

# Istraživačka nastava fizike u Go-lab okruženju

---

**Bogdanović, Dražena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, University of Split, Faculty of science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:732830>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-04**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Science](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno – matematički fakultet

**ISTRAŽIVAČKA NASTAVA FIZIKE U  
GO-LAB OKRUŽENJU**

Diplomski rad

Dražena Bogdanović

Split, rujan 2021.

Zahvaljujem se mentoru Ivici Avianiu na ukazanoj podršci, motivaciji, na svemu što sam naučila od njega, kao i na gradnji samopouzdanja u učionici.

Hvala i kolegici Barbari Tošić koja se pojavila u mom životu kad mi je bila najpotrebnija, a bez koje bi studiranje bilo jako naporno i monotono.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i svim svojim prijateljima na potpori i guranju za vrijeme studiranja.

Zahvaljujem se profesorici fizike Neli Dželaliji i njezinom razredu na sudjelovanju u nastanku ovoga rada.

## Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno – matematički fakultet  
Odjel za fiziku  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

Diplomski rad

### Istraživačka nastava fizike u Go-lab okruženju

Dražena Bogdanović

Sveučilišni diplomski studij Fizika, nastavnički smjer

#### Sažetak:

U ovom radu dan je primjer istraživački usmjerene online nastave za učenike drugog razreda srednje škole na temu Rad i snaga električne struje. Lekcija je pripremljena uz pomoć virtualnih laboratorija na Go-Lab portalu te Google obrasca koji je, uz prenošenje sadržaja, dao uvid u statistiku uspješnosti nastave. Napravljeni su i odgovarajući web sadržaji koji su uključivali pred-kviz za ponavljanje gradiva te tekst teorijskog objašnjenja lekcije. Istraživački pristup ostvaren je pomoću virtualnog laboratorija u kojemu se snaga grijača određivala mjerenjem brzine promjene temperature vode u kalorimetru. U drugom virtualnom laboratoriju mjerila se ovisnost snage žarulje o njezinom otporu uz konstantni napon te o naponu uz konstantni otpor. Analizom i sintezom rezultata vlastitih mjerenja učenici su trebali formulirati matematički izraz za snagu električne struje. Nakon toga su ispunjavali upitnik s konceptualnim pitanjima te zadacima vezanim uz svakodnevni život, koji provjeravaju sposobnost primjene usvojenog znanja. Rezultati istraživanja ukazuju na učeničke poteškoće, najčešće u crtanju i interpretaciji grafova. Sadržaj lekcije prilagodili smo mogućnostima Go-Lab sjedišta kreiranjem vlastitog okruženja za učenje istraživanjem (ILS-a). Također smo oblikovali odgovarajuće upute za izradu ILS-a, kako bismo s ovom metodom rada upoznali i druge nastavnike.

**Ključne riječi:** vođeno istraživanje, online laboratorij, Go-Lab, ILS

**Rad sadrži:** 53 stranice, 26 slika, 5 tablica, 32 literaturna navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku

**Mentor:** prof. dr. sc. Ivica Aviani

**Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Ivica Aviani  
prof. dr. sc. Ante Bilušić  
dr. sc. Lucija Krce

**Rad prihvaćen:** 16. rujna 2021.

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno – matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu.

<b>Basic documentation card</b>
---------------------------------

University of Split  
Faculty of Science  
Department of Physics  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

Master thesis

**Inquiry-Based Physics Education in the Go-Lab ecosystem**

Dražena Bogdanović

University graduate study programme Physics, orientation Education

**Abstract:**

This thesis we present an example of a research-based online lesson for second grade high school students on the topic of Work and Power of Electric Current. The lesson was prepared with the help of virtual laboratories on the Go-Lab portal and the Google form which, in addition to providing content, also provided insights into the statistics of the success of the lesson. Related web content was also created, including a pre-quiz for the subject repetition and the text of the theoretical explanation of the lesson. The research approach was implemented using a virtual laboratory in which the power of the heater was determined by measuring the rate of change of water temperature in the calorimeter. Another virtual lab was used to measure the dependence of the lamp's output on its resistance at constant voltage and on the voltage at constant resistance. By analysing and interpreting the results of their own measurements, the students were able to formulate a mathematical expression for the power of electric current. Finally, they completed a questionnaire with conceptual questions and tasks related to everyday life, that tested their ability to apply the knowledge they had acquired. The results of the investigation indicate student difficulties, most often in drawing and interpreting graphs. We adapted the lesson content to the Go-Lab platform by creating our own ILS. We have also designed a suitable guide for developing ILS to introduce other teachers to this method.

**Keywords:** guided inquiry-based instruction, online laboratory, Go-Lab, ILS

**Thesis consists of:** 53 pages, 26 figures, 5 tables, 32 references. Original language: Croatian

**Supervisor:** Prof. Ivica Aviani

**Reviewers:** Prof. Ivica Aviani  
Prof. Ante Bilušić  
Dr. Lucija Krce

**Thesis accepted:** September 16th, 2021

Thesis is deposited in the library of the Faculty of Science, University of Split.

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Go-Lab projekt</b> .....	<b>3</b>
2.1	Online laboratoriji.....	4
2.2	Aplikacije .....	6
2.3	Ciljevi i provedba Go-Lab projekta [4] .....	6
2.4	Informacije proizašle iz konzultacija s ostalim sudionicima [4] .....	7
2.5	Diskusijski radovi o izazovima i mogućnostima projekta .....	9
2.6	Okruženje za učenje istraživanjem (ILS).....	10
2.6.1	Ciklus istraživanja.....	10
2.7	Učenje proučavanjem fizičkog modela.....	13
2.7.1	Primjer učenja proučavanjem fizičkog modela uz pomoć virtualnog laboratorija.....	16
2.8	Stvaranje vlastitog ILS-a.....	16
<b>3</b>	<b>Primjer korištenja resursa ILS-a</b> .....	<b>20</b>
3.1	Virtualni laboratoriji .....	21
3.1.1	<i>Rad i snaga električne struje</i> .....	21
3.1.2	<i>Snaga žarulje</i> .....	23
3.2	Teorijsko objašnjenje .....	25
<b>4</b>	<b>Rezultati i diskusija</b> .....	<b>27</b>
4.1	Ishodi ostvareni metodom učenja vođenim istraživanjem .....	31
<b>5</b>	<b>Zaključak</b> .....	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Dodatak</b> .....	<b>38</b>
6.1	Prilog I.- Google obrazac <i>Rad i snaga električne struje</i> .....	38
6.2	Prilog II.- Google obrazac <i>Snaga žarulje</i> .....	42
<b>7</b>	<b>Literatura</b> .....	<b>47</b>

## 1 Uvod

Mnogobrojni rezultati edukacijskih istraživanja ukazuju na neadekvatnost tradicionalnog, transmisijskog oblika nastave, pogotovo u nastavi Fizike koja je općenito problemski usmjerena [1]. Manjkavost transmisijskog modela poučavanja mogla se uvidjeti prelaskom na online način poučavanja za vrijeme pandemije virusa covid-19 [2]. Iako tradicionalni oblik nastave ima svojih prednosti (prije svega ekonomičnost), jednosmjerni pravac komunikacije pretvara učenika u pasivnog slušatelja, kojemu je proces učenja sveden na mehaničko pamćenje [1]. S druge strane, upravo je udaljeno učenje, diktirano pandemijom, stvorilo priliku za promjene, odnosno za ekstenzivniju upotrebu Informacijsko komunikacijske tehnologije (IKT-a) kao alata koji omogućuje interaktivnu nastavu i postavljanje učenika u središte nastavnog procesa. U kojoj mjeri će se mogućnosti IKT-a koristiti u nastavi najviše ovisi o razini digitalne kompetencije učitelja, jer samo učitelj osposobljen za primjenu IKT-a u nastavi može upravljati nastavnim procesom koji se odvija putem interneta.

Smatra se da suvremena nastava treba biti motivirajuća dvosmjerna i kružna komunikacija između nastavnika i učenika [1]. Danas je nastavnik više od stručnog predavača koji ima apsolutnu kontrolu. On je organizator nastavnog procesa u kojemu potiče učenika da samostalno istražuje i gradi svoje znanje. Učenik i njegova postignuća trebaju biti u centru nastavnog procesa, u kojemu on dolazi do novih ideja vlastitim iskustvom, zbog čega tradicionalni oblik nastave u ovome kontekstu gubi smisao. To ujedno podrazumijeva da učenje treba biti usmjereno i na sam proces, a ne samo na sadržaj i informacije (tzv. učenje otkrivanjem) [3].

Učenici trebaju prvo usvojiti osnovne koncepte fizike i naučiti na koji ih način iskoristiti da objasne prirodne pojave te razvijati znanstveni pogled na svijet kako bi ga bolje razumjeli. Okruženje u kojemu uče koncepte bi trebalo biti vezano uz primjenjive životne situacije, umjesto uz apstraktne akademske primjere. Postoje znatne razlike između učeničkog stava prema onome što smatraju bitnim i onoga što se uči na satu, na kojem se nastoji usaditi u učenika široki spektar potrebnih znanja i vještina. Te se razlike mogu smanjiti potičući učenike da, uz to usvajanje novih sadržaja i vještina, ujedno kritički i logički razmišljaju tako da pronađu smisao u tome što uče [4]. Zato važno mjesto u nastavi treba zauzimati pokus, kao inicijator znatiželje, motivacije i kritičkog načina razmišljanja te mehanizam kojim bi se kod učenika trebao graditi znanstveni pogled na svijet [5].

Cilj ovoga rada je implementiranje ideja istraživačke (online) nastave kroz metodičku obradu nastavne teme *Rad i snaga električne struje* za učenike srednje škole te vrednovanje uspješnosti nastavne metode putem analize učeničkih postignuća. Internet nudi veliki broj mogućnosti pri oblikovanju ovakvog oblika nastave, međutim, fokus nam je bio na jednostavnosti oblikovanja nastave i dostupnosti potrebnih materijala kako nastavnicima, tako i učenicima. Jedna od takvih

možnosti je Google obrazac, sastavni dio Google Diska koji sadržava nemali broj različitih načina za formuliranje pitanja i odgovora. Ujedno daje i statistički pregled učeničkih odgovora, što omogućuje praćenje napretka učenika, kao i uvid u njihove ideje.

U potrazi za pogodnim internetskim sadržajem, koji omogućava online istraživanje, proučili smo platformu Go-Lab koja sadržava skup online laboratorija (virtualnih i udaljenih) te skupove podataka iz velikih znanstveno-istraživačkih projekata. Nakon provedene nastavne jedinice u kombinaciji Google obrasca i Go-Lab laboratorija, proučili smo dodatne mogućnosti Go-Lab sjedišta, prije svega mogućnosti tzv. prostora za učenje (eng. *Inquiry Learning Spaces*, ILS). Sadržaj lekcije *Rad i snaga električne struje* prilagodili smo mogućnostima Go-Lab sjedišta kreiranjem vlastitog ILS-a. Također, oblikovali smo odgovarajuće upute za izradu ILS-a, kako bismo s ovom metodom rada upoznali i druge nastavnike.

Rad je prezentiran na XV. hrvatskom simpoziju o nastavi fizike [6] i na Diplomskom danu studenata fizike u Splitu [7].



## 2 Go-Lab projekt

IKT se posebno razvila u zadnjem desetljeću. Nastale su brojne aplikacije te virtualni i udaljeni laboratoriji koji omogućuju učenje istraživanjem na daljinu. Takvi laboratoriji imaju određene prednosti. Oni omogućuju rad osobama s invaliditetom, omogućuju izvođenje opasnih ili zamišljenih eksperimenata te smanjuju troškove opreme, prostora i održavanja, koji su značajni za uobičajene praktične laboratorije [8]. Bilo koje online okruženje za učenje zahtijeva pažljivo osmišljeno pripremanje nastavne lekcije. Prema tome, i učenju koje koristi online laboratorije bi trebalo posvetiti najmanje isto toliko truda. Smjernice u online okruženju za učenje jednako su važne za podučavanje učenika kao i smjernice koje dobivaju pri promatranju fizičkih pojava u tradicionalnom okruženju [9].

U tom kontekstu značajnu ulogu igra europska inicijativa Go-Lab [10], internet sjedište koje sadrži besplatni repozitorij prividnih i stvarnih laboratorija, aplikacija i istraživačkih okruženja u kojemu učitelji i učenici stječu vještine upotrebe inovativnih tehnologija za istraživanje i primjenu znanstvene metode u nastavi. Nastao je kao rezultat europskog projekta Go-Lab (2012. - 2016.), čiji je opći cilj bio potaknuti mlade ljude u dobi od 10 do 18 godina da se bave znanstvenim temama, da steknu vještine znanstvenog istraživanja te razvijaju znanstveno razmišljanje i iskuse znanstvene procese putem aktivno vođenog istraživanja. Nakon završetka Go-Lab inicijative, svi projektni alati i usluge podrške i dalje su dostupni u novom projektu nazvanom Next-Lab [10]. Go-Lab se koristi u oko 50 zemalja Europe, kao i u najmanje 30 zemalja širom svijeta, a može se lako prilagoditi nacionalnim i regionalnim kurikulumima. Na stranici Go-Lab-a postavljeni su kontakti predstavnika svake države uključene u projekt kojima se može obratiti za više informacija o projektu ili da se postane jedan od Go-Lab učitelja. Tri su tipa uloga:

1. Nacionalni centar za ekspertize (eng. *National Expertise Centre*, NEC) je organizacija koja je članica projektnog tima Next-Lab odgovorna za nastavničku podršku, kao i za Go-Lab obuku i širenje u odabranoj zemlji.

2. Go-Lab ambasador je učitelj odgovoran za nastavničku podršku, kao i za Go-Lab obuku i širenje u odabranoj zemlji.

3. Ustanova za obuku nastavnika (eng. *Teacher Training Institution*, TTI) je organizacija koja pruža stručno obrazovanje nastavnika u odabranoj zemlji i suraduje s Go-Labom.

Ambasadorica za Hrvatsku međunarodnog projekta Go-Lab (sada Next-Lab) je Ivana Gugić, profesorica matematike i fizike u OŠ Gornje Vrapče u Zagrebu.

Ideja Go-Lab projekta temelji se na nizu hipoteza koje je vrijedno spomenuti: i) Poučavanje prirodoslovlja u školi zahtijeva znatna poboljšanja kako bi se zadovoljile potrebe društva znanja. ii) IKT ima vrlo velik potencijal za potporu inovacijama u obrazovanju, a posebno u

edukacijskim znanostima. iii) Učenje istraživanjem ključno je za poboljšanje prakse poučavanja, kao i ishoda učenja u obrazovanju prirodoslovlja; međutim, treba biti potkrijepljeno odgovarajućim smjernicama. iv) Online laboratoriji mogu znatno povećati motivaciju učenika i praktično učenje izvođenjem eksperimenata. v) Međunarodna razmjena iskustava multiplikator je dobre prakse u poučavanju i učenju prirodoslovlja. vi) Aktivno uključivanje škola i učitelja u stvaranje novih resursa za učenje i staza učenja učinkovit su pristup za povećanje učinka projekta. vii) Potrebno je integrirati pristupe odozdo prema gore i odozgo prema dolje kako bi se postigao učinak na razini sustava [4].

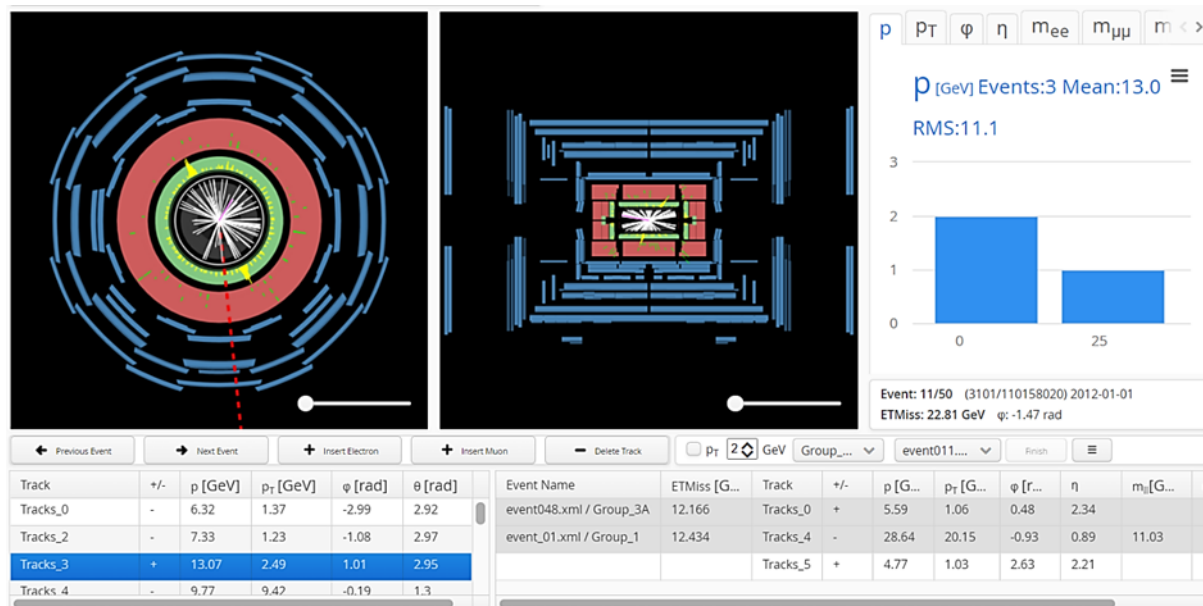
Go-Lab ekosustav sastoji se od platforme za dijeljenje i podršku (Golabz) i platforme za učenje (Graasp) u kojoj nastavnici mogu izrađivati vlastite sadržaje u obliku okruženja (učionica) za učenje istraživanjem (*Inquiry Learning Spaces, ILS*) pri čemu se koriste online laboratoriji (Labs) i alati za učenje (Apps). Nastavnici mogu koristiti veliki broj gotovih istraživačkih učionica (*ILS*) iz astronomije, biologije, kemije, inženjerstva, obrazovanja o okolišu, geografije i znanosti o Zemlji, matematike, fizike i tehnologije, koje su kreirali njihovi kolege ili stvoriti vlastite, koje mogu ponuditi ostalim kolegama.

## 2.1 Online laboratoriji

Online laboratoriji omogućavaju učenicima izvođenje pokusa i istraživanje pomoću fizičke ili virtualne opreme u online okruženju. Također, omogućuju korištenje otprije dobivenih skupova podataka. Unutar laboratorija se upravlja istraživačkom opremom, a efekti tog upravljanja se prate radi utvrđivanja i razumijevanja veza između varijabli relevantnih za model na kojem se temelji laboratorij [3].

Na Go-lab platformi izdvojene su tri vrste laboratorija. Udaljeni laboratoriji učenicima omogućuju rad sa stvarnom opremom koja se nalazi na udaljenim lokacijama. Primjer takvog laboratorija je laboratorij Pretvorba svjetlosne energije u električnu energiju. Laboratorij čini strujni krug koji se sastoji od lampe, sklopke, kondenzatora i solarne ćelije. Upravljanje eksperimentom moguće je pratiti putem web kamere. Klikom na odgovarajuće tipke može se upaliti/ugasiti lampa, otvoriti/zatvoriti strujni krug, uključiti/isključiti kondenzator iz strujnog kruga te aktivirati LED žarulja. Ispod tipki prikazan je i napon koji generira solarne ploče. Ploča može rotirati čime se mijenja upadni kut svjetlosti te iznos generiranog napona. Virtualni laboratoriji simuliraju znanstvene eksperimente te su korišteni pri izradi ovoga rada i opisani su u kasnijim poglavljima. Skupovi podataka dolaze iz već izvedenih laboratorijskih eksperimenata, najčešće iz neke znanstvene ustanove. Često dolaze uz namjenske alate koji pomažu u organizaciji i interpretaciji podataka. Primjer online laboratorija temeljenog na skupovima podataka prikazan je na Slici 2.1. U ovome laboratoriju, nazvanom HYPATIA, učenicima su dostupni podaci iz detektora ATLAS na velikom hadronskom sudarivaču čestica (LHC) u CERN-u. Snopovi čestica iz LHC -a sudaraju se u središtu ATLAS detektora stvarajući

krhotine sudara u obliku novih čestica koje izlijeću iz točke sudara u svim smjerovima. Šest različitih podsustava za detekciju, raspoređenih u slojevima oko točke sudara, bilježe putanju, količinu gibanja i energiju čestica, omogućavajući njihovu identifikaciju [11]. Učenici mogu u bilo kojem trenutku pristupiti tim podacima, prikazanim u obliku skupa podataka ili grafički. Očigledno je da učenici sami ne mogu izvoditi ovaj eksperiment, ali HYPATHIA im omogućuje da motre što se događa u stvarnome detektoru [3].



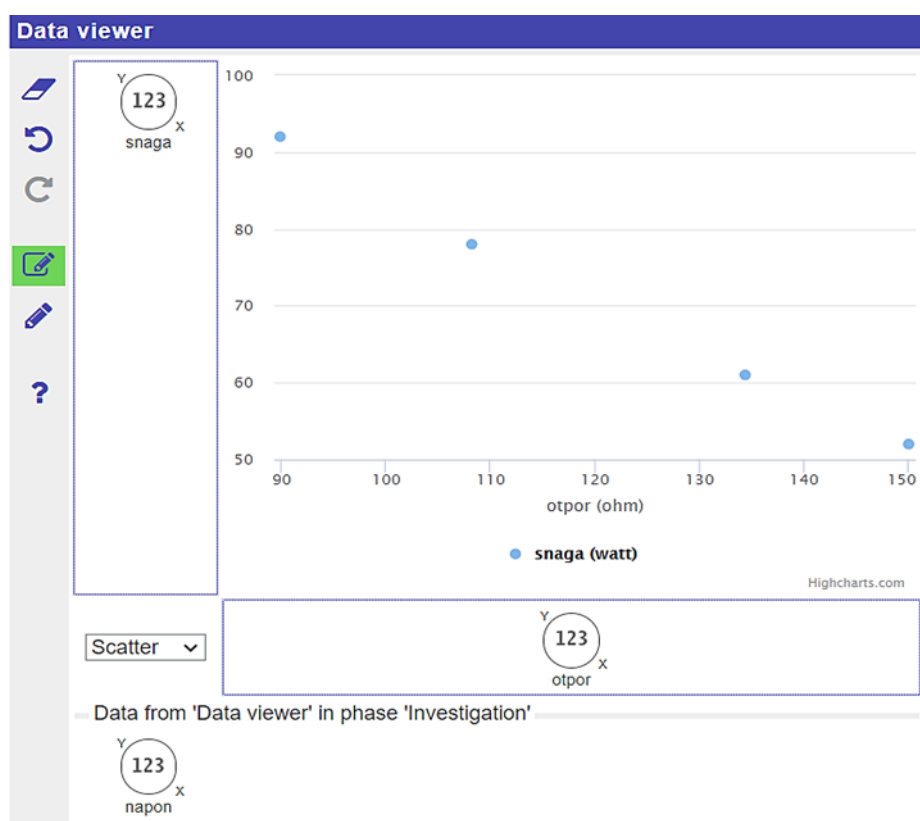
Slika 2.1 Sučelje laboratorija HYPATHIA.

Laboratorijima se pristupa klikom na karticu *Labs*, a mogu se mogu sortirati prema posjećenosti, ažuriranosti, broju pregleda, po abecedi, prema vremenu objavljivanja, ocijeni te funkcioniranju izvan mrežno ili online. Također, laboratoriji se mogu filtrirati po područjima znanosti, popularnim temama u znanosti, vrsti laboratorija, dobnom rasponu učenika te po jezicima.

Odabirom odgovarajućeg laboratorija dobiva se njegov opis koji uz ishode učenja koji u njemu mogu ostvariti uključuje njegovu ocjenu, vrstu, autora, dobnu skupinu za koju je prikladan, znanstvenu temu kojoj pripada, predmetnu domenu, jezik i poveznica za laboratorij. Uz to, navedeno je je li za rad u laboratoriju potrebna rezervacija i registracija te radi li izvan mrežno ili ne. Simulaciji, realnom laboratoriju ili podacima pristupa se klikom na gumb *Preview*, koji otvara novi prozor unutar kojega se nalazi laboratorij. Ispod opcije za pregled postoji i opcija za stvaranje prostora za učenje (*ILS-a*) koja vodi na stranicu Graasp-a unutar koje se stvaraju prostori za učenje. Pored laboratorija su ponuđeni neki *ILS*-ovi u kojima se laboratorij već koristi te slični laboratoriji.

## 2.2 Aplikacije

Aplikacije su softverski alati čija je namjena pomoć učenicima u istraživanju. Pomažu im da dizajniraju eksperimente, stvaraju hipoteze, formuliraju interpretacije dobivenih podataka i sl. Postoje i aplikacije koje učenicima omogućuju izradu kvizova, ili da vide povratne informacije nastavnika. Aplikacijama se pristupa klikom na gumb *Apps*. Mogu se sortirati prema broju pregleda, broju pregleda na aktualni dan, po abecedi, prema ocijeni korisnika te prema vremenu objavljivanja. Također, razvrstane su i po kategorijama, koje uključuju Go-Lab aplikacije za vođeno učenje, aplikacije za analizu učenja, za određenu domenu (npr. periodni sustav elemenata), matematičke alate, aplikacije za suradnju te opće aplikacije (vidi Slika 2.2). Aplikacije su dostupne na više jezika. Svaka aplikacija ima prikazan svoj opis, kategoriju kojoj pripada, autora, licencu, poveznicu, jezik na kojemu je dostupna te oznaku radi li izvanmrežno ili ne. Aplikaciji se pristupa kao i laboratoriju na gumb *Pregled*, pri čemu se također vidi u kojim je sve *ILS*-ovima iskorištena.



*Slika 2.2* Aplikacija *Preglednik podataka* (eng. *Data Viewer*) omogućuje pregledan grafički prikaz podataka. Prikazan je primjer ovisnosti snage o električnom otporu pri konstantnom naponu.

## 2.3 Ciljevi i provedba Go-Lab projekta [4]

U okviru Go-Lab projekta održane su vizionarske radionice (videokonferencijskim spajanjem) za nastavnike koje su sudionici prihvatili kao zanimljive i atraktivne. Projekt je prihvaćen vrlo pozitivno. Sudionici rezultate projekta smatraju vrijednima te smatraju da

projekt i njegovi ishodi odgovaraju barem nekim potrebama nastavnika. Gotovo svi vjeruju da je digitalni repozitorij online alata koristan, a posebno ideja portala na kojem su na jednom mjestu skupljeni kvalitetni laboratoriji. Većini učitelja ugodno je raditi u radnom okruženju Go-Lab-a. Jednostavna grafika uz upotrebu malih ikona te različitih boja pomaže lakšem snalaženju na platformi. Smjernice za rad su korisne te pomažu nastavnicima i učenicima u nastavi. Značajan dio učitelja (oko 40%) radije bi stvarao vlastite materijale, nego da ponovno koristi već postojeće. Većina se slaže da je korisno stvarati aktivnosti u suradnji sa znanstvenicima.

Većina učitelja naglasila je potrebu za nekom vrstom izobrazbe, u vidu radionica i seminara, prije korištenja platforme, dok neki od njih smatraju da je dovoljno imati korisnički priručnik koji se stalno ažurira ili kratke snimke zaslona koje korisnicima pokazuju kako izvoditi različite zadatke.

Učitelji su iznijeli najčešća ograničenja poteškoće u primjeni Go-Lab resursa:

- nedostatak vremena pri obradi opsežnog kurikuluma
- nedostatak IKT alata u školi
- nestručnost nastavnika pri upotrebi IKT-a
- nedostatak tehničke podrške u školi
- nedostatak podrške škole, tj. nedostatak suradnje
- nezainteresiranost učenika (negativan stav učenika prema ovakvom načinu rada)
- veliki broj učenika u razredu.

Go-Lab projekt može pružiti podršku u rješavanju nekih prepreka koje su utvrdili učitelji i učenici na vizionarskim radionicama. Prije svega, niza tehničkih prepreka koje se mogu riješiti unutar projekta, uključujući probleme korištenja resursa, traženja online laboratorija i njihovu personalizaciju, vođenja učenika te izvođenja eksperimenta. Također, organizacijske poteškoće mogu se ukloniti ili bar smanjiti odgovarajućim aktivnostima osposobljavanja i informiranja koje nudi projekt. Međutim, nekoliko prepreka ostaje izvan dosega Go-Lab projekta, a uključuju organizacijske prepreke kao što su nedostatak vremena i kurikulum te nedostatak financijskih sredstava i školske podrške. Ove prepreke trebaju se rješavati aktivnim informiranjem o projektu, npr. podizanjem svijesti političkih i javnih tijela o Go-Lab pristupu i o potrebi podupiranja njegove provedbe osiguravanjem sredstava ili promjenom kurikuluma. Za rješavanje tehničkih zapreka, koje uključuju dostupnost adekvatnoj infrastrukturi (računalima, pristup internetu itd.), potrebna je podrška na razini ministarstva, županije ili barem na školskoj razini.

## **2.4 Informacije proizašle iz konzultacija s ostalim sudionicima [4]**

Partneri Go-Lab projekta konzultirali su se (osim s nastavnicima) i s drugim sudionicima putem intervjua, posebno sa stručnjacima za znanstveno obrazovanje, voditeljima škola, izdavačima i kreatorima obrazovnih programa. Ovi intervjui odražavali su stavove stručnjaka

o jakostima i slabostima trenutne prakse prirodoslovnog obrazovanja te o najvjerojatnijem smjeru razvoja, što uključuje trendove koji pozitivno ili negativno utječu na prirodoslovno obrazovanje ili obrazovanje općenito. Smjer razvoja uključuje potrebne strategije kako bi se maksimalizirao utjecaj povoljnih trendova i smanjio utjecaj neželjenih trendova te ulogu industrije. Intervjui su obuhvaćali i stavove stručnjaka o vještinama poučavanja i učenja, odnosno o načinima poučavanja i učenja za povećanje kvalitete poučavanja prirodoslovlja u školi, preprekama koje koče širu zajednicu da ih usvoje te ulozi IKT-a. Stručnjaci su dali i posebne preporuke, koje uključuju kompetencije učitelja i motivaciju za promjenu, kao i stavove učenika prema prirodoslovlju i motivaciji za učenje. Nadalje, preporuke su uključivale organizacijsko (školska razina) i institucionalno (ministarstva, regionalne i lokalne vlasti) djelovanje koje bi moglo imati pozitivan učinak na promjene te ukloniti prepreke pri njihovom donošenju. Osvrnuli su se na nove načine korištenja IKT-a za poučavanje i učenje prirodoslovlja kako bi obrazovanje prirodoslovlje bilo učinkovitije i atraktivnije. To se odnosi na korištenje učenja temeljenog na istraživanju, pristup udaljenim laboratorijima, korištenje otvorenih obrazovnih izvora te nadogradnju udžbenika. Sudionici s kojima su obavljani razgovori imali su neke zajedničke stavove (vidjeti Sliku 2.3). Smatraju da u većini zemalja učitelji ne dobivaju pripadno poštovanje i da nisu odgovarajuće plaćeni. Uz to, smatraju da im se ne daju odgovarajuće olakšice i da im se ne nude mogućnosti cjeloživotnog usavršavanja. Također smatraju da gradivo koje se uči u školama nije dovoljno relevantno za trenutni razvoj društva i tehnologije te da nije zadovoljavajuće povezano sa svakodnevnim životom. Učenici bi trebali razumjeti zašto su prirodne znanosti važne i sagledati na čemu počivaju njihove vrijednosti. Sudionici smatraju da je pristup učenju i poučavanju prirodoslovlja zasnovan na istraživanju, koji uključuje aktivni angažman učenika, nužan kako bi ih se motiviralo za učenje prirodnih znanosti. Također, uloga IKT-a je jako važna kao potpora inovacijama u znanstvenom obrazovanju.



**Slika 2.3** Zajednički stavovi sudionika Go-lab projekta o važnosti postojanja motiviranih učitelja, ažuriranog sadržaja, usvajanja inovativnih metoda poučavanja te uloge IKT-a u učenju prirodoslovlja.

## 2.5 Diskusijski radovi o izazovima i mogućnostima projekta

Zbirka od šest radova razmatra izazove i mogućnosti obrazovanja u području prirodoslovlja [4]. Prvi rad osvrće se na međunarodnu raspravu o budućnosti obrazovanja prirodoslovlja i identificira pet konkretnih područja vrijednih pažnje, a koja razrađuju ostali radovi.

Poželjno je da učenici razviju sposobnost konstruiranja vlastitog znanja i stvaranja vlastitih razumijevanja i značenja. Motivacija i aktivno sudjelovanje u vlastitom procesu učenja prepoznati su kao temelji uspješnog obrazovanja. Oni su ulaznica za cjeloživotno učenje jer učenici pomoću njih uče s razumijevanjem i stvaraju temelje daljnjem učenju, odnosno učenici postaju vlasnici vlastitoga znanja. Motivacija je povezana uz angažiranost u učenju i stoga zahtijeva strategije koje se prilagođavaju cjeloživotnom učenju, bez obzira na okruženje iz koje učenik dolazi. U tom kontekstu, treba uzeti u obzir sljedeće obrasce učenja i poučavanja (Slika 2.4):

- *Personalizacija umjesto standardizacije učenja.* Pojedinci su motivirani za učenje kada je predmet učenja u skladu s njihovim interesima, sklonostima i sposobnostima te uključuju njihova osobna iskustva. Personalizacija staza i individualizacija strategija učenja ključni su za poticanje unutarnje motivacije i osiguravaju aktivno sudjelovanje u učenju. IKT nudi inovativne sadržaje i atraktivna rješenja pojedincima da uče ono što žele, i to vlastitim tempom.
- *Povezivanje različitih konteksta učenja pojedinaca.* Sustavi učenja sve više daju važnost integriranim stazama učenja, onima koje su se stvarale kroz cjelokupno obrazovanje. Kontinuitet u učenju gradi razumijevanje i razvija identitet pojedinca kao cjeloživotnog učenika. Odnosno, sintetizira fragmentirana iskustva, daje važnost samorefleksiji i metakogniciji te isprepliće život i obrazovanje, potičući daljnji angažman u učenju.
- *Osobnu procjenu koja podržava spoznaju i motivaciju u učenju.* Kako učenje postaje sve više individualizirano i usmjereno prema tome da svaki učenik samostalno njime upravlja, evaluacija gradi svijest o individualnom iskustvu učenja u cjelini te usmjerava učenika prema najoptimalnijim formalnim i neformalnim mogućnostima učenja da bi postigao individualni cilj [4].



*Slika 2.4 Trendovi koje treba uzeti u obzir za motiviranje učenika. Trendovi uključuju personalizaciju umjesto standardizacije učenja, povezivanje različitih konteksta učenja pojedinaca te osobnu procjenu koja podržava spoznaju i motivaciju u učenju.*

## 2.6 Okruženje za učenje istraživanjem (ILS)

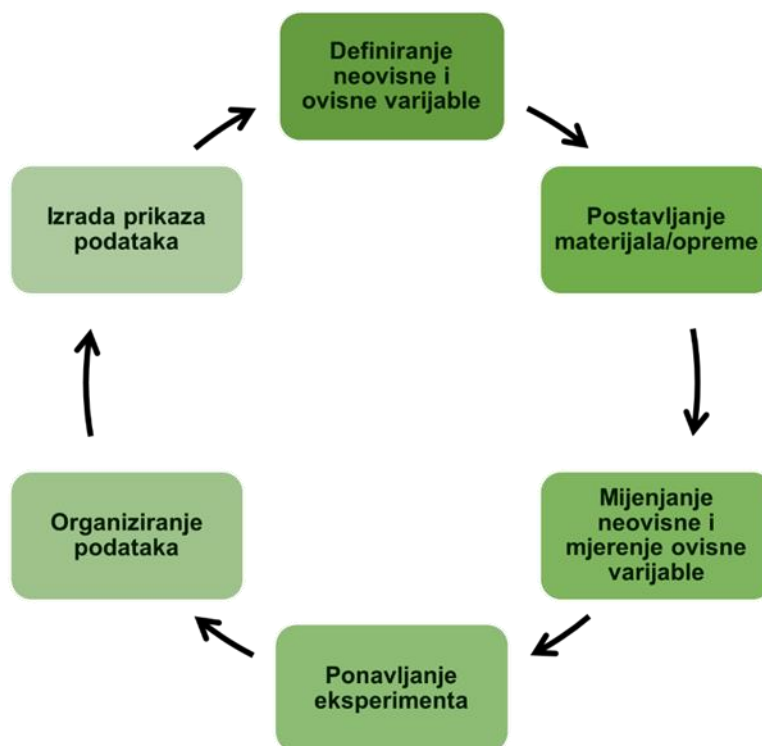
ILS je online okruženje za učenje temeljeno na ciklusu vođenog istraživanja, koji je konfiguriran pomoću Go-Lab alata za autorizaciju. Svrha ILS-a je pružiti učenicima metodički okvir za provođenje znanstvenog eksperimenta, voditi ih kroz postupak istraživanja i biti im oslonac na svakom koraku [12].

### 2.6.1 Ciklus istraživanja

Pokus je utvrđen kao sastavni dio učenja istraživanjem. Obično se koristi nakon postavljanja hipoteze, kako bi se prikupili podaci, odnosno dokazi vezani uz istraživane varijable. Ti se podaci zatim koriste u svrhu interpretacije rezultata poput otkrivanja veze između proučavanih varijabli, kako bi se došlo do zaključaka. Proces izvođenja eksperimenta uključuje nekoliko elemenata (Slika 2.5):

- a) identificiranje dviju varijabli koje se proučavaju, a to su neovisna i ovisna varijabla
- b) identificiranje i postavljanje materijala/opreme potrebne za eksperiment
- c) mijenjanje vrijednosti neovisne varijable i mjerenje vrijednosti ovisne varijable, uz održavanje ostalih varijabli, vezanih uz pojavu, konstantnima
- d) ponavljanje eksperimenta za niz vrijednosti neovisnih varijabli kako bi se dobio niz vrijednosti koje se odnose na zavisnu varijablu
- e) organiziranje dobivenih podataka, obično u tablice
- f) izradu prikaza dobivenih podataka, obično grafova [12].





Slika 2.5 Proces izvođenja eksperimenta.

Svaki *ILS* sastoji se od pet faza vođenog istraživanja (Slika 2.6) koje tvore ciklus vođenog istraživanja. Te faze su: *Orijentacija*, *Konceptualizacija*, *Istraga*, *Zaključak* i *Rasprava* [13].

*Orijentacija* se usredotočuje na poticanje učeničkog zanimanja i znatiželje za problem koji se istražuje. Tijekom ove faze predstavlja se tema učenja unutar danog okruženja. Daje ju nastavnik ili je definira učenik. Identificiraju se glavne varijable domene. Ishod orijentacije je postavljanje problema istraživanja [13].

*Konceptualizacija* je postupak razmatranja pojmova vezanih uz navedeni problem. Podijeljena je u dvije podfaze, propitivanje i postavljanje hipoteza. *Propitivanjem* se dolazi do *istraživačkog pitanja* ili više otvorenih pitanja o domeni istraživanja, dok se postavljanjem hipoteza dolazi do provjerljive hipoteze. Obje podfaze su potkrijepljene teorijskom pozadinom te razmatraju neovisne i ovisne varijable, ali se razlikuju u pristupu. Hipoteza je formuliranje provjerljivih izjava ili skupa izjava, dok je propitivanje formuliranje pitanja koja se mogu istražiti. Dakle, ishodi faze konceptualizacije su istraživačka pitanja ili hipoteze koje treba istražiti, ili oboje ako se prvo formuliraju istraživačka pitanja, a zatim na temelju njih postavite hipoteze [13].



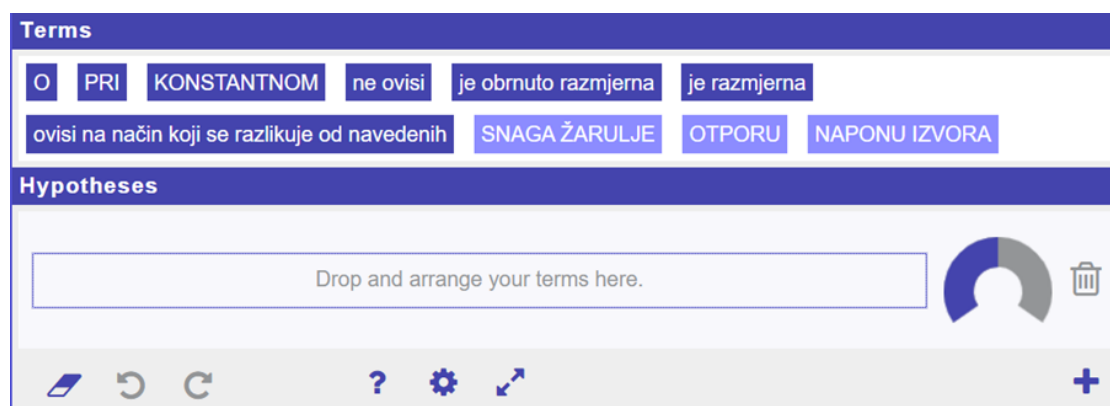
*Slika 2.6 Faze učenja istraživanjem.*

*Istraga* je faza u kojoj znatiželja prelazi u akciju kako bi se odgovorilo na navedena istraživačka pitanja ili hipoteze. Podfaze istrage su *otkrivanje*, *eksperimentiranje* i *interpretacija podataka*. Studenti promatraju, otkrivaju i dizajniraju različite eksperimente mijenjajući vrijednosti varijabli te predviđaju i tumače ishode. *Otkrivanje* je sustavni način provođenja istrage s namjerom pronalaženja veze između varijabli vezanih uz promatrani fizički problem. *Eksperimentiranje* se usmjerava na izrađivanje plana izvođenja pokusa po koracima, što prirodno proizlazi iz faze postavljanja hipoteze. U planiranju eksperimenta treba definirati varijable koje treba održavati konstantnima ili varirati prilikom provođenja eksperimenta jer se na taj način prikupljaju dokazi za ispitivanje hipoteze. *Interpretacija podataka* usredotočena je na analiziranje prikupljenih podataka, tj. formuliranje odnosa između varijabli i sintezu novih znanja. Rezultati dobiveni u fazi istrage omogućuju vraćanje izvornom istraživačkom pitanju ili hipotezi i vode donošenju zaključka u vezi s onim što je postavljeno ili pretpostavljeno [13].

*Zaključak* je faza u kojoj se navode osnovni nalazi učenja temeljenog na istraživanju. U ovoj fazi učenici se vraćaju svojim izvornim istraživačkim pitanjima ili hipotezama te razmatraju jesu li dobiveni odgovarajući odgovori, odnosno jesu li pretpostavke podržane rezultatima eksperimenta, što može dovesti do novih teorijskih spoznaja [13].

*Rasprava* se sastoji od podfaza *komunikacije* i *refleksije*. *Komunikacija* se može promatrati kao vanjski proces u kojem učenici prezentiraju i drugima prenose svoja saznanja i zaključke, a od drugih dobivaju povratne informacije i komentare, a ponekad slušaju druge učenike i obrazlažu vlastita saznanja. *Refleksija* je unutarnji proces učeničkog promišljanja, primjerice o

uspjehu procesa učenja ili ciklusa istraživanja, dok predlažu nove cikluse istraživanja te načine kako bi se učenje zasnovano na istraživanju moglo poboljšati. Dakle, refleksija je usmjerena na sam proces učenja temeljenog na istraživanju te na raspravu u vezi ishoda učenja unutar tog procesa [13]. Osim što je proces učenja organiziran u ciklus istraživanja, unutar svake faze istraživanja učenicima se može dati poseban oblik vođenja. Unutar Go-Lab-a to je vođenje zasnovano na radu de Jonga i Lazondera (2014). Najmanje nametljiv način vođenja učenika je ograničavanje broja izbora koji su im na raspolaganju. Ova ograničenja mogu uključivati, primjerice, korištenje pojednostavljenih modela ili sučelja. Pružanje uvida u proces učenja učenicima je također jedan oblik manje invazivnog načina vođenja. Tako učenici mogu dobiti grafički uvid u svoje aktivnosti pri istraživanju (npr. broj i vrstu varijabli koje su mijenjali) ili karakteristike dobivenih rezultata. Posjedovanjem tih informacija učenici mogu prilagođavati svoje aktivnosti prilikom istraživanja. Smjernice navode učenika i pomažu mu da ne zaboravi izvesti neke aktivnosti (npr. „Usporedite rezultate eksperimenta s rezultatima prethodnog.“ ili „Jeste li uzeli u obzir grešku mjerenja?“). Zadaci su specifičniji oblik smjernica koji daju upute učeniku koje aktivnosti treba izvoditi. Heuristika daje učenicima praktične savjete kako izvesti određenu aktivnost ili proces učenja. Na primjer, mogu navoditi učenika da koristi ekstremne vrijednosti varijabli kako bi proučio ponašanje modela pri tim uvjetima. Zadnju stavku čini seciranje procesa učenja na manje dijelove (tzv. skaliranje, eng. *scaffolding*), pri čemu se u svakom dijelu nudi neki alat koji olakšava proces učenja. Primjer skaliranja može se vidjeti na primjeru stvaranja hipoteze na Slici 2.7.



**Slika 2.7** Alat za formiranje hipoteza (eng. Hypothesis Scratchpad). Na slici je primjer stvaranja hipoteze u vezi ovisnosti snage o otporu i naponu izvora. Učenici hipotezu formiraju postupkom povlačenja i ispuštanja pravokutnika sa željenim pojmom točno određenim redoslijedom.

## 2.7 Učenje proučavanjem fizičkog modela

Go-Lab platforma može ići korak dalje od klasičnog učenja istraživanjem te podržati druge njegove oblike izvođenja. Jedan od izazovnijih pristupa takvom načinu učenja je učenje proučavanjem fizičkog modela (eng. *Model-Based Inquiry*) [14]. Definiran je kao skup aktivnosti i ideja koje učenike vodi kroz sadržaj putem pet osnovnih karakteristika znanstvenog

znanja: da je ideje predstavljene u obliku modela moguće provjeriti, ponoviti, objasniti (racionalizirati), preispitati i nadograditi [15]. Za razliku od istraživanja u nastavi, u ovome slučaju se učenicima daje model koji predstavlja neku realnu situaciju (ili pojednostavljenu verziju te situacije) na temelju kojega učenici ispituju i istražuju ovisnosti, promatraju, zapažaju i sl. U tome kontekstu, računalno podržana okruženja za učenje (poput Go-Lab-a) mogu pružiti sredstva za primjenu ovakvoga načina učenja. Osim što omogućuje korištenje online laboratorija, Go-Lab može pružiti i vodstvo učenicima kroz učenje proučavanjem fizičkog modela.

Modeli se definiraju kao načini prikazivanja prirodnih sustava ili pojava koji omogućuju pronalaženje i praćenje međuodnosa i interakcija između osnovnih komponenti koje sačinjavaju sustav ili pojavu radi lakšeg razumijevanja istih. U znanstvenoj edukaciji pojam „model“ može se odnositi na mentalne modele ili na vanjske/konkretne modele. Mentalni model podrazumijeva početne učeničke ideje o fenomenu koji se istražuje te može biti prikazan od strane učenika na različite načine, kao npr. crtež ili putem nekog alata za modeliranje (dijagrama, tablice i slično). Upotrijebljeni modeli pri učenju prirodoslovlja s namjerom ostvarivanja željenih ishoda učenja se mogu razlikovati od potpunih, složenih znanstvenih prikaza promatranog sustava pa sve do pojednostavljenih kako bi bili prilagođeni ciljevima učenja, a da pritom ne izgube svoju znanstvenu bit. Na kraju nastavnog procesa cilj je vrednovati učeničko znanje i vještine uspoređivanjem i povezivanjem nadograđenih mentalnih modela sa znanstvenim prikazima. Dodatni izazov za nastavnike je planiranje efektivnog slijeda učenja koji bi omogućio prijelaz iz izvornih učeničkih ideja (mentalnih modela) u ostvarivanje ciljanih ishoda [14].

Većina tehnologije koja se koristi u pedagogijama koje uključuju učenje preko nekog modela je orijentirana na model izražavanja baziranog na nadograđivanje mentalnih modela učenika te na istraživački model, već gotovi model koji učenici koriste bez iznošenja svojih prvotnih ideja. Rad Windschitl et al. (2008b) kao glavni problem učenju proučavanjem fizičkog modela ističe to što u školama nije praksa davati važnost učeničkoj perspektivi prije samog zapažanja pojave. Učeničko poimanje pojave prije promatranja iste predstavlja njihove mentalne modele koje prvo treba izraziti eksplicitno. Na taj način stvara se temelj za vođeno istraživanje i eksperimentiranje koje se izvodi kasnije [14].

Da bi se učenjem proučavanjem fizičkog modela ostvarili ishodi učenja, učenicima bi se trebala konstantno davati potpora i usmjerenje prilikom procesa učenja, dok konstruiraju i preispituju ideje. Računalno podržana okruženja za učenje mogu pružiti korisno vođenje kroz taj proces. Online laboratoriji unutar kojih se može primijeniti ovakav pristup omogućuju učenicima da istražuju osnovne strukturne dijelove modela promatranog sustava ili pojave. Unutar njih učenici mogu identificirati varijable potrebne za postavljanje istraživačkih pitanja ili hipoteza. Nadalje, omogućuju vizualizaciju modela i dobivanje podataka vezanih uz model.

U kasnijem stadiju istraživanja pomoću online laboratorija, učenici dolaze do zaključaka, daju izvještaj o svome radu kolegama i nastavniku te raspravljaju o cijelom iskustvu učenja [14]. Za cijeli ciklus istraživanja Go-Lab platforma daje veliki broj online laboratorija i softverskih usluga/aplikacija koje pomažu u strukturiranju nastavne lekcije (primjeri su dani u Tablici 2.1).

**Tablica 2.1** Alati koje pruža Go-Lab platforma za sve cikluse istraživanja te njihove glavne karakteristike.

Faza (podfaza) ciklusa istraživanja	Softverska usluga/aplikacija	Glavne kvalitete softverske usluge/aplikacije
<i>Orijentacija</i>	Concept Mapper ( <a href="https://www.golabz.eu/app/concept-mapper">https://www.golabz.eu/app/concept-mapper</a> )	Unaprijed definirani pojmovi učenicima pomažu u stvaranju konceptualne mape
<i>Konceptualizacija (Istraživačko pitanje)</i>	Question Scratchpad ( <a href="https://www.golabz.eu/app/question-scratchpad">https://www.golabz.eu/app/question-scratchpad</a> )	Unaprijed definirane varijable učenicima pomažu u formiranju istraživačkog pitanja
<i>Konceptualizacija (Hipoteze)</i>	Hypothesis Scratchpad ( <a href="https://www.golabz.eu/app/hypothesis-scratchpad">https://www.golabz.eu/app/hypothesis-scratchpad</a> )	Unaprijed definirane varijable učenicima pomažu u formiranju hipoteza
<i>Istraga (Istraživanje)</i>	Observation Tool ( <a href="http://www.golabz.eu/apps/observation-tool">http://www.golabz.eu/apps/observation-tool</a> )	Učenicima pomaže u bilježenju i uređivanju opažanja tijekom izvođenja eksperimenta
<i>Istraga (Eksperimentiranje)</i>	Experiment Design Tool ( <a href="https://www.golabz.eu/app/experiment-design-tool">https://www.golabz.eu/app/experiment-design-tool</a> )	Unaprijed definirane varijable koje pomažu učenicima u dizajniranju eksperimenta
<i>Istraga (Obrada podataka)</i>	Data Viewer ( <a href="https://www.golabz.eu/app/data-viewer">https://www.golabz.eu/app/data-viewer</a> )	Varijable i skupovi podataka omogućuju učenicima da konstruiraju grafove
<i>Zaključak</i>	Conclusion Tool ( <a href="https://www.golabz.eu/app/conclusion-tool">https://www.golabz.eu/app/conclusion-tool</a> )	Prikazani rezultati aktivnosti učenika u procesu učenja omogućuju lakše donošenje zaključaka
<i>Diskusija (Refleksija)</i>	Reflection Tool ( <a href="https://www.golabz.eu/app/reflection-tool">https://www.golabz.eu/app/reflection-tool</a> )	Povratna informacija učeniku u vezi korištenja ILS-a
<i>Diskusija (Komunikacija)</i>	Report Tool ( <a href="https://www.golabz.eu/app/report-tool">https://www.golabz.eu/app/report-tool</a> )	Rezultati aktivnosti učenika u procesu učenja koje predaju kao izvještaj o istraživanju

Cijelu nastavnu lekciju, koja uključuje online laboratorije, softverske usluge/aplikacije i druge upute koje vode učenika kroz istraživanje, može se formirati kao ILS. Korištenje online laboratorija u sklopu ILS-a omogućuje učenicima veću fleksibilnost i organiziranost pri istraživanju, nego kada koriste te laboratorije odvojeno od ILS-a. Alati koji se mogu koristiti unutar ILS-a pružaju potrebno vodstvo učenicima kroz cijeli ciklus istraživanja. Točnije, ti alati su i razvijeni s namjerom da vode učenika kroz cijeli proces. Na primjer, u slučaju da učenik na početku istraživanja ne identificira potrebne varijable za mjerenje, alati se mogu iskoristiti za definiranje zadataka koji bi tijekom korištenja ili izgradnje modela pomoću online laboratorija riješili taj nedostatak.

### 2.7.1 Primjer učenja proučavanjem fizičkog modela uz pomoć virtualnog laboratorija

Laboratorij za spajanje električnih krugova (eng. *Electrical Circuit Lab*, <https://www.golabz.eu/lab/electrical-circuit-lab>) učenici mogu koristiti za konstruiranje jednostavnih i složenijih strujnih krugova. Spajanje jednostavnog strujnog kruga predstavlja osnovni model, dok serijski i paralelni spoj predstavljaju nadograđenu, kompleksniju verziju modela. Isto tako, kada učenik dodaje strukturne dijelove strujnog kruga kako bi nadogradio prethodnu verziju strujnog kruga, ujedno radi i preispitivanje i izmjenu modela. Dakle, laboratorij za spajanje električnih krugova omogućuje vizualni prikaz sustava te pruža podatke koji omogućuju testiranje modela, preispitivanje te ponavljanje testiranja modela. Glavna ideja istraživanja je povezati osnovne dijelove strujnog kruga (npr. izvor napona, žice, žarulja) te opažati što se događa u spojenom krugu (npr. žarulja zasvijetli). Ovaj laboratorij se može iskoristiti za formiranje više ciklusa istraživanja tako što se učenicima može dati da izvode različite eksperimente u serijskom i paralelnom spoju. Učenici mogu usput pratiti razlike između ova dva spoja uz promatranje dodatnih varijabli (npr. broj žarulja, intenzitet svjetla žarulje, ukupna električna struja i napon u krugu i sl.). Primjer sljedova ciklusa istraživanja učenjem promatranjem fizičkog modela se može vidjeti u Tablici 2.2, a pokazuje povećanje kompleksnosti modela i vještine istraživanja.

**Tablica 2.2** Primjer sljedova ciklusa istraživanja učenjem promatranjem fizičkog modela za električne krugove.

Ciklus istraživanja	Opis osnovnog modela	Praktična provedba u fazi Istrage	Opis eksperimenta
prvi	Jednostavni strujni krug	praktično istraživanje	Spajanje osnovnih dijelova strujnog kruga te promatranje jednostavnih pojava unutar njega.
drugi	Jednostavni strujni krug	opažanje u online laboratoriju	Spajanje osnovnih dijelova strujnog kruga te promatranje jednostavnih pojava unutar njega.
treći	Serijski i paralelni spoj	eksperimentiranje u online laboratoriju	Spajanje strukturnih dijelova strujnog kruga te promatranje intenziteta svjetla žarulja u dvije vrste strujnih krugova.
četvrti	Serijski i paralelni spoj	eksperimentiranje u online laboratoriju	Praćenje kako električna struja u serijskom i paralelnom krugu ovisi o broju žarulja.
peti	Serijski i paralelni spoj	eksperimentiranje u online laboratoriju	Praćenje napona i električne struje u serijskom i paralelnom spoju.

## 2.8 Stvaranje vlastitog ILS-a

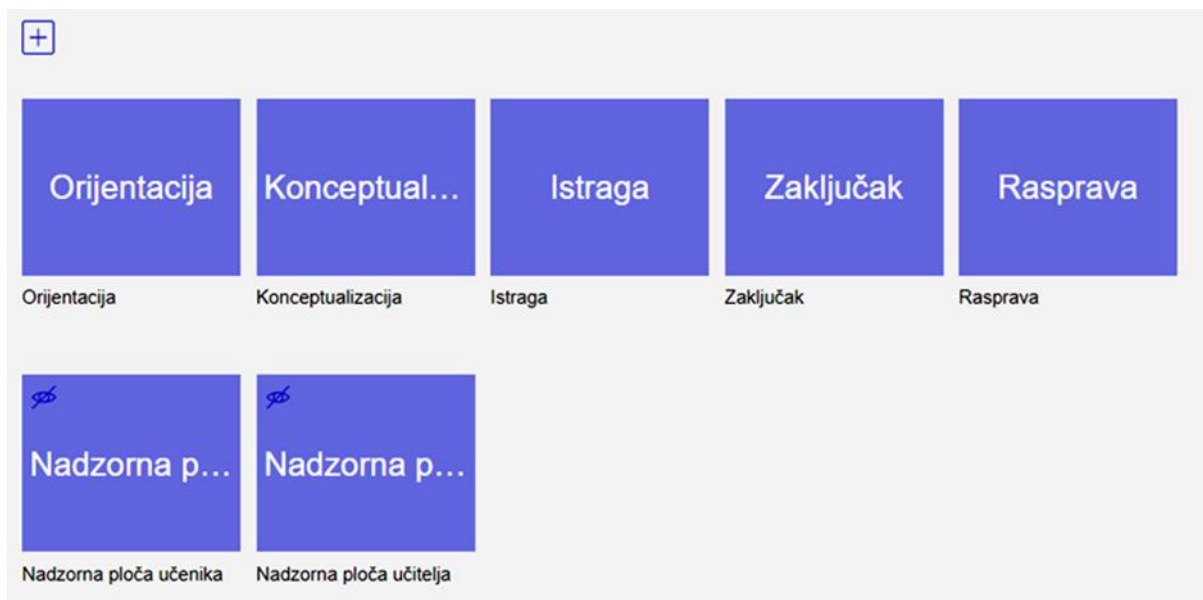
Na početnoj stranici Go-Lab-a klikom na karticu *Laboratoriji*, s desne strane se može vidjeti okvir s opcijom „Kako objaviti vlastiti laboratorij“. Klik na tu opciju odvodi na stranicu s kratkim uputama u vezi prijave i objavljivanja laboratorija. Isto tako, stvaranju *ILS*-a se može pristupiti direktno klikom na karticu *Autorstvo* (eng. *Authoring*). Već postojećim *ILS*-ovima

pristupa se preko opcije Prostori (eng. *Spaces*). Da bi se objavio *ILS*, potreban je korisnički račun u Go-Lab ekosustavu. Registracija se obavlja klikom na opciju „Otvori račun“ koja otvara stranicu Graasp-a (Slika 2.8), koja služi za stvaranje vlastitog prostora učenja, a kasnije i kao prostor učenja za učenike. Registracija je besplatna i može se izvršiti putem vaše mail adrese.



*Slika 2.8 Izgled sučelja za registraciju na stranici Graasp-a*

Prilikom prve prijave stranica prikazuje kratki vodič u vezi različitih opcija koje stranica nudi. Na početnoj stranici računa klikom na kvadratić s plusom dodaje se novi prostor za učenje kojemu se može dati neki naziv. Ulaskom u novo napravljeni prostor za učenje, stranica automatski razdjeljuje prostor za faze istraživanja (Slika 2.9).



*Slika 2.9 Faze istraživanja unutar prostora za učenje vođenim istraživanjem. Faze uključuju orijentaciju, konceptualizaciju, istragu, zaključak i raspravu.*



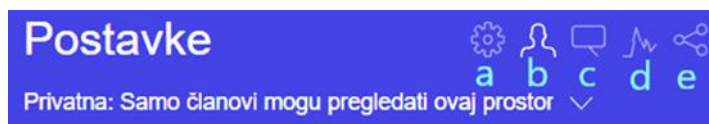
Klikom na bilo koju od faza istraživanja otvara se prostor te faze unutar koje se mogu dodavati različite stavke. Te stavke uključuju dodavanje prostora, dokumenata, datoteka, poveznica, aplikacija, laboratorija i rasprave. Dodavanje prostora je opcija dodavanja novog *ILS*-a unutar napravljenog *ILS*-a. Opcijom dodavanje dokumenata stvara se tekstualni dokument unutar kojeg autor može pisati. Dodavanje datoteka uključuje umetanje bilo kojeg oblika datoteka (doc, pdf, jpg, ppt itd.). U prostor se mogu dodavati aplikacije ili poveznice s neke stranice, pri čemu treba napisati naziv aplikacije i priložiti njen URL, ili sa stranice Go-Lab-a, što uključuje aplikacije Golabza i aplikacije Graasp-a. Laboratoriji se također umeću iz Golabza i Graasp-a. Rasprava služi kao aplikacija za čavrljanje, a nudi opcije stvaranja novoga razgovora i pridruživanja već postojećem razgovoru. Sudionici razgovora mogu pisati poruke koje svi sudionici vide, a poruke mogu i komentirati, lajkati ili označiti s palcem prema dolje. Sve dodane stavke mogu se i kopirati, duplicirati, premjestiti, sakriti, označiti kao omiljene, postaviti kao nagovještaj (stavka se sažme kada se pregledava u samostalnom prikazu ili prikazu stranice) te izbrisati. Unutar svake stavke može se dodati i opis ispod njenog naziva. Isto tako, u prozoru Dijeljenje sadržaja koji se nalazi desno od stavke može se ostaviti komentar, pratiti aktivnost unutar stavke te se može podijeliti i ocijeniti njena kvaliteta (Slika 2.10).



**Slika 2.10** Okvir za dijeljenje sadržaja unutar stavke koji uključuje komentiranje (a), praćenje aktivnosti (b) te dijeljenje i ocjenjivanje.

Prostor za učenje s desne strane ima okvir Postavke (Slika 2.11) unutar kojega se može urediti slika i pozadina prostora te pristupiti analitici učenja. Osim općenitih postavki, u tom okviru se mogu dodavati članovi koristeći ime ili e-mail adresu kojom su se prijavili na stranicu Graasp-a. Ovaj okvir također uključuje opcije komentiranja, praćenja aktivnosti te dijeljenja sadržaja i ocjenjivanja. U opciji dijeljenja može se postaviti jezik *ILS*-a, te na koji način učenici pristupaju istraživanju (pomoću nadimka, nadimka i lozinke ili anonimno). Prije objavljivanja *ILS*-a može se odraditi pretpregled, tj. pogledati kako izgleda *ILS* na stranici iz perspektive onih koji pristupaju njegovom rješavanju. Postoji i opcija Geo-oznaka koja omogućava geografsko označavanje *ILS*-a kako bi Graasp predložio *ILS*-ove drugih autora u blizini.





Dodaj člana koristeći ime ili e-mail

[Članstvo putem pristanka](#)

**Slika 2.11** Postavke unutar prostora za učenje. Postavke uključuju općenite postavke (a), članove (b), komentiranje (c), praćenje aktivnosti (d) te dijeljenje sadržaja (e).

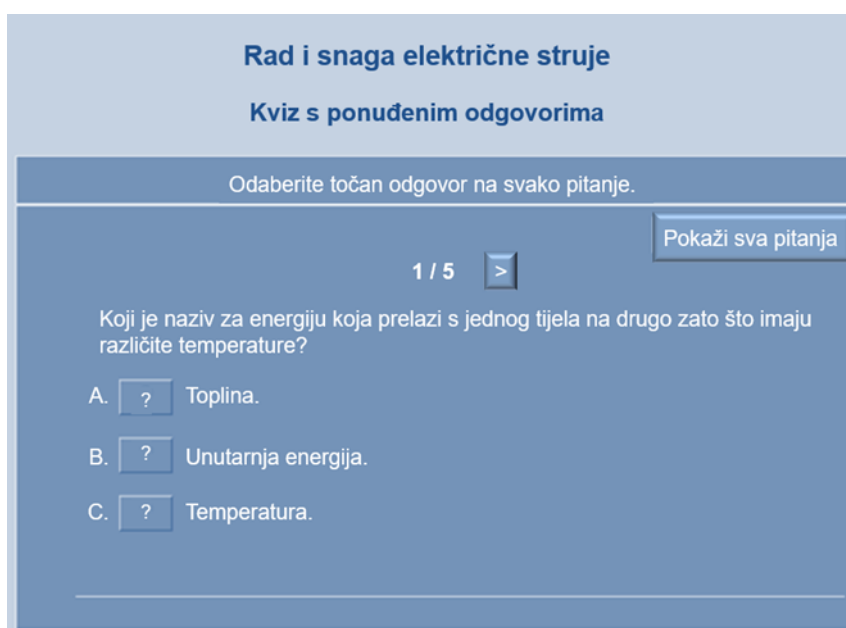
Osim faza istraživanja, prostor sadrži nadzorne ploče za nastavnike i za učenike (Slika 2.9). One služe za praćenje aktivnosti i rezultata ili od strane učenika, ili od strane nastavnika. Aplikacije korisne za nastavničku nadzornu ploču su *Pregled aplikacija* i *Pregled kviza*. Pregled aplikacija omogućava nastavniku uvid u ono što su učenici unosili u pojedine aplikacije unutar svake faze istraživanja. Rezultati se mogu gledati pojedinačno za svakoga učenika ili cjelokupno. Pregled kviza je aplikacija koja dopušta nastavniku da vidi sve učeničke odgovore u svim kvizovima unutar prostora. Isto tako, ta aplikacija ima opciju ocjenjivanja učeničkih odgovora te računa ukupan rezultat za svakoga učenika. U učeničku nadzornu ploču mogu se staviti aplikacije koje olakšavaju učenicima računanje, poput kalkulatora ili komunikaciju, poput kolaboracijskog alata.

### 3 Primjer korištenja resursa ILS-a

U projektu samostalnog online učenja istraživanjem sudjelovalo je 19 učenika drugoga razreda gimnazije u Splitu. Trebali su samostalno usvojiti ishode učenja vezane uz temu Rad i snaga električne struje (*Učenik objašnjava rad i snagu u električnom strujnom krugu, objašnjava pretvorbe energije u vodiču pri prolasku električne struje te uspoređuje tipične snage električnih uređaja u svakodnevnoj upotrebi* [16,17]).

Smatrali smo da će učenici najbolje usvojiti ishode ako prvo eksperimentalnim istraživanjem dođu do izraza za snagu, a potom teorijskim razmatranjem potvrde valjanost eksperimentalnog rezultata te tako dobiju dublji uvid u potrebne fizičke koncepte. Također smo pretpostavili kako će na taj način učenici biti bolje motivirani za rad te uz usvajanje ishoda učenja vezanih uz temu usvajati i ishode učenja vezane uz istraživanje fizičkih pojava koji uključuju opažanje, iznošenje hipoteze, mjerenje, crtanje grafova, zaključivanje itd. [17].

Učenici su samostalno online učenje istraživanjem izvodili slijedeći upute postavljene na CARNetovom sustavu za online učenje Loomen. Upute su sadržavale poveznicu na dva Google obrasca za samoučenje lekcije Rad i snage električne struje. Budući da su učenici trebali izvesti eksperiment za čije se razumijevanje podrazumijevalo poznavanje osnovnih koncepata termodinamike, na početku rada učenici su rješavali kviz za ponavljanje gradiva potrebnog za razumijevanje zagrijavanja tijela (Slika 3.1), koji je bio priređen na web stranicama [18]. Na taj način učenici su uvedeni u fazu *Orijentacije* učenja vođenim istraživanjem. Prvi Google obrazac sadržavao je upute i pitanja vezane uz rad u virtualnom laboratoriju *Rad i snaga električne struje*, a drugi obrazac upute i pitanja vezane uz virtualni laboratorij *Snaga žarulje*.



The image shows a quiz interface with a blue background. At the top, the title "Rad i snaga električne struje" is displayed in bold, followed by the subtitle "Kviz s ponuđenim odgovorima". Below this, a instruction reads "Odaberite točan odgovor na svako pitanje." In the center, there is a progress indicator "1 / 5" and a right-pointing arrow button. To the right of the progress indicator is a button labeled "Pokaži sva pitanja". The main question is: "Koji je naziv za energiju koja prelazi s jednog tijela na drugo zato što imaju različite temperature?". Below the question are three multiple-choice options, each with a radio button and a question mark icon: "A. Toplina.", "B. Unutarnja energija.", and "C. Temperatura."

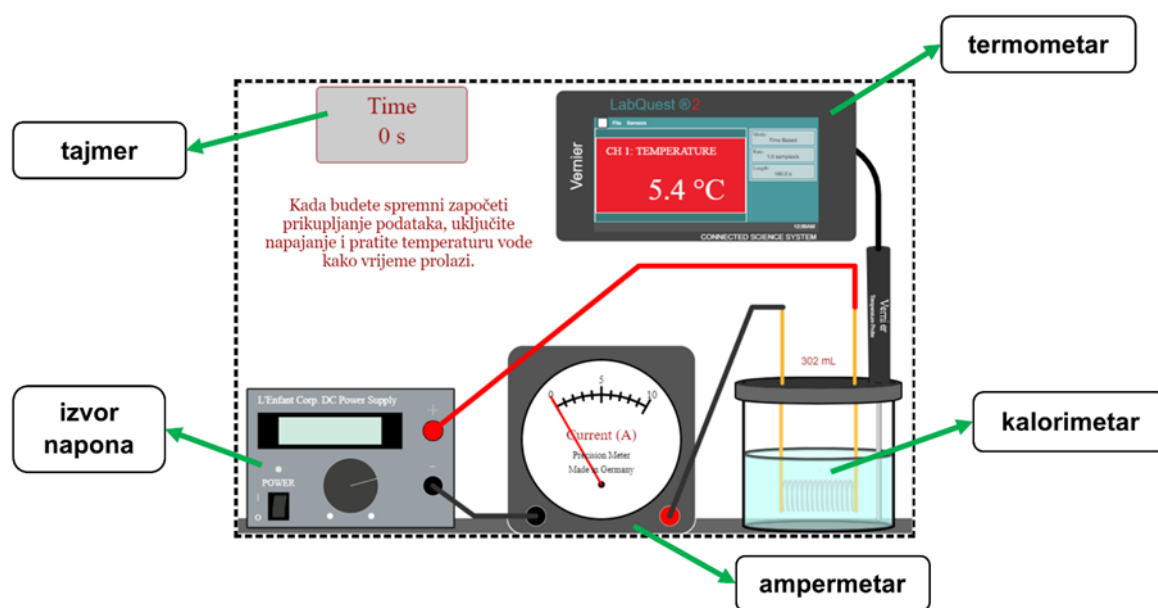
*Slika 3.1* Primjer pitanja iz kviza za ponavljanje.

### 3.1 Virtualni laboratoriji

U virtualnim laboratorijima učenici izvedu istraživanje uz pomoć virtualne opreme koja simulira neku realnu situaciju. Međutim, rad u laboratoriju sam po sebi ne mora dovesti do efikasnog procesa učenja istraživanjem. Zato smo, potaknuti istraživanjima koja su pokazala da je vođeno istraživanje najproduktivniji način usvajanja konceptualnog znanja (Eysink i sur., 2009. [19]; Plass, i sur., 2012. [20] i mnogi drugi), odabrali dva virtualna laboratorija u kojima će učenici raditi istraživanja.

#### 3.1.1 Rad i snaga električne struje

Uz pretpostavku da se u kalorimetru električna energija u potpunosti pretvara u toplinu, snaga zagrijavanja vode jednaka je snazi električne struje. Stoga su učenici mjerenjem brzine promjene temperature  $\Delta T/t$ , uz poznavanje mase vode  $m$  i njenog specifičnog toplinskog kapaciteta  $c$ , zapravo mjerili snagu električnog grijača  $P$ . Promjena temperature vode bila im je osjetnik, zavisna varijabla kojom su ispitivali svojstva sustava. U Google obrascu dobili su opis aparature (Slika 3.2) sa svim njenim mogućnostima.



**Slika 3.2** Aparatura za mjerenje snage grijača. Aparatura se sastoji od izvora napona koji generira 5 različitih napona, kalorimetra s vodom čiji se obujam također može postaviti na 5 različitih vrijednosti, tajmera koji mjeri vrijeme zagrijavanja, ampermetra koji mjeri električnu struju te termometra koji mjeri temperaturu vode.

Klik na poveznicu odveo je učenike u virtualni laboratorij. Mijenjajući količinu vode u kalorimetru i napon strujnog izvora, učenici su očitavali vrijednosti struje na ampermetru i temperature vode na termometru te odgovarali na prvu grupu pitanja u Google obrascu koja su se odnosila na opažanje (Slika 3.3). Na temelju svojih opažanja postavili su hipoteze (Prilog I.): pretpostavili su kako snaga žarulje ovisi o promjenjivim varijablama i tako zaključili fazu *Konceptualizacije*.

- 2.1. Pri većem naponu izvora promjena temperature vode:
- se ne mijenja.
- je brža.
- je sporija.
- 2.2. Povećavanjem napona izvora struja u električnom krugu se:
- ne mijenja.
- povećava.
- smanjuje.
- 2.3. Dodavanjem vode u kalorimetar promjena temperature vode:
- se ne mijenja.
- je brža.
- je sporija.

*Slika 3.3 Pitanja iz Google obrasca vezana uz opažanje u virtualnom laboratoriju.*

Postupak mjerenja su započeli odabirom željenog obujma vode u kalorimetru i računanjem njene mase. Time su ujedno i započeli fazu *Istrage*. Uređaj su zatim uključili pritiskanjem tipke „Power“. Napon na izvoru napajanja postavljali su na željenu vrijednost pritiskanjem tipki 1 i 2, označenih na Slici 3.4. Očitali su i vrijednost struje na ampermetru. Ponovnim pritiskanjem tipke 1 pa 2 resetirali bi tajmer, tako da mogu započeti s novim mjerenjem.

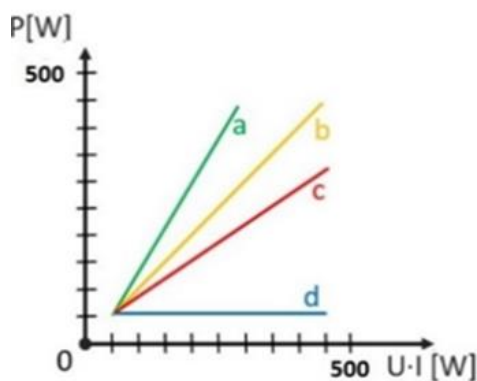


*Slika 3.4 Izvor napona. Vrijednosti napona na grijacu se mijenjaju pritiskanjem tipki 1 i 2.*

Zabilježili su početnu temperaturu te napravili tablicu kojoj su u prvi stupac upisivali vrijeme  $t$ , a u drugi temperaturu vode  $T$ . U jednakim vremenskim intervalima očitavali su vrijeme i temperaturu vode. Mjerenje su ponovili za 3 različita napona izvora.

Nakon toga su grafički prikazali ovisnost temperature vode  $T$  o vremenu  $t$  za sve tri vrijednosti napona. Kao dodatna opcija im je dana poveznica na program *Desmos* [21] u kojemu su mogli upisivati izmjerene vrijednosti kao uređene parove te dobiti grafički prikaz podataka. Graf su mogli podijeliti na internetu upisivanjem odgovarajuće poveznice u Google obrazac. Slijedio je niz pitanja u vezi ovisnosti na grafu koja su potvrđivala ili opovrgavala postavljenu hipotezu (Slika 4.3).

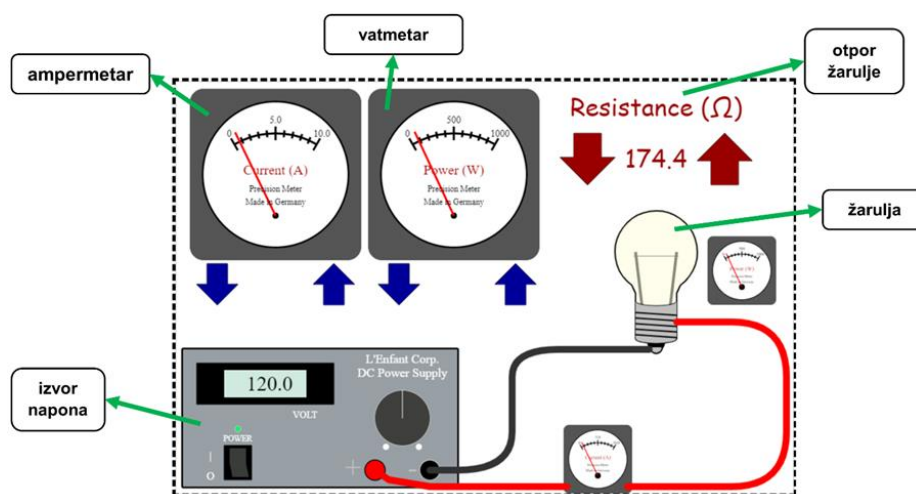
U petom stupcu izračunali su snagu grijača, a u šestom stupcu umnožak napona izvora i struje električnog kruga te usporedili vrijednosti petog i šestog stupca, da bi došli do zaključka koja od ponuđenih krivulja najbolje opisuje ovisnost snage grijača o umnošku napona i struje (Slika 3.5). Na kraju obrasca učenici su se vratili na svoje izvorne hipoteze i razmotrili jesu li one potvrđene ili opovrgnute na osnovu dobivenih mjernih podataka (faza *Zaključivanja*) te su u nekoliko rečenica iznosili svoja zapažanja i zaključke.



*Slika 3.5* Primjer zadatka iz Google obrasca. Graf prikazuje ovisnost snage o umnošku napona i struje. Na x-osi su prikazane vrijednosti umnoška napona i struje, a na y-osi vrijednosti snage.

### 3.1.2 Snaga žarulje

U drugom virtualnom eksperimentu učenici su istraživali kako snaga trošila ovisi o njegovom otporu i o naponu na koje je priključeno. Aparatura (Slika 3.6) se sastojala od serijski spojenih izvora napona, ampermetra, žarulje i vatmetra, koji je mjerio snagu žarulje. Napon izvora se mijenjao klikom na njegov gumb, a otpor žarulje klikom na crvene strelice. Izvor napona se uključivao pritiskom na gumb „Power”. Program je generirao 10 različitih napona izvora i 10 različitih otpora žarulje. Mjerna područja ampermetra i vatmetra mijenjala su se klikom na plave strelice.



*Slika 3.6* Aparatura za mjerenje snage žarulje. Aparatura se sastoji od žarulje čiji otpor možemo mijenjati, izvora napona, ampermetra koji mjeri električnu struju te vatmetra koji mjeri snagu žarulje.

2.1. Kako se mijenja snaga žarulje kada se napon izvora povećava? \*

- Snaga žarulje ostaje nepromijenjena.
- Snaga žarulje se povećava.
- Snaga žarulje se smanjuje.

2.2. Kako se mijenja snaga žarulje kada se njezin otpor smanjuje? \*

- Snaga žarulje ostaje ista.
- Snaga žarulje se smanji.
- Snaga žarulje se poveća.

3.1. Snaga žarulje pri konstantnom otporu \*

- ne ovisi o naponu izvora.
- razmjerna je naponu izvora.
- obrnuto je razmjerna naponu izvora.
- ovisi o naponu izvora na način koji se razlikuje od navedenih.

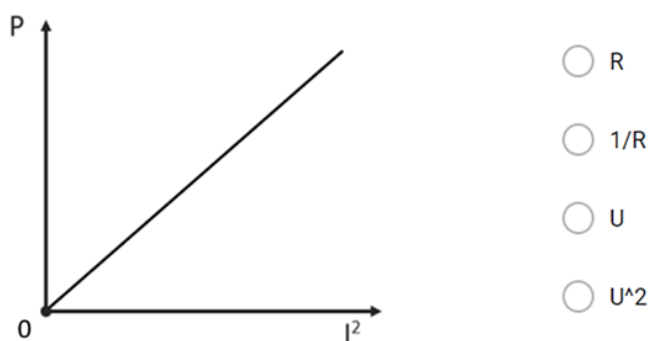
3.2. Snaga žarulje pri konstantnom naponu izvora \*

- ne ovisi o otporu žarulje.
- razmjerna je otporu žarulje.
- obrnuto je razmjerna otporu žarulje.
- ovisi o otporu žarulje na način koji se razlikuje od navedenih.

**Slika 3.7** Pitanja vezana uz opažanje i postavljanje hipoteza u virtualnom laboratoriju Snaga žarulje. Pitanja 2.1. i 2.2. odnose se na opažanje, a pitanja 3.1. i 3.2. na postavljanje hipoteza.

Nakon rješavanja grupe pitanja vezanih uz opažanje te postavljanja hipoteza (Slika 3.7), učenici su započeli istraživanje. Postavili su napon na po želji odabranu vrijednost i držali ga konstantnim. Napravili su tablicu kojoj su u prvi stupac upisivali vrijednosti otpora, a u drugi vrijednosti snage žarulje. Mijenjali su otpor žarulje i na vatmetru očitavali snagu. Napravili su najmanje pet mjerenja s različitim otporima. Nacrtali su graf ovisnosti snage žarulje o njezinom otporu  $P(R)$ . Zatim su postavili otpor žarulje na neku željenu početnu vrijednost i držali ga konstantnim, napravili tablicu kojoj su u prvi stupac upisivali napon izvora, a u drugi snagu žarulje te mijenjali napon izvora i očitavali snagu žarulje na vatmetru. Grafička ovisnost snage žarulje o naponu izvora  $P(U)$  trebala je dati kvadratnu krivulju koja je najbolje opisivala tu ovisnost. Kvadriranjem napona struje i ponovnim grafičkim prikazivanjem ovisnosti snage, ali ovaj put o kvadratu napona, trebali su dobiti pravac čiji je koeficijent smjera predstavljao otpor žarulje (Slika 3.8), što su trebali sami zaključiti.

5.11. Koliki je koeficijent smjera pravca danog grafa?



**Slika 3.8** Grafički prikaz ovisnosti snage trošila o kvadratu električne struje. Na x-osi su vrijednosti kvadrata struje  $I^2$ , a na y-osi vrijednosti snage  $P$ . Koeficijent smjera pravca učenici su trebali prepoznati kao otpor žarulje  $R$ .

### 3.2 Teorijsko objašnjenje

Drugi dio lekcije sastojao se od teorijskog opisa u kojemu su učenici mogli naučiti kako se teorijskim razmatranjem može izvesti izraz za rad i snagu električne struje [22], jednak onome koji su dobili na temelju mjerenja.

Kada električna struja prolazi kroz vodič, ona obavlja rad, tj. električna energija izvora pretvara se u druge oblike energije: mehaničku, svjetlosnu, zvučnu, unutarnju. Naboj  $q$ , prolaskom kroz električni krug s jednog pola izvora na drugi, obavi rad

$$W = E_2 - E_1 = q(\varphi_2 - \varphi_1) = q \cdot U,$$

pri čemu je energija naboja  $q$  na jednom polu izvora  $E_1 = q\varphi_1$ , a na drugom polu izvora  $E_2 = q\varphi_2$  ( $\varphi_1$  i  $\varphi_2$  su električni potencijali polova) te  $U$  napon izvora. Naboj koji prođe strujnim krugom jednak je umnošku struje  $I$  i vremena  $t$  u kojem struja teče,  $q = I \cdot t$  pa za rad vrijedi izraz

$$W = I \cdot U \cdot t. \quad (3.1)$$

Kada električna struja prolazi kroz žičani otpornik (grijač), električni izvor predaje energiju slobodnim elektronima, a ta se energija pretvara u energiju nasumičnog titranja iona, tj. u unutarnju energiju metala. To se očituje kao povećanje temperature. Pri prolazu električne struje kroz otpornik, električna energija izvora smanji se za iznos  $U \cdot I \cdot t$ . Ta energija se pretvorila u unutarnju energiju kristalne rešetke kovine od koje je sačinjen grijač. Električna energija izvora pretvara se u unutarnju energiju vodiča.

Upotrebljavajući Ohmov zakon, izraz (3.1) može se zapisati na još dva načina. Izrazi li se napon pomoću struje i otpora,  $U = R \cdot I$ , pri čemu je  $R$  otpor otpornika ili trošila spojenog u strujni krug, dobiva se drugi oblik izraza za rad električne struje:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t. \quad (3.2)$$

Rad električne struje proporcionalan je kvadratu električne struje  $I$  i otporu trošila  $R$  kroz koji struja protječe. Ovaj izraz koristan je za usporedbu rada na trošilima koja su spojena na isti napon, odnosno paralelno.

Ako se pak struja izrazi pomoću napona i otpora kao  $I = \frac{U}{R}$ , i taj izraz uvrstimo u jednadžbu (3.2), dobit ćemo treći oblik izraza za rad električne struje:

$$W = \frac{U^2}{R} \cdot t. \quad (3.3)$$

Rad električne struje razmjeran je kvadratu napona na trošilu  $U$ , a obrnuto razmjeran otporu trošila  $R$  kroz koji struja protječe. Ovaj izraz koristan je za usporedbu rada na trošilima kroz koje teče ista struja, tj. koja su spojena serijski.

Uvrštavajući u izraz za snagu (rad obavljen u nekom vremenskom intervalu  $t$  izraz (3.1), te uzimajući u obzir da je električna energija koja se tijekom vremena  $t$  pretvori u trošilu jednaka radu struje  $W$ , dobije se da je

$$P = U \cdot I,$$

gdje je  $I$  struja koja prolazi otpornikom na čijim je krajevima napon  $U$ .

Koristeći alternativne izraze za rad električne struje preko kvadrata napona, kvadrata struje i otpora, dobiju se i različiti izrazi za snagu električne struje

$$P = I^2 \cdot R,$$

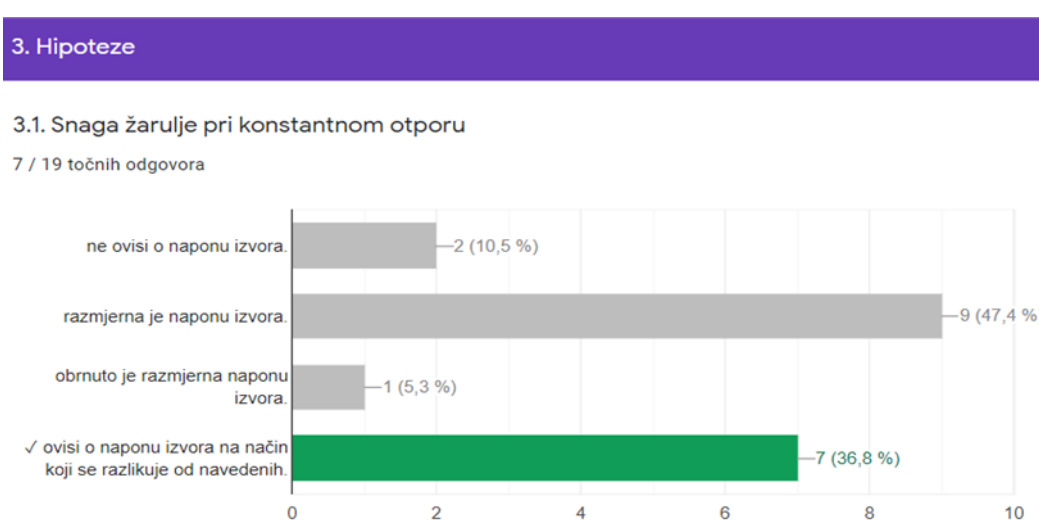
$$P = \frac{U^2}{R}.$$



## 4 Rezultati i diskusija

U početnoj fazi istraživanja učenici su uspješno rješavali pitanja vezana uz opažanje pojave. Od 19 učenika njih 18 točno je opazilo da je pri većem naponu izvora promjena temperature vode brža te da se povećavanjem napona izvora struja u električnom krugu povećava. Međutim, na pitanje kakva je promjena temperature vode kada se u kalorimetar doda još vode (koje je zahtijevalo nešto složeniji postupak zaključivanja), manji je broj učenika (njih 10) ispravno uočio da je tada promjena temperature vode sporija. Šest učenika je smatralo da se temperatura vode mijenja brže, a troje učenika da nema promjene. Veće probleme u opažanju pojave učenici su pokazali u laboratoriju *Snaga žarulje* [23]. Samo njih šestero je ispravno odgovorilo da se snaga žarulje povećava kada se napon izvora povećava dok je osam učenika dalo odgovor da se snaga žarulje smanji, a pet da ostaje nepromijenjena. Ipak, 15 učenika od 19 je opazilo da se snaga žarulje povećava kada se njezin otpor smanjuje, a po dvoje ih je odgovorilo da se snaga žarulje smanji ili ostaje nepromijenjena.

Nakon opažanja, učenici su postavljali hipoteze. Šesnaest učenika ispravno je pretpostavilo da je snaga grijača razmjerna naponu izvora, a sedamnaest da je snaga grijača razmjerna električnoj struji. Za ovisnost snage o naponu pri konstantnom otporu 9 učenika je pretpostavilo proporcionalnost, a 7 ih je ispravno pretpostavilo da snaga žarulje pri konstantnom otporu ovisi o naponu izvora na način koji se razlikuje od navedenih (Slika 4.1). Učenici koji su pretpostavili proporcionalnost učinili su to na temelju opažanja da snaga raste s povećanjem napona (nisu bili upoznati s izrazom  $P = U^2/R$ ). Devet učenika je točno pretpostavilo da je pri konstantnom naponu snaga žarulje obrnuto razmjerna otporu žarulje izvora, a isto toliko učenika je tvrdilo da je snaga žarulje razmjerna tom otporu (jedan učenik je odgovorio da snaga žarulje uopće ne ovisi o njenom otporu).



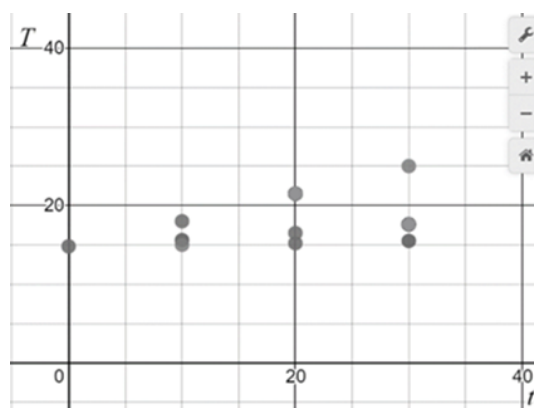
**Slika 4.1** Primjer analize učeničkih rezultata za iznošenje hipoteze u obliku pitanja višestrukog izbora.

Mjerenjem su trebali potvrditi ili odbaciti svoje hipoteze. Tablica 4.1 prikazuje primjer podataka mjerenja brzine zagrijavanja vode u kalorimetru virtualnog laboratorija [24]. Takvu tablicu učenici su trebali nacrtati i popuniti je izmjerenim vrijednostima vremena  $t$  i temperature  $T$  za tri različita napona grijača te izračunati brzinu zagrijavanja vode  $\Delta T/\Delta t$ .

**Tablica 4.1** Primjer mjerenja brzine zagrijavanja vode obujma  $V = 318$  ml uz napon grijača od 44 V.

Mjerenje	$t$ [s]	$T$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta T/\Delta t$ [°C/s]
1.	0	7,5	-	-
2.	10	8,6	1,1	0,11
3.	20	9,7	1,1	0,11
4.	30	10,9	1,2	0,12

Rezultate mjerenja su trebali prikazati grafički, na papiru ili u web aplikaciji *Desmos* [21] te poslati sliku grafa ili poveznicu na graf. Samo dvoje učenika je priložilo svoje grafove. Primjer dobro napravljenog grafičkog prikaza dan je na Slici 4.2.

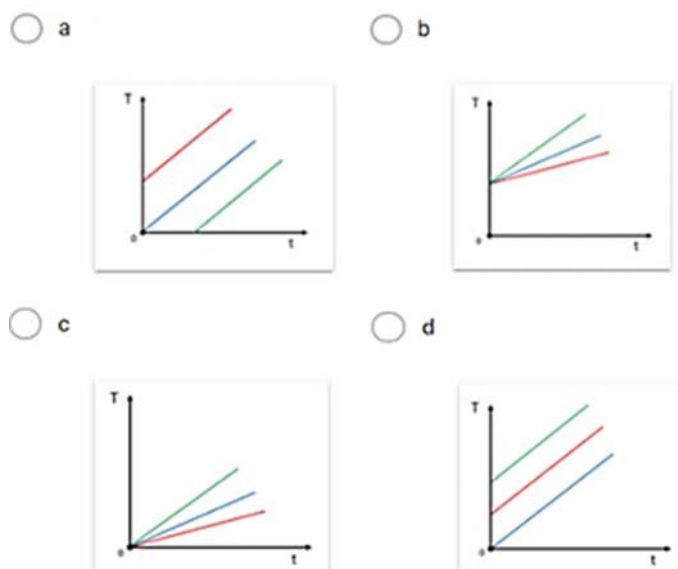


**Slika 4.2** Primjer grafičkog prikaza ovisnosti temperature  $T$  vode u kalorimetru o vremenu zagrijavanja  $t$  za tri različita napona izvora (učenik nije evidentirao iznose tih napona), koji je učenik podijelio u web aplikaciji *Desmos* [21].

Učenici koji su dobro nacrtali svoje grafove mogli su bez poteškoća među ponuđenim grafovima (Slika 4.3) odabrati ispravnu ovisnost temperature vode o vremenu zagrijavanja za različite napone grijača. Točan odgovor (b) dalo je 14 učenika, po dvoje ih je dalo odgovore (c) i (d), a jedan učenik je ponudio odgovor (a). Razmjernost brzine zagrijavanja (nagiba krivulje) i napona izvora dobro je uočilo 16 učenika, dok ih je troje smatralo da je ovisnost obrnuto razmjerna, što upućuje na problem koji učenici imaju s grafičkim prikazom. Od tih 16 učenika, na pitanje kako snaga grijača ovisi o naponu izvora ako je snaga razmjerna brzini promjene temperature, njih 13 je točno odgovorilo da je snaga razmjerna naponu izvora. Četiri učenika

su odgovorila da je ovisnost obrnuto razmjerna, a dvoje učenika da je ovisnost drukčija. Uspoređujući posljednji odgovor s hipotezom koju su postavili, vidljivo je da s učenicima nije učinjen pomak, dapače, nakon istraživanja 5 je učenika došlo do pogrešnog zaključka, iako su hipotezu točno postavili. Učenici su imali određeno predznanje iz osnovne škole pa su, uz poznavanje formule za snagu u ovisnosti o naponu i struji, lako mogli postaviti točnu hipotezu. Međutim, radeći istraživanje više se nisu oslanjali na mehaničko pamćenje formula, već su do zaključaka došli vlastitim promišljanjem. Stoga, iako je zaključak možda bio pogrešan, istraživanje je bilo efektivno jer je učenik kritički preispitivao svoje znanje, vjerujući više rezultatu svoga istraživanja nego formuli koje se sjetio. Uz to, učenik je ostvarivao niz ishoda predviđenih nacionalnim predmetnim kurikulumom [17].

4.2. Koji od ponuđenih grafova najbolje opisuje ovisnosti temperature vode o vremenu za različite napone?



**Slika 4.3** Prepoznavanje grafa ovisnosti temperature vode o vremenu za različite napone. Na x-osi je vrijeme, a na y-osi temperatura vode.

Učenici su zatim nadopunili tablicu mjerenja dodajući još dva stupca u kojima su računali snagu te umnožak napona izvora i struje električnog kruga. Prikazujući te podatke grafički, mogli su prepoznati proporcionalnost snage s umnoškom napona i struje, što je uspješno učinilo 12 učenika. Čak je pet učenika odabralo krivulju (d) na Slici 3.5, koja prikazuje da je snaga konstantna, u čemu se opet može uočiti problem učenika s interpretacijom grafa. U virtualnom laboratoriju *Snaga žarulje* [23] učenici su trebali napraviti tablicu kojoj su upisivali u prvi stupac otpor, a u drugi snagu žarulje pri konstantnom naponu izvora. Iz grafičkog prikaza ovisnosti snage žarulje o njezinom otporu za konstantni napon izvora, učenici su trebali prepoznati kvadratnu ovisnost, što je uspješno učinilo 8 učenika, dok je petero učenika interpretiralo ovisnost kao linearnu. Dva učenika su ovisnost interpretirali kao linearnu padajuću, a budući da je jedan od ta dva učenika priložio graf ovisnosti u aplikaciji *Desmos*

[21], vidljivo je da je problem u interpretiranju nastao jer je uzeo bliske vrijednosti. Unatoč pogrešnim interpretacijama grafičke ovisnosti snage žarulje o otporu, na pitanje kako snaga žarulje ovisi o njezinom otporu 12 učenika je dalo točan odgovor (snaga je obrnuto razmjerna otporu žarulje), a 7 učenika je smatralo da je ovisnost proporcionalna.

Nakon toga, učenici su mjerili kako snaga žarulje ovisi o naponu izvora. Držali su otpor žarulje konstantnim te mijenjali napon izvora. U tablicu su upisivali vrijednosti napona i izmjerene snage žarulje.

Svoj rezultat trebali su usporediti s grafovima koje smo im ponudili u obliku pitanja višestrukog izbora. Većina učenika (njih 11) odabrala je graf linearne ovisnosti snage žarulje o naponu izvora, dok je ostalih 8 učenika odabralo točan graf, koji prikazuje kvadratnu ovisnost. Razlog je opet bio taj što su uzimali nekoliko bliskih vrijednosti nezavisne varijable, u ovom slučaju napona, pa nisu sagledali zakrivljenost krivulje koja se očituje tek na većem rasponu varijabli. Također, nisu uočili da njihove krivulje ne prolaze ishodištem. Budući da je većina imala neprecizne grafove ovisnosti, mahom su zaključili (njih 14) i da je snaga žarulje razmjerna naponu izvora. Nakon što su u novome stupcu izračunali kvadrat napona i promatrali ovisnost snage o kvadratu napona, 12 učenika točno je zaključilo da je ta ovisnost linearna, dok ih je 5 odabralo kvadratnu ovisnost, što ukazuje na neprecizna mjerenja. Nešto je manji broj učenika (njih 10) točno zaključio da je ovisnost snage žarulje o kvadratu struje proporcionalna, s tim da ih je 13 prepoznalo da je koeficijent smjera tog pravca jednak otporu žarulje.

Učenici su kod kuće rješavali test od deset pitanja višestrukog izbora uz primjere iz svakodnevnog života [25]. Pitanja su uključivala konceptualne zadatke preuzete s E-škole FIZIKA [26] i numeričke zadatke. Zadaci koji su koncipirani na način da se odabere formula i ubace vrijednosti imali su veći postotak riješenosti (43%) od zadatka koji su sadržavali „višak“ podataka ili su tražili viši nivo povezivanja i zaključivanja, koje je točno riješio mali broj učenika uz postotak riješenosti (30%).

Rok za predaju zadaće bio je deset dana, nakon čega je s učenicima održana online nastava putem *MS Teamsa* u trajanju od dva školska sata, čime se ušlo u fazu *Rasprave*. Sva mjerenja su ponovljena s ciljem da učenici koji nisu točno mjerili uvide u čemu su griješili. Analizirani su svi učenički odgovori, a posebno često propuštena ili pogrešno odgovorena pitanja.

Iz rezultata analize može se pratiti proces učenja svakog učenika, što omogućuje formativno vrednovanje. Glavni problemi s kojima su se učenici susretali bili su interpretiranje grafičke ovisnosti te rješavanje konceptualnih zadataka. Učenicima koji imaju poteškoće s crtanjem grafova potrebno je zadavati dodatne zadatke pomoću kojih bi razvili potrebne vještine. Iako je rješivost konceptualnih zadataka bila mala, ti su zadatci potaknuli učenike na razmišljanje i diskusiju. Učenici su postavljali brojna pitanja vezana uz konceptualne zadatke, čije su odgovore željeli saznati jer su im ti problemi bili zanimljivi. Razlog slabije riješenosti dijelom

leži i u činjenici da učenici električni otpor (koji se provlačio kroz našu nastavnu temu) obrađuju nešto kasnije, a zadnji put su se s njim sreli u osmom razredu osnovne škole. Iz učeničkih komentara vidljivo je da je većina njih zainteresirana za ovakav način rada.

#### 4.1 Ishodi ostvareni metodom učenja vođenim istraživanjem

Ishodi učenja su postignuća procesa učenja, a ovise o efikasnosti samog procesa. Dobro određeni ishodi učenja predstavljaju osnovu za razvoj strategija te planiranje poučavanja, učenja i provjere naučenog. Ishodi razrađeni u općenitiji, širi i složeniji oblik omogućuju nastavniku veću autonomiju u određivanju sadržaja, materijala za učenje, metoda poučavanja i učenja kojima će ih ostvariti. U ovom dijelu raspravljamo koji se ishodi, zapravo podishodi generičkog ishoda *Učenik istražuje fizičke pojave* iz Nacionalnog kurikulum za predmet Fizika [17] mogu ostvariti u našoj lekciji.

Za uspješnije usvajanje ishoda učenja potrebna je prikladna metoda učenja i poučavanja. Metoda koju smo koristili za ostvarivanje ishoda Primjenjuje zakone elektrodinamike u električnom strujnom krugu je učeničko istraživanje. Zajednica učitelja u području prirodoslovlja sve više stavlja naglasak na učeničko istraživanje, međutim postoje mnoge nejasnoće oko samog značenja tog pojma. *National Science Education Standards* [27] spominje definiciju: „Znanstveno istraživanje obuhvaća različite načine na koje znanstvenici proučavaju svijet te iznose objašnjenja na temelju dokaza proizašlih iz svojega rada. Istraživanje se također odnosi i na aktivnosti učenika u kojima oni grade znanje i razumijevanje znanstvenih ideja istraživanjem, kao i razumijevanje načina na koji znanstvenici proučavaju realni svijet, odnosno na usvajanje znanstvene metode.“ Dakle, metoda istraživanja pruža mogućnost učenicima da grade vlastito znanje znanstvenom metodom, ali i da usvajaju samu metodu. Učenik formulira hipoteze i testira ih provođenjem eksperimenta, koristeći koncepte potrebne za pronalaženje rješenja, te povezuje te koncepte s već usvojenim informacijama, što rezultira učenju s razumijevanjem. Pri tome, od učenika se traži da bude aktivni sudionik te je naglasak na odgovornosti učenika u otkrivanju novih znanja. Glavni cilj metode je pomoći učenicima da razviju vještine logičnog i argumentiranog razmišljanja i zaključivanja postavljajući pitanja čije odgovore žele pronaći jer u njima bude znatiželju. Metoda poučavanja treba biti usklađena s postavljenim ishodima i načinom vrednovanja njihove ostvarenosti [28].

Prema Colburnu [28], mogu se izdvojiti četiri različita pristupa učenju istraživanjem, s obzirom na vođenje učenika:

1) *Strukturirano istraživanje*- nastavnik daje učenicima praktični problem koju trebaju istražiti, kao i materijale i upute za rad, ali im ne odaje očekivane ishode. Učenici sami otkrivaju odnose između varijabli ili donose zaključke iz prikupljenih podataka.

2) *Usmjereno istraživanje*- nastavnik učenicima pruža materijale i zadaje problem koji trebaju istražiti, a učenici sami osmišljavaju način rješavanja problema.

3) *Otvoreno istraživanje*- slično je usmjerenom istraživanju, uz dodatak da učenici također formuliraju problem koji trebaju istraživati. Ovaj pristup sličan je klasičnom znanstvenom istraživanju. Primjer ovoga pristupa su znanstveni sajmovi (*Science fair*).

4) *Ciklus učenja*- učenici su uključeni u aktivnosti koje ih upoznaju s novim konceptom. Zatim nastavnik daje formalni naziv konceptu. Nakon toga učenici primjenjuju novo-naučeni koncept u drugom kontekstu [28].

Usporedba ovih pristupa može se vidjeti na primjeru krugova električne struje u Tablici 4.2.

**Tablica 4.2** Različiti pristupi istraživanju na primjeru krugova električne struje. Pristupi uključuju strukturirano istraživanje, usmjereno istraživanje, otvoreno istraživanje te ciklus učenja.

PRISTUPI ISTRAŽIVANJU			
Strukturirano istraživanje	Usmjereno istraživanje	Otvoreno istraživanje	Ciklus učenja
Učenicima su dane postepene upute koje su uključivale grafičke prikaze za spajanje različitih tipova električnih krugova (serijskih i paralelnih). Pitanja su usmjeravala učenike da uklanjaju žarulje iz svakoga kruga i da bilježe svoja opažanja.	Učenicima su dane baterije, žarulje, žice i ostali pribor. Upute su ih vodile u spajanju krugova uz pomoć dostupnih materijala na što više načina tako da žarulje zasvijetle. Kasnije su radili isto, s tim da su im dvije žarulje trebale svijetliti. Na kraju su trebali zabilježiti što se događa pri uklanjaju jedne žarulje iz krugova.	Učenicima su dane baterije, žarulje, žice i ostali pribor. Dane su im i upute kako istraživati svijetle li žarulje u strujnim krugovima.	Učenike se usmjeravalo u istraživanju uputama, a zatim je nastavnik raspravljao o njihovim zaključcima. Učenici su upoznati s konceptima poput serijskog i paralelnog kruga prije nego su im imenovani. Nakon toga su vraćeni u laboratorij da bi primijenili ono što su naučili na novu situaciju. Na primjer, dobili su dodatnu opremu poput ampermetra ili voltmetra da bi kvantitativno istražili električnu struju i napon u krugovima.

Od različitih metoda poučavanja istraživanjem, koje mogu uključivati istraživanje uz izravno usmjeravanje učenika do istraživanja u kojemu učenik samostalno dolazi do odgovora bez nastavnikova navođenja, najučinkovitijim pokazalo se vođeno istraživanje [29]. Vođeno istraživanje se odnosi na učenje i poučavanje unutar kojega učenici koriste znanstvenu metodu kako bi usvojili potrebno znanje.

Učenje temeljeno na vođenom istraživanju omogućuje učenicima usvajanje znanja, ali i usvajanje metode kojom opće poznata znanja nastaju. Metoda daje učeniku dovoljno informacija tako da i učenici koji se prvi put susreću s njom mogu lakše sudjelovati u nastavi.

Metoda potiče učeničku samostalnost i odgovornost, a vođenje sprječava stvaranje odbojnosti prema načinu rada, koja nastaje ako su učenici prepušteni sami sebi pri smišljanju i izvođenju eksperimenta.

U našem primjeru vođenog istraživanja učenici su mogli ostvariti niz podishoda iz Nacionalnog kurikulumu za predmet Fizika. U daljnjem tekstu ti se podishodi navode kurzivom, a prikazani su i u Tablici 4.3.

Na poveznici koja vodi u virtualni laboratorij detaljno je opisan pribor i postupak za izvođenje eksperimenta. Učenici su, na početku, trebali izvoditi eksperiment uz mijenjanje varijabli kako bi zadobili kvalitativni uvid u njihov utjecaj na eksperiment. Na temelju tih kvalitativnih opažanja, odgovarajući na pitanja višestrukog izbora u Google obrascima, učenici su trebali formulirati istraživačko pitanje (*Učenik postavlja istraživačko pitanje*) te odabrati odgovarajuće hipoteze (*Učenik postavlja hipotezu*). To su radili na način da su među ponuđenim odgovorima birali onaj kojeg su smatrali ispravnim (Slika 4.4). Od učenika se nije tražilo objašnjenje pretpostavki, već samo odabir najprikladnije između ponuđenih hipoteza.

### 3.1. Snaga grijača \*

- ne ovisi o naponu izvora.
- je razmjerna naponu izvora.
- je obrnuto razmjerna naponu izvora.
- ovisi o naponu izvora na način koji se razlikuje od navedenih.

#### *Slika 4.4 Primjer postavljanja hipoteze u laboratoriju Rad i snaga električne struje*

Unutar Google obrasca dane su upute koje vode učenike korak po korak pri izvođenju pokusa, čime je ostvaren ishod *Učenik izvodi pokus prema uputama* (zadovoljavajuća razina usvojenosti). Promjenjive varijable opisane su u uputama pa učenici ne odabiru samostalno koje varijable trebaju održavati stalnima, a koje mijenjati. Međutim, stječu spoznaju o tome da trebaju mijenjati samo jednu varijablu, a sve ostale držati konstantnima. Smatramo da kroz izvođenje više vođenih eksperimenata učenici mogu steći potrebno iskustvo pa odabir promjenjive varijable kasnije mogu činiti i sami te tako samostalno ostvariti ishod *Objašnjava koje je varijable potrebno održavati stalnima, a koje mijenjati*.

**Tablica 4.3** Razine usvojenosti ishoda Istraživanje fizičkih pojava. Razine usvojenosti su zadovoljavajuća, dobra, vrlo dobra te iznimna. Originalni dokument na osnovu kojega je nastala tablica je Prijedlog Nacionalnog kurikulumu nastavnog predmeta Fizika - Studeni 2017 [30]. Na slici su podebljani ishodi ostvareni ovom metodom.

Razine usvojenosti: Istraživanje fizičkih pojava	
<b>ZADOVOLJAVAJUĆA</b>	<p><b>Postavlja istraživačko pitanje. Postavlja hipotezu.</b> Objašnjava svoje pretpostavke. Odabire pribor i postavlja eksperiment. Skicira i objašnjava pokus. <b>Izvodi pokus prema uputama. Objašnjava koje je varijable potrebno održavati stalnima, a koje mijenjati. Mjeri potrebne fizičke veličine. Mjerne podatke prikazuje tablično i grafički. Interpretira rezultate mjerenja.</b> Procjenjuje pogrešku mjernog instrumenta. Računa srednju vrijednost i apsolutnu i relativnu pogrešku. Interpretira značenje zapisa mjerene veličine s pogreškom. <b>Oblikuje zaključak koji odgovara na istraživačko pitanje.</b> Sastavlja izvješće. Opisuje pojavu u prirodi, prikazanu pokusom ili računalnom simulacijom.</p>
<b>DOBRA</b>	<p><b>Samostalno izvodi eksperiment.</b> Raspravlja o doprinosima različitih pogrešaka u mjerenju. Procjenjuje pogrešku mjerenja. Računa i tumači relativnu pogrešku. Objašnjava teorijsku podlogu. <b>Ovisnost varijabla izražava u matematičkom obliku. Uspoređuje rezultate mjerenja s modelom. Vrednuje proceduru i rezultate mjerenja. Analizira odnose između varijabli.</b> Izgrađuje argumente utemeljene na znanstvenim dokazima. Objašnjava pojavu u prirodi, prikazanu pokusom ili računalnom simulacijom.</p>
<b>VRLO DOBRA</b>	<p>Oblikuje i provodi eksperiment. <b>Predlaže postupke za unapređenje ili poboljšanje metode istraživanja.</b> Objašnjava etičnost i sigurnost eksperimenta. Analizira doprinosima različitih pogrešaka u mjerenju. Provodi cjelokupan račun pogreške. <b>Vrednuje rezultate i donosi zaključak koji odgovara na istraživačko pitanje.</b> Prepoznaje i analizira alternativna objašnjenja i modele. Koristi se dodatnom literaturom. <b>Prezentira rezultate s pomoću IKT-a. Razmjenjuje informacije. Odabire odgovarajuće grafičke i tekstualne prikaze za predstavljanje rezultata istraživanja. Raspravlja o pojavi u prirodi, prikazanoj pokusom ili računalnom simulacijom.</b></p>
<b>IZNIMNA</b>	<p>Samostalno postavlja istraživačka pitanja i iznosi hipoteze. Predlaže način testiranja hipoteze. Samostalno osmišljava odgovarajuće metode istraživanja koje uključuju rad na terenu i/ili laboratorijske pokuse. Objašnjava kako razmatra pouzdanost, sigurnost, objektivnost te etičnost u metodi istraživanja. <b>Koristi digitalne tehnologije za poboljšanje kvalitete podataka. Koristi analizu podataka za donošenje i opravdavanje zaključaka. Pronalazi i diskutira alternativna objašnjenja i raspravlja o mogućim izvorima nepouzdanosti.</b> Ocjenjuje tuđe metode i objašnjenja iz znanstvene perspektive. Procjenjuje valjanost i pouzdanost tvrdnji u izvorima informacija s obzirom na kvalitetu metodologije i navedene dokaze.</p>



U dva virtualna laboratorija učenici su trebali mjeriti različite fizičke veličine (ishod *Mjeri potrebne fizičke veličine*). U laboratoriju *Rad i snaga električne struje* mjerili su brzinu promjene temperature vode  $\Delta T/t$  za različite struje grijača. Uz poznavanje mase vode  $m$  i njenog specifičnog toplinskog kapaciteta  $c_p$ , mogli su odrediti snagu električnog grijača  $P$ . U virtualnom laboratoriju *Snaga žarulje* mjerili su snagu žarulje  $P$  u ovisnosti o naponu izvora pri konstantnom otporu, a zatim o otporu žarulje pri konstantnom naponu izvora. Mjerne podatke su zatim prikazali tablično i grafički, pri čemu su to mogli uraditi crtanjem na papiru ili uz upotrebu programa za crtanje grafova *Desmos* [21], koji omogućuje web razmjenu grafičkih prikaza podataka (Slika 4.2). Time su ujedno ostvarili ishode *Učenik prezentira rezultate s pomoću IKT-a*, *Učenik razmjenjuje informacije* te *Učenik odabire odgovarajuće grafičke i tekstualne prikaze za predstavljanje rezultata istraživanja*.

Učenici koji su koristili program *Desmos* ujedno su ostvarili i ishod *Učenik koristi digitalne tehnologije za poboljšanje kvalitete podataka*. Nakon toga učenici su kvalitativno interpretirali rezultate mjerenja i analizirali odnose između varijabli odgovarajući na pitanja vezana uz dobivene grafove te ujedno oblikovali zaključke kao odgovore na istraživačka pitanja.

Međusobnu ovisnost varijabli su izrazili u matematičkom obliku, ali na način da odabiru točnu formulu među ponuđenim odgovorima. U zaključku učenici su uspoređivali rezultate mjerenja s modelom te vrednovali postupak i rezultate mjerenja. To su radili odgovarajući na pitanja otvorenog tipa u kojima se tražilo da komentiraju koliko je dobra korištena metoda za provjeravanje hipoteze, da predlože ideje za njeno poboljšanje (ako ih imaju) te da komentiraju jesu li rezultati koje su dobili tom metodom takvi da se postavljene hipoteze mogu prihvatiti ili odbaciti. Neki učenici pri pisanju zaključaka pozvali su se na podatke koje su dobili mjerenjima i tako ostvarili ishod *Koristi analizu podataka za donošenje i opravdavanje zaključaka*. Budući da su se u metodi koristili virtualni laboratoriji i ostali online resursi, ostvaren je i ishod *Učenik prezentira rezultate s pomoću IKT-a*.

Na online satu održanom putem *MS Teams*-a učenici su razmjenjivali informacije, raspravljali o rezultatima mjerenja, te iznosili alternativna objašnjenja. Time su ostvareni ishodi *Učenik razmjenjuje informacije* te *Učenik pronalazi i diskutira alternativna objašnjenja* i *raspravlja o mogućim izvorima nepouzdanosti*. Tijekom online sata motiviranost i aktivnost učenika bila je relativno slaba, pogotovo kada su trebali izreći svoja mišljenja pa nisu ostvareni svi predviđeni ishodi. Samo je nekoliko učenika raspravljalo o pojavi prikazanoj računalnom simulacijom i diskutiralo poteškoće s kojima su se susretali u istraživanju, čime je ostvaren ishod *Učenik raspravlja o pojavi u prirodi, prikazanoj pokusom ili računalnom simulacijom*, koji spada u vrlo dobru razinu usvojenosti. Vjerujemo da bi se u učionici lakše došlo do potrebnih odgovora, a time i do potpunijeg ostvarivanja navedenih ishoda.

Smatramo da je ovaj pristup je dobar za upoznavanje učenika s metodom istraživanja i njihovim osamostaljivanjem pri izvođenju eksperimenta to više jer učenici nisu imali iskustva

s radom u virtualnom laboratoriju. Vjerujemo da bi na temelju stečenog iskustva i stjecanja vještina potrebnih za istraživanje, u daljnjem radu, učenici mogli samostalno primjenjivati vlastite ideje pri odabiru eksperimenta, njegovom izvođenju te odabiru potrebnog pribora.

Učenicima je u virtualnim laboratorijima omogućeno da grade svoju fizikalnu intuiciju te da kroz svoje osobno iskustvo uoče veze između fizičkih veličina te istraživanjem dođu do fizičke zakonitosti. Umjesto da uče fiziku čitanjem udžbenika i slušanjem predavanja, samostalno su prošli kroz kognitivni proces kod kojeg je došlo do formiranja novih koncepta. Iznad svega, bitno je da učenici vide smisao u onome što uče.

*ILS* nudi autorsku mogućnost uključivanja odabranih online laboratorija u prostor za metodički strukturirano učenje po Pedastijevom ciklusu učenja [13]. Pri tome pruža učenicima uputstvo pri učenju, kao i mogućnost usputne socijalne interakcije [3].

Tehnologija je postala sastavni dio života, kako odraslih, tako i djece, pogotovo u novim generacijama. Budući da su je učenici već naviknuli koristiti u svim aspektima života, zašto bismo tražili od njih da u učionici uče na potpuno suprotan (tradicionalan) način? Prelazak na ovakav način rada zahtijeva veliki odmak od uobičajenog načina razmišljanja, ali se nadamo da ovaj rad može biti izvor inspiracije s opisanim primjerima *ILS*-a. Naš naglasak je bio na online laboratorijima, ali to ne znači da u učionici nema mjesta drugim oblicima poučavanja (istraživanje u stvarnom laboratoriju u učionici, predavanja i sl.). Svaki oblik poučavanja ima svoje prednosti i trebao bi biti dio nastave. Online laboratoriji mogu igrati značajnu ulogu u cijelom spektru različitih mogućnosti poučavanja, a cilj je da Go-Lab platforma pomogne u ostvarivanju te uloge.

## 5 Zaključak

U ovome radu prikazana je metoda učenja vođenim istraživanjem u virtualnim laboratorijima Go-Lab sjedišta. Za korištenje te metode izrađen je i metodički prilagođen vlastiti sadržaj za nastavnu temu Rad i snaga električne struje za učenike drugog razreda srednje škole, u koji su ugrađeni elementi potrebni za samostalno učenje istraživanjem. Sadržaj je oblikovan i postavljen na internet uz korištenje Google obrazaca, koji je omogućio i uvid u statistiku uspješnosti izvedbe i vrednovanje nastavne metode. Analizom i sintezom rezultata vlastitih mjerenja učenici su trebali formulirati matematički izraz za snagu električne struje, a potom isti izraz usporediti s izrazom dobivenim iz teorijskih razmatranja. Na kraju, rješavali su konceptualni test u kojem se provjeravala njihova mogućnost primijenjene potrebnih znanja. U istraživanju je sudjelovalo 19 učenika iz gimnazije u Splitu. Učenici su imali deset dana za istraživanje i rješavanje testa. Nakon toga, s učenicima je održana online nastava preko *MS Teamsa* u trajanju od dva školska sata, na kojoj su analizirani njihovi rezultati i diskutirani konceptualni zadatci.

Analiza učeničkih odgovora pokazala je da učenici prihvaćaju metodu rada, da je uglavnom smatraju korisnom i zanimljivom te da rezultate svojih mjerenja smatraju relevantnim prilikom donošenja zaključaka. Najviše poteškoća učenici su imali s grafičkom reprezentacijom rezultata (njih više od pola), što im je otežavalo ispravno zaključivanje. Primijenjena nastavna metoda omogućuje vrednovanje usvojenosti ishoda vezanima uz istraživanje fizičkih pojava, stoga bi mogla biti korisna nastavnicima fizike.

Nastavna lekcija napravljena u kombinaciji Google obrasca i Go-Lab virtualnog laboratorija stvorila je ideju proučavanja mogućnosti Go-Lab-a, što je rezultiralo stvaranju dva *ILS*-a pod nazivom *Rad i snaga električne struje* te *Snaga žarulje* [31, 32]. Također, oblikovali smo odgovarajuće upute za izradu *ILS*-a kako bismo s ovom metodom rada upoznali i druge nastavnike.

## 6 Dodatak

### 6.1 Prilog I.- Google obrazac *Rad i snaga električne struje*

Uvod

Dragi učenice!

Pred tobom je Google obrazac za samoučenje rada i snage električne struje koji koristimo u svrhu istraživanja novih metoda učenja i poučavanja fizike (pri čemu je naglasak na online podučavanju), što je tema mog diplomskog rada na Odjelu za fiziku pri Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Splitu pod mentorstvom profesora Ivica Avianija. Moje ime je Dražena Bogdanović i studentica sam druge godine diplomskog studija fizike, smjer nastavnički. Obrazac se popunjava anonimno, svatko rješava obrazac pod svojim lozinkom.

**\*Obavezno**

Navedi koju školu pohađaš: \*

---

Razred: \*

---

Lozinka pod kojom će se zabilježiti tvoji odgovori iz obrasca: \*

---

#### Rad i snaga električne struje

U ovom virtualnom eksperimentu ćete istraživati o čemu ovisi snaga električne struje. Snagu ćete mjeriti mjereći toplinu koja se razvija na električnom grijaču i zagrijava vodu u kalorimetru. Promjena temperature vode bit će vam osjetnik, zavisna varijabla kojom ćete ispitivati svojstva sustava.

Prije početka istraživanja, otidite na poveznicu:

[http://mapmf.pmfst.unist.hr/~dbogdanov/index\\_sat\\_k1.html](http://mapmf.pmfst.unist.hr/~dbogdanov/index_sat_k1.html)

Poveznica će vas odvesti na stranicu koja sadržava pitanja vezana uz koncepte koje ste već obradili, a čije je poznavanje važno za ovo istraživanje.

#### 1. Metoda mjerenja

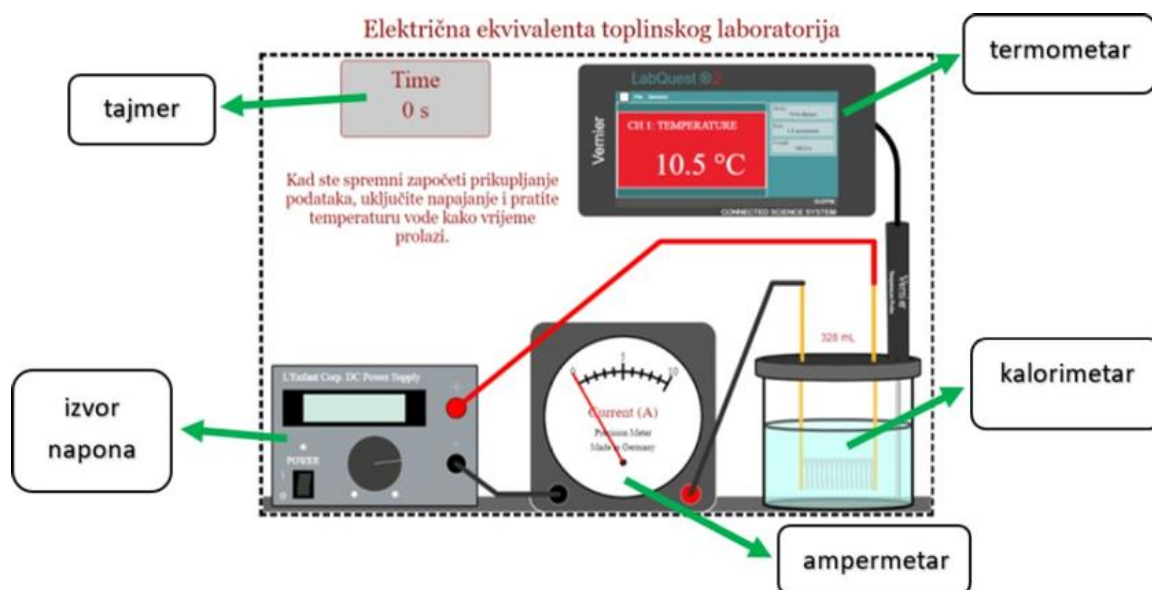
U našem uređaju vodu zagrijava električni grijač, a toplina koju voda primi u sekundi, snaga zagrijavanja,

$$P = m \cdot c \cdot \Delta T / t \quad (1)$$

jednaka umnošku mase  $m$ , specifičnog toplinskog kapaciteta  $c$  i brzine promjene temperature vode  $\Delta T/t$ . Stoga se snaga može odrediti mjerenjem brzine promjene temperature. Uz pretpostavku da se u kalorimetru električna energija u potpunosti pretvara u toplinu, snaga zagrijavanja vode jednaka snazi električne struje: Stoga mjerenjem  $\Delta T/t$  uz poznavanje  $m$  i  $c$  zapravo mjerimo snagu električnog grijača.

##### Aparatura

Uključivanjem izvora napona, struja prolazi kroz grijač i zagrijava vodu u kalorimetru. Temperaturu vode mjerimo pomoću termometra, ampermetrom mjerimo struju, a vrijeme zagrijavanja pomoću tajmera koji se uključuje istodobno s uključivanjem napajanja. Klikom na kalorimetar mijenjamo volumen vode, a klikom na gumb izvora mijenjamo napon napajanja. Možemo odabrati 5 različitih količina vode i 5 različitih napona napajanja.



Slika 6.1 Aparatura za mjerenje s naznačenim dijelovima uređaja.

## 2. Opažanje: Istraživanje rada u laboratoriju

Otidite na poveznicu:

<http://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ElectricalEquivalentOfHeatLab/index.html>

Po želji stisnite desni klik i odaberite opciju „Prevedi na hrvatski“. Na taj način možete prevesti stranicu na hrvatski jezik. Kliknite na gumb za početak rada.

Mijenjajte količinu vode u kalorimetru i napon izvora. Promatrajte vrijednosti struje na ampermetru i temperature vode na termometru. Nakon što ste uočili na koji način se te fizikalne veličine mijenjaju, odgovorite na sljedeća pitanja.

- 2.1. Pri većem naponu izvora promjena temperature vode: \* 1 bod
- se ne mijenja.
  - je brža.
  - je sporija.
- 2.2. Povećavanjem napona izvora struja u električnom krugu se: \* 1 bod
- ne mijenja.
  - povećava.
  - smanjuje.
- 2.3. Dodavanjem vode u kalorimetar promjena temperature vode: \* 1 bod
- se ne mijenja.
  - je brža.
  - je sporija.

## 3. Hipoteze

Na temelju svojih opažanja pretpostavite kako snaga žarulje ovisi o ostalim varijablama.

- 3.1. Snaga grijača \* 1 bod
- ne ovisi o naponu izvora.
  - je razmjerna naponu izvora.

- je obrnuto razmjerna naponu izvora.
- ovisi o naponu izvora na način koji se razlikuje od navedenih.

### 3.2. Snaga grijača \*

1 bod

- ne ovisi o struji.
- je razmjerna struji.
- je obrnuto razmjerna struji.
- ovisi o struji na način koji se razlikuje od navedenih.

## 4. Postupak mjerenja i diskusija

1. Odaberite željeni volumen vode u kalorimetru i izračunajte njezinu masu.
2. Uključite uređaj pritiskanjem tipke „Power“. Napon na izvoru napajanja postavite na željenu vrijednost pritiskanjem tipki 1 i 2 označenih na Slici 2. Očitajte i vrijednost struje na ampermetru. Ponovo pritisnite tipke 1 pa 2 da resetirate tajmer tako da možete započeti s mjerenjem.



*Slika 6.2 Izvor napona. Crvenim brojevima 1 i 2 označene su tipke kojima se mijenja napon izvora.*

3. Poželjno je da vam je na početku tajmer postavljen na vrijednost 0 s. Preporuka je da temperaturu vode očitavate u intervalima  $\Delta t = 10$  s, ali možete uzeti i neki drugi interval po želji.
4. Zabilježite početnu temperaturu. Napravite tablicu kojoj ćete u prvi stupac upisivati vrijeme  $t$ , a u drugi temperaturu vode  $T$ . Pokrenite mjerenje i u jednakim vremenskim intervalima očitavajte vrijeme i temperaturu vode. Ponovite mjerenje za 3 različita napona izvora.
5. Grafički prikažite ovisnost temperature vode  $T$  o vremenu  $t$  za sve tri vrijednosti napona. Graf ovisnosti temperature o vremenu  $T(t)$  nacrtajte u programu na poveznici: <https://www.desmos.com/calculator>. Točke upisujte lijevo kao uređene parove, primjerice (1,1) enter (2,3) enter, itd.

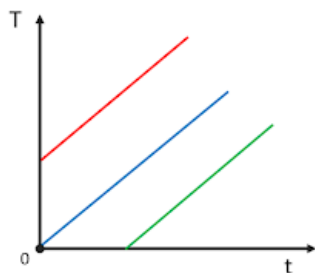
4.1. Graf ovisnosti temperature vode o vremenu  $T(t)$  priložite tako da nam pošaljete njegovu poveznicu. 2 boda

U programu, unutar ikone ključa podesite raspon  $x$  i  $y$  osi za bolji pregled grafa. Kliknite na strelicu za dijeljenje u gornjem desnom kutu programa. Pojavit će se poveznica koju trebate kopirati i zalijepiti kao odgovor.

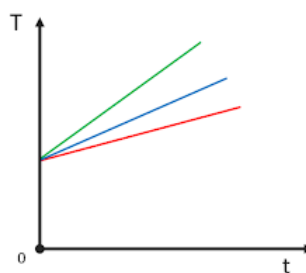
---

4.2. Koji od ponuđenih grafova najbolje opisuje ovisnosti temperature vode o vremenu za različite napone? \* 1 bod

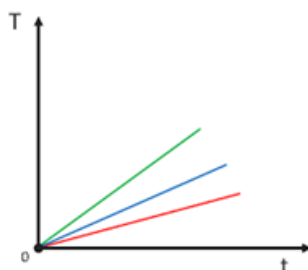
---



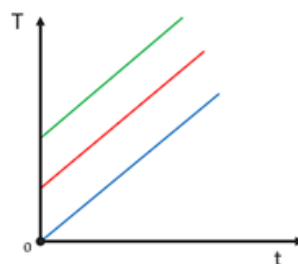
a



b



c



d

4.3. Kako ovisi brzina zagrijavanja (nagib krivulje) o naponu izvora? \* 1 bod

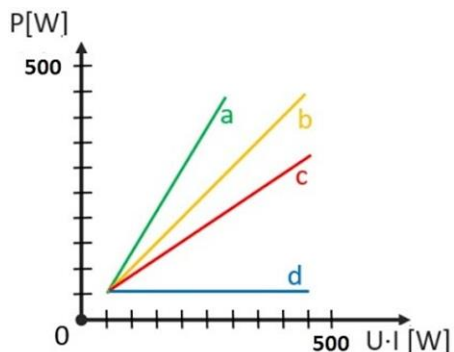
- Ne ovisi o naponu izvora.
- Razmjerna je naponu izvora.
- Obrnuto je razmjerna naponu izvora.
- Nijedno od ponuđenog.

4.4. Snaga grijača je razmjerna brzini promjene temperature. Kako snaga grijača ovisi o naponu izvora? \* 1 bod

- Ne ovisi o naponu izvora.
- Razmjerna je naponu izvora.
- Obrnuto je razmjerna naponu izvora.
- Ovisi drugačije.

6. U petom stupcu izračunajte snagu grijača, a u šestom stupcu umnožak napona izvora i struje električnog kruga. Usporedite vrijednosti petog i šestog stupca.

4.5. Koja od ponuđenih krivulja najbolje opisuje ovisnost snage grijača o umnošku napona i struje? \*



- a
- b
- c
- d

1 bod

## 5. Zaključak

Pitanja koja slijede su okvirna i služe samo da olakšaju zaključivanje: Što ste istraživali? Je li virtualni laboratorij koji ste koristili prikladan za to? Je li metoda mjerenja prikladna? Je li točnost mjerenja dovoljna za donošenje zaključaka? O kojim fizičkim veličinama ovisi snaga električne struje? Jesu li rezultati istraživanja u skladu s vašim pretpostavkama? Što biste popravili?

U nekoliko rečenica iznesite svoja zapažanja i zaključke. \*

---

---

Hvala na sudjelovanju!

## 6.2 Prilog II.- Google obrazac *Snaga žarulje*

Snaga žarulje

**\*Obavezno**

Upišite istu lozinku kao i na prethodnom obrascu: \*

---

Pokazali smo da je snaga električne energije, koja se pretvara na trošilu jednaka umnošku napona na koji je trošilo priključeno i struje koja njime protiče. U ovom virtualnom eksperimentu ispitat ćemo kako snaga ovisi o otporu trošila i o naponu na koje je ono priključeno.

0. Povežite žarulje sa slike s pripadajućom snagom. \*

0 bodova



	100 W	40 W	75 W	60 W
a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
b	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
c	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
d	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

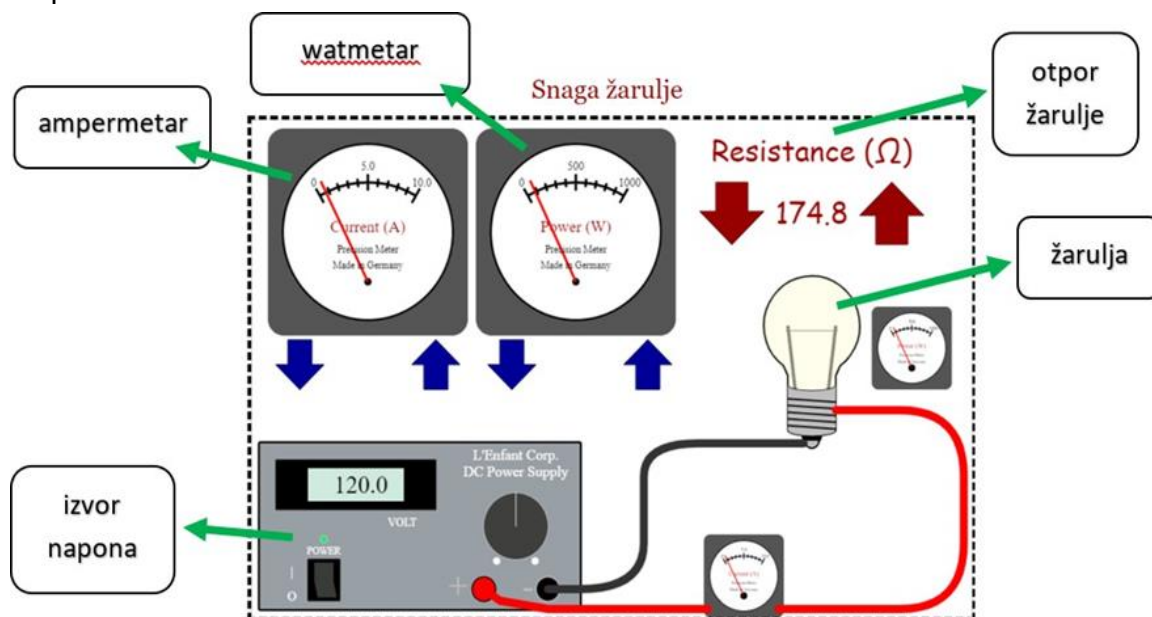
### 1. Metoda mjerenja

Aparatura se sastoji od serijski spojenog izvora napona, ampermetra i žarulje te vatmetra koji mjeri snagu žarulje. Napon izvora se mijenja klikom na njegov gumb, a otpor žarulje klikom na crvene strelice.

---



Izvor napona se uključuje pritiskom na gumb „Power”. Program generira 10 različitih napona izvora i 10 različitih otpora žarulje. Mjerna područja ampermetra i vatmetra mijenjaju se klikom na plave strelice.



Slika 6.3 Aparatura za mjerenje s naznačenim dijelovima aparature.

## 2. Opažanje: Istraživanje rada u virtualnom laboratoriju

Otidite na poveznicu:

<http://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/PowerOfLight/index.html>

Po želji stisnite desni klik i odaberite opciju „Prevedi na hrvatski”. Na taj način će stranica biti prevedena na hrvatski jezik. Kliknite na gumb za početak.

Mijenjajte napon izvora i otpor žarulje te promatrajte promjene struje i snage žarulje. Kada zadobijete osjećaj za uzročno-posljedične veze između tih veličina, odgovorite na postavljena pitanja.

2.1. Kako se mijenja snaga žarulje kada se napon izvora povećava? \* 1 bod

- Snaga žarulje ostaje nepromijenjena.
- Snaga žarulje se povećava.
- Snaga žarulje se smanjuje.

2.2. Kako se mijenja snaga žarulje kada se njezin otpor smanjuje? \* 1 bod

- Snaga žarulje ostaje ista.
- Snaga žarulje se smanji.
- Snaga žarulje se povećava.

## 3. Hipoteze

Na temelju opažanja pretpostavite kakva je ovisnost snage o njenom otporu i o naponu.

3.1. Snaga žarulje pri konstantnom otporu \* 1 bod

- ne ovisi o naponu izvora.
- razmjerna je naponu izvora.
- obrnuto je razmjerna naponu izvora.
- ovisi o naponu izvora na način koji se razlikuje od navedenih.

## 3.2. Snaga žarulje pri konstantnom naponu izvora \*

1 bod

- ne ovisi o otporu žarulje.
- razmjerna je otporu žarulje.
- obrnuto je razmjerna otporu žarulje.
- ovisi o otporu žarulje na način koji se razlikuje od navedenih.

## 4. Kontrola varijabli

Relevantne fizičke veličine su napon izvora  $U$ , struja  $I$ , otpor žarulje  $R$  te snaga žarulje  $P$ .

Budući da je snaga fizikalna veličina koja nas zanima u istraživanju, ona će nam biti zavisna varijabla u svim mjerenjima. Ona ovisi o dvjema nezavisnim varijablama; naponu izvora i otporu žarulje, koje možemo po volji mijenjati.

Istraživanje se zasniva na mijenjanju vrijednosti jedne od nezavisnih varijabli: napona  $U$  ili otpora  $R$  te proučavanju kako njena promjena utječe na snagu žarulje, pri čemu drugu varijablu držimo konstantnom. Ovaj postupak je posebno važan u istraživanju i nazivamo ga kontrola varijabli.

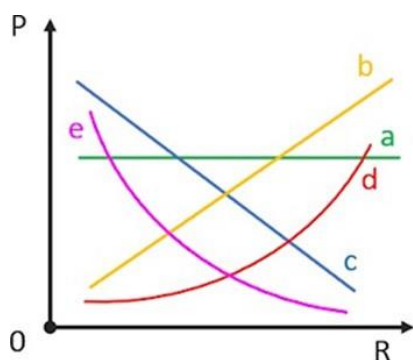
## 5. Mjerenja i analiza rezultata

1. Postavite napon na po želji odabranu vrijednost i držite ga konstantnim.
2. Napravite tablicu kojoj ćete upisivati u prvi stupac otpor, a u drugi snagu žarulje. Mijenjajte otpor žarulje i na vatmetru očitavajte snagu. Napravite najmanje pet mjerenja s različitim otporom.
3. Grafički prikažite ovisnost snage žarulje o njezinom otporu. Graf ovisnosti snage žarulje o otporu  $P(R)$  nacrtajte u programu na poveznici: <https://www.desmos.com/calculator>. Točke upisujte lijevo kao uređene parove, primjerice (1,1) enter (2,3) enter, itd.

5.1. Graf ovisnosti snage žarulje o otporu  $P(R)$  priložite tako da nam pošaljete njegovu poveznicu. 2 boda

U programu, unutar ikone ključa podesite raspon  $x$  i  $y$  osi za bolji pregled grafa. Kliknite na strelicu za dijeljenje u gornjem desnom kutu programa. Pojavit će se poveznica koju trebate kopirati i zalijepiti kao odgovor.

5.2. Koja od ponuđenih krivulja najbolje opisuje ovisnost snage o otporu žarulje? \*



- a
- b
- c
- d
- e

1 bod

5.3. Kakva je ovisnost snage žarulje o njezinom otporu? \*

1 bod

- Snaga žarulje ne ovisi o otporu.
- Snaga žarulje je razmjerna otporu.
- Snaga žarulje je obrnuto razmjerna otporu.
- Nijedno od ponuđenog.

4. Postavite otpor žarulje na neku željenu početnu vrijednost i držite ga konstantnim.

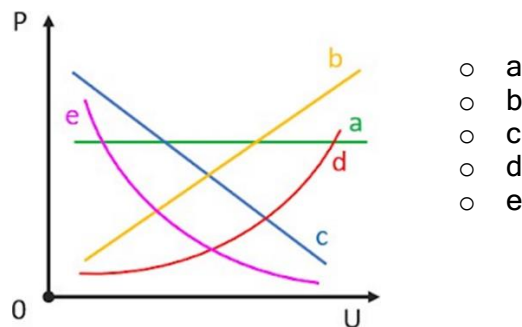
5. Napravite tablicu kojoj ćete u prvi stupac upisivati napon izvora, a u drugi snagu žarulje. Mijenjajte napon izvora i očitavajte snagu žarulje na vatmetru. Napravite najmanje pet mjerenja.

6. Grafički prikažite ovisnost snage žarulje o naponu izvora.

Graf ovisnosti snage žarulje o naponu izvora  $P(U)$  nacrtajte u programu na poveznici: <https://www.desmos.com/calculator>.

5.4. Graf ovisnosti  $P(U)$  priložite tako da nam pošaljete njegovu poveznicu. 2 boda

5.5. Koja od ponuđenih krivulja najbolje opisuje ovisnost snage žarulje o naponu izvora? \*



- a
- b
- c
- d
- e

1 bod

5.6. Kakva je ovisnost snage žarulje o naponu izvora? \*

1 bod

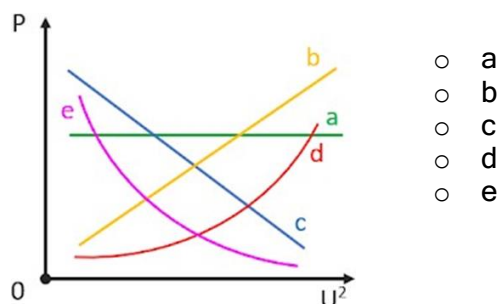
- Snaga žarulje ne ovisi o naponu izvora.
- Snaga žarulje je razmjerna naponu izvora.
- Snaga žarulje je obrnuto razmjerna naponu izvora.
- Nijedno od ponuđenog.

7. U tablicu dodajte treći stupac u kojemu ćete izračunati kvadrat napona izvora. Grafički prikažite ovisnost snage žarulje o kvadratu napona izvora.

Graf ovisnosti snage žarulje o kvadratu napona izvora  $P(U^2)$  nacrtajte u programu na poveznici: <https://www.desmos.com/calculator>.

5.7. Graf ovisnosti snage žarulje o kvadratu napona  $P(U^2)$  priložite tako da nam pošaljete njegovu poveznicu.

5.8. Koja od ponuđenih krivulja najbolje opisuje ovisnost snage žarulje o kvadratu napona izvora? \*



- a
- b
- c
- d
- e

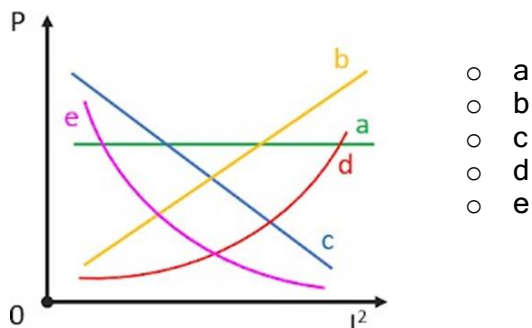
1 bod

5.9. Kakva je ovisnosti snage žarulje o kvadratu napona izvora? \*

1 bod

- Snaga žarulje ne ovisi o kvadratu napona izvora.
- Snaga žarulje je razmjerna kvadratu napona izvora.
- Snaga žarulje je obrnuto razmjerna kvadratu napona izvora.
- Nijedno od ponuđenog.

5.10. Koja od ponuđenih krivulja najbolje opisuje ovisnost snage žarulje o kvadratu struje? \*

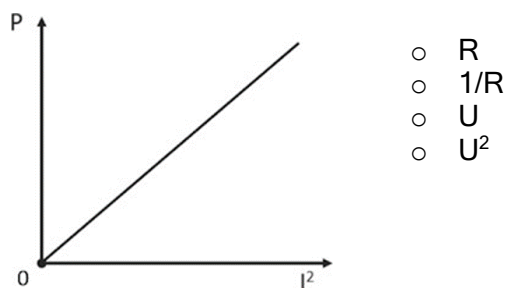


- a
- b
- c
- d
- e

1 bod

5.11. Koliki je koeficijent smjera pravca danog grafa? \*

1 bod



- R
- 1/R
- U
- U<sup>2</sup>

6. Zaključak

1 bod

Pitanja koja slijede su okvirna i služe samo da vam olakšaju zaključivanje: Što ste istraživali? Je li virtualni laboratorij koji ste koristili prikladan za to? Je li metoda mjerenja prikladna? Je li točnost mjerenja dovoljna za donošenje zaključaka? Koji su alternativni izrazi za snagu električne struje? Jesu li rezultati istraživanja u skladu s vašim pretpostavkama? Što biste popravili?

U nekoliko rečenica iznesite svoja zapažanja i zaključke. \*

---



---

Hvala na sudjelovanju!

## 7 Literatura

- [1] E. F. Redish; *Teaching Physics with the Physics Suite*; John Wiley & Sons Inc., New York (2003)
- [2] Engzell Per, Frey, Arun, Verhagen, Mark, *Learning loss due to school closures during the COVID-19 pandemic*, SocArXiv ve4z7, Center for Open Science, 2020.
- [3] de Jong, T., Sotiriou, S., Gillet, D., *Innovations in STEM education: the Go-Lab federation of online labs*, Smart Learn, Environ, 1, 3 (2014)
- [4] C. Dondi et al. (eds.), *Future Challenges Report*, Go-Lab Deliverable D6.2, 2013. [https://premium.golabz.eu/sites/premium/files/inline-files/Go-Lab\\_D6.2.pdf](https://premium.golabz.eu/sites/premium/files/inline-files/Go-Lab_D6.2.pdf)
- [5] Prelovšek Peroš, Sonja, Milotić, Branka, Aviani, Ivica, *Otkrivamo Fiziku 7, udžbenik iz fizike za sedmi razred osnovne škole*, 2. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2019.
- [6] Bogdanović, Dražena; Aviani, Ivica; Samostalno učenje istraživanjem u okruženju virtualnog laboratorija: Rad i snaga električne struje // *Zbornik radova XV. hrvatskog simpozija o nastavi fizike / Zagreb: Hrvatsko fizikalno društvo*, str. 196-202, URL: <https://www.bib.irb.hr/1121741>, 2021.
- [7] Samostalno učenje istraživanjem: Rad i snaga električne struje, Diplomski dan studenata fizike, PMF Split, URL: <https://www.pmfst.unist.hr/diplomski-dan-studenata-fizike/>, 16. srpnja 2021.
- [8] R. Heradioa et al., *Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis*, Computers & Education, 98 (2016.), str. 14-38.
- [9] Gamor, Keysha I., *Insights on identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science*, Educ Technol Res Dev. 2021., str. 1-4.
- [10] Go-Labs Sharing and Authoring Platform, <https://www.golabz.eu/>
- [11] CERN, URL: <https://home.cern/science/experiments/atlas> (12.9.2021.)
- [12] E. Tasiopoulou and T. de Jong (eds.), *First trial report*, Go-Lab Deliverable D8.3, 2015. [https://premium.golabz.eu/sites/premium/files/inline-files/Go-Lab\\_D8.3-ilovepdf-compressed.pdf](https://premium.golabz.eu/sites/premium/files/inline-files/Go-Lab_D8.3-ilovepdf-compressed.pdf)
- [13] Margus Pedaste, Mario Mäeots, Leo A. Siiman, Ton de Jong, Siswa A.N. van Riesen, Ellen T. Kamp, Constantinos C. Manoli, Zacharias C. Zacharia, Eleftheria Tsourlidaki, *Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle*, Educational Research Review, 14 (2015.), str. 47-61.
- [14] Hovardas, T.; Pedaste, M.; Zacharia, Z.; de Jong, T., *Model-based inquiry in computer-supported learning environments : The case of Go-lab*, Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education, Poglavlje 10 (2018.), str. 241-268
- [15] Windschitl, Mark, Thompson, Jessica, Braaten, Melissa, *Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations*, Science Education - SCI EDUC, 92 (2008.), str. 941-967.
- [16] *Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Fizike za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj*, Ministarstvo znanosti i obrazovanja, NN 10/2019, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_10\\_210.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html)
- [17] *Prijedlozi kurikuluma nakon javne rasprave: Fizika*, prosinac 2017. Ministarstvo znanosti i obrazovanja, <https://mzo.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Obrazovanje/NacionalniKurikulum/PrethodniKurikulumi/Fizika,%20prosinac%202017..pdf>

- [18] Dražena Bogdanović, *Konceptualni test*, URL: [https://mapmf.pmfst.unist.hr/~dbogdanov/elektricni\\_ekv\\_lab\\_topline.htm](https://mapmf.pmfst.unist.hr/~dbogdanov/elektricni_ekv_lab_topline.htm) (9.9.2021.)
- [19] Eysink, Tessa, Jong, Ton, Berthold, Kirsten, Kollöffel, Bas, Opfermann, Maria, Wouters, Pieter, *Learner Performance in Multimedia Learning Arrangements: An Analysis Across Instructional Approaches*, American Educational Research Journal - AMER EDUC RES J., 46 (2009.), str. 1107-1149.
- [20] Um, Eunjoon, Plass, Jan, Hayward, Elizabeth, Homer, Bruce, *Emotional Design in Multimedia Learning*, Journal of Educational Psychology, 104 (2012.), str. 485-498.
- [21] Eli Luberoff, Desmos, <https://www.desmos.com/calculator> (26.2.2021.)
- [22] Dražena Bogdanović, *Teorijsko objašnjenje*, URL: [https://mapmf.pmfst.unist.hr/~dbogdanov/index\\_sat\\_glavni.html](https://mapmf.pmfst.unist.hr/~dbogdanov/index_sat_glavni.html)
- [23] Dražena Bogdanović, *Istraživanje u virtualnom laboratoriju: Snaga žarulje*, <https://docs.google.com/forms/d/16VfTW11g3xnhD6hRHia3KvhNh-qKUTAhVf5hqrqRqgU/edit>
- [24] Dražena Bogdanović, *Istraživanje u virtualnom laboratoriju: Rad i snaga električne struje*, [https://docs.google.com/forms/d/15Sk8FrNk47jIgsb-IwzCxuG7kLO53g0zQ\\_rdo5Mchg/edit](https://docs.google.com/forms/d/15Sk8FrNk47jIgsb-IwzCxuG7kLO53g0zQ_rdo5Mchg/edit)
- [25] Dražena Bogdanović, *Primijenite ono što ste naučili*, [https://docs.google.com/forms/d/1MW-EGAtg-TTPG\\_KvEbEPUVHYJblcm0WI3SaZJfC-A14/edit](https://docs.google.com/forms/d/1MW-EGAtg-TTPG_KvEbEPUVHYJblcm0WI3SaZJfC-A14/edit)
- [26] E-škola FIZIKA hrvatskog fizikalnog društva, URL: <http://eskola.hfd.hr/> (26. 2. 2021.)
- [27] *National Science Education Standards*, National Research Council, Washington, DC: The National Academies Press, 1996.
- [28] Colburn, Alan, *An Inquiry Primer*, Science Scope, **23**, 6 (ožujak 2000.), str. 42-44.
- [29] Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, *Does discovery-based instruction enhance learning?*, Journal of Educational Psychology, 103 (2011.), str. 1-18.
- [30] Aviani, Ivica; Dukić, Ines; Erceg, Nataša; Glunčić, Matko; Halusek, Vlado; Hrlec, Anica; Jakopović, Željko; Jalušić, Anđelka; Kliček, Damir; Martinko, Sanja; Planinić, Maja, *Prijedlog Nacionalnog kurikuluma nastavnog predmeta Fizika - Studeni 2017*, Zagreb, 2017.
- [31] Dražena Bogdanović, *ILS: Rad i snaga električne struje*, URL: <https://viewer.graasp.eu/en/pages/60e95b8c2d81633d3c4c8c65/subpages/60e95b8d2d81633d3c4c8c68> (15.9.2021.)
- [32] Dražena Bogdanović, *ILS: Snaga žarulje*, URL: <https://viewer.graasp.eu/en/pages/60f5827f634c0a26ab18f786/subpages/60f58280634c0a26ab18f789> (15.9.2021.)