Samostalno učenje istraživanjem u virtualnom laboratoriju: Elastična potencijalna energija

Tošić, Barbara

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:166:774807

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Science

Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno – matematički fakultet

Samostalno učenje istraživanjem u virtualnom laboratoriju: Elastična potencijalna energija

Diplomski rad

Barbara Tošić

Split, rujan 2021.

Zahvaljujem se mentoru Ivici Avianiu na neizmjernom strpljenju, podršci i motivaciji, kao i na svemu što me je poučio.

Zahvaljujem se kolegici Draženi Bogdanović koja mi je uljepšala i olakšala studentski period.

Zahvaljujem se svome mužu, obitelji i svim svojim prijateljima za svaku pruženu utjehu i potporu za vrijeme studiranja.

Zahvaljujem se profesorici fizike Neli Dželaliji i njezinom razredu na sudjelovanju u nastavi.

Temeljna dokumentacijska kartica

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

Diplomski rad

Samostalno učenje istraživanjem u virtualnom laboratoriju: Elastična potencijalna energija

Barbara Tošić

Sveučilišni preddiplomski studij Fizika

Sveučilišni diplomski studij Fizika, nastavnički smjer

Sažetak:
Predstavljamo primjer metodički oblikovane online nastavne lekcije iz fizike kreirane uz pomoć virtualnog laboratorija i Google obrasca koji omogućuje jednostavnu transakciju sadržaja, kao i statistički uvid u povratne informacije učenika. U radu je prikazana metoda poučavanja vođenim istraživanjem koja je napravljena u skladu s edukacijskim preporukama utemeljenim na rezultatima istraživanja. Sagledali smo u kojoj mjeri online nastavna lekcija omogućuje samostalno učenje učenika prvih razreda srednje škole na temu Elastična potencijalna energija te pregledali internetske resurse s ciljem pronalaska lako dostupnih materijala i alata svim nastavnicima. Učenje se sastoji od tri dijela. Prvi dio započinje opažanjem pojava unutar virtualnog laboratorija i postavljanjem hipoteza. Ispituje se ovisnost elastične potencijalne energije o pojedinim varijablama. Koristeći se analizom rezultata mjerenja, učenici provjeravaju ispravnost postavljenih hipoteza te izraz za elastičnu potencijalnu energiju opruge sintetiziraju empirijski. Drugi dio posvećen je teorijskom razmatranju u kojem učenici do istog izraza trebaju doći teorijskim razmatranjem. U posljednjem dijelu nastavnik provjerava znanje učenika u vidu različitih konceptualnih i numeričkih zadataka koji predstavljaju problemske situacije iz svakidašnjeg života. Vrednovanje nastavne lekcije zamišljeno je kroz vrednovanje ishoda učenja danih u Nacionalnom kurikulumu vezanih uz istraživanje fizičkih pojava. U istraživanju je sudjelovalo 30 učenika prvog razreda gimnazije. Analiza učeničkih odgovora pokazala je da je približno polovica učenika mogla samostalno provesti istraživanje i u potpunosti savladati ishode učenja.

Ključne riječi: samostalno učenje, vođeno istraživanje, virtualni laboratorij, znanstvena metoda

Rad sadrži: 43 stranica, 20 slika, 1 tablica, 43 literaturna navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku

Mentor: Prof. dr. sc. Ivica Aviani

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Ante Bilušić
Dr. sc. Lucija Krce

Rad prihvaćen: 9. 9. 2021.

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

Basic documentation card

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

Master thesis

Independent inquiry based learning by using virtual laboratory: Elastic potential energy

Barbara Tošić

University undergraduate study programme Physics

University graduate study programme Physics, orientation Education

Abstract:
We present an example of a methodologically designed online physics lesson created by using a virtual lab and a Google form that allows both easy transaction of content and statistical insight into student feedback. The paper presents a method of instructionally guided research created in accordance with pedagogical recommendations based on research findings. We explored the extent to which online lessons facilitate first grade students' independent learning on the topic of Elastic Potential Energy and reviewed online resources with the goal of finding easily accessible materials and tools for all teachers. The lessons consist of three parts. The first part begins with observing phenomena in a virtual laboratory and making hypotheses. The dependence of elastic potential energy on individual variables is investigated. By analyzing the results of measurements, students verify the correctness of the hypotheses made and empirically compile the expression for the elastic potential energy of the spring. The second part is devoted to theoretical consideration, in which students arrive at the same expression through theoretical consideration. In the last part, the teacher checks the knowledge of the students in the form of various conceptual and numerical tasks that represent problem situations from everyday life. The evaluation of the lesson was conceived on the basis of the assessment of the learning outcomes related to the study of research of physical phenomena given in the National Curriculum. Thirty first grade high school students participated in the study. Analysis of student responses showed that about half of the students were able to conduct independent research and fully master the learning outcomes.

Keywords: independent learning, guided inquiry-based instruction, virtual laboratory, scientific method

Thesis consists of: 43 pages, 20 figures, 1 table, 43 references. Original language: Croatian

Supervisor: Prof. Ivica Aviani

Reviewers: Prof. Ante Bilušić
Dr. Lucija Krce

Thesis accepted: September 9, 2021.

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

Sadržaj

1 Uvod 1

2 Učenje i poučavanje istraživanjem 3

2.1 Znanstvena metoda 3

2.2 Faze znanstvenog istraživanja 3

2.3 Različiti pristupi poučavanju istraživanjem 7

2.4 Učenje temeljeno na vođenom istraživanju 8

2.5 Kognitivni modeli učenja istraživanjem 9

2.6 Uspješnost primjene vođenog učenja 10

2.7 Istraživanje i Nacionalni kurikulum predmeta fizika 11

3 Online sadržaji za istraživačku nastavu iz fizike 13

3.1 PhysPort 13

3.2 PBS LearningMedia 14

3.3 The Physics Classroom 14

3.4 Khan Academy 15

3.5 GoLabz 15

3.6 HyperPhysics 15

3.7 PhET 16

3.8 Physlet 16

3.9 E-škola FIZIKA 17

4 Primjer istraživački usmjerene online nastave iz fizike 18

4.1 Istraživanje u virtualnom laboratoriju 18

4.2 Primjer lekcije: Elastična potencijalna energija 20

4.2.1 Uvod 20

4.2.2 Elastična potencijalna energija 21

4.2.3 Opažanje: Istražite virtualni laboratorij 22

4.2.4 Hipoteze: Na temelju opažanja pretpostavite kako varijable utječu na elastičnu potencijalnu energiju. 23

4.2.5 Postupak mjerenja 23

4.2.6 Kontrola varijabli 24

4.2.7 Diskusija 25

4.2.8 Zaključak 26
4.3 Teorijsko razmatranje elastične potencijalne energije 26
4.3.1 Izvod izraza za elastičnu energiju opruge 27
4.4 Primjena naučenog i provjera znanja 29
4.4.1 Konceptualni test 29
5 Rezultati učenja i diskusija 34
6 Zaključak 41
7 Literatura 42

1 Uvod

Prilikom kreiranja nastave fizike svakako treba imati u vidu da rezultati brojnih istraživanja ukazuju na neučinkovitost tradicionalne nastave [1]. Kao što je rekao Piaget, Suvremenu nastavu treba graditi na temeljima konstruktivizma: „*Naglaskom na metode rasuđivanja, učitelj pruža kritički smjer na način da dijete može otkrivati koncepte putem istraživanja. Dijete treba potaknuti na samoprocjenu, refleksiju i razmišljanje dok učitelj proučava njegov rad kako bi imao uvid u njegovo razmišljanje.*“ (Piaget, 1970) [2]. Temelj konstruktivističke filozofije jest da učenici moraju konstruirati svoje znanje kroz interakciju s idejama i materijalima, a ne samo upijati informacije [1]. Učitelj ne predstavlja apsolutni izvor znanja, a nastava se usmjerava na motivaciju učenika te razvoj njegovog interesa za istraživanjem i samostalnim djelovanjem. Uloga nastavnika jest da kvalitetno osmišljenim aktivnostima i metodama potiče učenika na aktivno učenje. Učenici će na taj način postati kreativniji i samostalniji, razvijati i usavršavati sposobnosti, vještine i navike te usvajati potrebna znanja [3].

Općenito, u nastavi se koriste videozapisi i demonstracijski pokusi kako bi pomogli učenicima razviti intuitivno, konceptualno, razumijevanje prirodnih pojava. Takvo učenje ovisi o ispravnim zapažanjima učenika, pri čemu uspješno provedeni pokusi i simulacije imaju svrhu korekcije učeničkih miskoncepcija. Za razliku od učenika koji samo promatraju, učenici koji predviđaju i raspravljaju rezultate pokusa ili istraživanja lakše se prisjećaju ispravnog ishoda te pravilno tumače fiziku koja stoji u pozadini [4]. Međutim, to zahtijeva određena znanja i vještine čije je posjedovanje potrebno razvijati [1].

Učenje u virtualnom okruženju s pokusima prikazanim putem videozapisa može biti jednako učinkovito kao i učenje uživo u kojem nastavnik izvodi pokuse pred učenicima [5]. Štoviše, postoji niz prednosti prikazivanja pokusa preko videozapisa. Primjerice, dostupnost videozapisa pokusa, i onih koji se ne mogu uspješno izvesti u učionici, lakše usmjeravanje učenika na bitne koncepte, mogućnost korištenja apstraktnih znakova i zaustavljanja video zapisa, uklanjanje elemenata koji odvraćaju pažnju učenicima, itd. Kako bi se postigao željeni učinak, zvučne i vizualne materijale (naracije, fotografije, animacije i sl.) koji se koriste za prezentaciju nastavne teme, potrebno je urediti na način da smanje kognitivno opterećenje učenika a istodobno da olakšaju procesuiranje kako osnovnih tako i složenijih ideja nastavne lekcije [4].

Zahvaljujući razvoju digitalne tehnologije moguće je kreirati kvalitetnu nastavu i za učenike koji zbog različitih razloga ne mogu fizički prisustvovati nastavi uživo, ali i za one učenike koji pokazuju veći interes za određenu nastavnu temu.

Zadaća ovog rada bila je sagledavanje mogućnosti izrade i metodičkog oblikovanja online lekcije iz fizike za samostalno učenje istraživanjem u virtualnom laboratoriju, uz sagledavanje u kojoj mjeri online lekcija omogućava samostalno učenje, na primjeru odabrane nastavne teme

Elastična potencijalna energija. Kroz sagledavanje trenutnih mogućnosti interneta bilo je važno osigurati jednostavnost oblikovanja i dostupnost svih potrebnih alata i materijala nastavnicima i učenicima s namjerom poticanja nastavnika za osuvremenjivanjem nastave. Vrednovanje nastavne metode zamišljeno je kroz vrednovanje usvojenosti ishoda Nacionalnog kurikuluma za nastavni predmet Fizika, koji se odnose na istraživanje fizičkih pojava. Rad je prezentiran na XV. hrvatskom simpoziju o nastavi fizike [6] i na Diplomskom danu studenata fizike u Splitu [7].

2 Učenje i poučavanje istraživanjem

Znanstveno istraživanje uključuje različite načine pomoću kojih znanstvenici istražuju svijet i predlažu objašnjenja. Njihova objašnjenja utemeljena su na dokazima koji proizlaze iz znanstvene metode koju koriste u svome radu. Mi ćemo se usmjeriti na istraživanje kao metodu poučavanja [8]. Učenje i poučavanje istraživanjem podrazumijeva aktivnosti učenika u kojima on usvaja ideje i znanja znanstvenom metodom, kao i samu metodu. Aktivnosti učenika u skladu su s metodama koje koriste znanstvenici i stručnjaci tijekom istraživanja. Učenici otkrivaju nove uzročno-posljedične veze postavljajući hipoteze koje testiraju eksperimentiranjem i/ili promatranjem što zahtijeva primjenu različitih vještina. Učenje istraživanjem zahtijeva od učenika aktivno sudjelovanje, kao i odgovornost za stvaranje novih znanja. U tom procesu učenje se najčešće ostvaruje izvođenjem eksperimenta u kojem učenici istražuju veze za barem jedan skup zavisnih i nezavisnih varijabli. Važno je naglasiti da se u ovom pristupu istražuju već poznata znanja koristeći se metodama koje upotrebljavaju znanstvenici u otkrivanju novih znanja [9].

2.1 Znanstvena metoda

Znanstvena metoda je empirijska metoda stjecanja znanja koju koriste znanstvenici u svojim istraživanjima. Uključuje pažljivo opažanje dane pojave ili problema primjenom strogog skepticizma (jer kognitivne pretpostavke mogu deformirati tumačenje pojave). Na temelju tih opažanja postavljaju se hipoteze, predviđaju ishodi koji proizlaze kao logičke posljedice postavljenih hipoteza te se izvode eksperimenti i empirijska promatranja utemeljeni na danim pretpostavkama. Cilj eksperimenta je utvrditi jesu li očekivanja koja proizlaze iz postavljenih hipoteza u skladu s ishodima eksperimenta. Tada se postavljene hipoteze prihvaćaju, odbacuju ili modificiraju sukladno eksperimentalnim otkrićima. Ovo su načela znanstvene metode. Iako se postupak i redoslijed pojedinih dijelova znanstvene metode može razlikovati od jednog do drugog područja istraživanja, fundamentalni proces uvijek ostaje isti [10].

2.2 Faze znanstvenog istraživanja

Edukacijska literatura opisuje različite faze i cikluse istraživanja. Neki od ciklusa započinju induktivnim pristupom (empirijskim, na temelju podataka), a neki deduktivnim pristupom (teorijom, hipotezom). Unutar istraživačkog ciklusa mogu postojati oba pristupa. Štoviše, pojedini stručnjaci smatraju da je znanstveno promišljanje dualno te da se odvija unutar dva prostora: eksperimentalnog i hipotetskog. Odabir i uređenje pojedinih faza istraživanja ovisit će o kombinaciji induktivnog i deduktivnog pristupa, a način na koji su one udružene o danom kontekstu. U literaturi pronalazimo veliki broj istraživačkih ciklusa s različito imenovanim i uređenim fazama istraživanja. Ipak, moguće je navesti one jedinstvene koje se pojavljuju unutar

svakog istraživačkog ciklusa te su konceptualno neovisne. To su: Orijentacija, Konceptualizacija, Ispitivanje, Zaključak i Diskusija [9].

Orijentacija potiče zanimanje i znatiželju za istraživačkim problemom ili predmetom istraživanja. Tijekom faze orijentacije, tema istraživanja uvodi se danim okruženjem (kratki film, demonstracija pokusa i slično) ili je definira sam nastavnik ili je učenik samostalno treba definirati, ovisno o karakteru istraživanja. Potrebno je promatrati ili istražiti danu pojavu kako bi se učenik zainteresirao za nju, pročitati dio teorije kako bi pronašao znanstveno-relevantna pitanja te potaknuti učenika kako bi ušao u srž problema. Od učenika se traži opažanje dane pojave kako bi zadobio određeno iskustvo, odnosno percepciju danog problema. U ovoj fazi od učenika zahtijevamo kvalitativno sagledavanje ovisnosti pojedinih varijabli. Cilj *Orijentacije* jest uvesti učenika u predmet istraživanja [9].

Konceptualizacija predstavlja proces razumijevanja ideja i koncepta koji pripadaju danom problemu. Sastoji se od dviju podfaza: *Propitivanje* i *Formulacija hipoteza*. Ove podfaze imaju slične, ali ipak prepoznatljive ishode. *Propitivanje* podrazumijeva postavljanje konkretnijih znanstvenih pitanja koja dovode do istraživačkog pitanja ili više otvorenih pitanja o danom problemu, dok *Formulacija hipoteza* dovodi do pretpostavki koje je moguće provjeriti. Obje se temelje na teorijskoj podlozi te sadržavaju nezavisne i zavisne varijable, ali imaju jednu ključnu razliku – pretpostavljeni odnos među varijablama danih u hipotezi nije prisutan kod istraživačkog pitanja. Općenito, *Propitivanje* je sastavljanje pitanja koja se mogu dodatno istražiti dok je *Formulacija hipoteza* definiranje jedne ili više tvrdnji. Prema tome, ishodi ove faze su istraživačka pitanja i/ili hipoteze koje treba ispitati [9].

Ispitivanje je faza u kojoj dobro definiranim postupcima želimo odgovoriti na postavljena istraživačka pitanja ili provjeriti dane hipoteze. Podfaze Ispitivanja su *Proučavanje*, *Eksperimentiranje* i *Interpretacija podataka*. U ovoj fazi odvijaju se postupci promatranja, proučavanja, osmišljavanja eksperimenata u kojima mijenjamo vrijednosti varijabli, predviđanja i tumačenja dobivenih rezultata. Općenito, *Proučavanje* je sustavni način provedbe ispitivanja s namjerom utvrđivanja veza među uključenim varijablama, a najčešće proizlazi iz faze *Propitivanja*. Ne zahtijeva formulaciju hipoteze, ali je ipak potrebno pažljivo planiranje kako bi se uštedjeli resursi (npr. vrijeme, materijal, novac). *Eksperimentiranje* se usredotočuje na izradu i primjenu plana eksperimenta s definiranim vremenskim slijedom što prirodno proizlazi iz faze Formulacije hipoteze. U tom slučaju, prikupljaju se dokazi za testiranje hipoteze te se planira koje će varijable biti konstante a koje promjenjive tijekom provedbe eksperimenta (kontrola varijabli). Kako *Proučavanje* tako i *Eksperimentiranje* uključuju osmišljavanje i primjenu istraživačkih aktivnosti čiji je posredni ishod plan i postav istraživanja, odnosno eksperimenta. Dakle, upotreba određene opreme ili materijala odabrat će se u fazi *Proučavanja* ili *Eksperimentiranja*. Također, tijekom *Proučavanja* i *Eksperimentiranja* prikupljaju se podaci [9]. Prikupljene podatke potrebno je pregledati, pročistiti, preobraziti i

modelirati kako bi se otkrile korisne informacije. Ovaj proces naziva se *Analiza podataka* [11]. Ona je dio podfaze *Interpretacija podataka* unutar koje se daje smisao prikupljenim podacima i konstruiraju nova saznanja. Konačni ishod faze Ispitivanja je tumačenje prikupljenih podataka, tj. definira se odnos između varijabli što omogućuje povratak izvornom istraživačkom pitanju ili postavljenoj hipotezi te donošenju zaključka u vezi s onim što je upitano ili pretpostavljeno [9].

Zaključak je faza u kojoj se navode osnovni zaključci ispitivanja danog problema. Unutar ove faze, učenici se vraćaju na svoja izvorna istraživačka pitanja ili hipoteze te razmatraju jesu li ona odgovorena ili prihvaćena rezultatima istraživanja. To može dovesti do novih teorijskih spoznaja. Ishod faze Zaključka jest konačni zaključak o otkrićima istraživanja, a predstavljen je kao odgovor na istraživačka pitanja/hipoteze [9].

Diskusija je faza u kojoj se obrađeni podatci argumentiraju i prosuđuju pri čemu se potvrđuju ili odbacuju postavljene tvrdnje [12]. Najčešće prethodi *Zaključku*, osobito u znanstvenim radovima. Sadrži podfaze: *Komunikaciju* i *Refleksiju* [9]. *Komunikacija* je izvanjski proces u kojem učenici razmjenjuju među sobom svoja otkrića i zaključke te dobivaju povratne informacije i komentare, a ponekad samo slušaju druge učenike pri čemu formuliraju vlastita shvaćanja danog problema. *Refleksija* se definira kao proces razmišljanja učenika o bilo čemu vezanom uz dani problem. Primjerice, promišljanje o samom uspjehu istraživačkog ciklusa dok predlaže nove zadatke za sljedeći istraživački ciklus i smišlja kako poboljšati učenje temeljeno na istraživanju. Uglavnom se na *Refleksiju* gleda kao na unutrašnji proces ('Što sam učinio?', 'Zašto sam to učinio na taj način?', 'Jesam li ispravno napravio?' 'Koje su druge mogućnosti u takvoj situaciji?' i slično). Tijekom ovog procesa, aktivnosti poput igre uloga, pisanje izvještaja i postavljanja pitanja koja dodatno usmjeravaju, pomažu učenicima da postignu potrebnu kvalitetnu razinu opisivanja, argumentiranja, kritičkog razmišljanja i raspravljanja. Obje podfaze *Diskusije* možemo promatrati kroz dvije razine. Prva je komuniciranje ili razmišljanje o čitavom procesu na kraju istraživačkog ciklusa, a druga je nakon svake pojedine faze ciklusa [9].

Navedene faze istraživanja mogu biti različito uređene u istraživačkom ciklusu. Analizom brojnih primjera, učenje istraživanjem savjetuje se započeti s *Orijentacijom* kroz koju se učenike upoznaje s danim problemom pri čemu dobivaju opći dojam o temi [9]. Ukoliko su se učenici već prethodno susreli s danim problemom, ova faza nije potrebna. U sljedećem koraku učenici imaju dvije mogućnosti za definiranje koncepta kojeg će proučavati. Prva mogućnost temelji se na pristupu zasnovanom na hipotezama, a druga na pristupu zasnovanom na pitanjima. Kada učenici nemaju određenu ideju i plan što istraživati, trebaju započeti s postavljanjem pitanja koja će ih usmjeriti na istraživanje dane pojave (slučaj 'a' opisan ispod). U ovom slučaju se očekuje da će se učenici vratiti u fazu Konceptualizacije ako su naznačili, pregledali ili izveli nove ideje iz faze Proučavanja ili prikupljenih podataka, ali se također mogu

i prebaciti s *Proučavanja* na *Interpretaciju podataka* i *Zaključak*. Ako učenici imaju konkretniju, često teoretski zasnovanu ideju o tome što će istraživati, onda je prikladan pristup zasnovan na hipotezi (slučaj 'b' opisan ispod). Blago odstupanje od posljednjeg slučaja (b) jest pristup zasnovan na pitanjima gdje učenici imaju istraživačko pitanje i njihov cilj je prikupiti podatke za postavljanje hipoteze čije bi testiranje moglo dati odgovor na istraživačko pitanje (slučaj 'c' opisan ispod) [9].

Zaključno, tri predložena, ali ne i jedina moguća puta su:

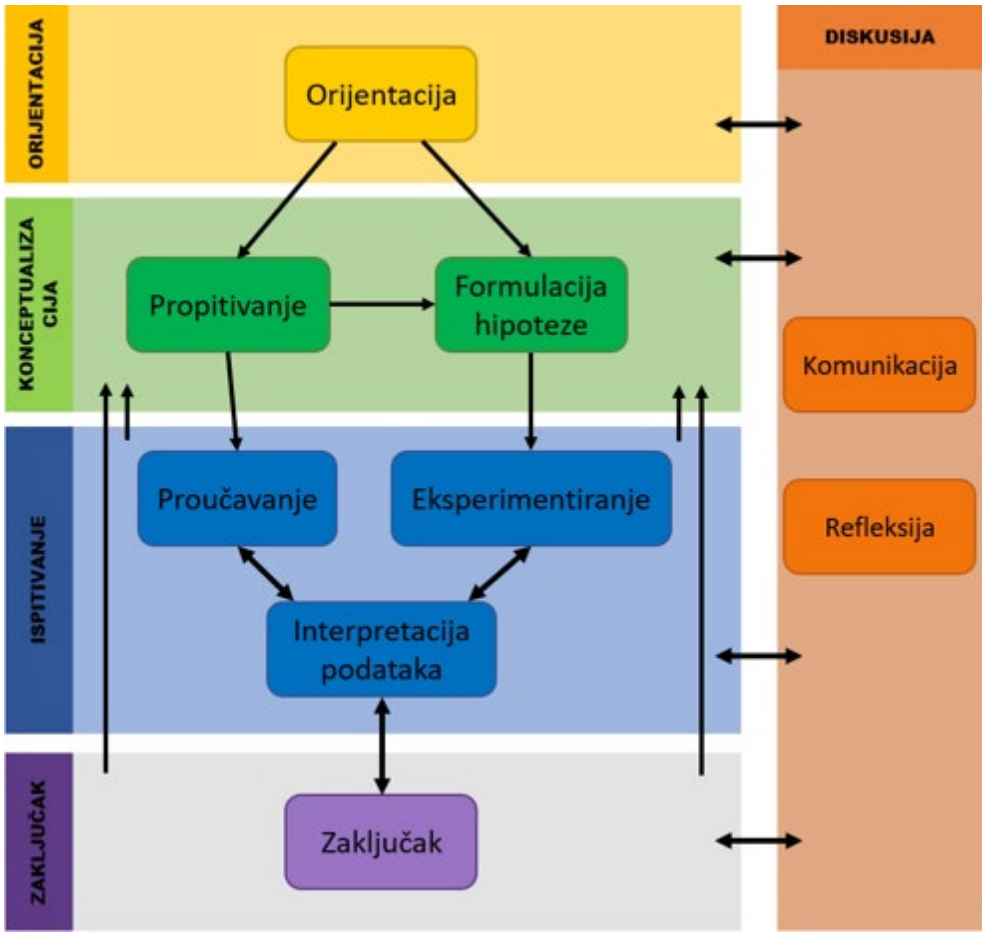
a) Orijentacija-Propitivanje-Proučavanje-Propitivanje-Proučavanje-Interpretacija podataka-Zaključak (dio između Propitivanja i Proučavanja može se ponavljati nekoliko puta, također je moguće preći s prvog Proučavanja na Interpretaciju podataka) [9]. Primjer ovako kreirane nastavne lekcije možete pogledati na stranici *GoLabz* [13].

b) Orijentacija-Formulacija hipoteze-Eksperimentiranje-Interpretacija podataka-Formulacija hipoteze-Eksperimentiranje-Interpretacija podataka-Zaključak (dio Formulacija hipoteze-Eksperimentiranje-Interpretacija podataka može se ponavljati više puta, također je moguć prelazak s prve Interpretacije podataka na Zaključak) [9]. Primjer ovako kreirane nastavne lekcije također možete pogledati na stranici *GoLabz* [14].

c) Orijentacija-Propitivanje-Formulacija hipoteze-Eksperimentiranje-Interpretacija podataka-(Propitivanje) Formulacija hipoteze-Eksperimentiranje-Interpretacija podataka-Zaključak (dio petlje Formulacija hipoteze-Eksperimentiranje-Interpretacija podataka može se ponavljati nekoliko puta, također je moguć prijelaz s prve Interpretacije podataka do Zaključka; nakon Interpretacije podataka može biti potrebno pregledati postavljena pitanja iz Propitivanja, ali puno češće se pregledavaju postavljene hipoteze) [9]. Primjer ovakve nastavne lekcije jest upravo naša nastavna lekcija koju ćemo detaljno opisati u četvrtom poglavlju.

Komunikacija i Refleksija se mogu u sva tri procesa nadodati bilo kojoj fazi [9].

Na Slici 2.1. prikazan je okvir istraživačkog ciklusa sa strelicama koje predstavljaju različite putanje ciklusa opisane pod a), b) i c).



Slika 2.1. *Okvir istraživačkog ciklusa.*

2.3 Različiti pristupi poučavanju istraživanjem

Istraživanje, kao metoda poučavanja, može uključivati četiri različita pristupa [8].

U prvom pristupu nastavnik zadaje svojim učenicima praktični problem zajedno s postupcima i materijalima, ali bez očekivanog ishoda. Od učenika se očekuje da istražuju veze između varijabli i/ili izvlače opći zaključak iz prikupljenih podataka. U ovom pristupu učenicima se ne daju upute o tome što će istraživati i koje podatke prikupljati, ali ih se dodatnim pitanjima vodi korak po korak kroz postupak [8].

Drugi pristup svodi se na to da nastavnik učenicima pruži samo materijale i problem kojeg trebaju istražiti, a učenici sami moraju osmisliti postupak istraživanja. Sličan pristup ima i otvoreno istraživanje kod kojeg učenici sami moraju definirati problem istraživanja. Ova metoda je najsličnija stvarnim istraživanjima znanstvenika [8].

Razlog zbog kojeg se minimalno vođene poduke osmišljavaju i primjenjuju jest razmišljanje kako su učenici kreatori vlastitog znanja zbog čega im se treba dati samo cilj i minimalne informacije. Pritom se smatra da je učenje vezano uz psihičku posebnost pojedinca zbog čega se uobičajeni formati i strategije smatraju neučinkovitima [15].

U posljednjem pristupu učenike se uključuje u aktivnost u kojoj novo-predstavljeni koncept trebaju primijeniti u drugom kontekstu. Učenici slijede postupak vođenog istraživanja nakon

čega s nastavnikom raspravljaju o svojim rezultatima. Učenici se upoznaju s novim konceptima prije nastavne lekcije, a onda to što su naučili primjenjuju na nove situacije [8].

Dakle, možemo zaključiti da u primjeni znanstvene metode, odnosno učenju i poučavanju istraživanjem, postoje pristupi s potpunim ili djelomičnim usmjeravanjem učenika te pristupi bez ikakvog usmjeravanja ili vođenja učenika.

Postavlja se pitanje koji od pristupa koristiti u nastavi i u kojoj prilici. Nekoliko kvantitativnih studija podupire učinkovitost metode učenja zasnovane na istraživanju. Alfieri i sur. (2011.) meta-analizom (statistička analiza koja kombinira rezultate više znanstvenih istraživanja) uspoređuju različite istraživačke metode poučavanja, od potpunog usmjeravanja učenika do samostalnog učeničkog istraživanja bez ikakvog vodstva nastavnika. Najučinkovitijim se pokazalo vođeno istraživanje. Vođeno istraživanje jest strategija učenja i poučavanja u kojoj učenici slijede znanstvenu metodu kako bi izgradili i usvojili opće prihvaćeno znanje [9].

Ne postoje dokumentirani dokazi u kojima bi pružanje učenicima samo djelomične informacije bilo učinkovitije od davanja potpune informacije. Štoviše, puno je češće obrnutih slučajeva. Konstruktivizam je utemeljen na opažanju koje je opisno točno, ali željeni ishodi učenja ne moraju nužno slijediti iz takve nastave. Većina učenika sposobna je konstruirati znanje kada im se pruži adekvatna informacija [15].

2.4 Učenje temeljeno na vođenom istraživanju

Učenje temeljeno na vođenom istraživanju jest strategija učenja i poučavanja u kojoj učenici slijede znanstvenu metodu, onu koju inače koriste znanstvenici kako bi gradili opće prihvaćeno znanje. Gledano iz pedagoške perspektive, složeni znanstveni postupak podijeljen je u manje, logički povezane jedinice koje usmjeravaju učenike i skreću pozornost na važne karakteristike znanstvenog razmišljanja [15]. Ove pojedine jedinice nazivaju se faze istraživanja te međusobno povezane tvore istraživački ciklus. Učenje temeljeno na istraživanju nastoji angažirati učenike u autentičnom znanstvenom postupku istraživanja pri čemu se stavlja naglasak na aktivnom sudjelovanju i odgovornosti učenika u procesu otkrivanja novih spoznaja [9].

Pod usmjeravanjem procesa učenja ili vođenim poučavanjem podrazumijeva se pružanje onih informacija učenicima koje u potpunosti objašnjavaju koncepte i postupke koje oni trebaju usvojiti, kao i odgovarajuću podršku učenju u skladu s kognitivnim sposobnostima učenika. Vođeno istraživanje podrazumijeva primjereno usmjeravanje učeničkog rada k željenome ishodu učenja kroz sve faze istraživanja. Očekuje se da učenici objašnjavaju svrhu eksperimenta i svoje pretpostavke, prepoznaju zavisne i nezavisne varijable, izvode pokus prema uputama, grafički prikazuju rezultate mjerenja, kvalitativno interpretiraju rezultate mjerenja i objašnjavaju vlastite zaključke [15].

Učenje temeljeno na vođenom istraživanju osigurava dovoljan broj informacija koje objašnjavaju koncepte i postupke koje učenici trebaju naučiti te je u skladu s pristupima učenja koji odgovaraju ljudskoj kognitivnoj arhitekturi. Zasniva se na spoznaji da je učenike koji su početnici u istraživačkoj nastavi potrebno neposredno usmjeravati pri otkrivanju novih spoznaja, a ne ih prepustiti sebi samima [9].

Jedan od oblika vođene nastave je upotreba radnih listića. Oni daju opis pojedinih faza koje pojedinac treba proći pri rješavanju problema kao i natuknice i općenita pravila koja mogu pomoći u uspješnom dovršavanju pojedinih faza. Prema rezultatima istraživanja, učenici koji su bili vođeni putem radnih listića nadmašili su učenike koji su bili prepušteni sebi samima za otkrivanje odgovarajućih postupaka [15].

2.5 Kognitivni modeli učenja istraživanjem

U kognitivnom smislu, cilj nastave je pružiti učenicima posebne smjernice o tome kako kognitivno upravljati informacijama na načine koji su u skladu s ciljem učenja i kako pohraniti rezultat toga u dugotrajno pamćenje. Učenje definiramo kao promjenu u dugotrajnom pamćenju, a nastava je učinkovita ako stvara specifičnu promjenu u dugotrajnom pamćenju i ako povećava učinkovitost pohrane ili povrata relevantne informacije iz dugotrajne memorije [15].

Dugotrajna memorija smatra se središnjom, dominantnom, strukturom ljudske spoznaje/kognicije. Sve što čujemo, vidimo ili promišljamo kritički je ovisno i pod utjecajem dugotrajnog pamćenja. Svjesni smo samo informacija koje se trenutno obrađuju u radnoj memoriji, a manje-više nesvjesni informacija iz dugotrajnog pamćenja. Postati stručnjak u nekom području znači posjedovati u dugotrajnoj memoriji ogromne količine informacija koje se tiču tog područja. Zahvaljujući velikim količinama pohranjenih informacija postiže se brzo prepoznavanje karakterističnih situacija što omogućuje (često nesvjesno) reakciju na prepoznate situacije. Dakle, dugotrajno pamćenje sadrži opsežnu jezgru znanja koja je ključna za sve naše kognitivne aktivnosti [15].

Radno pamćenje je dio kognitivne strukture gdje se odvijaju svjesni procesi. Obrada novih informacija unutar radnog pamćenja ograničena je po svome trajanju i kapacitetu. Gotovo sve informacije pohranjene u radnom pamćenju koje nisu uvježbane izgube se unutar 30 sekundi, a kapacitet radnog pamćenja ograničen je na mali broj elemenata. Taj broj iznosi negdje oko sedam, ali može biti i četiri, plus ili minus jedan. Prilikom obrade, a ne samo pohrane podataka, razumno je pretpostaviti da je broj elemenata koje radna memorija učenika može procesuirati znatno manja, ovisno o prirodi potrebne obrade. Ova ograničenja radne memorije odnose se samo na nove informacije, tj. na one informacije koje učenici tek trebaju naučiti, a koje nisu ni na koji način prethodno pohranjene u njihovom dugotrajnom pamćenju. Nove informacije poput novih kombinacija slova ili brojeva mogu se pohraniti samo kratki period vremena i to sa znatnim ograničenjem. Situacija je drukčija kada se bavimo prethodno usvojenim informacijama pohranjenim u dugotrajnom pamćenju. S obzirom na to da se informacije iz dugotrajnog pamćenja mogu uvijek povratiti u radno pamćenje, vremenska ograničenja radne memorije postaju irelevantna [15].

Opisane strukture pamćenja i njihove međusobne veze imaju neposredan utjecaj na učenje pa ih treba uzeti u obzir pri kreiranju nastave. Nastava temeljena na istraživanju zahtijeva od učenika istraživanje konteksta danog problema kako bi pronašao relevantnu informaciju što je poprilično zahtjevno za radno pamćenje. U potrazi za rješenjem problema, učenici se koriste informacijama pohranjenim u dugotrajnom pamćenju. Zbog toga ne mogu mijenjati dugotrajnu memoriju kada je njezina funkcija prenamijenjena. Iz tog razloga, traženje rješenja problema smatra se neučinkovitim načinom učenja, tj. izmjene u dugotrajnom pamćenju jer preopterećuje radnu memoriju i zahtijeva korištenje resursa radne memorije za aktivnosti koje nisu povezane s učenjem. Kao posljedica toga, učenici mogu provesti dosta vremena tražeći rješenja problema, a da pritom ništa ne nauče. Uz to, trenutno opterećenje radnog pamćenja ne doprinosi akumuliranju znanja u dugotrajnom pamćenju jer se radna memorija ne može istovremeno koristiti i za traženje rješenja danog problema i za učenje [15].

Nasuprot tome, proučavanjem obrađenog primjera smanjuje se opterećenje radne memorije jer je potraga reducirana ili otklonjena te se pozornost daje učenju bitnih odnosa između pojedinih koraka koji predstavljaju rješenje problema. Učenici se uče prepoznati bitne korake za rješavanje karakterističnih problema. Ovo naglašava važnost pružanja detaljnih smjernica

učenicima koji su početnici jer nemaju dovoljno predznanja kako bi izbjegli neproduktivno traženje rješenja problema [15].

Teorija kognitivnog opterećenja ukazuje na činjenicu da istraživanje složenog problema može uzrokovati veliko opterećenje radne memorije. Zbog toga nevođeno istraživanje daje slabije rezultate učenja kod učenika koji su početnici i nemaju dovoljno predznanja kako bi uspješno integrirali nove informacije. Prednost usmjeravanja procesa učenja počinje se smanjivati tek kada učenici steknu dovoljno predznanja za samostalnu provedbu „unutarnjih" smjernica, međutim, čak i tada, usmjeravanje učenja može biti jednako učinkovito kao i neupravljani pristupi. Kod iskusnih učenika ne postoji negativan učinak. Oni jednako profitiraju od oba pristupa (vođenog i nevođenog) [15].

Neupravljani ili minimalno vođeni nastavni pristupi zanemaruju ljudske kognitivne strukture, tj. karakteristike radne i dugotrajne memorije, kompleksne veze među njima te dokaze edukacijskih studija koji pokazuju da neupravljani nastavni pristupi mogu imati negativne posljedice za učenike u vidu stjecanja miskoncepcija te nepotpunih i neorganiziranih znanja [15].

2.6 Uspješnost primjene vođenog učenja

Edukacijska istraživanja pružaju nedvojbene dokaze da je minimalno vođena nastava manje učinkovita od nastave koja stavlja naglasak na usmjeravanje ili vođenje procesa učenja [15]. Kontrolirani eksperimenti bez sumnje pokazuju kako je učenicima potrebno eksplicitno navesti što i kako učiniti kada im se daju informacije koje su im nepoznate od prije. Dokazi o superiornosti vođenih poduka objašnjavaju se u kontekstu znanja o ljudskoj kognitivnoj arhitekturi, razlikama između početnika i stručnjaka te kognitivnom opterećenju učenika. Usporedbom početnika i stručnjaka pokazalo se kako stručnjaci u svome radu koriste opsežno iskustvo pohranjeno u njihovoj dugotrajnoj memoriji, što im omogućuje brz odabir i primjenu najboljeg rješenja za dani problem. Razlike između stručnjaka i početnika mogu se iskoristiti kako bi se u potpunosti objasnile vještine rješavanja problema [15]. U radovima *Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching* [15] i *Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle* [9] diskutirani su dokazi o uspješnosti primjene vođenog istraživanja. U ovom poglavlju dajemo dio te rasprave, zajedno s navodima čije reference možete naći u radu.

Mayer (2004.) pokazuje da se u periodu od kraja 1950-ih do kasnih 1980-ih rasprava o istraživačkim metodama poučavanja ponavljala više puta pri čemu su svaki put ishod rasprave i dokazi istraživanja dali prednost vođenom pristupu učenja. Aulls (2002.) koji je istraživao brojne učitelje koji su primjenjivali konstruktivističku nastavu izvijestio je kako su oni učitelji čiji su učenici postigli sve ciljeve učenja veliki dio vremena proveli u nastavnim interakcijama istovremeno poučavajući i vodeći učenike do željenog ishoda. Većina nastavnika koji pokušavaju implementirati konstruktivističku nastavu na kraju učenicima pružaju značajne smjernice. Kada učenici pri učenju prirodoslovlja koriste istraživačke metode s minimalnim povratnim informacijama, često se izgube i postanu frustrirani što dovodi do miskoncepcija (Brown i Campione 1994.). Moreno (2004.) zaključuje kako postoji rastući broj istraživanja koja pokazuju kako učenici temeljitije i dublje uče kroz vođeni pristup. Klahra i Nigama (2004.) su istraživali sposobnost primjene naučenog znanja unutar novih, drugačijih konteksta. Rezultati ispitivanja su bez dvojbe pokazali da je vođena nastava, koja uključuje različite primjere, dala bolje rezultate [15].

Rezultati meta-analize Furtaka i sur. (2012.) su dali prednost vođenom istraživanju u odnosu na tradicionalni način poučavanja. Sinteza istraživanja koju su napravili Minner i sur. (2010.) također daje prednost metodi vođenog istraživanja u odnosu na tradicionalnu metodu poučavanja. Štoviše, pokazalo se da online vođeno učenje temeljeno na istraživanju može poboljšati različite vještine istraživanja poput identifikacije problema, formulacije pitanja i hipoteza, planiranja i izvedbe eksperimenta, prikupljanja i analize podataka, predstavljanja rezultata i iznošenja zaključaka [9]. Napredak tehnologije povećava uspješnost primjene metode učenja temeljene na istraživanju. Obrazovna tijela širom svijeta smatraju kako je učenje istraživanjem bitna komponenta u izgradnji prirodoslovno pismene zajednice [9].

2.7 Istraživanje i Nacionalni kurikulum predmeta fizika

U Nacionalnom kurikulumu Republike Hrvatske za predmet Fizika ponuđeni su odgojno-obrazovni ishodi koji se odnose na istraživanje fizičkih pojava. Ti ishodi protežu se kroz sve cikluse od sedmog razreda pa nadalje. Razrada ishoda služi nastavniku kao putokaz na koje elemente treba obratiti pozornost pri vrednovanju učenika.

Istraživanje fizičkih pojava predstavlja jedan od tri elementa vrednovanja u nastavnom predmetu Fizika. Vrednovanje učenika ostvaruje se kontinuiranim praćenjem njegove aktivnosti na svim nastavnim satima kadgod se radi istraživanje. To može uključivati pregled njegovih bilješki, vrednovanje njegovih eksperimentalnih vještina, prikazivanja i tumačenja podataka, zaključivanja, doprinosa radu u skupinama, opažanja, kreativnosti pri osmišljavanju pokusa, postavljanja i testiranja hipoteza i dr. [16]. Učenici se mogu tijekom nastavnog sata ispitati kako bi se prepoznale njihove koncepcije, konstrukcije koncepata i modela iz fizike te utvrdile usvojene vještine. Npr. moguće ih je pitati pretvaranje mjernih jedinica, tumačenje grafičkih prikaza, da iznesu svoja opažanja i slično. Moguće je za svakog pojedinog učenika zabilježiti kompetencije koje je on stekao na kraju školske godine. Time se otvara put formativnom vrednovanju u kojemu potičemo učenika na praćenje, refleksiju i samovrednovanje vlastitog učenja [16]. Iako se formativna vrednovanja u pravilu ne ocjenjuju, moguće je na temelju praćenja aktivnosti učenika dati ocjenu kao poticaj za učenje i napredovanje. Kako bismo lakše formirali zasluženu ocjenu učenika, možemo se poslužiti danim razinama usvojenosti prikazanima u Tablici 2.1.

ZADOVOLJAVAJUĆA	Postavlja istraživačko pitanje. Postavlja hipotezu. Objašnjava svoje pretpostavke. Odabire pribor i postavlja eksperiment. Skicira i objašnjava pokus. 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. Procjenjuje pogrešku mjernog instrumenta. Računa srednju vrijednost i apsolutnu i relativnu pogrešku. Interpretira značenje zapisa mjerene veličine s pogreškom. Oblikuje zaključak koji odgovara na istraživačko pitanje. Sastavlja izvješće. Opisuje pojavu u prirodi, prikazanu pokusom ili računalnom simulacijom.
DOBRA	Samostalno izvodi eksperiment. Raspravlja o doprinosima različitih pogrešaka u mjerenju. Procjenjuje pogrešku mjerenja. Računa i tumači relativnu pogrešku. Objašnjava teorijsku podlogu. Ovisnost varijabla izražava u matematičkom obliku. Uspoređuje rezultate mjerenja s modelom. Vrednuje proceduru i rezultate mjerenja. Analizira odnose između varijabli Izgrađuje argumente utemeljene na znanstvenim dokazima. Objašnjava pojavu u prirodi, prikazanu pokusom ili računalnom simulacijom.
VRLO DOBRA	Oblikuje i provodi eksperiment. Predlaže postupke za unapređenje ili poboljšanje metode istraživanja. Objašnjava etičnost i sigurnost eksperimenta. Analizira doprinosima različitih pogrešaka u mjerenju. Provodi cjelokupan račun pogreške. Vrednuje rezultate i donosi zaključak koji odgovara na istraživačko pitanje. Prepoznaje i analizira alternativna objašnjenja i modele. Koristi se dodatnom literaturom. 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.
IZNIMNA	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. 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. Ocjenjuje tuđe metode i objašnjenja iz znanstvene perspektive. Procjenjuje valjanost i pouzdanost tvrdnji u izvorima informacija s obzirom na kvalitetu metodologije i navedene dokaze. Izabire i izvodi drugi demonstracijski pokus ili računalnu simulaciju koja prikazuje razmatranu pojavu i na tom je primjeru obrazlaže.

Tablica 2.1: *Razine usvojenosti ishoda Istraživanje fizičkih pojava iz Nacionalnog kurikuluma RH nastavnog predmeta Fizika* [17].

3 Online sadržaji za istraživačku nastavu iz fizike

Tehnološki razvoj omogućio je pojavu suvremenih i složenijih obrazovnih materijala čija je primjena postala pravi izazov za sadašnje i buduće nastavnike STEM područja [18]. Učenje istraživanjem pokazalo se učinkovitijim u odnosu na predavačku nastavu, ali još uvijek popriličan broj nastavnika ne koristi istraživanje kao metodu poučavanja. Prema rezultatima istraživanja nastavnika, najčešći razlozi tome su nedoumice o značaju istraživanja u nastavi, uvjerenost da se metoda učenja temeljena na istraživanju može primijeniti samo na nadprosječne učenike, osjećaj neosposobljenosti nastavnika za primjenu istraživačke nastave, percepcija istraživanja kao zahtjevne metode , sklonost poučavanju činjenicama te pogled na svrhu nastave kao pripremu učenika za iduću razinu [8].

Oblikovanje nastave na daljinu u specifičnim situacijama (npr. na otocima gdje nema škole, u uvjetima pandemije) predstavlja dodatan izazov za nastavnike od kojih se zahtijeva brza i učinkovita reakcija. To podrazumijeva uporabu besplatnih i lako dostupnih materijala kako bi mogli organizirati svoju nastavu. S druge strane, online resursi mogu potaknuti nastavnika da osuvremeni svoju nastavu i na taj način približe učenje. Zgodno je pogledati UNESCO-vu listu resursa za učenje na daljinu gdje se nalazi kategorizirani popis široko rasprostranjenih i utjecajnih obrazovnih resursa namijenjenih nastavnicima, roditeljima i školama. Popis se nalazi na web stranici: https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/solutions [19].

Postoji i nešto stariji članak (2012.) koji daje smjernice za uporabu demonstracijskih pokusa (uživo i putem računalnih simulacija) te pregled edukacijskih istraživanja koja se odnose na upotrebu i učinkovitost demonstracijskih pokusa i simulacija u nastavi fizike. Unutar članka prikazan je popis znanstvenih časopisa s najinteresantnijim temama iz fizike, popis stručnih web stranica, radionica za nastavnike, knjiga i članaka te raznih gotovih materijala koji se odnose na orimjenu demonstracija u nastavi fizike [20].

Na temelju našeg iskustva u radu na Metodici nastave fizike, navodimo popis internetskih stranica čiji sadržaji obuhvaćaju materijale, savjete i smjernice za poučavanje pojedinih tema iz nastave fizike. Iako navedeni online sadržaji služe kako bi među ostalim olakšali izradu nastave, važno je naglasiti da svaki nastavnik treba usvajati i primjenjivati one metode koje su se edukacijskim istraživanjima pokazale učinkovitijima, a ne se oslanjati na vlastitu intuiciju i primjenjivati one metode koje on sam smatra efikasnima [1]. To zahtijeva poprilični angažman samog nastavnika, ali i učenika koji su naviknuti na tradicionalni oblik nastave. Svaki razred je poseban i ne postoji jedinstveni recept po kojemu bi uvijek sve funkcioniralo, ali postoje provjerene metode koje su se pokazale učinkovitima pri savladavanju različitih koncepata tijekom učenja fizike [1]. Knjige *Five Easy Lessons Strategies for Successful Physics Teaching* od R. D. Knighta i *Peer instruction* od E. Mazura pružaju ideje i metode za poučavanje fizike koje su se prema istraživanjima pokazale učinkovitijima u odnosu na tradicionalnu predavačku nastavu [1, 21].

3.1 PhysPort

Kao prvi primjer navodimo internetsku stranicu *Physport* koja daje podršku istraživačkim metodama u nastavi [22]. Na početnoj stranici ponuđeni su neki od tekstova koji se odnose na različite probleme u poučavanju. Primjerice: „Gdje se mogu pronaći dobre aktivnosti za diskusiju unutar manjih grupa?“. Tu su postavljene najnovije i najistaknutije teme vezane uz poučavanje utemeljeno na istraživačkoj nastavi. Na početku stranice nalazi se plavi pravokutnik unutar kojega je omogućen direktan pristup do najčešće postavljenih upita (npr. „želim pronaći nove nastavne metode“, „želim pronaći gotove ispite“, „treba mi pomoć s uključivanjem

učenika u nastavu“ itd.). *Physport* je podijeljena na način da se pri samom vrhu stranice nalaze crveni pravokutnici koji označavaju različite kategorije koje su od interesa posjetiteljima: *Preporuke stručnjaka*, *Poučavanje*, *Vrednovanje* i *Radionice*. Kategorija *Preporuke stručnjaka* sadrži mnoštvo tekstova koji se odnose na različite teme vezane uz poučavanje. Moguće je odabrati teme po rubrikama koje nas zanimaju, pa se na dnu stranice, ali i ispod svakog prikazanog teksta može odabrati željeno područje. Na primjer, moguće je pronaći tekstove i članke na teme: Aktivno učenje, Ispitivanje, Jednakost i Kooperativne grupe. Dodatno, ispod ponuđenih tekstova moguće je odabrati i pojedina područja iz fizike. Unutar *Poučavanja* mogu se pronaći savjeti i gotovi materijali za primjenu istraživačke nastave. Materijali sadrže razne lekcije, vježbe, obuke, knjige i slično. *Vrednovanje* također sadrži savjete o načinu vrednovanja učenika, ali i usporedbu s rezultatima ostalih vršnjaka diljem svijeta. Mogu se pronaći gotovi materijali za vrednovanje poput konceptualnih testova, ispita znanja, učeničke evaluacije unutar laboratorija i slično. Većina danih materijala je besplatna i može se preuzeti. U *Radionicama* se nalaze kolekcije videozapisa koje služe za stručno usavršavanje i obuku za primjenu istraživačke nastave u učionice. Nešto više o Physportu može se pronaći u članku: *PhysPort Use and Growth: Supporting Physics Teaching with Research-based Resources Since 2011* [23].

3.2 PBS LearningMedia

Usluga koja omogućuje edukatorima djece od predškolske dobi do srednje škole pristup najboljim javnim medijima te pruža iskustva digitalnog učenja koja se temelje na istraživanjima [24]. To je web stranica na kojoj se mogu pronaći sadržaji za online nastavu i za nastavu uživo. Budući da stranica sadrži mnoštvo materijala iz različitih područja edukacije, postoje filtri pomoću kojih je moguće odabrati željeno područje edukacije i dob učenika. Nakon odabira edukacijskog područja i dobi, ponuđene su različite kategorije nastavnih materijala. To su kolekcije nastavnih lekcija, web stranice s obrazovnim materijalima, slike i zvučni videozapisi, gotove interaktivne lekcije, gotove nastavne pripreme, videozapisi i njihovi transkripti. Svi navedeni nastavni materijali mogu se odabrati prema datumu i čitanosti. Na stranici je moguće kreirati račun potpuno besplatno čime je dozvoljen pristup svim sadržajima, ali i dodatnim aktivnostima kao što su spremanje i organizacija odabranih materijala, stvaranje i uređivanje nastavnih lekcija, sinkronizacija s Google učionicom (*Google Classroom*), itd. Registracija je moguća i putem *Facebook* ili *Google* računa. Korisno je pogledati videozapis sa savjetima za učenje na daljinu*: Tips for distance learning with pbs learningmedia* [25].

3.3 The Physics Classroom

Online udžbenik za fiziku namijenjen učenicima i nastavnicima fizike [26]. Sadržaj je raspoređen na 17 kategorija koje se nalaze u traci s lijeve strane početne stranice. *The physics classroom tutorial* sadrži kolekciju nastavnih materijala s grafičkim prikazima i provjerama znanja [26]. Ovo je idealan materijal za one koji žele steći dublje razumijevanje fizike i pronaći odgovore na pitanja jer su sva objašnjenja lako čitljiva, kako učenicima, tako i nastavnicima. Kao alternativa ovome vodiču, postoji i kategorija s videozapisima koji na kratak i poprilično uređen način objašnjavaju pojedine teme i probleme iz fizike. *Physics simulations* i *Multimedia physics studios* obuhvaćaju veliku zbirku GIF animacija, kratkih filmova koji prikazuju razne fizičke koncepte, gotove simulacije iz fizike, vježbe stjecanja vještina i slične materijale. *The calculator pad* i *The review session* nude razna pitanja i probleme iz fizike s ponuđenim odgovorima i popratnim objašnjenjima. Obje kategorije sadrže upute za korištenje namijenjene i učenicima i nastavnicima. *Physics help* razrađuje određene vještine i koncepte iz fizike, počevši od interpretacije grafova i crtanja dijagrama sila pa sve do složenijih diskusija.

Curriculum corner je kategorija koja je od posebnog interesa nastavnicima jer sadrži gotove radne listove koji se mogu upotrijebiti u nastavi. Moguće je kupiti te preuzeti odgovore i objašnjenja svih danih radnih listova. Najnovija kategorija, *Minds on physics*, sastoji se od mnoštva pažljivo osmišljenih pitanja koja nastoje poboljšati učeničko konceptualno razumijevanje fizike. Pomoćni sustav unutar ove sekcije uključuje učenike u procese razmišljanja, refleksije i učenja. Postoji besplatna verzija i plaćena s nešto većim pogodnostima. Za primjenu istraživačke nastave važna je kategorija *The laboratory* koja predstavlja vodič kroz laboratorij (opise laboratorija, gotove radne listiće, uputstva za nastavnike itd.) [26]. Postoji još nekoliko kategorija s korisnim sadržajima za nastavnike, ali i za učenike. Njih možete proučiti posjetom na stranicu: *The Physics classroom* [26]. Ukoliko ne koristite navedene materijale za svoju nastavu, uvijek ih možete preporučiti svojim učenicima jer je velika šansa da će njima pomoći pri učenju i lakšem savladavanju znanja i vještina iz fizike.

3.4 Khan Academy

Neprofitna obrazovna organizacija koju je 2006. godine kreirao Sal Khan s namjerom prikupljanja nastavnih alata kao pomoć u obrazovanju učenika na svjetskoj razini [27]. Sadržaj stranice preveden je na više od 36 različitih jezika, a sadrži kratke lekcije u obliku videozapisa, zadatke za vježbanje, individualizirani pristup učenju unutar učionice i kod kuće, nastavne materijale i uvid u napredak [28]. Videozapisi kratkih lekcija osmišljeni su na način da prikazuju crnu elektronsku ploču po kojoj predavač piše i objašnjava određenu nastavnu temu. Svi videozapisi lekcija pohranjeni su na Youtube kanalu [29]. Na *Khan academy* se mogu pronaći materijali iz velikog broja područja (matematike, računarstva, prirodoslovlja, povijesti, povijesti umjetnosti, ekonomije i drugo), a moguće je odabrati razine od predškolske do sveučilišne dobi. *Khan academy* je zgodno koristiti jer je besplatan, jednostavan za rukovanje i dobro strukturiran. Nastavnik može zadati zadatke te pratiti rezultate i napredak učenika. Akademija se bavi i osposobljavanjem nastavnika kako bi što bolje prepoznali potrebe svojih učenika te im pomogli u učenju. Za taj korak potrebna je registracija kao „učitelj“ [30].

3.5 GoLabz

Besplatna edukacijska platforma koja ima za cilj olakšati upotrebu inovativnih tehnologija učenja u STEM području, s posebnim naglaskom na online laboratorije (*Labs*) i primjenu istraživačke nastave (*Apps*) [31]. Unutar *Go-Lab* okruženja mogu se pronaći stvarni i virtualni online laboratoriji te gotove, istraživački usmjerene, nastavne lekcije. Lekcije i laboratoriji se odabiru prema željenom STEM području, dobi i jeziku na kojem su napisane. Gotovo sve lekcije imaju podjelu na istraživačke faze koje smo opisali u poglavlju 2.2. Moguće je samostalno kreirati prilagođene, istraživački usmjerene lekcije (*ILS*). Svaka lekcija i svaki laboratorij sadrži detaljan opis na temelju kojeg možemo donijeti odluku je li ponuđena lekcija/laboratorij prikladan za našu nastavu. *Go-Lab* inicijativa provodi i obuke za učitelje na teme vezane uz korištenje informacijskih i komunikacijskih tehnologija, primjenu *Go-Lab* okruženja unutar učionica, provedbu nastave utemeljene na istraživanju i slično [31]. Kako je suradnja platforme ostvarena s više partnera, stručnjaka i vanjskih autora, *Go-Lab* okruženje ima najveću kolekciju laboratorija, pedagoški kreiranih gotovih nastavnih materijala te više od tisuću lekcija koje su napravili učitelji i stručnjaci [31].

3.6 HyperPhysics

HyperPhysics je online udžbenik iz fizike za srednje škole i fakultete, sastavljen od konceptualnih mapa i veza među njima koje olakšavaju kretanje kroz zasebna područja i koncepte u fizici [32]. Cjelokupno okruženje prikazuje konceptualnu mapu sadržanu od

mnoštva, međusobno povezanih kartica. Svaka kartica predstavlja pojedino područje iz fizike i dalje se, na nekoliko razina, grana na koncepte od kojeg je ono sastavljeno. Na primjer, za područje Mehanika, elementi kreću od brzine, akceleracije, fizičkih jedinica i slično, pa sve do rada, energije, snage, ravnoteže itd. Drugim riječima, kartice unutar nekog područja razvijaju se od jednostavnijih prema složenijima. S desne strane stranice nalazi se pojmovnik s popisom koncepata sadržanih u *HyperPhysics*-u i poveznicama na stranice gdje su ti koncepti opisani. Posebna vrijednost su računske aplikacije u kojima je moguće računati numeričke vrijednosti fizičkih veličina za odabrane parametre u formulama. *HyperPhysics* je zgodno koristiti jer, osim što daje vizualni pregled međusobno povezanih koncepta iz fizike, pri njegovom korištenju nije potrebno otvarati nove prozore jer se poveznice na sve povezane koncepte nalaze unutar glavne stranice.

3.7 PhET

PhET (*Physics Education Technology)* projekt na Sveučilištu u Coloradu izrađuje besplatne simulacije iz fizike i prirodoslovlja. Na stranici je postavljeno preko 80 interaktivnih simulacija koje su prikazane u *Web* preglednicima što olakšava njihovu implementaciju u nastavi. Primjena simulacija je višestruka. Mogu se koristiti u sklopu nastavnih lekcija, u kombinaciji s pokusima, za domaće zadaće ili jednostavno kao dodatak za one učenike koji iskazuju veći interes za određenu temu [33]. Sve postavljene *PhET* simulacije su pouzdane za uporabu jer su kreirane na temelju edukacijskih istraživanja te ispitane na učenicima [34, 33]. Pripremaju se i po nekoliko mjeseci, a osmišljene su na način da učenici uče kroz istraživanje i otkrivanje [33,34]. Kreirane su za učenike osnovnih i srednjih škola te studente svih godina. Svaka simulacija sadrži karakteristične dijelove: prepoznatljive vizualne i zvučne elemente, prikaz nevidljivih dijelova pojave (npr. gibanje čestica plina), višestruke prikaze jedne te iste pojave kako bi učenici postigli temeljitije razumijevanje, mogućnost mijenjanja parametara, mjerne instrumente, animacije i pojednostavljene primjere iz svakodnevnog života. Ovako kreirane simulacije pomažu učenicima razvijati mentalne modele pri čemu postižu dublje razumijevanje fizike [33]. Dodatno, na stranici se mogu pronaći upute o korištenju i načinu primjene simulacija pri poučavanju, gotove lekcije koje koriste simulacije, virtualne radionice i slično [34]. Prednost *PhET* simulacija je u tome što su prevedene na 95 jezika, među kojima je i hrvatski, pa se mogu lako upotrijebiti u nastavi [34].

3.8 Physlet

Physleti su Javini apleti (računalne aplikacije osmišljene za postavljanje na web stranicu, kao dodatak programu) koji prikazuju razne sadržaje iz fizike. Izraz *Physlet* jest registrirani zaštitni znak čiji je autor Wolfang Christian zajedno sa svojim studentima na Sveučilištu Davidson. Na stranici se može pronaći preko dvije tisuće individualiziranih vježbi namijenjenih za učenje i poučavanje. Sve su besplatne i prevedene na brojne jezike. Svako poglavlje *Physlet Physics*-a sadrži tri različite vježbe: *Ilustraciju, Istraživanje i Zadatak*. *Ilustracije* se koriste za uvođenje fizičkih koncepta i materijala za analizu danih problema te za prikazivanje primjera primjene fizike u stvarnom životu. Prikladne su za čitanje neposredno prije nastavnih demonstracija, kao svojevrsna priprema za nastavni sat. *Istraživanja* služe kao vodič kroz pokuse i zadatke. Koriste se za rad u grupama, domaće zadaće i kao priprema za rad u laboratoriju. Napravljeni su tako da traže od učenika predviđanje ishoda eksperimenta, da mijenjaju pojedine parametre i promatraju promjene koje se pri tom odvijaju, da opišu svoja zapažanja i slično. Također, učenici u zadacima imaju ponuđenu pomoć u obliku *hintova*. *Zadatci* u *Physletu* predstavljaju interaktivnu verziju zadataka tipičnih za domaću zadaću (zadaci iz zbirke zadataka). Za razliku od *Istraživanja*, učenici nisu vođeni u ovom dijelu, već moraju samostalno prikazati svoje

razumijevanje u sklopu konceptualnih i numeričkih zadataka. Svi navedeni materijali variraju od jednostavnijih (za osnovnu i srednju školu) do složenijih (za studente fizike) [35].

3.9 E-škola FIZIKA

E-škola FIZIKA je projekt Hrvatskog fizikalnog društva gdje se mogu pronaći korisne informacije i ideje vezane uz fiziku. Razlikuje se po tome što nije namijenjen samo za učenike, nastavnike ili studente, već svakoj osobi koja pokazuje interes za fiziku i znanost. Na stranici se nalaze materijali koje nastavnici mogu upotrijebiti za nastavne i izvannastavne aktivnosti te materijali koje učenici mogu koristiti za učenje i pisanje seminarskih radova. Cilj ovog programa jest promidžba upotrebe suvremenih informacijskih tehnologija i računalne multimedije. Također, cilj je osigurati kolekciju obrazovnog materijala u vidu tekstova, slika, audio i video zapisa, interaktivnih animacija i slično. Dakle, na stranici se nalaze zbirke zadataka, primjeri konceptualnih zadataka, pitanja višestrukog izbora iz gotovo svih područja fizike, kao i testovi za rješavanje koji opisuju probleme iz svakodnevnog života. U posebnoj rubrici *Zadatak tjedna* nalaze se konceptualni zadaci koji proučavaju zanimljive teme iz fizike. Dane su i pripremljene radionice za susrete nastavnika i znanstvenika u kojima se nastoji ostvariti njihova međusobna suradnja s ciljem stručnog usavršavanja učitelja osnovnih i srednjih škola. Na stranici se još mogu pronaći i obrađene teme iz fizike u obliku pisanih članaka, TV emisija i animiranih filmova. Također je moguće poslati vlastite materijale za objavu te postaviti pitanja ili dati odgovore na ona već postavljena. Naslovna stranica sadrži informacije o aktualnim događajima i otkrićima iz svijeta fizike. Osobito je važno naglasiti kako se na E-školi FIZIKE može pronaći referentni pojmovnik čiji je cilj doprinijeti pojašnjenju i standardizaciji pojmova iz fizike na hrvatskom jeziku. Ovo je iznimno korisno pri prevođenju različitih sadržaja iz fizike sa stranih jezika na hrvatski.

4 Primjer istraživački usmjerene online nastave iz fizike

Koristeći se navedenim saznanjima i resursima, osmislili smo vlastitu online nastavnu lekciju unutar koje smo nastojali implementirati navedene ideje kako bismo što više aktivirali učenike i olakšali im učenje. Nastavna lekcija bila je namijenjena učenicima prvih razreda gimnazije. Kako se radi o učenicima koji su tek započeli svoje srednjoškolsko obrazovanje, stavili smo naglasak na usmjeravanje procesa učenja. Budući je lekcija pripremljena za vrijeme pandemije COVID-19 virusom, kada se sva nastava odvijala putem interneta, primijenili smo i metodu samostalnog učenja. Trideset učenika imalo je zadatak samostalno proći kroz sva tri dijela nastavne lekcije (istraživanje, teorija, test) koje smo postavili na Google disk, a povezali putem poveznica na platformi za učenje na daljinu Loomen. To je programski alat za izradu e-kolegija, održavanje nastave na daljinu i kombinirane nastave uživo i na daljinu. Jednom riječju, nazivamo ga sustav za upravljanje učenjem. Lekcije su bile postavljene deset dana prije dogovorenog virtualnog sata putem *MS Teamsa* koji je bio predviđen za raspravu s učenicima o danoj lekciji. Od učenika se tražilo da čitaju i prate upute te upisuju ili odabiru odgovore na postavljena im pitanja.

Svi dijelovi nastavne lekcije kreirani su u Google obrascima (*Google Forms*). Google obrasci su sastavni dio Google Diska i dostupni su svakome tko posjeduje gmail adresu. Koriste se za izradu online upitnika, anketa ili kvizova, ali i tekstova s objašnjenjima. U tom smislu su dobro rješenje za izradu obrazovnih internetskih sadržaja. Sam obrazac sadrži pregršt mogućnosti za različite formulacije upita i odgovora te pridruživanje multimedijskih sadržaja. Daje mogućnost pregleda učeničkih odgovora i njihovu statističku analizu, što omogućuje trenutni uvid u usvojenost ishoda učenja i sagledavanje učeničkih alternativnih ideja.

U lekciji smo koristili simulaciju iz virtualnog laboratorija edukacijske platforme *Go-Lab*, opisane u poglavlju 3.5.

4.1 Istraživanje u virtualnom laboratoriju

Naša nastavna lekcija započela je popunjavanjem podataka među kojima se od učenika traži da upišu razred i pseudonim pod kojim će sudjelovati u nastavi, čime smo im osigurali anonimnost. Kako bismo pobudili interes učenika za temu i motivirali ih za rad na lekciji napravili smo kratki film sastavljen od niza isječaka sa zanimljivim primjerima primjene elastične potencijalne energije (Slika 4.2.1). Kadrove smo djelom samostalno snimili, a djelom preuzeli s *Youtube*-a te sve zajedno uredili u *Windows Movie Maker*-u. Među navedenom literaturom dana je referenca na internetsku stranicu gdje se mogu preuzeti dvije besplatne verzije ovog programa. Prva je najnovija (2021.), a druga je klasična verzija iz 2012. godine [36]. Klasična verzija nešto je jednostavnija za rukovanje, ali manje funkcionalna. Unatoč tome, pogodna je za uređivanje nastavnih sadržaja jer obuhvaća dovoljan broj alata za oblikovanje videozapisa. Kratki motivacijski film bio je popraćen pitanjima poput: 'Što je elastična potencijalna energija?', 'Čemu sve služi i kako je koristimo?' te 'O čemu ovisi?'. Time smo ih htjeli potaknuti na razmišljanje i korelaciju s ostalim pojavama koje su im poznate jer su učenici u idućem koraku trebali navesti vlastite primjere uporabe elastične energije. Lekcija za temu elastična potencijalna energija nalazi se na Google Disku [37].

Nakon uvodnog dijela, uslijedio je istraživački dio. Njega smo započeli najavom o predmetu istraživanja te o potrebnom prethodnom poznavanju zakona očuvanja mehaničke energije kojega će učenici koristiti u istraživanju. Dodali smo i fotografiju ronioca (Slika 4.2.2.) s puškom za podvodni ribolov koja djelomično najavljuje o čemu je riječ u lekciji.

Slijedilo je upoznavanje s virtualnim laboratorijem. U virtualnom laboratoriju (Slika 4.2.3.) nalazi se hokejaško igralište i na njemu hokejaš Trevor, položen pred elastičnu oprugu. Oprugu je moguće zategnuti i njome odgurnuti Trevora, tako da on klizi po ledu bez trenja. Pritom se elastična potencijalna energija opruge pretvori u kinetičku energiju hokejaša Trevora. Na lijevom dijelu Slike 4.2.3. prikazan je prostor neutralne zone obrubljen dvjema plavim linijama. Mjerenjem vremena prolaska kroz zonu pomoću zapornog sata moguće izračunati prolazno vrijeme, a time i brzinu hokejaša. Uz poznatu masu hokejaša, na temelju njegove kinetičke energije saznajemo kolika je bila potencijalna energija opruge. Opis virtualnog laboratorija i poveznicu na isti smo postavili uz prikazanu Sliku 4.2.3. Fotografija laboratorija načinjena je snimkom zaslona (eng. „*screenshot*“), a uredili smo je postavljajući dodatne oznake u besplatnom programu *IrfanView*.

Učenici su mogli mijenjati masu Trevora, promjenu duljine opruge i konstantu elastičnosti opruge te opažati promjene u gibanju Trevora koje se pritom događaju. S ciljem uvida u njihova opažanja i percepcije, postavili smo im pitanja na koja su trebali odgovoriti na temelju osjećaja kojega su mogli zadobiti varijacijom navedenih fizičkih veličina.

Na temelju opažanja i vlastitog osjećaja trebali su formulirati hipotezu o čemu ovisi elastična potencijalna energija opruge i kakva je ta ovisnost. Način formuliranja hipoteze osmišljen je u obliku odgovora na pitanja s višestrukim izborom. Ovaj način odabrali smo oslanjajući se na rezultate istraživanja o vođenim podukama gdje se smatra da je broj novih informacija koje radna memorija učenika može procesuirati najviše dvije do tri stavke. Iz tog razloga, učenici nisu potpuno samostalno postavljali hipoteze, već su od četiri ponuđene hipoteze trebali odabrati onu koju smatraju ispravnom. Pretpostavke su se odnosile na ovisnost elastične potencijalne energije o masi, o konstanti elastičnosti opruge i o promjeni duljine opruge.

Za provedbu istraživanja bilo je potrebno mjeriti kinetičku energiju Trevora. Postupak mjerenja objasnili smo u Google obrascu, a svodi se na mjerenje vremena prolaska između dvije plave linije na igralištu udaljene 18 m. Uz svaku uputu dodan je i tekst unutar zagrada koji pobliže objašnjava danu uputu te vodi učenika u procesu mjerenja. Cilj je smanjiti kognitivno opterećenje učenika i pružiti mu dovoljan broj informacija kako bi mu olakšali postupak.

Učenje istraživanjem zahtijeva od učenika vještinu mjerenja, što je potrebno provjeriti. Mjerenje kinetičke energije bio je osnovni alat za istraživanje. Stoga je trebalo procijeniti učeničku vještinu mjerenja. To smo napravili pomoću tri jednostavna zadatka u kojima smo tražili rezultate mjerenja vremena, brzine i kinetičke energije za tri različita odabira varijabli. Učenici su između nekoliko ponuđenih rezultata trebali odabrati onaj koji je najbliži njihovom. Na taj način smo dobili uvid u broj učenika koji imaju poteškoće s mjerenjem i/ili računanjem.

Sljedeći korak bilo je istraživanje elastične energije. Učenike smo upoznali s predmetom i dizajnom istraživanja čiji su ishodi trebali rezultirati prihvaćanjem ili odbacivanjem njihove hipoteze te po mogućnosti formuliranjem matematičkog izraza za elastičnu potencijalnu energiju koji sadrži sve relevantne varijable. Objasnili smo im zašto je kontrola varijabli važna i kako ih kontrolirati. S ciljem dubljeg uvida u njihova razmišljanja, postavili smo im pitanje koja još fizička veličina može biti zavisna varijabla u danom istraživanju.

Sljedeći upute na obrascu, učenici su mjerili ovisnost mehaničke energije Trevora o njegovoj masi, o konstanti opruge i o promjeni duljine opruge. Postupak svakog mjerenja opisan je zasebno pod zadatkom 1, 2 i 3. Zadaci započinju definiranjem konstanti te nezavisnih i zavisnih varijabli za pojedino ispitivanje ovisnosti. Nakon toga, učenike se upućuje na postavljanje vrijednosti konstanti te im sugeriramo raspon i porast u varijaciji nezavisne varijable kako bi u svojim rezultatima mogli što lakše uočiti dobivene ovisnosti. Rezultate mjerenja trebali su prikazati grafički u web aplikaciji [38] ili ručno te ih podijeliti s nama (u Google obrascu mogli

su učitati poveznicu na graf nacrtan u web aplikaciji ili fotografiju nacrtanog grafa). U tom dijelu zadatka također ih usmjeravamo objašnjavajući im crtanje tablice i grafa bilo u web aplikaciji ili ručno.

U dijelu nastavne lekcije kojeg smo nazvali Diskusija, učenici su također bili vođeni na način da su odgovarali na pitanja višestrukog izbora koja su imala tekstualnu ili grafičku formu. Primjerice, u prvom dijelu Diskusije, učenici su između nekoliko ponuđenih grafova trebali odabrati graf najsličniji onom koji su dobili iz svojih mjerenja. U svakom zadatku ponuđena je ista paleta grafova ovisnosti, a svaki graf ovisnosti prikazan je različitom bojom kako bi ih učenici što lakše razlikovali.

U zadatku koji je nosio tri boda, od učenika smo tražili da nacrtaju graf ovisnosti energije hokejaša Trevora o kvadratu promjene duljine opruge te ponovno odaberu od ponuđenih graf najsličniji dobivenomu. Ovaj zadatak smo stavili iz razloga što su u idućem koraku Diskusije učenici na temelju dobivenih ovisnosti trebali odabrati matematički izraz za elastičnu potencijalnu energiju. Crtanjem danog grafa ovisnosti, trebali su uočiti kako su energija hokejaša Trevora i kvadrat promjene duljine opruge međusobno proporcionalne fizičke veličine.

Neposredno prije završetka Diskusije, učenici su trebali odgovoriti na još dva pitanja. U prvom pitanju učenici su trebali odabrati od ponuđenih matematički izraz koji najbolje opisuje elastičnu potencijalnu energiju. U drugom pitanju se od učenika tražilo da pokušaju izračunati konstantu proporcionalnosti iz prvog zadatka te da nam opišu na koji način su je dobili. Iako drugo pitanje nije bilo obavezno, postavili smo na njemu najveći broj bodova kao motivaciju za rješavanje.

Između ostalog, jedan od ciljeva kreirane nastavne lekcije za samostalno učenje vođenim istraživanjem bio je otkriti što učenici misle o takvom načinu rada. Budući da zahtijevamo aktivnu suradnju od samih učenika, u interesu nam je otkriti njihove stavove o danoj nastavnoj lekciji. Postavlja se pitanje na koji način tražiti od učenika povratnu informaciju kako bismo imali detaljan uvid u njihova razmišljanja. Ključna stvar jest sama formulacija upita. Naime, smatrali smo ukoliko ih zamolimo da samo iznesu svoja mišljenja i zaključke, da bismo dobili kratke odgovore koji ne bi dali njihovu potpunu percepciju o danoj lekciji. Stoga, naša ideja bila je postaviti upit s pitanjima koja će ih dodatno usmjeriti na one odgovore koje želimo izvući iz njih. Naveli smo im okvirna pitanja na koja bi bilo poželjno odgovoriti prilikom pisanja zaključka.

4.2 Primjer lekcije: Elastična potencijalna energija

4.2.1 Uvod

Dragi učeniče,
moje ime je Barbara Tošić. Studentica sam druge godine diplomskog studija fizike, smjer edukacijski. Pred tobom se nalazi google forma za samoučenje koju smo sami dizajnirali kao pripremu za online nastavu i htjeli bi je iskoristiti za istraživanje novih metoda učenja i poučavanja fizike. To je ujedno i tema mog diplomskog rada, koji radim na Odjelu za fiziku PMF-a u Splitu pod mentorstvom prof. dr. sc. Ivice Aviania. Molimo te da odvojiš dio svoga vremena te sudjeluješ u ovom istraživanju ispunjavajući ono što se od tebe bude tražilo. Nadam se da će ti se svidjeti ono što smo ti pripremili! Od srca se zahvaljujem na sudjelovanju!

Upiši sljedeće podatke:

1. Škola:

2. Razred:

3. Šifra ili ime pod kojom ćeš sudjelovati u istraživanju, primjerice "fizičar223":

4.2.2 Elastična potencijalna energija

Što je elastična potencijalna energija? Čemu sve služi i kako je koristimo? O čemu ona ovisi? Pogledajte video. Vjerojatno niste ni pomislili gdje se sve elastična potencijalna energija koristi!

Slika 4.2.1. *Snimak zaslona koji prikazuje videozapis s različitim primjerima primjene elastične potencijalne energije (videozapis možete pogledati na* http://youtube.com/watch?v=f4Ke3qoW6bU).

4. Navedite još neki primjer ako vam je poznat.

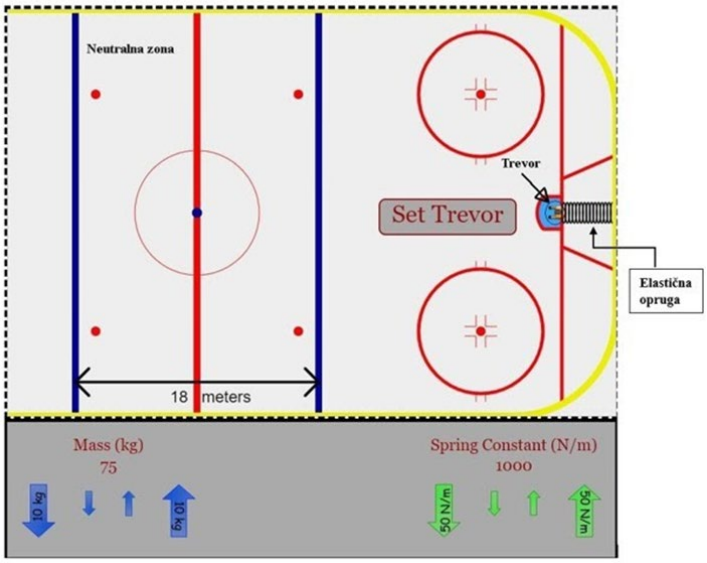
Istraživanje elastične potencijalne energije

U ovoj vježbi istraživat ćete elastičnu potencijalnu energiju, odnosno o kojim veličinama ona ovisi i kakva je ta ovisnost. Pritom ćete koristiti zakon očuvanja mehaničke energije, odnosno pretvorbu elastične potencijalne energije u kinetičku energiju.

Slika 4.2.2. *Ronilac s podvodnom puškom (fotografija preuzeta s https://shouldersofgiants.com/2016/03/01/spearfishing-101/).*

4.2.3 Opažanje: Istražite virtualni laboratorij

Za istraživanje ćete koristiti virtualni laboratorij prikazan na Slici 4.2.3. Radi se o hokejaškom igralištu. S desne strane nalazi se hokejaš Trevor postavljen na elastičnu oprugu, a s lijeve strane prikazana je neutralna zona (površina između dvije plave linije). Oprugu možete napeti te njome odgurnuti Trevora tako da bez trenja kliže po ledu igrališta. U eksperimentu možete mijenjati napetost opruge, masu Trevora i konstantu elastičnosti opruge kako je prikazano na Slici 4.2.3.



Slika 4.2.3. *Sučelje virtualnog laboratorija.*

U laboratorij uđete klikom na poveznicu:
http://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/EnergyTransformationLab/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 masu Trevora, konstantu elastičnosti opruge i napetost opruge tako da dobijete osjećaj na koji način te veličine utječu na gibanje Trevora. Kada zadobijete određeno iskustvo, odgovorite na pitanja koja slijede.

1.1. Što možete mjeriti pri gibanju Trevora? *Odaberite sve točne odgovore.*
- put
- vrijeme
- brzinu
- ubrzanje

1.2. O čemu ovisi kinetička energija koju dobije Trevor? *Odaberite sve točne odgovore.*
- o putu
- o vremenu
- o brzini
- o ubrzanju
- o masi
- o konstanti opruge
- o pomaku opruge

4.2.4 Hipoteze

Važna posljedica zakona očuvanja energije: Elastična potencijalna energija jednaka je kinetičkoj energiji Trevora.

2.1. Elastična potencijalna energija
- ne ovisi o masi Trevora.
- proporcionalna je masi Trevora.
- obrnuto je proporcionalna masi Trevora.
- o masi Trevora ovisi na način koji se razlikuje od navedenih.

2.2. Elastična potencijalna energija
- ne ovisi o konstanti opruge.
- proporcionalna je konstanti opruge.
- obrnuto je proporcionalna konstanti opruge.
- o konstanti opruge ovisi na način koji se razlikuje od navedenih.

2.3. Elastična potencijalna energija
- ne ovisi o pomaku opruge.
- proporcionalna je pomaku opruge.
- obrnuto je proporcionalna o pomaku opruge.
- o pomaku opruge ovisi na način koji se razlikuje od navedenih.

4.2.5 Postupak mjerenja

1. Postavite masu Trevora *m* (pomoću strelica u donjem lijevom kutu).
2. Postaviti konstantu elastičnosti opruge *k* (pomoću strelica u donjem desnom kutu).
3. Pritisnite *Set Trevor* (program zumira elastičnu oprugu s desne strane).
4. Postavite pomak opruge *x*. (Kliknite na zelenu strelicu *Pull Back* i pritisnite oprugu do željene vrijednosti).
5. Zabilježite postavljene vrijednosti *m*, *k* i *x*.
6. Kliknite na crvenu strelicu *Fire Trevor* (ispucamo Trevora i on započinje svoje gibanje).
7. U trenutku kada Trevor dođe do prve plave linije, pritisnite gumb *Start Timer*, a kada dođe do druge plave linije, pritisnite *Stop Timer*.
8. Zabilježite vrijeme *t* koje ste izmjerili.
9. Pomoću poznate duljine puta s = 18 m i pripadnog vremena *t* izračunajte brzinu Trevora *v* te njegovu kinetičku energiju E_k.

Navedeni postupak mjerenja provodite u svim zadatcima.

Prema uputama za mjerenje riješite sljedeće zadatke:
3.1. Postavite konstantu elastičnosti opruge na vrijednost 1250 N/m i masu Trevora na 110 kg. Oprugu sabijte za 1,6 m te izmjerite vrijeme prijelaza neutralne zone (od plave do plave linije). Vrijednost koja je najbliže vašem rezultatu je
- 1,68 s.
- 2,60 s.
- 3,36 s.

3.2. Postavite konstantu elastičnosti opruge na vrijednost 750 N/m i masu Trevora na 80 kg. Oprugu sabijte za 1,6 m te izmjerite brzinu prijelaza neutralne zone (od plave do plave linije). Vrijednost koja je najbliže vašem rezultatu je
- 4,86 m/s.
- 6,43 m/s.
- 7,56 m/s.

3.3. Postavite konstantu elastičnosti opruge na vrijednost 1250 N/m i masu Trevora na 80 kg. Oprugu sabijte za 2,4 m te izmjerite kinetičku energiju Trevora. Vrijednost koja je najbliže vašem rezultatu je Postavite konstantu elastičnost

- 3000 J.
- 4000 J.
- 5000 J.

4.2.6 Kontrola varijabli

Uočite da su relevantne fizičke veličine put s, vrijeme t, brzina Trevora v, masa Trevora m, kinetička energija Trevora E_k, konstanta opruge k i pomak opruge x. Istraživanje se sastoji u variranju varijabli (m, k, i x) i proučavanju pravila kako njihove promjene utječu na energiju Trevora. To radimo tako da mijenjamo samo jednu od njih, dok ostale dvije držimo stalnima. Ovaj postupak je posebno važan i nazivamo ga *kontrola varijabli*.

4.1. U ovom eksperimentu zavisna varijabla je vrijeme. Je li moguće odabrati neku drugu fizičku veličinu kao zavisnu varijablu?

- Da
- Ne

Objasnite zašto.

4.2. *Zadatak 1:* Ovisnost energije Trevora o njegovoj masi
Kontrola varijabli: konstante su k i x, nezavisna varijabla je m, zavisna varijabla je E_k.
Odaberite konstantu opruge i pomak opruge te ih ne mijenjajte do kraja mjerenja. Masu Trevora mijenjajte u rasponu od 30 do 150 kg s porastom ne većim od 20 kg. Zabilježite odabrane vrijednosti za k i x. U tablicu s četiri stupca za svako mjerenje unesite vrijednosti: m [kg], t [s], v [m/s], E_k [J]. Graf ovisnosti kinetičke energije o masi Trevora $E_k(m)$ nacrtajte u programu na poveznici: https://www.desmos.com/calculator/. Točke upisujte lijevo, kao uređene parove, primjerice: (1,1) *enter* (2,3) *enter*, itd.
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. Graf ovisnosti $E(m)$ priložite tako da nam pošaljete njegovu poveznicu.

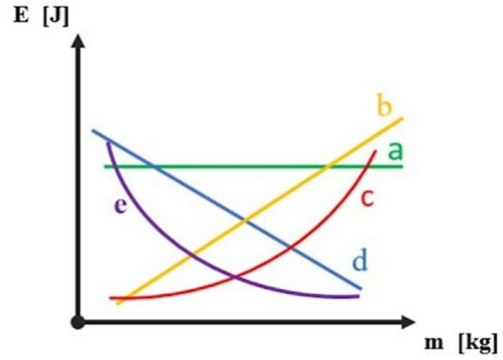
4.3. *Zadatak 2:* Ovisnost energije Trevora o konstanti opruge
Kontrola varijabli: konstante su m i x, nezavisna varijabla je k, zavisna varijabla je E_k.
Odaberite masu Trevora i pomak opruge te ih ne mijenjajte do kraja mjerenja. Konstantu elastičnosti opruge k mijenjajte u rasponu od 500 do 2000 N/m s porastom ne većim od 250 N/m. Zabilježite odabrane vrijednosti za m i x. U tablicu s četiri stupca za svako mjerenje unesite vrijednosti: k [N/m], t [s], v [m/s], E_k [J]. Graf ovisnosti kinetičke energije o konstanti opruge $E_k(k)$ nacrtajte u programu na poveznici: https://www.desmos.com/calculator/. Točke upisujte lijevo, kao uređene parove, primjerice (1,1) *enter* (2,3) *enter*, itd. Graf ovisnosti E(k) priložite tako da nam pošaljete njegovu poveznicu.

4.4. *Zadatak 3*: Ovisnost energije Trevora o pomaku opruge
Kontrola varijabli: konstante su m i k, nezavisna varijabla je x, zavisna varijabla je E_k.
Odaberite masu Trevora i konstantu opruge te ih ne mijenjajte do kraja mjerenja. Pomak opruge x mijenjajte u rasponu od 0,0 do 3,0 m s porastom ne većim od 0,4 m. Zabilježite odabrane vrijednosti za m i k. U tablicu s četiri stupca za svako mjerenje unesite vrijednosti: x [N/m], t [s], v [m/s], E_k [J]. Graf ovisnosti kinetičke energije o pomaku opruge $E_k(x)$ nacrtajte u programu na poveznici: https://www.desmos.com/calculator/. Točke upisujte lijevo, kao uređene parove, primjerice (1,1) *enter* (2,3) *enter*, itd. Graf ovisnosti $E(x)$ priložite tako da nam pošaljete njegovu poveznicu.

4.2.7 Diskusija

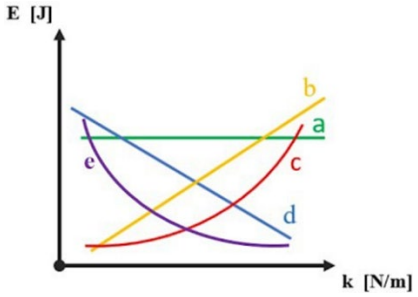
Odaberite grafove koji najbolje opisuju vaše rezultate.

5.1. Odaberite graf na slici koji najbolje prikazuje ovisnost energije Trevora o masi $E(m)$ koju ste dobili u Zadatku 1.



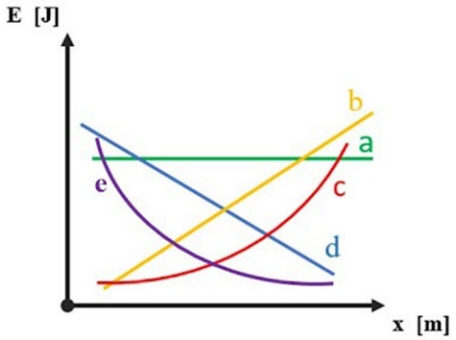
- ○ a
- ○ b
- ○ c
- ○ d
- ○ e

5.2. Odaberite graf na slici koji najbolje prikazuje ovisnost energije Trevora o konstanti opruge E(k) koju ste vi dobili u Zadatku 2.



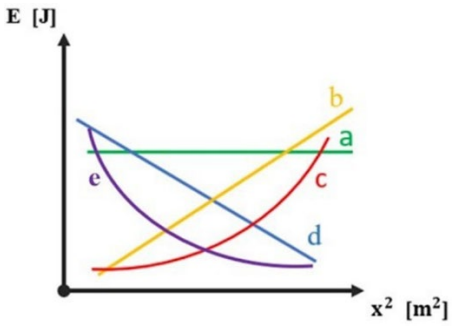
- ○ a
- ○ b
- ○ c
- ○ d
- ○ e

5.3. Odaberite graf na slici koji najbolje prikazuje ovisnost energije Trevora o pomaku opruge E(x) koju ste vi dobili u Zadatku 3.



- ○ a
- ○ b
- ○ c
- ○ d
- ○ e

Nacrtajte graf ovisnosti kinetičke energije o kvadratu pomaka opruge. Odaberite graf na slici koji najbolje odgovara grafu koji ste dobili.



- a
- b
- c
- d
- e

4.2.8 Zaključak

6.1. 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? O kojim fizičkim veličinama ovisi elastična potencijalna energija? Jesu li rezultati istraživanja u skladu s vašim pretpostavkama? Što biste popravili?
U nekoliko rečenica iznesite svoja zapažanja i zaključke.

6.2. Matematički izraz koji najbolje opisuje potencijalnu energiju opruge glasi:

- a·k·x^2.
- a·k·x.
- a·k/x.
- a·x^2/k.
- a·x/k.

6.3. Navedite vrijednost konstante *a* koju dobivate iz mjerenja i kako ste je izračunali.

4.3 Teorijsko razmatranje elastične potencijalne energije

U drugom dijelu nastavne lekcije učenici su do izraza za elastičnu potencijalnu energiju trebali doći teorijskim razmatranjem [39]. Tako je učenicima omogućen dvostruki pristup: istraživački i teorijski. Ukazujemo im na složenost prihvaćanja određenih zaključaka u znanosti jer im prikazujemo da nije dovoljno samo istražiti fizikalne zakonitosti već i logički promisliti imaju li one smisla i u kojim uvjetima.

Teorijski opis prikazali smo također u Google obrascu. Promatrali smo stisnutu oprugu koja se nakon otpuštanja vraća u stanje bez napetosti. Pritom smo razmatrali promjenu njene ukupne mehaničke energije, koja odgovara promjeni elastične potencijalne energije, jer opruga miruje u početnom i konačnom stanju. Promjena elastične potencijalne energije odgovara radu promjenjive elastične sile $F_{el}(x) = -k \cdot x$ na putu x. Rad promjenjive sile dobijemo tako što površinu ispod *F*, *x*-grafa podijelimo na pravokutnike u kojima je sila približno konstantna te površine svih pravokutnika zbrojimo. Na taj način dobijemo izraz za elastičnu potencijalnu energiju $E_{\mathrm{el}} = 1/2 \cdot k \cdot x^2$.

Kao dodatak učenicima smo pokazali film vlastite izrade koji prikazuje elastičnu i plastičnu deformaciju tijela. Na danom videozapisu rastežemo različita tijela (malu oprugu iz kemijske olovke, gumicu, nevažeću kreditnu karticu) gdje se jasno može uočiti granica rastezanja iznad

koje tijela trajno mijenjaju svoj oblik. Videozapis smo također uredili u programu *Windows Movie Maker*.

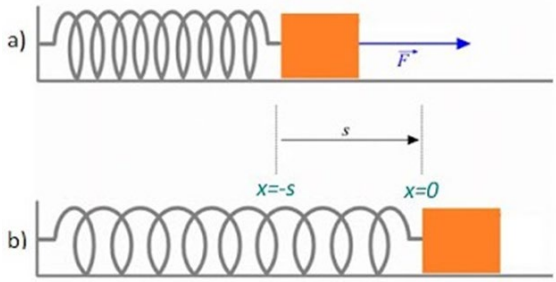
4.3.1 Izvod izraza za elastičnu energiju opruge

Upišite svoju šifru jednaku onoj u prethodnoj formi

Početni videozapis (Slika 4.2.1.) pokazuje u kojim predmetima i na koje sve načine koristimo elastičnu potencijalnu energiju. Razmislite što je zajedničko svim tim primjerima?
Elastična potencijalna energija pohranjena je u tijelu zbog promjene njegovog oblika, koja nastaje pod djelovanjem vanjskih sila. To podrazumijeva sabijanje, rastezanje i zavrtanje tijela.
Razmislite: Može li jedna sila stisnuti oprugu?

Istraživanjem ste došli do izraza za elastičnu potencijalnu energiju. Možemo li taj izraz dobiti teorijskim razmatranjem?

Promotrimo stisnutu oprugu na Slici 4.3.1. (gore), neposredno nakon prestanka djelovanja vanjskih sila koje su je napele. Opruga se vraća u ravnotežni položaj gurajući predmet silom F_{el} na putu s, sve dok opruga ne poprimi svoj ravnotežni oblik, prikazan na Slici 4.3.1. (dolje).



Slika 4.3.1. *Rastezanje elastične opruge.*

Razmislite: Zašto se cijela opruga pod djelovanjem vanjskih sila ne giba?
Energija je u elastičnom tijelu pohranjena sve dok se tijelo ne počne vraćati u prvotni oblik. Pri tom povratku tijelo obavlja rad. Znamo da je rad koje tijelo obavi jednak promjeni (smanjenju) njegove energije. Budući da opruga miruje prije i poslije rastezanja, promjena njezine kinetičke energije jednaka je nuli.
Zaključujemo da se radom elastične sile F_{el} smanjila jedino njezina elastična potencijalna energija za ΔE_{el}

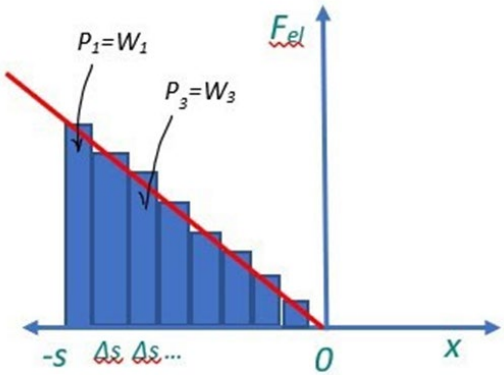
$$W = \Delta E_{el}.$$

Stoga, izračunamo li koliki je rad opruge, saznat ćemo kolika je bila njezina elastična potencijalna energija. Rad je jednak umnošku puta i sile u smjeru puta. U slučaju na Slici 4.3.1 rad obavlja elastična sila opruge nad tijelom kojeg gura na putu duljine s.
Već znamo da je elastična sila razmjerna skraćenju opruge x

$$F_{el} = -k \cdot x.$$

Ova ovisnost nacrtana je crvenom linijom na Slici 4.3.2. U početnom položaju opruge vrijedi $x = -s$ pa je iznos elastične sile jednak $F_{el} = k \cdot s$. Konačni položaj opruge je njezin ravnotežni položaj, a u njemu je pomak $x = 0$ pa je u njemu i elastična sila jednaka nuli. Uočite da za vrijeme rastezanja elastična sila nije konstantna, već se smanjuje dok opruga obavlja rad.

Kako izračunati rad u slučaju promjenjive sile?
To ćemo napraviti tako da put podijelimo na dijelove veličine Δs. U svakom tom kratkom dijelu puta sila je približno konstantna pa na njemu znamo izračunati rad.



Slika 4.3.2. *Rad promjenjive sile.*

Taj rad jednak je površini pravokutnika čija je osnovica Δs a visina F_{el}. (Slika 4.3.2.)

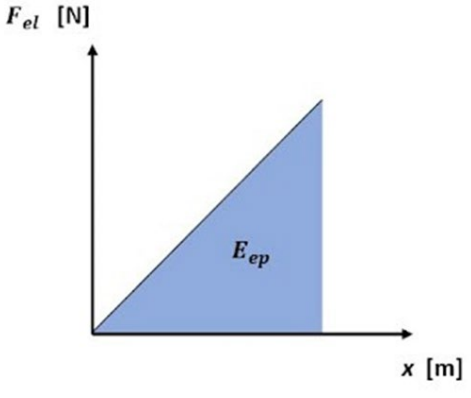
$$\Delta W(x) = F_{\mathrm{el}}(x) \cdot \Delta s = k \cdot x \cdot \Delta s.$$

Ukupni rad dobijemo kao sumu tih elementarnih radova (površina pravokutnika) na cijelome putu. Iz slike vidimo da je taj rad jednak površini ispod *F,x*-grafa. Taj zaključak vrijedi sasvim općenito. U našem slučaju površina je jednaka površini trokuta visine k·s i osnovice s pa za oprugu vrijedi:

$$W = \frac{1}{2} \cdot k \cdot s^2$$

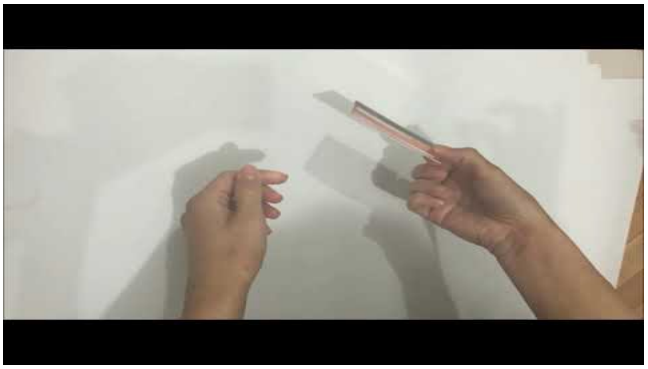
Rad elastične sile proporcionalan je kvadratu produljenja opruge. Razmislite: Koliki je rad vanjske sile nad oprugom?

Objasnite graf na Slici 4.3.3.



Slika 4.3.3. *Elastična potencijalna energija jednaka je površini ispod F-s grafa.*

Elastična i plastična deformacija tijela
Prije nego pogledate sljedeći videozapis razmislite možemo li po volji rastezati predmete, a da se oni nakon rastezanja vrate u početno stanje?
Za uvećani prikaz pritisnite na naziv videozapisa.



Slika 4.3.4. *Snimak zaslona koji prikazuje videozapis s različitim primjerima elastične i plastične deformacije tijela (videozapis možete pogledati na http://youtube.com/watch?v=jWgiGyGw_N0).*

Elastičnost je svojstvo čvrstih tijela da se pod djelovanjem vanjskih sila deformiraju, a da nakon prestanka djelovanja poprimaju prvobitni oblik. Takva promjena oblika naziva se elastična deformacija. Na prikazanom videu mogli ste uočiti što se dogodilo s elastičnom oprugom, gumicom i bankovnom karticom kada smo ih previše rastegnuli. Očito postoji granica rastezanja iznad koje tijela trajno mijenjaju oblik. Ovu vrstu deformacije zovemo *plastičnom deformacijom*.

4.4 Primjena naučenog i provjera znanja

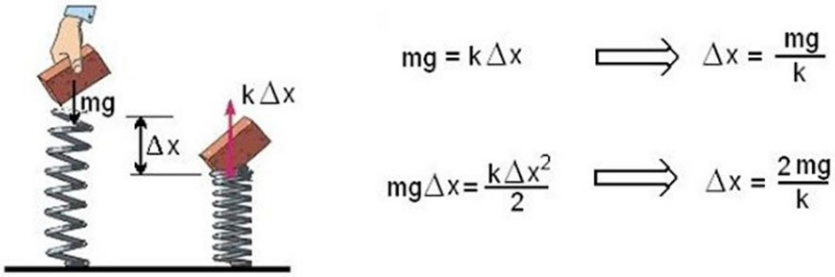
Na kraju, učenici su trebali riješiti test sastavljen od deset pitanja koji je postavljen na Google Disk, također za domaću zadaću [40]. Prvih pet pitanja bilo je konceptualnog tipa u obliku višestrukog izbora, koje smo preuzeli s *e-škole FIZIKA* [41]. Konceptualni zadaci dani su učenicima kao sredstvo za međusobnu raspravu kako bismo ih potaknuli na dublja promišljanja o danoj nastavnoj lekciji. U preostalih pet numeričkih zadataka, koje smo također preuzeli s internetskih stranica, bilo je potrebno računati te upisati dobivene brojčane vrijednosti [42, 43]. Osim primjera iz svakidašnjeg života, numerički zadaci sadržavali su i standardne zadatke koji se mogu pronaći u zbirkama zadataka iz fizike.

4.4.1 Konceptualni test

Upišite svoju šifru jednaku onoj u prethodnoj formi

_____

1. Na oprugu konstante elastičnosti k spustimo opeku mase m. Nakon što se opruga opterećena opekom umiri, vidimo da je došlo do skupljanja opruge za iznos Δx. Želimo li izračunati koliko iznosi ta promjena duljine opruge možemo to pokušati na dva načina. Prvi je da izjednačimo težinu opeke i povratnu silu opruge, a drugi da usporedimo promjenu potencijalne energije opeke i opruge. Međutim rezultat će se razlikovati za faktor 2 (vidi sliku). Što je ispravno?



Slika 4.4.1. *Zadatak 1. iz konceptualnog testa (slika preuzeta s http://eskola.hfd.hr/zadaci_testovi/zadaci.htm).*

- Točan rezultat se ne može dobiti jer ovisi o tome je li opeka spuštena postepeno ili naglo.
- Točan rezultat se dobije izjednačavanjem sila jer opeka miruje.
- Treba uzeti u obzir i zakon očuvanja količine gibanja opruge.
- Točan rezultat se dobije izjednačavanjem energija.
- Nijedan rezultat nije točan jer treba uzeti u obzir i toplinu koja se oslobodi titranjem opruge.

2. Od kada su u automobile počeli ugrađivati zračne jastuke javljaju se mišljenja da su ti jastuci nepotrebni jer vozač ili putnik se ionako moraju vezati sigurnosnim pojasom koji sprječava gibanje tijela u trenutku sudara. Zaista, postavlja se logično pitanje, ako smo već vezani pojasom od čega nas onda štiti zračni jastuk?

Slika 4.4.2. *Zadatak 2. iz konceptualnog testa (slika preuzeta s http://eskola.hfd.hr/zadaci_testovi/zadaci.htm).*

- Zračni jastuk nas praktički ne štiti nego nam daje samo psihološki osjećaj sigurnosti.
- Zračni jastuk nas štiti od sitnih krhotina stakla, plastike, itd., koje bi nas mogle ozlijediti.
- Ugradnjom zračnog jastuka u stvari automobilska industrija zarađuje jer se automobil kupcima čini sigurnijim, iako je dovoljan samo sigurnosni pojas.
- Pojas sprječava gibanje tijela, ali glava nije vezana pa jastuk sprječava trzajne ozljede kralježnice uslijed inercije glave.
- Jastuk se ugrađuje za svaki slučaj jer vozači često zaborave vezati pojas.

3. Za skladan razvoj mišića primjenjuju se vježbe s tzv. ekspanderom. Ta naprava ima dvije ručke između kojih je moguće zakopčati od 1 do 5 jednakih opruga koje onda rastežemo i tako jačamo mišiće. Ivica je sebi također kupio jedan ekspander ali se počeo dvoumiti hoće li brže postići uspjeh ako stavi tri opruge i rasteže ih svaki put za 10 cm, ili je bolje da stavi jednu oprugu i s njom radi produljenja od 30 cm. Što bi mu bilo dobro savjetovati?

Slika 4.4.3. *Zadatak 3. iz konceptualnog testa (slika preuzeta s http://eskola.hfd.hr/zadaci_testovi/zadaci.htm).*

- Budući da se mišići razvijaju svladavanjem sile onda je bolje staviti tri opruge pa ih rastezati samo 10 cm.
- Ono što utječe na razvoj mišića je izvršeni rad koji se dobije množenjem sile i puta, zato je svejedno na koji od ova dva načina vježbamo.
- Ne može se dati točan odgovor budući da sve ovisi o tome kako brzo se opruge rastežu jer je važna snaga koju pohranjujemo u mišiće.
- Brži napredak će se postići ako rastežemo jednu oprugu na tri puta duljem putu.
- Paralelni spoj opruga daje konstantu koja iznosi $k/3$ od pojedine opruge zato je svejedno za koji način vježbanja se odlučimo.

- 4. Nova naprava za vježbanje, tzv. skakači (*powerstrider, poweriser*), predstavljena je nedavno i u Zagrebu. To su elastične opruge koje se pričvrste na noge i odbacuju nas u željenom smjeru savijajući se pod težinom tijela. Proizvođači tvrde da uz pomoć skakača bez problema možeš skakati 2 m uvis ali i trčati brzinom od 40 km/h. Što misliš je li moguće takvim napravama omogućiti čovjeku da brže trči?

Slika 4.4.4. *Zadatak 4. iz konceptualnog testa (slika preuzeta s http://eskola.hfd.hr/zadaci_testovi/zadaci.htm).*

- To naravno nije moguće nikakvim napravama jer takve rezultate jedva postižu i najbolji atletičari.
- To je moguće zato jer skakači cijelo vrijeme potencijalnu energiju trkača pretvaraju u kinetičku energiju.
- Moguće je poskakivati visoko ali ne i trčati brzo. To su dva potpuno nezavisna gibanja, u različitim smjerovima.
- To je moguće zato jer skakači povisuju čovjeka, a time i povećavaju njegov korak.
- Moguće je jer skakači pohranjuju dio kinetičke energije trkača koji se doskokom inače pretvara u toplinu.

5. Dvije elastične opruge razlikuju samo po tome što je opruga A "tvrđa" (ima veću konstantu opruge) od opruge B. Ako ih rastegnemo jednakom silom

- o veći rad ćemo obaviti na opruzi A.
- o veći rad ćemo obaviti na opruzi B.
- o na oprugama ćemo obaviti jednak rad.

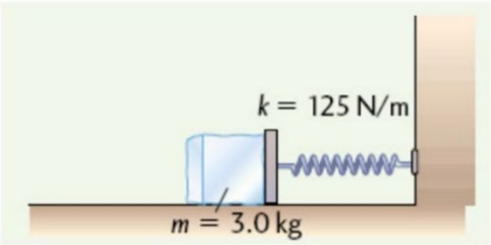
5. Dvije elastične opruge razlikuju samo po tome što je opruga A "tvrđa" (ima veću konstantu opruge) od opruge B. Ako ih rastegnemo za jednaki pomak

- o veći rad ćemo obaviti na opruzi A.
- o veći rad ćemo obaviti na opruzi B.
- o na oprugama ćemo obaviti jednak rad.

6. Mali kamion sadrži amortizer unutar kojega je opruga konstante elastičnosti 5x10^7 N/m. Amortizer može biti pritisnut do 15 cm bez oštećenja. Ako je masa kamiona 1000 kg, koja je maksimalna brzina kojom se on može sudariti bez oštećenja?

7. Proizvođač madraca procjenjuje kako je potrebno 20 elastičnih opruga za udobnu potporu čovjeka mase 100 kg. Pri tome se svih 20 opruga pritisne za 3,5 cm. Izračunajte elastičnu konstantu jedne opruge.

8. Slika prikazuje blok leda mase 3 kg postavljenog uz oprugu konstante elastičnosti 125 N/m. Oprugu sabijemo za 12 cm i pustimo. Izračunajte brzinu leda u trenutku napuštanja opruge u slučaju: a) da je trenje s podlogom zanemarivo, b) ako je koeficijent trenja između podloge i leda 0,10. Pretpostavite da je oprugu nemoguće rastegnuti izvan ravnotežnog položaja.

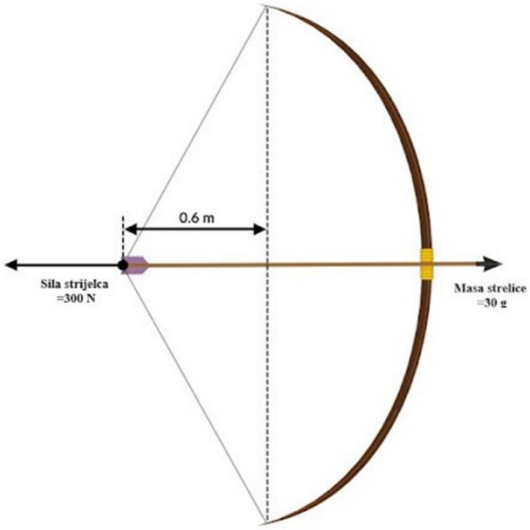


Slika 4.4.5. *Zadatak 8. iz konceptualnog testa (slika preuzeta s https://torrie.edublogs.org/files/2011/10/Energy-Problems-Set112-Solutions-11d27mr.pdf).*

9. Skakač mase 65 kg skače s visokog mosta „bungee jumping“. Nakon što dosegne najniži položaj, krene oscilirati gore-dolje. Napokon, stanje mirovanja postigne 25 m ispod visine mosta. Ako je konstanta elastičnosti užeta skakača 114 N/m, izračunajte duljinu nerastegnutog užeta.

10. Istrenirani strijelac sposoban je rastegnuti luk silom od 300 N za 0,6 m.
a) Pretpostavljajući da se luk ponaša kao opruga, koja vrijednost elastične konstante opruge bi strijelcu omogućila da upotrijebi svu svoju snagu? b) Koliko bi se elastične potencijalne energije pri tom pohranilo? c) Izračunajte brzinu ispaljivanja strelice iz takvog luka ako je njena masa 30 g. d) Ako bi se

mjerenjima pokazalo da je brzina strelice manja od one koju ste izračunali, odgovorite koji je mogući uzrok. Postoji li nešto što niste uzeli u obzir tijekom računanja?

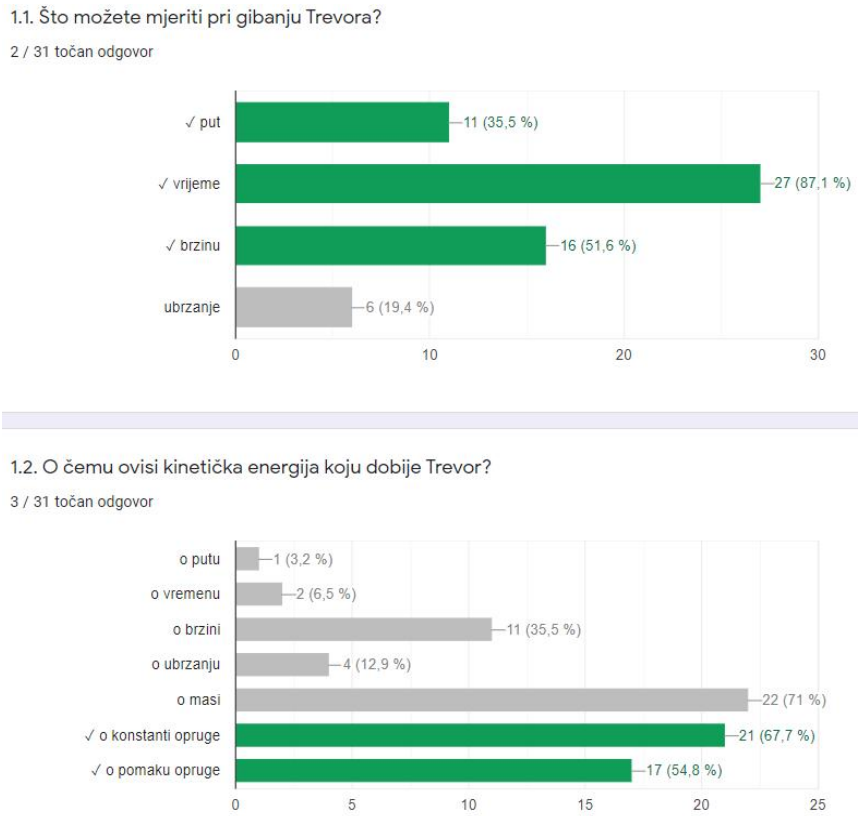


Slika 4.4.6. *Zadatak 10. iz konceptualnog testa (slika preuzeta s https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/hookes-law/a/what-is-elastic-potential-energy).*

5 Rezultati učenja i diskusija

Rezultati upitnika načinjenog u Google obrascu uključuju numeričke i grafičke prikaze odgovora učenika za svako pitanje što znatno olakšava rad nastavnika i omogućuje mu analizu usvojenosti ishoda za svakog učenika. U ovom poglavlju dajemo prikaz učeničkih rezultata uz diskusiju.

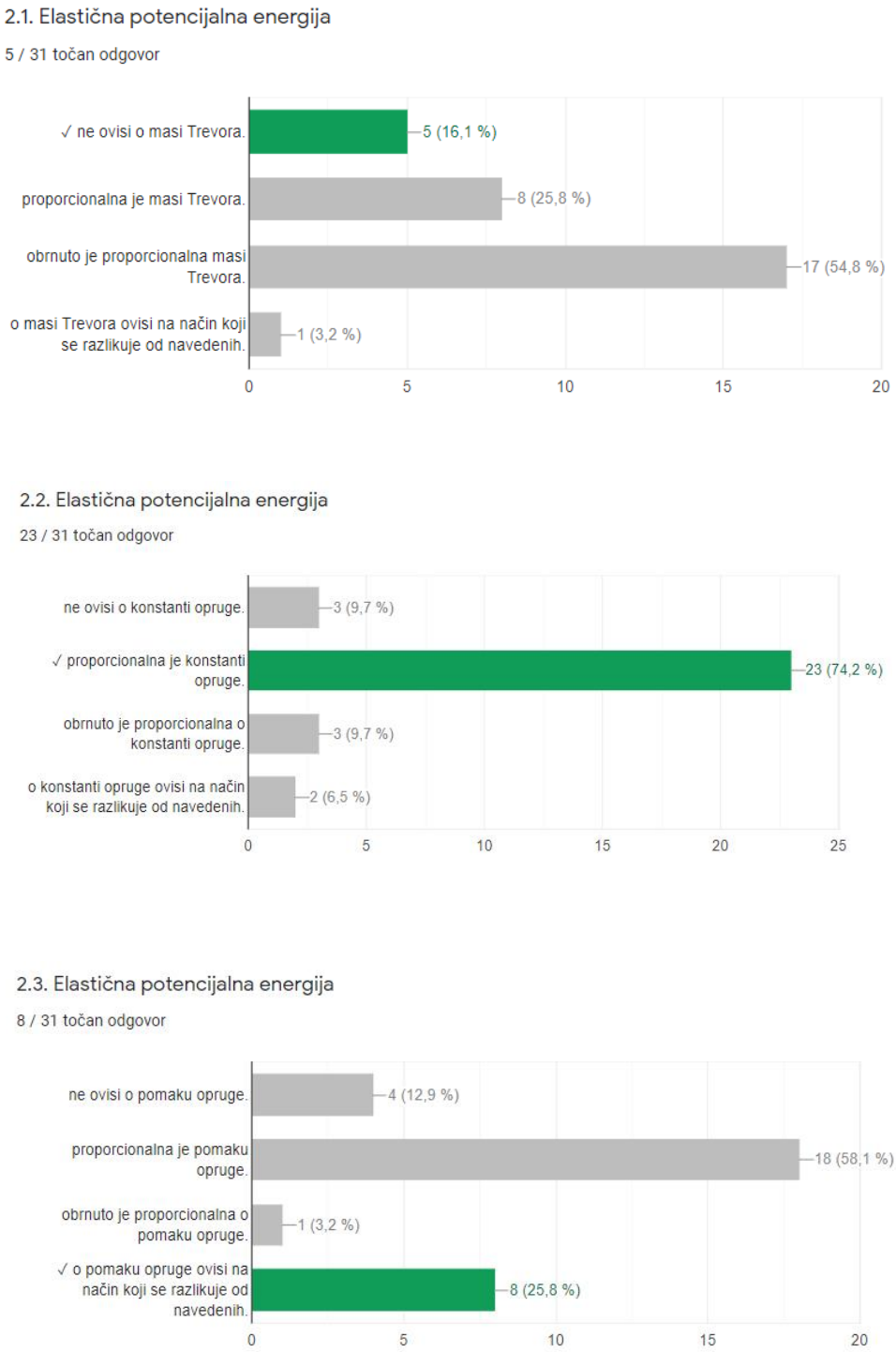
Potaknuti filmom s primjerima primjene elastične potencijalne energije, s početka nastavne lekcije, učenici su naveli i vlastite primjere: praćka (5), opruga (3), bungee jumping (3), krevet (2), katapult, odskočna daska, pilates (lopta), luk i strijela, bicikl, zglobni obruč na košu, tekstil, odbojka, madrac. Broj u zagradi označava broj učenika koji je naveo isti primjer. Ovi primjeri mogu poslužiti nastavniku za stjecanje uvida u iskustva svojih učenika, ali i kao odličan temelj za razrednu raspravu o primjenama elastične potencijalne energije. Za one učenike čiji primjeri nisu bili primjer elastične potencijalne energije, moguće je dodati povratnu informaciju. Tako učeniku možemo dati do znanja je li njegov način razmišljanja ispravan ili ne, kao i argumentaciju. Na iduća dva pitanja, koja su nam poslužila kao uvid u učenička opažanja i percepcije danog virtualnog laboratorija, učenici su odgovorili na način kako je prikazano na Slici 5.1:



Slika 5.1. *Grafički prikaz učeničkih odgovora na pitanja 1.1 i 1.2 vezana uz opažanja učenika.*

Velika većina učenika (27) odgovorila je da pri gibanju Trevora mogu mjeriti vrijeme, ali je samo približno polovica učenika uočila kako mjereći vrijeme, mogu mjeriti i put i brzinu. U idućem pitanju, veliki broj učenika ispravno je zaključio kako energija koju dobije Trevor ovisi o konstanti elastičnosti opruge (21 učenik) i promjeni duljine elastične opruge (17). Ipak, najveći broj učenika smatra kako energija koju dobije Trevor ovisi o njegovoj masi (22), a postoje i oni koji smatraju da ovisi i o njegovoj brzini klizanja (11).

Nakon stjecanja osnovnog iskustva s oprugom i Trevorom, učenici su trebali predvidjeti ovisi li i na koji način elastična potencijalna energija o konstanti elastičnosti opruge, o promjeni duljine opruge i o masi Trevora. To su bila jedina tri parametra koja je bilo moguće mijenjati te ispitivati promjene u gibanju Trevora koje se pritom odvijaju. Učenici su uglavnom dobro pretpostavili proporcionalnu ovisnost energije o konstanti opruge (23 učenika). Iako je većina učenika dobro uočila ovisnost energije o promjeni duljine opruge, samo ih je nekoliko (8) prepoznalo drugačiju ovisnost energije o promjeni duljine opruge. Najveći broj učenika smatra da je energija Trevora proporcionalna s promjenom duljine opruge (18).Međutim, samo je 5 učenika ispravno smatralo da energija Trevora ne ovisi o masi dok ih je 17 smatralo da je energija koju dobije Trevor obrnuto proporcionalna, a 7 da je proporcionalna njegovoj masi (Slika 5.2).



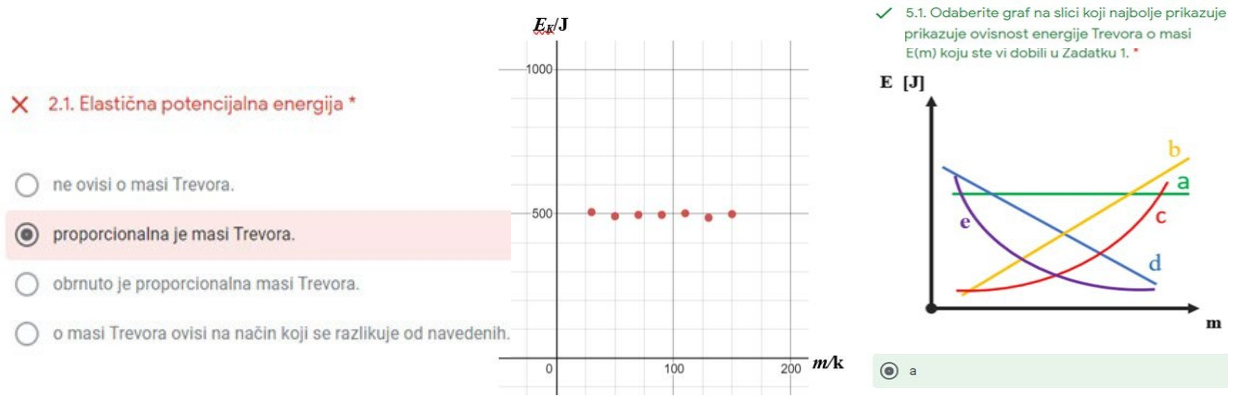
Slika 5.2. *Grafički prikaz učeničkih odgovora na pitanja 2.1, 2.2 i 2.3 kroz koja postavljaju hipoteze.*

Učenici koji su odgovorili da je energija Trevora proporcionalna njegovoj masi uglavnom su zaključivali na temelju formule za kinetičku energiju koja je proporcionalna masi, a ne na temelju iskustva u laboratoriju. Učenici koji su smatrali da je energija Trevora obrnuto proporcionalna masi, došli su do tog zaključka na temelju promatranja Trevora, koji se gibao sporije ako mu se masa povećavala. Pri tome su zanemarili činjenicu da je kinetička energija Trevora ovisna i o njegovoj masi i o njegovoj brzini gibanja. Kada bismo uzeli u obzir učeničke odgovore na samo prve dvije hipoteze (ovisnost o konstanti i promjeni duljine opruge), mogli bismo pomisliti da su njihova zapažanja i pretpostavke ispravne. Tek treća ovisnost otkriva njihovo stvarno razumijevanje danog problema. Učenici su lako mogli u literaturi pronaći izraz za ovisnost elastične potencijalne energije o konstanti i promjeni duljine opruge te odabrati točan odgovor, ali treća hipoteza od njih zahtijeva dublje promišljanje i korištenje prethodno stečenih znanja. Ovi elementi omogućuju kvalitetnu procjenu osnovnih učeničkih znanja i vještina potrebnih za istraživanje fizičkih pojava.

Budući je mjerenje kinetičke energije bio osnovni alat za istraživanje, trebalo je provjeriti učeničke vještine mjerenja. To smo postigli dajući učenicima zadatke u kojima smo tražili njihove rezultate mjerenja vremena, brzine i kinetičke energije za tri različita odabira varijabli. Točno vrijeme izmjerio je 21 učenik, točnu brzinu 25 učenika, dok je kinetičku energiju točno izračunalo samo 13 učenika. Međutim, u kasnijim mjerenjima, u kojima je trebalo predati graf mjerenja, pokazalo se da još 7 učenika dobro mjeri kinetičku energiju. Stoga, možemo smatrati da je približno dvije trećine učenika izvodilo dobra mjerenja i moglo izvoditi samostalno istraživanje te donositi utemeljene zaključke.

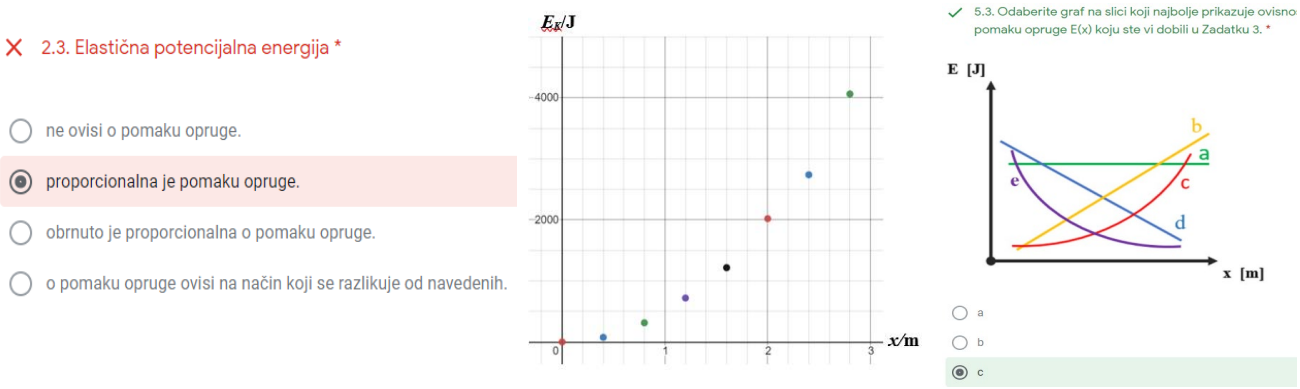
Učenici su prema uputama istraživali ovisnost energije Trevora o njegovoj masi, o konstanti opruge i o promjeni duljine opruge. Rezultate mjerenja trebali su prikazati grafički, a grafove predati putem aplikacije. Od ukupno 30 učenika koji su sudjelovali u istraživanju, 12 ih je predalo grafove mjerenja u digitalnom obliku, od kojih je jedan učenik poslao samo jedan graf, a ostali sva tri tražena grafa. Ostatak učenika nije predao grafove mjerenja. U nekim od predanih grafova nedostajalo je nekoliko mjerenja. Kod takvih grafova bio je prikazan samo dio krivulje pa učenici nisu mogli jasno odrediti o kojoj je ovisnosti riječ što je utjecalo na njihove odgovore na pitanja u Diskusiji. Po svemu sudeći većina učenika ima poteškoće s crtanjem grafova, što su potvrdili u razgovoru na školskom satu.

Na Slici 5.3. možemo vidjeti tijek istraživanja jednog učenika. Njegova početna pretpostavka bila je da je elastična potencijalna energija proporcionalna masi Trevora. Na temelju svojih mjerenja nacrtao je graf ovisnosti kinetičke energije Trevora o njegovoj masi. Iz izgleda grafa, učenik je ispravno zaključio da energija Trevora ne ovisi o njegovoj masi te odabrao točan odgovor (a) na pitanje s višestrukim grafičkim odgovorima. Na sličan način, četvero od ukupno osam učenika koji su točno napravili graf mjerenja odbacilo je svoje početne hipoteze.



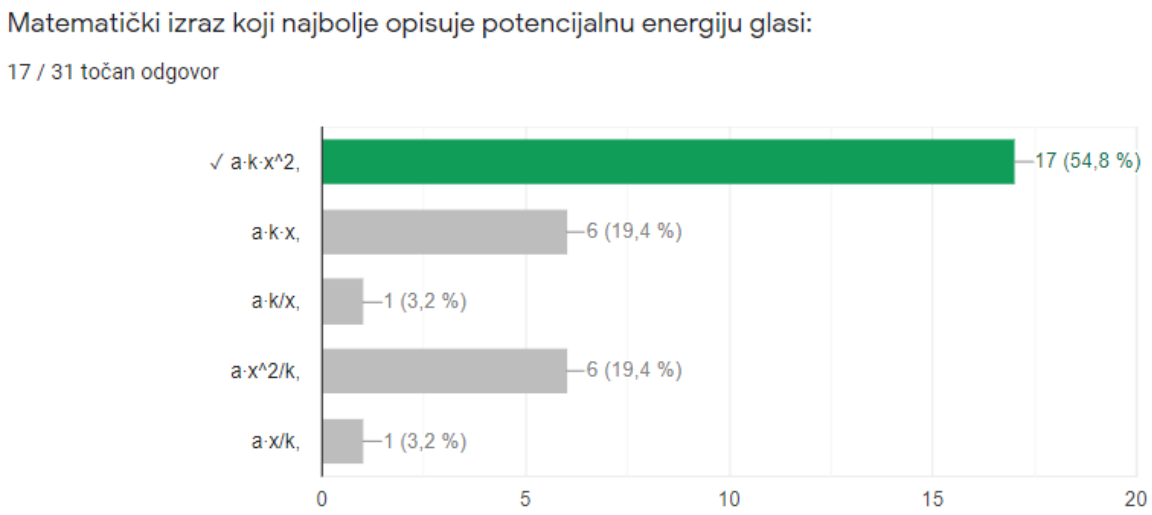
Slika 5.3. *Odgovori učenika koji je tijekom istraživanja postigao konceptualnu promjenu (ovisnost elastične potencijalne energije o masi Trevora).*

Sličan primjer imamo kod drugog učenika koji na početku svoga istraživanja pretpostavlja da elastična potencijalna energija ima proporcionalnu ovisnost s promjenom duljine opruge (Slika 5.4. lijevo). Vođenim istraživanjem u virtualnom laboratoriju došao je do rezultata mjerenja čiji je graf ovisnosti energije Trevora o promjeni duljine opruge izgledao kao na Slici 5.4. (sredina). Iz izgleda grafa, učenik je ispravno zaključio kako energija Trevora ima kvadratnu ovisnost o promjeni duljine opruge te odabrao točan odgovor pod (c) u Diskusiji. Jednako tako, četvero od ukupno šestero učenika koji su točno napravili graf mjerenja odbacilo je svoje početne hipoteze i odabralo ispravan odgovor.



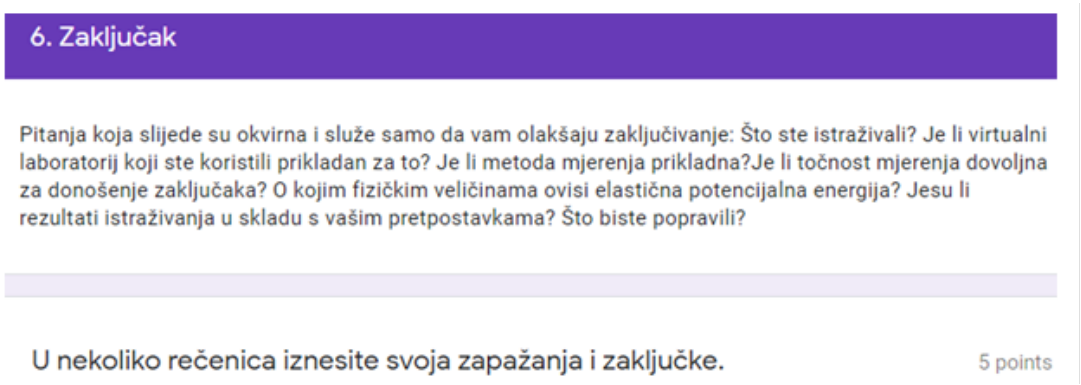
Slika 5.4. *Odgovori učenika koji je tijekom istraživanja postigao konceptualnu promjenu (ovisnost elastične potencijalne energije o promjeni duljine opruge).*

Vidljivo je da praktično iskustvo može kod značajnog broja učenika izazvati konceptualnu promjenu. Na kraju istraživanja učenici su trebali odabrati matematički izraz koji opisuje elastičnu potencijalnu energiju opruge. 17 učenika odabralo je ispravan izraz a$\cdot k \cdot x^2$, dok je 6 učenika odabralo izraz a/ $k \cdot x^2$ koji također sadrži kvadratnu ovisnost energije o promjeni duljine opruge (Slika 5.5). Vrijedi istaknuti kako su gotovo svi učenici, koji su uspješno savladali vještinu mjerenja, točno odabrali matematički opis elastične potencijalne energije.



Slika 5.5. *Grafički prikaz učeničkih odgovora na pitanje 6.2 gdje su trebali odabrati matematički opis elastične potencijalne energije.*

Važan dio istraživanja je iznošenje zaključka. S obzirom da učenici nemaju iskustva o tome što treba pisati u zaključku dali smo im okvirna pitanja na koja bi bilo poželjno da odgovore prilikom zaključivanja. Između ostalog htjeli smo dobiti i uvid o tome što učenici misle o ovakvom načinu rada. Primjer upita prikazan je na Slici 5.6:



Slika 5.6. *Primjer usmjeravanja učenika pri donošenju zaključka.*

Svoje zaključke iznijelo je 18 učenika, od čega je 8 predalo opširne tekstove dok je 10 učenika iznijelo nepotpune zaključke, uglavnom u vidu jedne rečenice, ili čak jedne riječi. Navodimo jedan primjer kompletnog zaključka: „*Istraživao sam o čemu ovisi elastična potencijalna energija. Virtualni laboratorij bio je prikladan za to kao i metoda mjerenja. Točnost mjerenja je dovoljna za donošenje zaključaka. Elastična potencijalna energija ovisi o konstanti elastičnosti opruge i produljenju opruge. Istraživanja su u skladu s mojim pretpostavkama.*“ Primjer najkraćeg učeničkog zaključka je riječ: „*Lijepo*“.

Komentari učenika uglavnom su bili pozitivni. Učenik 1: „*Svidio mi se ovakav pristup radu, zanimljivije je nego na običnoj nastavi*“. Učenik 2: „*Točnost mjerenja je dovoljna za približno donošenje zaključaka. Rezultati su u skladu s mojim pretpostavkama. Ništa ne bih popravila, sviđa mi se ovaj način rada*“. Učenik 3: „*Zbog ljudske pogreške, grafovi imaju odstupanja koja se dodatnim postupcima mogu odstraniti i time poboljšati kvalitetu rezultata. Ipak, jasno se može primijetiti razlika između E(k) i E(x) grafova ovisnosti. E(k) je linearan, a E(x) nije*“. Učenik 4: „*Istraživali smo elastičnu potencijalnu energiju. Da, virtualni laboratorij je prikladan za to. Metoda mjerenja je prikladna. Točnost mjerenja je dobra, ali nedovoljna za donošenje pravih zaključaka. Elastična potencijalna energija ovisi o vremenu, brzini, nategnutosti opruge. Da, rezultati su u skladu s mojim pretpostavkama.*“

Bilo je i komentara poput „*Virtualni laboratorij mi se nije sviđao jer mi nije bio previše jasan*“ i „*Pri većim vrijednostima brzine i kinetičke energije mjerenje vremena pomoću jednostavne ručno pokretane štoperice na zastarjeloj interaktivnoj web-stranici jednostavno nije dovoljno precizno*“.

Mogli bismo zaključiti da kada želimo izvući opširnije komentare od učenika, potrebno je postaviti i opširnija pitanja. Zahvaljujući tome, možemo dobiti cjelokupni dojam provedene nastavne metode te je modificirati ovisno o potrebama učenika.

Nakon uvida u teoriju, učenici su rješavali test višestrukog izbora, koji je trebao dati uvid u njihovu mogućnost primjene znanja o elastičnoj potencijalnoj energiji, ali isto tako poslužiti za diskusiju, s obzirom da za mnoga pitanja nije jednostavno pronaći točan odgovor. Test je riješilo 28 učenika. Postotak točnih odgovora za konceptualna pitanja je 51%, za numerička 44%.

Učenici su imali rok od 10 dana za rješavanje domaće zadaće: online nastavne lekcije i testa. Nakon toga, organizirali smo video sat preko *Microsoft Teamsa* u trajanju od dva školska sata koji se sastojao od analize njihovih rezultata, pojašnjavanja koncepata i rješavanja problematičnih zadataka. Diskutirali smo o svakom zadatku i poteškoćama s kojima su se najčešće susretali pri rješavanju. Iz komunikacije s učenicima, zaključili smo da su im grafovi i njihova interpretacija stvarali najveće poteškoće. Druga poteškoća bila je primjena novih koncepata na stvarne životne situacije, koja se očitovala kroz rješavanje testa. Izjavili su da im je lakše rješavati standardne zadatke iz zbirki zadataka. Dio učenika tvrdio je da nisu imali dovoljno vremena posvetiti se danoj nastavnoj lekciji.

6 Zaključak

U diplomskom radu prikazana je metoda poučavanja vođenim istraživanjem na primjeru online nastavne lekcije za učenike prvih razreda srednje škole s temom Elastična potencijalna energija. Razvojem tehnologije otvorile su se nove mogućnosti s kojima nastavnici mogu upotpuniti i obogatiti svoju nastavu. U radu je dan pregled internetskih resursa na kojima se mogu pronaći kvalitetni materijali za kreiranje i primjenu istraživačke nastave. Rezultati edukacijskih istraživanja pokazuju kako je primjena znanstvene metode u nastavi složeni proces u kojemu nastavnik treba usmjeravati učenike k željenom ishodu učenja kako bi učenici lakše savladali potrebne vještine te stekli nova znanja. Obuhvativši ideje vođenog istraživanja i digitalne sadržaje napravili smo odgovarajući obrazovni materijal u formi Google obrasca koji omogućuje jednostavan prijenos nastavnog sadržaja te statistički uvid u povratne informacije učenika. Lekcije su osmišljene na način da uputama, objašnjenjima i pitanjima višestrukog izbora vode učenike kroz postupak istraživanja čiji je cilj doći do izraza za elastičnu potencijalnu energiju prvo putem eksperimenta, a zatim i teorijskim razmatranjem. Kreiranom nastavnom lekcijom moguće je formativno ispitivati usvojenost ishoda učenja Nacionalnog kurikuluma koji se odnose na istraživanje fizičkih pojava. U istraživanju je sudjelovalo 30 učenika prvog razreda gimnazije. Analiza učeničkih odgovora pokazala je da je približno polovica učenika mogla samostalno provesti istraživanje i u potpunosti savladati lekciju. Analiza je također pokazala da većina učenika ima poteškoća s kreiranjem i korištenjem grafičkih prikaza te da je to bio najčešći uzrok donošenja netočnih zaključaka. Dio učenika pokazao je konceptualnu promjenu nakon usvajanja lekcije. Komentari učenika su bili uglavnom pozitivni što su i zabilježili u svojim zaključcima. Nadamo se da će ovaj rad poslužiti sadašnjim i budućim nastavnicima fizike kao motivacija i pomoć u realizaciji nastave.

7 Literatura

[1] Randall D. Knight, *Five easy lessons*, Addison Wesley, San Francisco, USA (2004).

[2] Bobby Ojose, *Applying Piaget's Theory of Cognitive Development to Mathematics Instruction*, The Mathematics Educator, 18, 26-30 (2008).

[3] I. Ilić, I. Ištvanić, J. Letica, G. Sirovatka i D. Vican, *Upravljanje razredom*, Agencija za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih u suradnji s British Council, Zagreb, 2012.

[4] G. Kestin, K. Miller, L. S. McCarty, K. Callaghan i L. Deslauriers, *Comparing the effectiveness of online versus live lecture demonstrations*, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 16, 013101, 2020.

[5] R. C. Clark i R. E. Mayer, *e-Learning and the Science of Instruction*, Pfeiffer, San Francisco, 2008.

[6] Barbara Tošić, Ivica Aviani, *Samostalno učenje istraživanjem u virtualnom laboratoriju: Elastična potencijalna energija*, Zbornik radova XV. hrvatskog simpozija o nastavi fizike, 203-209, Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb 2021. URL: https://www.bib.irb.hr/1121719.

[7] B. Tošić, *Samostalno učenje istraživanjem: Elastična potencijalna energija*, Diplomski dan studenata fizike, PMF Split, 16. srpnja 2021. URL: https://www.pmfst.unist.hr/diplomski-dan-studenata-fizike/,

[8] A. Colburn, *An Inquiry Primer*, Science scope, 23, 42-44 (2000).

[9] M. Pedaste, M. Mäeots. L. A. Siiman, T. de Jong, S. A. N. van Riesen, E. T. Kamp, C. C. Manoli, Z. C. Zacharia i E. Tsourlidaki, *Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle*, Educational Research Review, 14, 47-61 (2015).

[10] Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_method, (3. 9. 2021).

[11] Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_analysis, (3. 9. 2021).

[12] Wikipedia, URL: https://hr.wikipedia.org/wiki/Debata, (3. 9. 2021).

[13] Go-Lab, URL: https://www.golabz.eu/ils/ohm-s-law-13, (23. 8. 2021).

[14] Go-Lab, URL: https://www.golabz.eu/ils/the-sound-of-music-an-interactive-lesson-on-standing-waves, (23. 8. 2021).

[15] P. A. Kirschner , J. Sweller i R. E. Clark, *Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching,* Educational Psychologist, 41, 75-86 (2006).

[16] Narodne novine, URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html, (8. 9. 2021).

[17] I. Aviani, I. Dukić, N. Erceg, M. Glunčić, V. Halusek, A. Hrlec, Ž. Jakopović, A. Jalušić, D. Kliček, S. Martinko i M. Planinić, *Prijedlog Nacionalnog kurikuluma nastavnog predmeta fizika – Studeni 2017*, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, Zagreb (2017) URL: https://www.bib.irb.hr/1143192

[18] G. Tembrevilla i M. Milner-Bolotin, *Engaging physics teacher-candidates in the production of science demonstration videos*, *Physics Education* 54, 025008 (2019).

[19] Distance learning solutions, UNESCO, URL: https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/solutions, (7. 9. 2021).

[20] Richard R. Berg, *Resource Letter PhD-2:Physics Demonstrations*, American Journal of Physics, 80, 181 (2012).

[21] Eric Mazur, *Peer instruction*, Prentice Hall, New Jersey (1997).

[22] PhysPort, URL: https://www.physport.org/, (13.8.2021).

[23] Sarah B. McKagan, Linda E. Strubbe, Lyle J. Barbato, Bruce A. Mason, Adrian M. Madsen i Eleanor C. Sayre, *PhysPort Use and Growth: Supporting Physics Teaching with Research-based Resources Since 2011*, The Physics Teacher 58, 465 (2020).
[24] PBS LearningMedia, URL: https://sharemylesson.com/partner/pbs-learningmedia, (13. 8. 2021).
[25] PBS LearningMedia, URL: https://www.pbslearningmedia.org/resource/tips-for-distance-learning-with-pbs-learningmedia/virtual-professional-learning-series-video-gallery/, (13. 8. 2021).
[26] The Physics Classroom, URL: https://www.physicsclassroom.com/, (13. 8. 2021).
[27] Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Khan_Academy, (13. 8. 2021).
[28] Sal Khan, Khan Academy, URL: https://www.khanacademy.org/about, (13. 8. 2021).
[29] URL: https://www.youtube.com/user/khanacademy, (13. 8. 2021).
[30] James Gray i Christine Lindstrom, *Five Tips for Integrating Khan Academy in Your Course*, The Physics Teacher 57, 406 (2019).
[31] Go-Lab, URL: https://www.golabz.eu/, (13. 8. 2021).
[32] HyperPhysics, URL: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html, (13. 8. 2021).
[33] C. E. Wieman, W. K. Adams i K. K. Perkins, *PhET: Simulations That Enhance Learning*, Science, 322, 682-683 (2008).
[34] PhET, URL: https://phet.colorado.edu/, (13. 8. 2021).
[35] Physlet, URL: https://www.compadre.org/physlets/, (2. 9. 2021).
[36] Windows Movie Maker 2012, URL: https://www.topwin-movie-maker.com/tutorials_how_to_download_windows_movie_maker_2012.html, (8. 9. 2021).
[37] Barbara Tošić, *Elastična potencijalna energija: Istraživanje*, https://docs.google.com/forms/d/1NWgS3ZDI7TFSJrVy2znO2cKHu1z9q3l5McpJ8tTsFe8/edit, (13. 8. 2021).
[38] Eli Luberoff, Desmos, URL: https://www.desmos.com/calculator, (13. 8. 2021).
[39] Barbara Tošić *Elastična potencijalna energija: Teorijsko razmatranje i objašnjenje*, https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScJOlH_TP1EDY0p0FWk5pF1povlc1HcGQmn_X_ZQzxjEsxeOQ/formResponse, (13. 8. 2021).
[40] Barbara Tošić, *Elastična potencijalna energija: Provjerite u kojoj mjeri možete primijeniti svoje znanje*, https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdaSpMJVYZInT2wVwYMtJnAXglXCCtTBbw-eLFddWq0emuwbg/viewform, (21. 2. 2021).
[41] E-škola FIZIKA, Hrvatskog fizikalnog društva, URL: http://eskola.hfd.hr/ (13. 8. 2021).
[42] URL: https://torrie.edublogs.org/files/2011/10/Energy-Problems-Set112-Solutions-11d27mr.pdf, (13. 8. 2021).
[43] *What is elastic potential energy?* Khan Academy, URL: https://www.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/hookes-law/a/what-is-elastic-potential-energy, (13. 8. 2021).