

Učenici trebaju izvoditi pokus, bilježiti opažanja i mjeriti odabrane parametre. Kad skupe dovoljan broj rezultata trebaju ih na prikladan način obraditi i potom komentirati. To će im omogućiti da identificiraju određene probleme o kojima se onda može diskutirati tijekom nastave s ciljem iznalaženja boljih rješenja izvedbe pokusa. Primjenom ovakve, istraživačke, metode rada, pokus sa svijećom stavit će učenike u situaciju da samostalnim radom dođu do spoznaja i da je za donošenje kvalitetnih zaključaka potrebno ostvariti ponovljivost rezultata, tj. provesti kvalitetna mjerenja. Opažanjem i analiziranjem uočenih promjena učenici mogu redizajnirati pokus ne bi li kontrolirali parametre za koje pretpostavljaju da će omogućiti homogenije rezultate. Nakon toga, mogu provesti određeni broj mjerenja kojim će provjeriti ispravnost svojih razmišljanja. Postupak može imati veći broj iteracija, od kojih svaka može podići kvalitetu kontrole pokusa.

Sve su ovo osobine znanstvene metode istraživanja, čije se usvajanje spominje kao jedan od ciljeva i u *Hrvatskom nacionalnom obrazovnom standardu* i u predmetnim kurikulumima nastave *Prirode i društva*, *Kemije* i *Fizike* koji su usvojeni u sklopu najnovije *Cjelovite kurikularne reforme*.

## **7. LITERATURNI IZVORI**

1. D. Grdenić, *Povijest kemije*, str. 153 (Filon iz Bizanta); str. 419 (Francis Bacon); str. 401 (Galileo Galilei); str. 373 (Jan Baptista van Helmont); str. 401 (Robert Boyle); str 414 (John Mayow); str. 507-508 (Antoine Lavoisier), Novi Liber, Zagreb 2001.
2. J. Jastrow, *The story of human error*, D. Appleton-Century Company, New York 1936., str. 192
3. E. Grant, *Much ado about nothing*, Combridge Univeristy Press, New York, 1981. str. 77-80.
4. G. Galle, *Peter of Auvergne*, Lueven University Press, Lueven, 2003. sr. 269-271.
5. L. Reti, *J. Chem. Educ.* **29** (1952.) 590.
6. F. Bacon, *The new organon*, 1620. [https://www.constitution.org/bacon/nov\\_org.htm](https://www.constitution.org/bacon/nov_org.htm), pristup 6.9.2019.
7. F. Bacon, *The works Of Francis Bacon, baron of Verulam, viscount St. Alban, and lord high chancellor of England*, J. Johnson, London 1803. str. 37, pokus: 889.
8. F. Vera, R. Rivera, C. Núñez, *Science & Education*, **20** (2011.): 881 – 893
9. A. Wolf, *The History of Science Technology, and Philosophy in the 16th & 17th Centuries*, Routledge, London 2019., chapter XV. Chemistry.
10. J. R. Partington, *Annals of Science* **1** (1936.) 359-384.
11. A. P. Cawadias, *Proceedings of the Royal Society of Medicine* vol. **31**,1 (1937.): 27-38.
12. L. A. COHEN, *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, **XI** (2) (1956.), 127–132.
13. E. R. Riegel, *J. Chem. Educ.* **3**(10) (1926.) 1103.
14. R. Marcus, *Joseph Priestley, pioneer chemist*, F. Watts, New York 1961. str. 87
15. A. L. Lavoisier, *Mémoire sur la combustion des chandelles dans l'air atmosphérique, et dans l'air éminemment respirable*, Academie des sciences, 1777., <http://moro.imss.fi.it/lavoisier/bookdetailframe.asp?back=true&bookid=556&PageLineid=1932> pristup 10.9.2019.
16. E. Vitz, *J. Chem. Educ.* **77** (2000) 1011-1013.
17. J. MacNeil, L. Volaric, *J. Chem. Educ.* **80** (2003) 302-304.
18. D. Kernel, S. A. Glažar, *J. Chem. Educ.* **78** (2001.) 914.
19. H. S. Dhindsa, *J. of Sci. and Math. Educ. in S.E. Asia*, 28 (2) (2005) 48-72
20. J. Glanz, *The Science Teacher*, **30** (7) (1963.) 29-31
21. G. D. Peckham, *J. Chem. Educ.* **70** (1993) 1008-1009.
22. C. H. Hodgkin, *Aust. Sci. Teach. J.* **41** (1995) 47-49.
23. J. P. Birk i A. E. Lawson, *J. Chem. Educ.* **76** (1999) 914-916.

24. N. Marmilić, K. Sedlar i N. Judaš, *Small-group discovery based learning strategy (SGDBLS) for teaching the scientific method and the nature of science using a very simple experiment*, 4th International Conference on Research in Didactic of Science. Book of Abstracts. Krakow, Poland. (2010.) str. 236-240.
25. S. Cvjetičanin, D. Obradović, I. Rančić, *Croatian Journal of Education* **17** (3) (2015.) 11-39
26. <https://conference.nie.edu.sg/paper/Converted%20Pdf/ab00354.pdf> pristup 15.7.2019.
27. *Hrvatski nacionalni obrazovni standard*, NN 102/2006
28. *Kurikulum nastavnog predmeta Priroda i društvo za osnovne škole*, NN 7/2019
29. *Kurikulum nastavnog predmeta Kemija za osnovne škole i gimnazije*, NN 10/2019
30. *Kurikulum nastavnog predmeta Fizika za osnovne škole i gimnazije*, NN 10/2019
31. M. Grubić, *Upoznavanje prirode i društva: priprema za obradu teme Uzduh*, Školska knjiga, Zagreb, 1959. str. 7-15, 105-106
32. T. Jelić, *Moja domovina 4*, Alfa, Zagreb 2015., str. 16
33. S. Škreblin, S. Basta, N. Svoboda Arnautov, *Pogled u svijet 4*, radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2014., str.16
34. T. Kisovar Ivanda, *Naš svijet 4*, Školska knjiga, Zagreb, 2014., str. 22
35. S. Ćorić, S. Bakarić, *Eureka! 4*, Školska knjiga, Zagreb, 2014., str. 26
36. V.Dorofejev, I. Mažuran, I. De Zan, *Moja domovina, radna bilježnica*, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
37. V.Dorofejev, I. Mažuran, I. De Zan, *Moja domovina, radna knjiga*, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
38. I. De Zan, T. Jelić, Z. Klarić, B. Vranješ-Šoljan, *Moja domovina Hrvatska*, vježbenica, Školska knjiga, Zagreb, 2000.
39. I. De Zan, T. Jelić, Z. Klarić, B. Vranješ-Šoljan, *Moja domovina Hrvatska*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2000.
40. D. Bertić, B. Curić, I. Jurišić, *Domovina Hrvatska*, udžbenik, Naklada Ljevak, Zagreb, 2002.
41. D. Vrgoč, V. Žugec, *To je moj svijet 4*, radna bilježnica, Alfa, Zagreb, 2003.
42. B. Petljak, D. Vrgoč, V. Žugec, *Upoznajem zavičaj 4*, vježbenica, Školska knjiga, Zagreb, 2004.
43. B. Petljak, D. Vrgoč, V. Žugec, *Upoznajem zavičaj 4*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2004.
44. J. Horvat Kolak, *Priroda i društvo 4*, udžbenik, Profil international, Zagreb, 2011.
45. J. Horvat kolak, *Priroda i društvo 4*, radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2011.

46. S. Ćorić, S. Bakarić Palička, *Eureka! 4*, radna bilježnica, Školska knjiga, Zagreb, 2014.
47. S. Ćorić, S. Bakarić Palička, *Eureka! 4*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2014.
48. T. Kisovar Ivanda, *Naš svijet 4*, radna bilježnica, Školska knjiga, Zagreb, 2014.
49. T. Kisovar Ivanda, *Naš svijet 4*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2014.
50. S. Škreblin, S. Basta, N. Svoboda Arnautov, *Pogled u svijet 4*, radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2014.
51. S. Škreblin, S. Basta, N. Svoboda Arnautov, *Pogled u svijet 4*, udžbenik, Profil international, Zagreb, 2014.
52. T. Jelić, *Moja domovina 4*, udžbenik, Alfa, Zagreb, 2015.
53. R. Ajduk, K. Sikirić, *Korak u svijet 4*, dopunska radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2009.
54. S. Ivić, M. Krmpotić, *Korak u svijet 4*, dodatna radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2009.
55. B. Janev Hutinec, S. Škreblin, *Korak u svijet 4*, radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2009.
56. J. Bastalić, B. Vladušić, *Korak u svijet 4*, udžbenik, Profil international, Zagreb, 2007.
57. I. Planinić, I. Filipović, M. Bukovac, *Svijet kemije 1*, Školska knjiga, Zagreb, 1998. str. 13
58. ur. J. Turić, *Kemijski i fizikalni pokusi i opažanja kojima učenik razvija svoje razumno shvaćanje prirodnih pojava*, Knjižica za seljake i seljačke zimske škole, 1937., str.10-11
59. I. Planinić, T. Cvitaš, *Kemija 1*, radna bilježnica, Školska knjiga, Zagreb, 2000.
60. I. Planinić, T. Cvitaš, *Kemija 1*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2000.
61. M. Sikirica, *Kemija 7*, radna bilježnica, Školska knjiga, Zagreb, 2001.
62. M. Sikirica, *Kemija 7*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2001.
63. A. Battistuti Pecha, Ž. Mrklić, Maja Petković, *Svijet tvari 1*, udžbenik, Profil international, Zagreb, 2002.
64. R. Najman, L. Frkanec, *Kemija 7*, udžbenik, Alfa, Zagreb, 2003.
65. M. Bukovac, D. Magdalenić, M. Sikirica, *Kemija otkrivanjem*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2004.
66. M. Bukovac, D. Magdalenić, M. Sikirica, *Kemija otkrivanjem*, radna bilježnica, Školska knjiga, Zagreb, 2004.
67. S. Lukić, *Što je sve kemija?*, radna bilježnica, Školska knjiga, Zagreb, 2006.
68. D. Mrvoš-Sermek, D. Barić, N. Ribarić, *Kemija 7*, radna bilježnica, Alfa, Zagreb, 2007.



69. M. Sikirica, K. Holenda, *Kemija istraživanjem 7*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2007.
70. A. Pehar, N. Bekić, *Kemija 7*, udžbenik s radnom bilježnicom, Alka script, Zagreb, 2008.
71. A. Battistuti Pecha, Ž. Mrklić, M. Petković, N. Štiglić, *U svijetu kemije 7*, udžbenik, Profil international, Zagreb, 2008.
72. D. Mrvoš-Sermek, M. Kovačević, D. Brić, *Kemija 7*, udžbenik, Alfa, Zagreb, 2009.
73. A. Battistuti Pecha, Ž. Mrklić, M. Petković, *Svijet tvari 1*, radna bilježnica/radni listići, Profil international, Zagreb, 2009.
74. S. Lukić, M. Varga, I. Dujmović, *Lučba 7*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2010.
75. S. Lukić, M. Varga, I. Dujmović, *Lučba 7*, radna bilježnica, Školska knjiga, Zagreb, 2010.
76. S. Lukić, *Što je sve kemija?*, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 2007.
77. Ž. Mrklić, *U svijetu kemije 7*, radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2008.
78. M. Kovčević, N. Ribarić, *Zagonetna kemija 7*, udžbenik, Alfa, Zagreb, 2008.
79. E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, A. Lopac Groš, *Kemija 7*, radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2014.
80. E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, A. Lopac Groš, *Kemija 7*, udžbenik, Profil international, Zagreb, 2014.
81. E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, A. Lopac Groš, *Kemija 7*, radna bilježnica, Profil international, Zagreb, 2014.
82. E. Kovač-Andrić, N. Štiglić, A. Lopac Groš, *Kemija 7*, udžbenik, Profil international, Zagreb, 2014.
83. B. Ratkaj, *Heureka!*, zbirka pokusa, Profil international, Zagreb, 2008.
84. N. Judaš, *J. Chem. Educ.* **87**(3) (2010) 250-251.
85. A. H. Guerrero, *Research Miniprojects for Chemistry Teaching*. In Conference Proceedings, VI International Conference on Chemical Education; University of Maryland: College Park, Maryland, 1981; p 201.

## **8. DODATAK**

**Tablica 18a.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_\xi = 366$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / mm$	$\Delta V_0 / mL$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	6,01	10	34,19	0,09
2	4,69	11	37,61	0,10
3	3,9	10	34,19	0,09
4	3,74	11	37,61	0,10
5	4,73	12	41,03	0,11
6	6,74	10	34,19	0,09
7	4,57	9	30,77	0,08
8	3,97	10	34,19	0,09
9	3,08	11	37,61	0,10
10	3	10	34,19	0,09
11	9,43	9	30,77	0,08
12	6,93	7	23,93	0,06
13	6,15	9	30,77	0,08
14	5,34	7	23,93	0,06
15	4,56	9	30,77	0,08
16	10,48	8	27,35	0,07
17	7,19	8	27,35	0,07
18	5,84	8	27,35	0,07
19	6,49	9	30,77	0,08
20	6,02	9	30,77	0,08
21	6,46	10	34,19	0,09
22	4,41	11	37,61	0,10
23	3,75	10	34,19	0,09
24	3,68	11	37,61	0,10
25	3,16	10	34,19	0,09
26	13,56	11	37,61	0,10
27	13,29	11	37,61	0,10
28	9,47	11	37,61	0,10
29	7,74	11	37,61	0,10
30	7,45	11	37,61	0,10
31	10,84	12	41,03	0,11
32	7,48	13	44,45	0,12
33	6,47	13	44,45	0,12
34	7,38	11	37,61	0,10
35	6,54	13	44,45	0,12
36	11,55	12	41,03	0,11
37	7,07	12	41,03	0,11
38	6,75	12	41,03	0,11
39	6,81	13	44,45	0,12
40	6,36	13	44,45	0,12
41	11,72	13	44,45	0,12
42	9,93	13	44,45	0,12
43	9,05	12	41,03	0,11
44	8,31	11	37,61	0,10
45	7,03	13	44,45	0,12
46	11,83	12	41,03	0,11
47	9,82	10	34,19	0,09
48	7,62	11	37,61	0,10
49	8,27	11	37,61	0,10

**Tablica 18b.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_\xi = 366$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

<b>50</b>	8,22	11	37,61	0,10
<b>51</b>	7,5	16	54,71	0,14
<b>52</b>	5,83	16	54,71	0,14
<b>53</b>	4,86	14	47,87	0,13
<b>54</b>	6,87	11	37,61	0,10
<b>55</b>	4,75	16	54,71	0,14
<b>srednja vrijednost</b>	$13,74 \pm 49,67$	$11,5 \pm 1,99$	$37,8 \pm 6,82$	$0,10 \pm 0,01$

**Tablica 19.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_\xi = 366$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

<b>Br.</b>	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_\xi$
<b>1</b>	10,44	13	44,45	0,12
<b>2</b>	7,93	11	37,61	0,10
<b>3</b>	7,06	15	51,29	0,14
<b>4</b>	6,2	15	51,29	0,14
<b>5</b>	5,43	15	51,29	0,14
<b>6</b>	9,02	11	37,61	0,10
<b>7</b>	6,74	14	47,87	0,13
<b>8</b>	5,37	15	51,29	0,14
<b>9</b>	4,08	11	37,61	0,10
<b>10</b>	8,21	10	34,19	0,09
<b>11</b>	11,56	13	44,45	0,12
<b>12</b>	11,26	10	34,19	0,09
<b>13</b>	8,88	12	41,03	0,11
<b>14</b>	8,34	10	34,19	0,09
<b>15</b>	7,95	11	37,61	0,10
<b>16</b>	10,39	14	47,87	0,13
<b>17</b>	7,07	12	41,03	0,11
<b>18</b>	5,31	11	37,61	0,10
<b>19</b>	5,14	12	41,03	0,11
<b>20</b>	4,39	13	44,45	0,12
<b>21</b>	12,96	10	34,19	0,09
<b>22</b>	9,85	13	44,45	0,12
<b>23</b>	8,17	12	41,03	0,11
<b>24</b>	7,47	11	37,61	0,10
<b>25</b>	8,12	12	41,03	0,11
<b>srednja vrijednost</b>	$7,89 \pm 2,31$	$12,24 \pm 1,69$	$41,89 \pm 5,78$	$0,11 \pm 0,1$

**Tablica 20.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\xi} = 366$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	7,26	12	41,03	0,11
2	6,14	14	47,87	0,13
3	5,55	13	44,45	0,12
4	4,71	15	51,29	0,14
5	6,96	12	41,03	0,11
6	4,45	11	37,61	0,10
7	4,52	13	44,45	0,12
8	4,75	14	47,87	0,13
9	5,23	12	41,03	0,11
10	4,72	12	41,03	0,11
11	8,76	13	44,45	0,12
12	6,49	12	41,03	0,11
13	5,43	13	44,45	0,12
14	5,8	13	44,45	0,12
15	4,08	11	37,61	0,10
16	7,86	13	44,45	0,12
17	3,79	15	51,29	0,14
18	5,16	12	41,03	0,11
19	3,6	12	41,03	0,11
20	4,76	12	41,03	0,11
21	8,08	11	37,61	0,10
22	5,59	14	47,87	0,13
23	4,52	11	37,61	0,10
24	5,62	11	37,61	0,10
25	4,98	10	34,19	0,09
26	10,48	11	37,61	0,10
27	8,27	11	37,61	0,10
28	7,87	12	41,03	0,11
29	6,76	13	44,45	0,12
30	6,55	13	44,45	0,12
31	10,91	11	37,61	0,10
32	8,7	12	41,03	0,11
33	6,69	13	44,45	0,12
34	6,67	14	47,87	0,13
35	4,76	11	37,61	0,10
36	15,24	11	37,61	0,10
37	9,66	12	41,03	0,11
38	8,06	12	41,03	0,11
39	8,44	14	47,87	0,13
40	7,12	16	54,71	0,14
<b>srednja vrijednost</b>	$6,62 \pm 2,30$	$12,42 \pm 1,33$	$42,49 \pm 4,57$	$0,11 \pm 0,01$

**Tablica 21.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\epsilon} = 366$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\epsilon}$
1	7,73	14	47,87	0,13
2	7,24	14	47,87	0,13
3	5,44	13	44,45	0,12
4	4,5	15	51,29	0,14
5	4,59	15	51,29	0,14
6	11,59	16	54,71	0,14
7	9,26	17	58,13	0,15
8	6,95	15	51,29	0,14
9	7,72	17	58,13	0,15
10	5,47	18	61,55	0,16
11	9,87	17	58,13	0,15
12	6,99	19	64,97	0,17
13	6,85	16	54,71	0,14
14	11,33	15	51,29	0,14
15	8,05	15	51,29	0,14
16	10,31	16	54,71	0,14
17	8,63	18	61,55	0,16
18	6,4	15	51,29	0,14
19	6,2	16	54,71	0,14
20	6,13	16	54,71	0,14
21	12,21	13	44,45	0,12
22	12,39	14	47,87	0,13
23	8,56	14	47,87	0,13
24	7,37	19	64,97	0,17
25	8,63	12	41,03	0,11
<b>srednja vrijednost</b>	$8,01 \pm 2,26$	$15,56 \pm 1,82$	$53,21 \pm 6,25$	$0,14 \pm 0,01$

**Tablica 22.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\epsilon} = 366$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\epsilon}$	$\Delta V_1 / V_{\epsilon}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\epsilon} - \Delta V_1 / V_{\epsilon}}$
1	8,64	13	16	44,46	54,72	0,12	0,15	0,03
2	9,82	13	15	44,46	51,30	0,12	0,14	0,02
3	13,22	11	14	37,62	47,88	0,10	0,13	0,03
<b>srednja vrijednost</b>	$10,56 \pm 2,38$	$12,33 \pm 1,15$	$15,00 \pm 1,00$	$42,18 \pm 3,95$	$51,30 \pm 3,42$	$0,12 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$

**Tablica 23.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\xi} = 366$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	5,62	14	16	47,88	54,72	0,13	0,15	0,02
2	8,89	10	12	34,20	41,04	0,09	0,11	0,02
3	7,97	13	18	44,46	61,56	0,12	0,17	0,05
<b>srednja vrijednost</b>	$7,49 \pm 1,69$	$12,33 \pm 2,08$	$15,33 \pm 3,06$	$42,18 \pm 7,12$	$52,44 \pm 10,45$	$0,12 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,02$

**Tablica 24.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 68 mm, plastična čaša volumena  $V_{\xi} = 366$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	9,22	15	20	51,30	68,40	0,14	0,19	0,05
2	9,04	15	20	51,30	68,40	0,14	0,19	0,05
3	11,118	14	18	47,88	61,56	0,13	0,17	0,04
<b>srednja vrijednost</b>	$9,79 \pm 1,15$	$14,67 \pm 0,58$	$19,33 \pm 1,15$	$50,16 \pm 1,97$	$66,12 \pm 3,95$	$0,14 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$

**Tablica 25a.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	9,49	14	83,32	0,16
2	7,14	17	101,18	0,19
3	11,31	12	71,42	0,13
4	10,60	15	89,27	0,17
5	10,02	15	89,27	0,17
6	8,57	16	95,23	0,18
7	6,82	20	119,03	0,22
8	7,85	21	124,98	0,23
9	6,88	17	101,18	0,19

**Tablica 25b.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_\xi = 536$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

10	6,39	20	119,03	0,22
11	8,77	17	101,18	0,19
12	6,84	18	107,13	0,20
13	7,81	15	89,27	0,17
14	6,47	17	101,18	0,19
15	6,12	17	101,18	0,19
16	7,73	17	101,18	0,19
17	10,04	13	77,37	0,14
18	9,30	15	89,27	0,17
19	9,11	14	83,32	0,16
20	8,01	16	95,23	0,18
21	7,82	17	101,18	0,19
22	9,08	16	95,23	0,18
23	9,39	14	83,32	0,16
24	6,56	16	95,23	0,18
25	6,46	16	95,23	0,18
<b>srednja vrijednost</b>	$8,18 \pm 1,47$	$16,20 \pm 2,12$	$96,42 \pm 12,63$	$0,18 \pm 0,02$

**Tablica 26.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_\xi = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	19,51	16	95,23	0,18
2	16,31	16	95,23	0,18
3	15,62	16	95,23	0,18
4	14,49	17	101,18	0,19
5	23,24	12	71,42	0,13
6	16,45	17	101,18	0,19
7	27,39	11	65,47	0,12
8	19,94	16	95,23	0,18
9	16,10	16	95,23	0,18
10	14,55	16	95,23	0,18
11	15,47	18	107,13	0,20
12	14,38	17	101,18	0,19
13	23,01	13	77,37	0,14
14	15,60	16	95,23	0,18
15	16,92	15	89,27	0,17
16	15,95	16	95,23	0,18
17	13,41	16	95,23	0,18
18	17,30	16	95,23	0,18
19	17,36	16	95,23	0,18
20	13,74	17	101,18	0,19
21	22,51	13	77,37	0,14
22	19,76	14	83,32	0,16
23	17,92	16	95,23	0,18
24	17,45	15	89,27	0,17
25	19,40	13	77,37	0,14
<b>srednja vrijednost</b>	$17,75 \pm 3,42$	$15,36 \pm 1,73$	$91,42 \pm 10,29$	$0,17 \pm 0,02$



**Tablica 27.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_\xi = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	20,32	12	71,42	0,13
2	18,51	13	77,37	0,14
3	19,56	13	77,37	0,14
4	17,70	17	101,18	0,19
5	15,25	16	95,23	0,18
6	19,30	15	89,27	0,17
7	15,56	16	95,23	0,18
8	12,65	17	101,18	0,19
9	19,29	16	95,23	0,18
10	18,30	17	101,18	0,19
11	17,11	16	95,23	0,18
12	16,25	16	95,23	0,18
13	12,20	18	107,13	0,20
14	19,23	14	83,32	0,16
15	12,95	16	95,23	0,18
16	17,65	16	95,23	0,18
17	14,31	18	107,13	0,20
18	11,48	16	95,23	0,18
19	20,34	15	89,27	0,17
20	13,39	17	101,18	0,19
21	19,03	16	95,23	0,18
22	16,48	16	95,23	0,18
23	13,29	20	119,03	0,22
24	12,02	16	95,23	0,18
25	12,92	16	95,23	0,18
<b>srednja vrijednost</b>	$16,20 \pm 2,94$	$15,92 \pm 1,68$	$94,75 \pm 10,01$	$0,18 \pm 0,02$

**Tablica 28a.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_\xi = 536$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	15,32	16	95,23	0,18
2	24,46	15	89,27	0,17
3	16,62	16	95,23	0,18
4	24,12	14	83,32	0,16
5	21,66	11	65,47	0,12
6	22,48	16	95,23	0,18
7	18,43	16	95,23	0,18
8	12,98	17	101,18	0,19
9	26,91	14	83,32	0,16
10	25,06	14	83,32	0,16
11	17,72	16	95,23	0,18
12	16,64	16	95,23	0,18
13	19,38	16	95,23	0,18

**Tablica 28b.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

<b>14</b>	16,55	17	101,18	0,19
<b>15</b>	13,58	21	124,98	0,23
<b>16</b>	20,07	17	101,18	0,19
<b>17</b>	18,34	18	107,13	0,20
<b>18</b>	16,07	18	107,13	0,20
<b>19</b>	12,69	19	113,08	0,21
<b>20</b>	20,86	16	95,23	0,18
<b>21</b>	14,68	17	101,18	0,19
<b>22</b>	19,18	18	107,13	0,20
<b>23</b>	13,55	20	119,03	0,22
<b>24</b>	20,92	15	89,27	0,17
<b>25</b>	14,68	20	119,03	0,22
<b>srednja vrijednost</b>	$18,52 \pm 4,04$	$16,52 \pm 2,18$	$98,32 \pm 12,98$	$0,18 \pm 0,02$

**Tablica 29.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

<b>Br.</b>	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
<b>1</b>	13,32	16	17	95,23	101,18	0,18	0,19	0,01
<b>2</b>	10,95	16	21	95,23	124,98	0,18	0,23	0,06
<b>3</b>	13,11	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
<b>4</b>	18,11	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
<b>5</b>	17,54	16	17	95,23	101,18	0,18	0,19	0,01
<b>6</b>	13,33	18	20	107,13	119,03	0,20	0,22	0,02
<b>srednja vrijednost</b>	$14,39 \pm 2,81$	$16,33 \pm 0,82$	$18,50 \pm 1,64$	$97,21 \pm 4,86$	$110,10 \pm 9,78$	$0,18 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,02$

**Tablica 30.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	17,58	17	17	101,18	101,18	0,19	0,19	0,00
2	23,61	13	14	77,37	83,32	0,14	0,16	0,01
3	13,32	10	12	59,52	71,42	0,11	0,13	0,02
4	23,52	11	12	65,47	71,42	0,12	0,13	0,01
5	15,32	18	20	107,13	119,03	0,20	0,22	0,02
6	22,29	13	15	77,37	89,27	0,14	0,17	0,02
<b>srednja vrijednost</b>	$19,27 \pm 4,47$	$13,67 \pm 3,20$	$15,00 \pm 3,10$	$81,34 \pm 19,07$	$89,27 \pm 18,44$	$0,15 \pm 0,04$	$0,17 \pm 0,03$	$0,01 \pm 0,01$

**Tablica 31.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	19,57	15	16	89,27	95,23	0,17	0,18	0,01
2	14,75	20	20	119,03	119,03	0,22	0,22	0,00
3	15,26	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
4	18,3	16	18	95,23	107,13	0,18	0,20	0,02
5	16,27	16	16	95,23	95,23	0,18	0,18	0,00
6	13,14	18	20	107,13	119,03	0,20	0,22	0,02
<b>srednja vrijednost</b>	$16,22 \pm 2,37$	$16,83 \pm 1,83$	$18,00 \pm 1,79$	$100,19 \pm 10,92$	$107,13 \pm 10,65$	$0,19 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$	$0,01 \pm 0,01$

**Tablica 32.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$  10 sekundi nakon gašenja svijeće i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_1$  nakon 30 minuta. Korištena je svijeća visine 48 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 536$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 2$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta h_1 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_1 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$	$\Delta V_1 / V_{\xi}$	$\frac{\Delta V_0 / V_{\xi} - \Delta V_1 / V_{\xi}}$
1	15,76	16	21	95,23	124,98	0,18	0,23	0,06
2	12,12	16	23	95,23	136,89	0,18	0,26	0,08
3	17,01	18	23	107,13	136,89	0,20	0,26	0,06
4	14,6	18	23	107,13	136,89	0,20	0,26	0,06
5	15,45	19	24	113,08	142,84	0,21	0,27	0,06
6	13,61	18	25	107,13	148,79	0,20	0,28	0,08
<b>srednja vrijednost</b>	$14,76 \pm 1,72$	$17,50 \pm 1,22$	$23,17 \pm 1,33$	$104,15 \pm 7,29$	$137,88 \pm 7,91$	$0,19 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,01$

**Tablica 33a.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 245$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_{\xi}$
1	4,93	30	55,52	0,23
2	4,36	29	53,67	0,22
3	4,29	29	53,67	0,22
4	4,45	27	49,97	0,20
5	4,67	31	57,37	0,23
6	5,42	29	53,67	0,22
7	4,22	33	61,08	0,25
8	3,96	31	57,37	0,23
9	3,78	33	61,08	0,25
10	3,8	30	55,52	0,23
11	6,03	29	53,67	0,22
12	3,57	31	57,37	0,23
13	4,06	29	53,67	0,22
14	3,85	30	55,52	0,23
15	4,4	29	53,67	0,22
16	3,73	36	66,63	0,27
17	4,83	29	53,67	0,22
18	6,08	27	49,97	0,20
19	5,02	30	55,52	0,23
20	5,2	30	55,52	0,23
21	5,46	30	55,52	0,23
22	4,16	31	57,37	0,23
23	5,72	31	57,37	0,23
24	6,87	30	55,52	0,23
25	6,25	31	57,37	0,23

**Tablica 33b.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 245$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

<b>26</b>	4,87	33	61,08	0,25
<b>27</b>	4,57	32	59,23	0,24
<b>28</b>	3,59	34	62,93	0,26
<b>29</b>	5,88	33	61,08	0,25
<b>30</b>	3,98	32	59,23	0,24
<b>srednja vrijednost</b>	$4,73 \pm 0,89$	$30,63 \pm 1,99$	$56,70 \pm 3,69$	$0,23 \pm 0,02$

**Tablica 34.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_{\xi} = 245$  mL i 300 mL klorovodične kiseline ( $c(\text{HCl}) = 0,1$  mol L<sup>-1</sup>) kao zaporne tekućine.

<b>Br.</b>	<b><math>t</math> / s</b>	<b><math>\Delta h_0</math> / mm</b>	<b><math>\Delta V_0</math> / mL</b>	<b><math>\Delta V_0 / V_{\xi}</math></b>
<b>1</b>	7,23	30	55,52	0,23
<b>2</b>	4,41	27	49,97	0,20
<b>3</b>	5,51	27	49,97	0,20
<b>4</b>	4,12	29	53,67	0,22
<b>5</b>	5,59	31	57,37	0,23
<b>6</b>	7,33	30	55,52	0,23
<b>7</b>	6,52	30	55,52	0,23
<b>8</b>	5,12	28	51,82	0,21
<b>9</b>	4,53	29	53,67	0,22
<b>10</b>	4,8	31	57,37	0,23
<b>11</b>	4,76	32	59,23	0,24
<b>12</b>	2,9	30	55,52	0,23
<b>13</b>	5,02	28	51,82	0,21
<b>14</b>	4,03	29	53,67	0,22
<b>15</b>	3,07	28	51,82	0,21
<b>16</b>	4,17	34	62,93	0,26
<b>17</b>	3,9	35	64,78	0,26
<b>18</b>	2,74	35	64,78	0,26
<b>19</b>	4,83	30	55,52	0,23
<b>20</b>	5,58	30	55,52	0,23
<b>21</b>	4,69	33	61,08	0,25
<b>22</b>	3,56	33	61,08	0,25
<b>23</b>	3,76	34	62,93	0,26
<b>24</b>	3,4	32	59,23	0,24
<b>25</b>	3,62	31	57,37	0,23
<b>26</b>	4,8	35	64,78	0,26
<b>27</b>	3,73	35	64,78	0,26
<b>28</b>	7,73	24	44,42	0,18
<b>29</b>	6,57	25	46,27	0,19
<b>30</b>	7,3	26	48,12	0,20
<b>srednja vrijednost</b>	$4,84 \pm 1,38$	$30,37 \pm 3,03$	$56,20 \pm 5,62$	$0,23 \pm 0,02$

**Tablica 35.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_\xi = 245$  mL i 300 mL natrijeve lužine ( $c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) kao zaporne tekućine.

Br.	$t / \text{s}$	$\Delta h_0 / \text{mm}$	$\Delta V_0 / \text{mL}$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	6	32	59,23	0,24
2	4,07	34	62,93	0,26
3	5,8	32	59,23	0,24
4	5,37	30	55,52	0,23
5	4,28	32	59,23	0,24
6	7,24	31	57,37	0,23
7	5,36	30	55,52	0,23
8	7,51	29	53,67	0,22
9	6,27	30	55,52	0,23
10	6,17	30	55,52	0,23
11	4,91	33	61,08	0,25
12	3,57	39	72,18	0,29
13	4,72	30	55,52	0,23
14	5,45	29	53,67	0,22
15	4,62	31	57,37	0,23
16	5,46	29	53,67	0,22
17	4,3	32	59,23	0,24
18	3,89	31	57,37	0,23
19	5,47	32	59,23	0,24
20	5,41	32	59,23	0,24
21	5,46	31	57,37	0,23
22	4,3	36	66,63	0,27
23	3,89	37	68,48	0,28
24	5,47	31	57,37	0,23
25	5,41	31	57,37	0,23
26	4,42	38	70,33	0,29
27	3,33	36	66,63	0,27
28	3,16	36	66,63	0,27
29	4,88	36	66,63	0,27
30	3,86	37	68,48	0,28
<b>srednja vrijednost</b>	$5,00 \pm 1,06$	$32,57 \pm 2,92$	$60,27 \pm 5,41$	$0,25 \pm 0,02$

**Tablica 36.** Prikaz rezultata pokusa sa svijećom. Mjereno je vrijeme  $t$  potrebno da se svijeća ugasi i promjena razine vode u čaši  $\Delta h_0$ . Škarama je rezan fitilj svijeće za 1-2 mm svaka 3-4 mjerenja i mjeren prije svakog izvođenja pokusa ( $h_f$ ) Korištena je svijeća visine 51 mm, staklena čaša volumena  $V_\xi = 245$  mL i 300 mL destilirane vode kao zaporne tekućine.

Br.	$t / s$	$\Delta h_0 / mm$	$h_f / mm$	$\Delta V_0 / mL$	$\Delta V_0 / V_\xi$
1	11,46	21	5	38,87	0,16
2	11,48	21	5	38,87	0,16
3	10,36	19	5	35,17	0,14
4	8,5	25	5	46,27	0,19
5	5,41	34	7	62,93	0,26
6	4,25	31	7	57,37	0,23
7	6,11	32	7	59,23	0,24
8	5,22	32	7	59,23	0,24
9	5,01	31	8	57,37	0,23
10	5,09	30	8	55,52	0,23
11	4,26	31	8	57,37	0,23

## **9. ŽIVOTOPIS**



Nikolina Bilić (rođena Marmilić) rođena je 1979. godine u Zagrebu. Školu primijenjene umjetnosti i dizajna – odjel za dizajn metala završila je 1998. godine, a Srednju školu za ritmiku i ples 1999. godine, nakon čega upisuje studijski smjer profesor fizike i kemije na Fizičkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (2000. godine).

Od 2005. godine radi kao koordinator programa *Tjedna suvremenog plesa*, a od 2009. koordinira program *Zagrebačkog plesnog centra*, Ilica 10. Godine 2014. preuzima službu tajništva *Udruženja hrvatskih arhitekata*. U periodu od 2017. do 2018. godine obnaša dužnost direktorice privatnog kazališta *Luda kuća*. Proteklih 14 godina radi kao samostalni konzultant za financijsko upravljanje na projektima financiranim sredstvima Europske unije posebice programa *Kreativna Europa* i *Europskog socijalnog fonda* te na poslovima javne nabave. Usavršavala se u području kulturnog menadžmenta kroz program *European Diploma in Cultural Project Management* kojeg provodi *Marcel Hicter Association*.