



Istraživačka nastava fizike – metodički oblikovana laboratorijska vježba iz termodinamike

Jessica Puž¹, Nataša Erceg²

Sažetak

Promicanje istraživačkog pristupa u nastavi Fizike temeljni je cilj ovog rada. U tom smislu dan je primjer metodički oblikovane laboratorijske vježbe koji obuhvaća sljedeće faze poučavanja učenika ili studenata: motivaciju, istraživanje, objašnjavanje i razradu. Članak je prvenstveno namijenjen nastavnicima Fizike i studentima nastavničkih studija fizike radi stručnog usavršavanja. Dani primjer laboratorijske vježbe može se koristiti i u okviru sveučilišne nastave uvodnih kolegija fizike i pripadnih praktikumata.

Uvod

Iako živimo u periodu iznimnog povećanja spoznaja u svim područjima prirodnih znanosti, rezultati istraživanja ([1] prema [2]) ukazuju da učenici u Republici Hrvatskoj fiziku uglavnom ne vole, smatraju je nezanimljivom, nerazumljivom, teškom, nekorisnom i nevažnom za život, što je gotovo podudarno s rezultatima međunarodnog istraživačkog projekta ROSE koji pokazuje da učenici nakon 15. godine sve više gube interes za fiziku [3]. U Hrvatskoj, osim petnaestogodišnjaka koji na međunarodnim procjenama znanja [4] ostvaruju nezadovoljavajuće rezultate iz prirodoslovlja, postoji niz naraštaja pojedinaca koji unatoč završenom formalnom obrazovanju ne raspolažu osnovnim znanjima potrebnim za razumijevanje prirodnih pojava u životu [5]. Također, broj osoba koje upisuju studij fizike vrlo je malen. Ovakav nacionalni trend ukazuje na nužnost uvođenja novog pristupa nastavi Fizike kojim će se propagirati suvremeni trend učenja i poučavanja putem istraživanja [6, 7] s ciljem konceptualnog razumijevanja funkcioniranja realnog svijeta, usvajanja logičnog načina razmišljanja te zauzimanja kritičkog stava u različitim problemskim situacijama.

Istraživanjem učeničkog/ studentskog razumijevanja temeljnih koncepata iz termodinamike ustanovljeni su brojni problemi [8], bilo da je riječ o studentskom nerazlikovanju temeljnih koncepata, odudaranju studentskih koncepcija od onih znanstvenih [9] ili pak primjeni nerelevantne teorije [10, 11, 12]. Objavljeni su mnogi razlozi za učeničke/ studentske poteškoće vezane uz termodinamiku [13, 14], a jedan od razloga je zasigurno i tradicionalni pristup nastavi Fizike. Stoga je promicanje istraživačkog pristupa u nastavi Fizike prikazanog na sadržajima termodinamike temeljni cilj ovog rada.

¹ Autorica je prof. fizike u Gimnaziji Petra Preradovića u Virovitici.

² Autorica je istraživač i metodičar na Odjelu za fiziku Sveučilišta u Rijeci.

Istraživačka nastava fizike

Istraživačka nastava je svaka nastava za vrijeme koje se pred učenike (ili studente) postavlja problem za čije je rješavanje potrebno aktivno sudjelovanje i stjecanje novih znanja i vještina [15]. Istraživačka nastava može poprimiti različite oblike s obzirom na stupanj usmjeravanja i pružanja gotovih informacija učenicima. Prema tome razlikuju se otvorena istraživačka nastava, istraživački usmjerena nastava, strukturirana istraživačka nastava i potvrdni pokus [15]. Za vrijeme otvorene istraživačke nastave učenici sami postavljaju problem i pronalaze put do njegova rješenja. U istraživački usmjerenoj nastavi nastavnik postavlja problem pred učenike, a oni sami pronalaze rješenje problema. Osim što postavlja problem, nastavnik u strukturiranoj istraživačkoj nastavi predlaže i postupak rješavanja problema, dok je učenicima kod potvrdnog pokusa poznato čak i rješenje problema te ga oni pokusom samo potvrđuju.

Jedan od metodičkih pristupa istraživačkoj nastavi poznat je pod nazivom *5E* (engl. *Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate*) prema kojemu je istraživački nastavni sat moguće provesti u pet faza: motivacija, istraživanje, objašnjavanje, razrada i vrednovanje. Za vrijeme motivacije glavni je cilj zainteresirati učenike i upoznati ih s problemom koji rješavaju, najčešće pokusom za vrijeme faze istraživanja. U fazi motivacije učenici izlažu svoje pretpostavke o promatranom problemu. Kroz fazu istraživanja učenici prolaze otkrivajući ili potvrđujući zakonitosti fizike vlastitim zapažanjima, temeljem smišljenog i/ili izvedenog pokusa. U fazi objašnjavanja učenici obrađuju podatke sakupljene kroz fazu istraživanja, izlažu saznanja do kojih su došli te ih povezuju sa znanjima koja su prethodno stekli, pri čemu nastavnik produbljuje i proširuje učenička izlaganja po potrebi. Faza razrade učenicima omogućava utvrđivanje i primjenu znanja u novom kontekstu, a faza vrednovanja nastavniku omogućava prikupljanje povratnih informacija o napretku učenika i odvija se tijekom cijelog nastavnog sata [15].

U nastavku je dan primjer metodički oblikovanog pokusa iz termodinamike, primjerenog za izvođenje u sklopu istraživačke nastave. Primjer je osmišljen kao dio strukturirane istraživačke nastave prema pristupu *5E* te obuhvaća prve četiri faze. Da bi istraživačka nastava bila potpuna, nastavnik mora voditi računa i o zadnjoj fazi, fazi vrednovanja napretka učenika [15].

Metodički oblikovana laboratorijska vježba *Kondenzacija*

Pokus pod nazivom *Kondenzacija* oblikovan je kao laboratorijska vježba u kojoj učenici od nastavnika dobivaju detaljne upute za pristup laboratorijskom radu. Ova laboratorijska vježba se može svesti na eksperimentalni zadatak, kao i na laboratorijski problem, u ovisnosti o potrebama i sposobnostima učenika. U slučaju eksperimentalnog zadatka, učenici dobivaju samo zadatak i raspoloživi pribor potreban za njegovo rješavanje, a u slučaju laboratorijskog problema, nastavnik učenicima zadaje samo problem koji učenici samostalno rješavaju te smišljaju odgovarajući pokus [15].

Mogućim uklanjanjem uputa koje učenike vode kroz pokus do zaključaka strukturirana istraživačka nastava prelazi u istraživački usmjerenu nastavu. Uklanjanjem uputa za postavku eksperimenta istraživački usmjerena nastava svodi se na otvorenu istraživačku nastavu.

Faza motivacije

Pojava kondenzacije vode može se svakodnevno susresti pri kuhanju. Ako je posuda u kojoj se kuha poklopljena, na poklopcu će se stvoriti kondenzat.

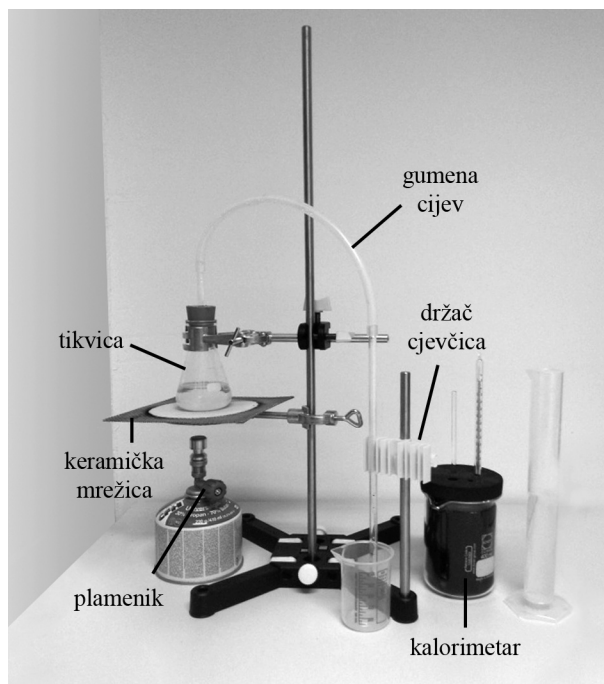
Učenici mogu na primjeru vode, pokusom [16] odrediti latentnu toplinu kondenzacije te ju zatim usporediti s latentnom toplinom isparavanja vode i pri tome doći do zaključka da su one jednake, odnosno da se pri kondenzaciji određene mase vode oslobodi količina topline jednaka potrebnoj količini topline koju treba uložiti da bi ista masa vode isparila. Mjerenjem promjene temperature vode u kalorimetru dovođenjem vodene pare nastale vrenjem vode u tikvici i volumena dovedene vodene pare, učenici mogu odrediti latentnu toplinu kondenzacije vode.

Kao pomoć pri formiranju pretpostavki, učenicima se mogu postaviti sljedeća pitanja:

Što mislite, hoće li temperatura mješavine vode i vodene pare biti jednaka temperaturi mješavine vode i kipuće vode ako odgovarajuću masu vode na odgovarajućoj temperaturi miješamo s jednakom masom vodene pare, odnosno kipuće vode? Hoće li latentna toplina kondenziranja vode biti manja, veća ili jednaka latentnoj toplini isparavanja vode?

Faza istraživanja

Postavka eksperimenta prikazana je na slici 1 i napravljena prema uputama [16].



Slika 1. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Kondenzacija.

Na stalku je pričvršćen stezač s prstenom i na njega postavljena žičana mrežica, ispod koje je plamenik. Tikvica, u kojoj se nalazi 75 ml vode, začepljena je gumenim čepom u koji je umetnuta kratka staklena cjevčica. Stezač sa stezaljkom je pričvršćen na stalak te je stezaljkom pričvršćeno grlo tikvice tako da se dno tikvice nalazi na keramičkoj mrežici. Staklena cjevčica koja je pričvršćena za tikvicu, spojena je s gumenom cijevi duljine oko 30 cm. U drugi kraj cijevi umetnuta je duža staklena cjevčica. U postolju stalka učvršćena je šipka te je na nju postavljen držač cjevčica. U njemu se nalazi duža staklena cjevčica, a ispod nje je podmetnuta čaša. Kalorimetar je izrađen pomoću dvije čaše i izolacijskog materijala te su kroz otvore na poklopcu umetnuti termometar i miješalica.

Primjer radnog listića s uputama za izvođenje pokusa dan je u nastavku i po potrebi se može ponuditi učenicima [16].

U kalorimetar ulij 150 ml hladne vode. U tablicu 1 zabilježi volumen hladne vode V_1 i temperaturu t_1 izmjerenu u kalorimetru.

Plamenikom zagrijavaj vodu u tikvici. Kada voda zavrije, pričekaj još otprilike dvije minute dok iz cjevčice ne počne izlaziti samo para i prestanu se stvarati kapljice vode u cijevi. Otvor cjevčice uvijek drži usmjeren prema dolje. Koristeći držač cjevčica, dužu staklenu cjevčicu odvoji od stalka i umetni ju u otvor na poklopcu kalorimetra.

Pusti da vodena para ulazi u kalorimetar oko dvije minute, odnosno dok temperatura u kalorimetru ne dosegne približno temperaturu $50\text{ }^\circ\text{C}$. Isključi plamenik i cjevčicu izvuci iz kalorimetra te ju ponovno pričvrsti na stalak.

Pažljivo miješaj vodu u kalorimetru te izmjeri temperaturu t_2 unutar njega i zabilježi ju u tablicu 1.

Odredi volumen vode V_2 u kalorimetru te ga zabilježi u tablicu 1.

Tablica 1. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Kondenzacija.

$V_1 = 150\text{ ml}$	$V_2 = 161\text{ ml}$
$m_1 = 150\text{ g}$	$m_2 = 161\text{ g}$
$\Delta m = 11\text{ g}$	
$t_1 = 23.0\text{ }^\circ\text{C}$	
$t_2 = 54.0\text{ }^\circ\text{C}$	

Faza objašnjavanja

Zadatci koji će učenike voditi kroz zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja dani su u nastavku [16].

1. Odredi početnu masu vode m_1 u kalorimetru i konačnu masu vode m_2 u kalorimetru na kraju pokusa te ih unesi u tablicu 1. Izračunaj masu vodene pare Δm koja je ušla u kalorimetar pa i nju unesi u tablicu 1. Vidi tablicu 1.
2. Koliku toplinu Q_1 su apsorbirali hladna voda i kalorimetar pri dovođenju vodene pare? Toplinski kapacitet kalorimetra iznosi $C = 80\text{ J/K}$. Iznos specifičnog

toplinskog kapaciteta vode iznosi $c_v = 4.19 \cdot 10^3 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$.

$$Q_1 = m_1 c_v (t - t_1) + C(t - t_1) = 2.20 \cdot 10^4 \text{ J}$$

3. Koliko topline Q_2 je oslobođeno pri miješanju kondenzirane vode temperature 100°C s hladnom vodom?

$$Q_2 = \Delta m c_v (t_2 - t) = 0.21 \cdot 10^4 \text{ J}$$

4. Odredi koliko je topline Q oslobođeno pri kondenzaciji vodene pare.

Pri pretvorbi vodene pare u tekuću vodu, odnosno pri prijelazu vode iz plinovitog u tekuće agregacijsko stanje, oslobađa se toplina. U pokusu, ta toplina Q jednaka je razlici uložene topline Q_1 na zagrijavanje hladne vode i kalorimetra i oslobođene topline Q_2 pri hlađenju kondenzata.

$$Q = Q_1 - Q_2 = 1.99 \cdot 10^4 \text{ J}$$

5. Koristeći Richmannovo pravilo, izračunaj koliku bi temperaturu t imala voda u kalorimetru da je umjesto vodene pare dodana kipuća voda iste mase. Usporedi tu temperaturu s izmjerenom temperaturom t_2 i objasni svoje zapažanje.

$$m_1 c_v (t - t_1) = \Delta m c_v (100^\circ\text{C} - t)$$
$$t = \frac{m_1 t_1 + \Delta m \cdot 100^\circ\text{C}}{m_1 + \Delta m} = 28.3^\circ\text{C}$$

Temperatura t_2 izmjerena u kalorimetru je znatno veća od izračunate temperature t . To ukazuje na činjenicu da je voda u kalorimetru primila dodatnu toplinu, osim one primljene miješanjem s kipućim kondenzatom. Ta dodatna toplina je upravo toplina oslobođena pri prijelazu vodene pare u tekuću vodu pri kondenzaciji u kalorimetru.

6. Odredi latentnu toplinu kondenziranja vode L_k , odnosno količinu topline potrebne da bi se kondenzirao jedan kilogram vodene pare.

$$L_k = \frac{Q}{\Delta m} = 18 \cdot 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$$

7. Pronađi tabličnu vrijednost latentne topline kondenziranja vode i odredi točnost [17] mjerenja pri izvođenju pokusa. Interpretiraj dobiveni rezultat.

$$L_{kt} = 22.6 \cdot 10^5 \text{ Jkg}^{-1}$$
$$T = \left(1 - \left| \frac{L_{kt} - L_k}{L_{kt}} \right| \right) \cdot 100\% = 80\%$$

Do smanjenja točnosti mjerenja došlo je zbog subjektivne procjene opažača pri odčitavanju temperatura i volumena vode. Također, dio topline oslobođene pri kondenzaciji vodene pare primila je okolina, te je i stoga smanjena točnost mjerenja.

8. Usporedi dobivenu latentnu toplinu kondenzacije vode s latentnom toplinom isparavanja vode.

Određena latentna toplina kondenzacije prilično se razlikuje od određene latentne topline isparavanja vode. To se može objasniti gubitcima topline. Pri određivanju latentne topline kondenzacije dio topline oslobođen kondenzacijom prešao je na okolinu pa je određena za oko 20% manja vrijednost latentne topline kondenzacije

od tablične vrijednosti. Pri određivanju latentne topline isparavanja vode [18] sustavu se dovodi toplina nešto veća od potrebne za isparavanje jer dio topline prelazi na okolinu. Zbog toga se može odrediti vrijednost latentne topline isparavanja koja je oko 20% veća od tablične vrijednosti. Prava vrijednost se stoga dobiva kao aritmetička sredina određenih vrijednosti latentne topline kondenzacije i latentne topline isparavanja vode koja se odlično slaže s tabličnom vrijednošću latentne topline isparavanja/ kondenzacije vode.

Faza razrade

Primjer zadatka koji se može dati učenicima, a koji će ih potaknuti na razmišljanje o pojavama izvan konteksta provedenog pokusa, dan je u nastavku.

Zašto je opeklina nastala od vodene pare nastale vrenjem, puno bolnija i štetnija od opeklina nastale od vode iste temperature [19]?

Vodena para se kondenzira u kontaktu s ljudskom kožom. Osim što je vrlo visoke temperature i samim time predaje toplinu koži, pri kondenzaciji se oslobađa dodatna količina topline. Zbog toga je puno opasnije opeći se vodenom parom temperature 100 °C, nego jednakom masom vode temperature 100 °C. Zbog kondenzacije će u kontaktu s parom koža primiti više topline, nego u kontaktu s vodom.

Zaključak

U ovom radu dan je primjer metodički oblikovane laboratorijske vježbe koji se može upotrijebiti u sklopu istraživačke nastave termodinamike s ciljem konceptualnog razumijevanja odgovarajućih pojava iz realnog svijeta, usvajanja logičnog načina razmišljanja te zauzimanja kritičkog stava u odgovarajućim problemskim situacijama [15, 6].

Laboratorijska vježba oblikovana je prema pristupu istraživačkoj nastavi pod nazivom 5E [15]. Obuhvaćene su faze motivacije, istraživanja, objašnjavanja i razrade, a za potpun pristup istraživačkoj nastavi, potrebno je provesti i fazu vrednovanja.

Primjer laboratorijske vježbe namijenjen je prvenstveno nastavnicima četverogodišnjih gimnazijskih programa koji žele uvesti ili oplemeniti istraživačku nastavu u drugom razredu. Dani primjer laboratorijske vježbe može biti i dio odgovarajućih sveučilišnih nastavnih programa opće fizike i fizičkih praktikuma. Osim nastavnicima, ovaj rad može poslužiti kao dodatna literatura i studentima nastavnčkih smjerova fizike u sklopu metodičkih kolegija.

Literatura

- [1] D. RISTER, *Elementary school pupils' and teachers' perspectives on physics as school subject*, GIREP-EPEC Conference Frontiers of Physics Education (2007, Opatija) Selected contributions, Zlatni rez, Rijeka, 2008.
- [2] B. BARANOVIĆ i sur., *Nacionalni kurikulum za obvezno obrazovanje u Hrvatskoj, različite perspektive*, Institut za društvena istraživanja, Zagreb, 2006.
- [3] M. REISS, *Bottom of the science class*, New Scientist, br. 2632, sv. 196, prosinac 2007.

- [4] *OECD programme for international student assessment*, PISA Released Field Trial Cognitive Items, ETS, 2015.
- [5] *Strategija obrazovanja, znanosti i tehnologije*, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_10_124_2364.html
- [6] E. F. REDISH, *Teaching physics with the physics suite*, John Wiley and Sons Inc., SAD, 2003.
- [7] L. ZURAK, M. BARAC, LJ. ŠPIRIĆ, N. ERCEG, M. KARUZA, *Istraživanje strukture atoma u srednjoj školi primjenom suvremene tehnologije*, Zbornik radova XIII. hrvatskog simpozija o nastavi fizike, 2017.
- [8] R. LEINONEN, M. A. ASIKAINEN, P. E. HIRVONEN, *Overcoming student' misconceptions concerning thermal physics with the aid of hints and peer interaction during a lecture course*, Physical Review Special Topics – Physics Education Research 9, 2013.
- [9] R. LEINONEN, E. RASANEN, M. ASIKAINEN, P. E. HIRVONEN, *Students' preknowledge as a guideline in the teaching of introductory thermal physics at University*, European Journal of Physics, br. 3, sv. 30, travanj 2009.
- [10] D. E. MELTZER, *Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course*, American Journal of Physics, br. 11, sv. 72, rujanj 2004.
- [11] M. E. LOVERUDE, C. H. KAUTZ, P. R. L. HERON, *Student understanding of the first law of thermodynamics, Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas*, American Journal of Physics, br. 2, sv. 70, siječanj 2002.
- [12] C. H. KAUTZ, P. R. L. HERON, M. E. LOVERUDE, L. C. MCDERMOTT, *Student understanding of the ideal gas law, Part I, A macroscopic perspective*, American Journal of Physics, br. 11, sv. 73, studeni 2005.
- [13] M. WISER, S. CAREY, *When heat and temperature were one*, in *Mental Models*, edited by D. Genter and A. Stevens, Erlbaum, Hillsdale, New Jersey, 1983.
- [14] P. A. KRAUS, S. VOKOS, *The role of language in the teaching of energy, The case of heat energy*, Washington State Teachers' Association Journal, 2011.
- [15] V. MEŠIĆ, *Uvod u didaktiku fizike*, Coron's doo, Sarajevo, 2015.
- [16] *Heat of condensation of water*, <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p1044900/e/p1044900e.pdf>
- [17] B. MILOTIĆ, M. ŽUVIĆ-BUTORAC, *Fizički praktikum*, Odjel za fiziku Sveučilišta u Rijeci.
- [18] J. PUŽ, *Istraživačka nastava fizike – metodičko oblikovanje odabranih laboratorijskih vježbi iz termodinamike*, diplomatska radnja, Rijeka, 2017.
- [19] P. G. HEWITT, *Conceptual physics*, Addison-Wesley, USA, 2009.