

Poučavanje istraživačkih vještina u gimnazijskoj nastavi fizike

Ivan Novosel

V. gimnazija, Zagreb

Sažetak. U ovom radu prikazat ću iskustva uključivanja učeničkih istraživačkih radova u nastavu te djelomične rezultate prilagođavanja "ISLE Scientific Abilities" kurikulumu u šk. god. 2016./2017 koja još traje. Cilj je bio ispitati učeničke sposobnosti u dizajniranju eksperimenata te vidjeti koji izazovi nastaju kod provođenja takve nastave. Svi učenici morali su isplanirati provođenje eksperimenta, izvesti ga te napisati izvještaj po predlošku za istraživačke radove. Rezultati se baziraju na analizi izvještaja i promatranju učenika na nastavi. Promatranje je vršeno kroz tri školske godine između kojih su napravljene modifikacije poučavanja na bazi analize rezultata prethodne godine. Dokumentirano je 119 radova učenika prvih razreda (opći smjer, šk.god. 2014./15.), 26 radova učenika drugih razreda i 24 rada učenika trećih razreda (prirodoslovno-matematički smjer, šk.god. 2015./16.). Nakon prve godine uočeno je da većina učenika može ostvariti ishode opisivanja i izvođenja eksperimenta, kao i prezentacije rezultata, no većina ne uspijeva usvojiti ishode izražavanja pogreške mjerenja i modeliranja fizikalne pojave na bazi rezultata. U drugoj godini uočen je mali pozitivni pomak u svim ishodima, ali usporedba nije moguća zato jer se radilo o starijim učenicima prirodoslovno-matematičke gimnazije. Trenutno je u tijeku implementacija prilagođenog "ISLE Scientific Abilities" kurikulumu s učenicima prvih i drugih razreda kojemu je cilj poboljšati učeničke istraživačke sposobnosti.

Ključne riječi: eksperiment u nastavi, istraživačke vještine, gimnazijski program

UVOD

Gimnazijski program fizike (inačica A) predviđa da svaki od učenika bude u stanju planirati i provoditi pokuse, izvesti matematičku relaciju iz rezultata mjerenja, prikazati rezultate grafički i procijeniti rezultate grafički [1]. U inačici B se dodatno navodi "Učenici moraju doživjeti proces istraživanja i otkrivanja u fizici, i to ne sporadično, već kao standardni postupak na sadržajima koji su tomu primijenjeni" [1]. No obje inačice programa su koncentrirane na sadržaj koncepata fizike koji se trebaju usvojiti, pa je upitno koliko se u samoj nastavi poučavaju istraživačke vještine. Indirektni pritisak na nastavnike radi i predviđeni sadržaj državne mature koji na istraživačke vještine stavlja sličan naglasak. U ispitnom katalogu za fiziku u obrazovnim ishodima navedeno je "osmisliti jednostavne pokuse i mjerenja te prikazati i protumačiti njihove rezultate" [2], no u ispitima državne mature koji su objavljeni do sada je vidljivo da je puni naglasak na zadacima koji provjeravaju konceptualno znanje i sposobnost rješavanja fizikalnih problema.

U tim okolnostima izbor nastavnika je uolikoj mjeri će ugraditi usvajanje istraživačkih vještina u svoju nastavu. Nažalost informacije o tome su anegdotalne, koliko mi je poznato nije izvedeno ciljano istraživanje koje bi točno provjerilo u kojoj mjeri nastavnici fizike poučavaju istraživačke vještine. Prema procjeni iz razgovora na županijskim stručnim vijećima ciljano poučavanje istraživačkih vještina u praksi se ne provodi. Nastavnici izvode demonstracijske pokuse i ako je škola opremljenija neki od njih omogućavaju učenicima izvođenje eksperimenata prema uputama. No od učenika se ne očekuje da samostalno dizajniraju i izvode eksperimente.

U sklopu cjelovite kurikularne reforme napravljen je prijedlog novog programa za nastavu fizike [3] koji definira ishode vezane uz istraživačke vještine. U svakom od razreda definirane su razine ishoda "Istražuje fizičke pojave", tj. točno je definirano što očekujemo od učenika, a to čini veliki iskorak u odnosu na trenutno važeći program nastave fizike. S obzirom da očito postoji tendencija značajnijeg uključivanja istraživačkih vještina u gimnazijsku nastavu fizike otvara se pitanje kako ih efektivno poučavati i koje zahtjeve to postavlja na izvođenje nastave fizike. U ovom radu izložiti ću iskustva takvog rada s učenicima kroz školske godine 2014./15. i 2015./16. te predložiti kako se taj pristup može usavršiti.

Istraživačke vještine

Uobičajeni način izvođenja nastave je da se učenicima objasne fizikalni modeli. Kod takvog načina poučavanja učenik može usvojiti znanje, ali neće nužno shvatiti zašto to znanje vrijedi i koja su njegova ograničenja. Učenik ta znanja prihvaća kao činjenice koje treba zapamtiti zato što ih je prenio autoritet (nastavnik). No nastava se može koncipirati tako da više izgleda kao stvarni proces fizikalnog istraživanja. Cilj takve nastave nije samo usvajanje fizikalnih koncepata već i razvoj učeničkog epistemološkog znanja, tj. shvaćanja kako nastaje znanje fizike. Kako bi se to postiglo učenici ne mogu samo učiti o rezultatima postojećih istraživanja (aktualni fizikalni modeli), već moraju provoditi eksperimente iz kojih onda mogu samostalno osmisliti fizikalni model koji opisuje promatranu pojavu. Ove aktivnosti spadaju u domenu kognitivno zahtjevnih, tj. nije dovoljno samo prepoznavanje i shvaćanje, već učenici moraju primjenjivati postojeća znanja, analizirati rezultate i formulirati svoj opis (sinteza). Iz tog razloga nastavnici trebaju posvetiti značajnu pažnju organizaciji takve nastave kako bi učenici mogli produktivno učiti.

U sklopu Investigative Science Learning Environment (ISLE) kurikulumu [4][5] istraživačke vještine kategorizirane su na sljedeći način:

- sposobnost prikazivanja znanja na više načina
- sposobnost dizajniranja eksperimenata za istraživanje nepoznatih pojava, testiranje hipoteza i rješavanje praktičnih problema
- sposobnost prikupljanja i analiziranja eksperimentalnih podataka
- sposobnost razvoja i testiranja odnosa i objašnjenja
- sposobnost procjene kvalitete dizajna eksperimenta
- sposobnost komuniciranja rezultata

Za svaku od vještina razrađene su detaljne rubrike za procjenu tih sposobnosti i aktivnosti za njihovo usvajanje. Ideja svakog ciklusa učenja je da se prođu tri tipa eksperimenata [6]:

- Opservacijski eksperimenti - promatranje nove pojave, služe za stvaranje novog modela koji bi potencijalno mogao objasniti pojavu
- Eksperimenti za testiranje teorije ili modela - služe za testiranje hipoteza i predviđanja
- Eksperimenti primjene - ovi eksperimenti koriste saznanja koja su modelirana ranije kako bi se objasnila neka druga pojava ili konstruirao neki uređaj

ISLE kurikulum je osmišljen tako da opservacijski eksperimenti služe za generiranje novih hipoteza. Nakon toga se te hipoteze testiraju i na bazi tih rezultata se formulira fizikalni model - opis promatrane pojave. Taj model se onda pokušava koristiti u drugačijim okolnostima. Rubrike za procjenu sposobnosti su takve da omogućavaju formativnu evaluaciju znanja, tj. primarno se koriste za pružanje povratnih informacija i za samoprocjenu. Na bazi testiranja [7] uočeno je da sveučilišni studenti poučavani ovim kurikulumom mogu postupno razvijati istraživačke vještine. Izazov je kako ove aktivnosti prilagoditi gimnazijskom programu fizike.

REZULTATI

U školskoj godini 2014./15. prvi puta sam pokušao implementirati provođenje učeničkih istraživanja u nastavu. Ideja koje sam htio provjeriti mogu li uopće učenici prvog razreda opće gimnazije samostalno napraviti eksperiment kojim proučavaju fizikalnu pojavu i na bazi toga napraviti fizikalni model, tj. da li je ta aktivnost kognitivno preteška za taj uzrast. Također na takav način se odmah provjerava i koja ograničenja takva nastava ima prilikom organizacije nastavnog procesa.

Aktivnost je provedena sa 119 učenika prvih razreda Druge gimnazije Varaždin. Učenici su pohađali 4 razreda općeg usmjerenja i 1 razred sportskog usmjerenja, a nastava fizike je planirana po A inačici programa za gimnazije.

Svi učenici su eksperimentalno rješavali sljedeći problem:

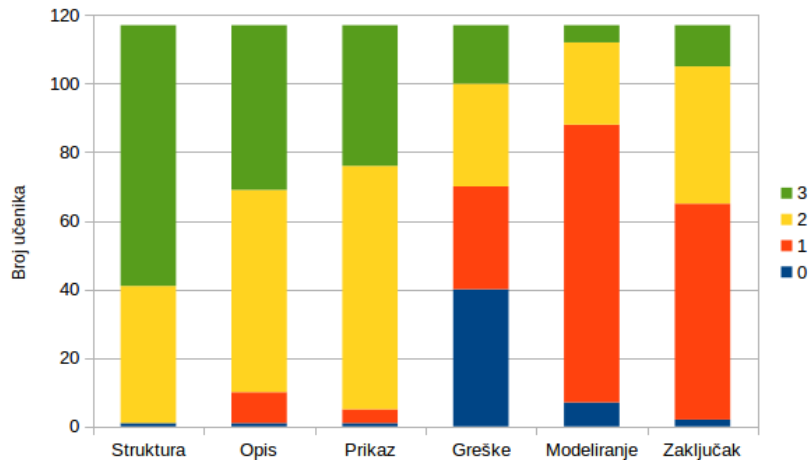
“Plava školska kolica potrebno je poslati od jednog kraja prostorije do drugog kraja tako da se zaustave taman prije nego udare u zid. S obzirom da je guranje rukom vrlo nepouzdanu potrebno je koristiti pouzdaniji način za ‘lansiranje’ kolica. Jedan način kako se to može napraviti je korištenjem kosine. Napravite istraživanje koje bi kao rezultat trebalo imati uputu kakvu kosinu se treba koristiti ovisno o dimenzijama prostorije. Može se raditi o bilo kojoj prostoriji u školi.”

Učenici su radili u skupinama od 3-4 učenika. Svaka skupina je zajednički trebala osmisliti plan mjerenja (dizajnirati eksperiment), te nakon toga realizirati mjerenja. Kao rezultat aktivnosti svaki učenik je samostalno trebao napraviti svoj izvještaj prema predlošku za pisanje istraživačkog rada. Nastava se odvijala u blok-satima (90 min) i za dizajn i provedbu eksperimenta učenici su imali 3 takva termina. Na prvom terminu su upoznati s problemom i trebali su osmisliti plan mjerenja, a dva termina su osigurana za mjerenja. Osim toga učenici su odslušali predavanje iz određivanja grešaka mjerenja i matematičkog modeliranja pomoću grafa. Nije bilo predavanja u kojem se detaljnije prolazilo kroz osnove dizajna eksperimenta (određivanje varijabli mjerenja, formiranje hipoteze, kontrola varijabli) već sam taj dio objašnjavao u razgovoru s učenicima dok su pokušavali formirati plan mjerenja. Aktivnost se odvijala na početku školske godine tako da je njihovo znanje fizike bazirano na onom što su radili u osnovnoj školi. Svi učenici su prvo slali radnu verziju rada na koju su dobili komentare, a završna verzija rada ocijenjena je na bazi sljedećih kriterija:

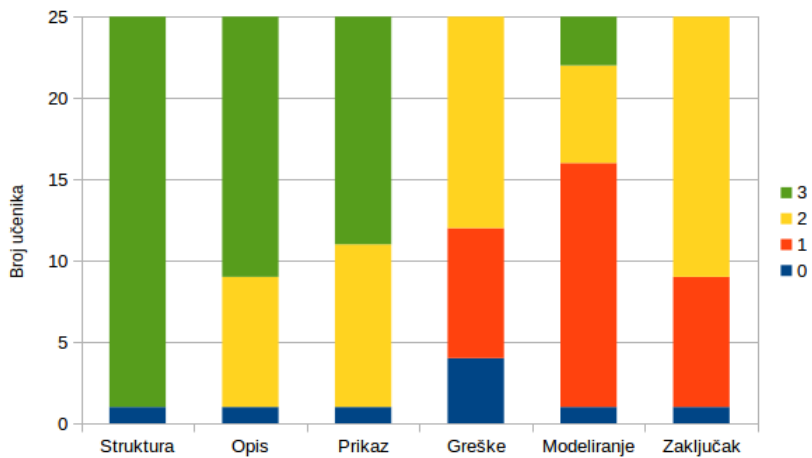
- struktura rada - sadrži li rad sve tražene elemente prema predlošku
- opis eksperimenta - jesu li prepoznati svi ključni parametri eksperimenta i opisani tako da bi netko drugi mogao izvršiti taj eksperiment
- prikaz rezultata - jesu li rezultati prikazani točno (mjerne jedinice, zaokruživanje brojki) i pregledno (koriste li se tablice i grafovi)
- procjena pogreške - jesu li prikazane pogreške mjerenja, procjenom odstupanja ili na bazi računa pogreške
- rasprava i modeliranje - da li je napravljen fizikalni model prema mjerenjima i da li postoji rasprava ograničenja tog modela ili mjerenja općenito
- izvođenje zaključka - postoji li argumentirano rješenje zadatka ili je barem argumentirano je li originalna hipoteza potvrđena ili ne

Za svaki od kriterija definirane su opisne razine koje su prikazane u rubrici za ocjenjivanje[8]. Razinama je dodatno pridodana brojevana vrijednost od 0 do 3 gdje je 0 potpuna odsutnost pokušaja zadovoljenja tog kriterija, a 3 je posve zadovoljen kriterij. Razina 2 odgovara zadovoljavajućoj razini kompetencije uz manje nedostatke.

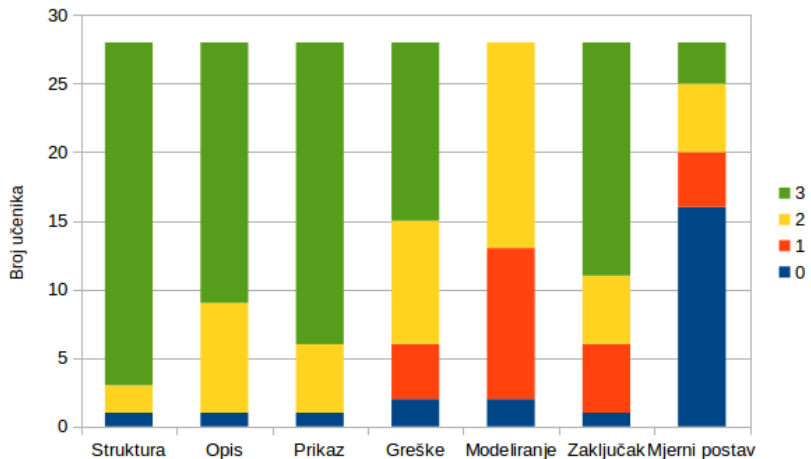
Završnu verziju rada predalo je 117 učenika. Iz raspodjele na slici 1 može se vidjeti koliko su uspješno učenici napisali izvještaj. Vidljivo je da su kriterije struktura rada, opis eksperimenta i prikaz rezultata učenici većinom uspjeli postići s razinom 2 i 3. Kriteriji procjena pogreške, modeliranje i izvođenje zaključaka su zadovoljeni u puno manjoj mjeri. Sedam učenika je uspjelo napraviti fizikalni model ovisnosti puta o nagibu kosine, tj. uspjeli su napraviti matematički opis za hipotezu koju su gledali i dati raspravu ograničenja tog modela.



SLIKA 1. Raspodjela uspjeta učenika prvih razreda po razinama za svaki od kriterija. Na y-osi nalazi se broj učenika (N=117), a svaki od stupaca je jedan kriterij za ocjenjivanje radnji.



SLIKA 2. Raspodjela uspjeta učenika trećih razreda po razinama za svaki od kriterija. Na y-osi nalazi se broj učenika (N=25), a svaki od stupaca je jedan kriterij za ocjenjivanje radnji.



SLIKA 3. Raspodjela uspjeta učenika drugih razreda po razinama za svaki od kriterija. Na y-osi nalazi se broj radnji (N=28), s obzirom da su učenici (N=56) radili u parovima.

Rad s učenicima prirodoslovno-matematičke gimnazije

Školske godine 2015./16. provedena je slična implementacija istraživačkog rada u nastavi, ali s učenicima 2. i 3. razreda u prirodoslovno-matematičkoj gimnaziji. S učenicima trećih razreda je implementirana aktivnost promatranjem prigušenog titranja. Istraživački zadatak bio je odrediti vrijeme zaustavljanja utega na opruzi koji titra u zraku, te opisati položaj utega u vremenu. Aktivnost je provedena s 82 učenika trećih razreda V. gimnazije. Kao i prethodne godine učenici su bili raspoređeni u skupinama od 3-4, a izvještaj je trebao napraviti svatko za sebe. Obzirom da se radilo o učenicima 3. razreda pretpostavljeno je da imaju određenog iskustva s mjerenjima u fizici i da su prethodno naučili račun pogreške. Učenici su dobili pisane upute za račun pogreške kako bi se mogli podsjetiti kako se određuju. Aktivnost je odrađena istim tempom, jedan blok-sat (90 minuta) za izradu plana mjerenja i dva takva termina za sama mjerenja, nakon čega se predaje radna verzija rada.

Rezultati provedbe s trećim razredom su vidljivi na slici 2. Od ukupno 82 učenika (3 razreda) samo jedan razred je uspješno odradio cjelokupni zadatak i predao završnu verziju rada. U ostala dva razreda većina učenika nikad nije predala ni radnu verziju rada tako da one nisu ni obrađene. Od učenika koji su predali završnu verziju vidi se da su kriteriji strukture rada, opis mjerenja i prikaz rezultata zadovoljili svi osim jednog učenika. Kao i ranije izražavanje pogreške, modeliranje pojave i izvođenje zaključaka pokazali su se zahtjevnijim.

S učenicima drugih razreda isproban je drugačiji koncept. Učenici su podijeljeni u parove i trebali su samostalno odabrati temu istraživanja, tako da nisu svi istraživali istu fizikalnu pojavu, ali sve su morale biti vezane za termodinamiku. Svaka tema je uz pojašnjenje nastavnika bolje definirana. Ovime sam htio provjeriti kako se učenici ponašaju ako biraju vlastitu temu istraživanja i da li se sa različitim temama može postići isti efekt. Ovi učenici su osim pisanog rada imali i usmeno izlaganje od 10 minuta u kojem su trebali izložiti dobivene rezultate. Zbog ovih razloga učenici su i pisane radove pisali u parovima. Kao i za treće razrede pretpostavljeno je da su učenici upoznati s osnovama mjerenja i računom pogreške, pa je i tempo rada bio isti.

Kod učenika drugih razreda je s obzirom na mogućnost izbora tema dodan još jedan kriterij u ocjenu, a to je "izrada mjernog postava". Neki od učenika su imali teme koje su zahtijevale izradu uređaja ili dijela mjernog postava što ih je činilo zahtjevnijim. Ovaj kriterij ima raspodjelu od 0, što znači da nije trebalo izraditi ništa, a 3 je označavalo da je izrađeni mjerni postav sa značajnom doradom u odnosu na originalne upute i izrada vlastite dokumentacije.

Rezultati provedbe s drugim razredima prikazani su na slici 3. Vidljivo je da razinu 2 ili 3 postiže većina učenika u elementima: struktura rada, opis mjerenja, prikaz rezultata, izražavanje pogrešaka i izvođenje zaključaka. Kriterij modeliranje pojave je najizazovniji i nitko od učenika nije postigao razinu 3, iako razinu 2 postiže većina.

RASPRAVA

S obzirom da su prikazani rezultati dobiveni kod različitih populacija i u različitim uvjetima izravna usporedba uspjeha učenika 1., 2. i 3. razreda nije moguća. No u sve tri populacije vidljivo je da učenici uspješnije ispunjavaju kriterije: struktura rada, opis mjerenja i prikaz rezultata, dok im značajnije probleme predstavlja izražavanje pogrešaka i modeliranje pojave. Ovo nije osobito čudno zato jer su vještine izražavanja pogrešaka i modeliranja zahtjevnije i potrebna je dodatni rad kako bi ih se usvojilo. Količina vremena koje sam utrošio na poučavanje tih vještina je bilo relativno malena. Kod učenika 2. i 3. razreda se jasno vidi da unatoč tome što su prije radili račun pogreške i izražavanja pogrešaka ta znanja nisu usvojena ili su zaboravljena. Naime ti učenici su račun pogreške učili u prvom razredu pa je moguće da su

učenici 2. razreda iz tog razloga bolji jer su učenici 3. razreda nekorištenjem tih znanja zaboravili kako se izražavaju pogreške. Matematičko modeliranje pojave prema rezultatima mjerenja je prema ovim rezultatima najteža vještina.

Iz ovih rezultata vidljivo je da su učenici sposobni samostalno osmisлити i provesti eksperiment, napisati izvještaj o njemu, jedino što uz predviđeno vrijeme za provođenje aktivnosti nije moguće postići više razine usvojenosti za zahtjevnije vještine. Iz pozicije satnice prirodoslovno-matematičke gimnazije to nije veliki problem obzirom da je količina sati dovoljna da bi se uz koncentrirani rad te vještine potencijalno mogle unaprijediti. S druge strane za opće gimnazije koje imaju 1 sat fizike manje dodatno ulaganje vremena bi bilo teško. Ukupno utrošeno vrijeme za ove aktivnosti bilo je 10 od ukupno 75 dostupnih sati nastave godišnje što je već samo po sebi izazvalo problem u izvršavanju cijelog programa koji je ionako opširan.

Iznimka su za sada bili učenici trećeg razreda V. gimnazije. Značajan broj učenika uopće nije napisao radnu verziju rada. Problem je nastao u organizaciji rada, mnogi učenici nisu ozbiljno shvatili koliko truda moraju uložiti u planiranje i izvedbu eksperimenta. Velik dio njih nije na vrijeme napravio mjerenja pa nije imalo smisla ni pisati rad. Potencijalni uzrok je način organiziranja nastave u školi. Fizika ima termin za vježbe u kojem se razred dijeli na dvije grupe, koje svaki drugi tjedan imaju laboratorijske vježbe. U tim okolnostima razmak između termina je velik i učenici često ne znaju organizirati svoje vrijeme za posao koji traje mjesec dana.

U rezultatima se vidi da je do sada u svakoj generaciji bio jedan učenik kojem je struktura rada ocijenjena s nulom, tj. specifično ti učenici su za sve kriterije dobili nulu. Radi se o radovima za koje je procijenjeno da su u velikom dijelu prepisani i zbog toga je učenik za predanu završnu verziju ocijenjen kao da nije predao rad. S obzirom da su učenici prvih i trećih razreda imali isti istraživački zadatak ovo je niska učestalost prepisivanja, tj. bilo je očekivano da će učenici više zlorabiti činjenicu da se radovi predaju u elektroničkom obliku i da svi rade sličnu analizu. Iz razgovora s učenicima zaključio sam da ovakav tip rada shvaćaju kao autentičan rad pa naprosto nemaju potrebu prepisivati od drugih učenika niti iz drugih izvora. Ovo je vjerojatno vezano iz uz tip zadataka koji se učenicima daje da istražuju. Ne smije se raditi o problemima koji su već očito riješeni jer učenici onda imaju dojam da ne mogu išta doprinijeti.

Kod provođenja ovakvih aktivnosti ne treba zanemariti ni vrijeme nastavnika. S obzirom da su svi radovi najprije pisani kao radna verzija, a zatim kao završna, količina vremena koju je potrebno odvojiti za čitanje i komentiranje ovih radova je značajna. Za čitanje i komentiranje jedne radne verzije istraživačke radnje treba oko 45 minuta, ovisno o tome koliko je učenik bio detaljan u pisanju.

Trenutno u školskoj godini 2016./17. s učenicima prvih i drugih razreda provodim niz laboratorijskih vježbi kojima je svrha uvježbavanje vještina dizajniranja eksperimenta, računa pogreške i modeliranja pojava [8]. Svi učenici su prošli kroz uvodni istraživački problem kroz koji ih se poučava o postavljanju hipoteza, dizajniranju eksperimenata i osnove matematičkog modeliranja. Prvi razredi su to radili na problemu modeliranja duljine bungee užeta, a drugi razredi na primjeru plinskih zakona. Osim toga učenici prolaze kroz više laboratorijskih vježbi u kojima moraju primjenjivati ta znanja, a u drugom polugodištu izvode samostalni istraživački rad kakav je opisan ranije. Zadaci su osmišljeni slično kao laboratorijske vježbe iz ISLE programa, ali s manje aktivnosti kako bi se mogle izvesti u jednom terminu vježbi. Namjera je usporediti novi način rada s rezultatima učenika iz prethodnih školskih godina kako bi se provjerilo hoće li više uloženog vremena rezultirati i boljim rezultatima. Iz tog razloga učenici prvih razreda će kao istraživački zadatak dobiti isti zadatak kao prije 2 godine. Za druge razrede sam odlučio maknuti biranje tema kako bi učenička istraživanja imala ujednačenu težinu. Svi učenici istražuju kako različiti faktori utječu na brzinu parnih brodića (tzv. pop-pop brod) tako što utječu na izgled broda ili njegov pogon.

ZAKLJUČAK

Uključivanjem učeničkog samostalnog istraživačkog rada u nastavu otvara se mogućnost da učenici nauče kako izgledaju procedure kojima se koriste znanstvenici prilikom istraživanja. Učenici doživljavaju fiziku kao skup znanja koje je naprosto skup činjenica koje se ne propituje, dok je osnova znanosti upravo propitivanje i testiranje ideja. Učenjem samih metoda znanstvenog ispitivanja učenicima se omogućava uvid u nastajanje fizikalnih koncepata.

Na osnovi iskustava predstavljenih u ovom radu razvidno je da učenici mogu osmisliti eksperiment, provesti ga i napisati izvještaj sa zaključkom. Radovi učenika 1., 2. i 3. razreda evaluirani su na osnovu kriterija prilagođenih iz ISLE (Scientific abilities kurikulum) iz čega proizlazi da učenici uglavnom mogu zadovoljiti kriterije pisanja prema strukturi istraživačkog rada, opisivanja mjerenja i prikazivanja rezultata, no da bez dodatno uloženog truda većina njih ne uspijeva usvojiti vještine izražavanja pogreški mjerenja i modeliranja ovisnosti iz rezultata. Ovakav način rada zahtjeva više vremena kojeg može biti u sklopu nastave u prirodoslovno-matematičkim gimnazijama, ali se teže provodi u općoj gimnaziji. S obzirom da je u prijedlogu novog predmetnog kurikulumu fizike stavljen naglasak na istraživačke vještine definiranjem ishoda učenja pitanje je u kojem vremenu bi se te vještine trebale usvojiti ako gradivo ostane sličnog opsega kao sada.

Ovi rezultati su ograničeni činjenicom da je promatranje vršeno na različitim populacijama pa izravne usporedbe nisu moguće, a u tijeku je provođenje prilagođenih laboratorijskih vježbi sa učenicima prvih i drugih razreda kojima je cilj pomoći učenicima s vještinama izražavanja pogreški mjerenja i formuliranja fizikalnih modela.

ZAHVALA

Zahvaljujem se Bojanu Markičeviću na potpori i konstruktivnim savjetima vezanima za izvođenje istraživačke nastave.

LITERATURA

1. Glasnik Ministarstva prosvjete i sporta, *Nastavni programi za gimnazije*, broj 1, Školske novine, Zagreb, 1994.
2. *Ispitni katalog za državnu maturu u školskoj godini 2016./2017.*, Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja, Zagreb, 2016.
3. Prijedlog nacionalnog kurikulumu nastavnog predmeta Fizika, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta, 2016.
4. Etkina E., Van Heuvelen A., *Investigative Science Learning Environment – A Science Process Approach to Learning Physics*, Research Based Reform of University Physics, E. F. Redish and P. Cooney, (Eds.), 2007.
5. Etkina, E., Van Heuvelen, A., White-Brahmia, S., Brookes, D.T., Gentile, M., Murthy, S. Rosengrant, D., i Warren, A., *Developing and assessing student scientific abilities*, Physical Review. Special Topics, Physics Education Research. 2, 2006.
6. Etkina E., Van Heuvelen A., Brookes D. T., Mills D., *Role of experiments in physics instruction – a process approach*, Physics Teacher, 40(6), 351-355., 2002.
7. Etkina E., Karelina A., Murthy S., Ruibal-Villasenor M., *Using action research to improve learning and formative assessment to conduct research*, Physical Review Special Topics - Physics Education Research 5, 2009.
8. Novosel I., *Stranica za podršku nastavi*, <https://sites.google.com/site/novoselnastava>, (15.3.2017.)