
Cijevni ksilofon za posebne odgojno – obrazovne skupine – primjer projektne nastave fizike

Mladen Vidović

Osnovna škola Luka, Sesvete

Sažetak. Za razliku od tradicionalne predavačke nastave, projektna nastava potiče učenike, kao aktivne sudionike, na samostalno pronalaženje, istraživanje i izvješćivanje o istom. Osnovna škola Luka ima dvije Posebne odgojno – obrazovne skupine (POOS) s čak 16 učenika i učenica s poteškoćama u svladavanju nastavnih sadržaja. U ovisnosti o vrstama poteškoća koje ti učenici imaju, neki od njih djelomično su integrirani u nastavu likovne, tjelesne i zdravstvene te glazbene kulture. Za one koji nisu integrirani u redovnu nastavu glazbene kulture predviđena je aktivnost u POOS-u koja predstavlja svojevrsnu glazbenu terapiju. Za glazbenu terapiju, škola bi trebala imati glazbala prilagođena za rad s djecom s posebnim potrebama. Takva glazbala su specifična i skupa, stoga smo učenici i ja na satu izvannastavne aktivnosti Mladi fizičari odlučili pokrenuti projekt Učenici učenicama i tako pomoći djeci iz POOS-a. Naš projekt za cilj je imao napraviti glazbalo. Mladi fizičari samostalno su prikupljali podatke o glazbalima i glazbenoj terapiji. Razmatrali su koje bi materijale mogli i znali upotrijebiti te koja bi glazbala mogli izraditi. Pretpostavljali su i provjeravali pretpostavke te izvodili zaključke. Znanja iz fizike o titranju, valovima zvuka, frekvenciji, otvorenim i zatvorenim sviralama, pomogla su im pri odabiru i izradi cijevnog ksilofona. Cilj ovog izlaganja je na konkretnom primjeru pokazati aspekte važne za učinkovitu projektnu nastavu fizike.

Ključne riječi: projektna nastava, izvannastavne aktivnosti, ksilofon, interdisciplinarnost

UVOD

Projektna nastave odmak je od tradicionalnog predavačkog oblika nastave i od učenika traži preuzimanje aktivnije uloge u svladavanju nastavnih sadržaja. Projektna nastava započinje kada, zajedno s učenicima, uočimo problem koji projektom nastojimo riješiti i odredimo okvire u kojima oni trebaju tražiti rješenje tog problema (ili alate kojima trebaju riješiti probleme). Učenici nastoje uz što manju pomoć učitelja prevladati problem i sami doći do odgovora.

Izvannastavna aktivnost „Mladi fizičari“ u Osnovnoj školi Luka organizirana je od 2011. godine i u nju se svake godine uključuju svi zainteresirani učenici 7. i 8. razreda, neovisno o ocjeni iz fizike. Svake godine učenici izabiru područja u kojima žele razvijati svoje znanje fizike. Do sada smo se bavili astronomijom, optikom, toplinskim pojavama, akustikom... Rezultat rada „Mladih fizičara“ svake je godine projekt koji se prezentira na „Danu otvorenih vrata“ naše škole.

Suvremena nastava, kroz projektnu nastavu, može postati usklađenija s potrebama života u 21. stoljeću, kao i s promjenama paradigmi učenja koje obilježavaju početak istog. Jednostavno rečeno, promijenio se način na koji današnji učenici usvajaju znanja, promijenila se uloga učitelja kao osnovnog izvora znanja i posebice se promijenio sadržaj ueničkog znanja potrebnog za život u tehničko - tehnološkom okruženju.

Projektna nastava u izvannastavnim aktivnostima

U redovnoj nastavi dio je nastavnih tema moguće provoditi kroz projektnu nastavu, a drugi (veći dio) je, što zbog materijalnih uvjeta u školama, što zbog kurikuluma, baziran na demonstracijskim pokusima i interaktivnoj nastavi.

Dob osnovnoškolskih učenika koji slušaju nastavu fizike (13 – 15 godina) i njihova različiti stupanj kognitivnog razvoja, važni su čimbenici koji utječu na učinkovitost svih oblika nastave, pa i onih koji zahtijevaju veću uključenost i samostalnost učenika, poput projektne nastave. Manji broj učenika u svakom razredu vrlo samostalan je i aktivan, dok su drugi, u većoj ili manjoj mjeri, potpuna suprotnost. Slabija uključenost pojedinih učenika ima utjecaja i na radnu atmosferu, jer su učenici koji ne sudjeluju aktivno u istraživanju često itekako aktivni u drugim aktivnostima (gube interes, pažnju, počinju pričati...). I tu je projektna nastava kvalitetno rješenje, jer se projekt može realizirati u parovima, skupinama ili s cijelim razredom. Bilo kako bilo, kao i sve metode i projektne je nastavu potrebno pomno planirati i pažljivo dozirati njenu primjenu.

Kako učenicima koji mogu naučiti više od ponuđenog u redovnoj nastavi omogućiti još brži napredak?

Zainteresiranije i nadarenije učenike često nastojimo privući dodatnom nastavom i izvannastavnim aktivnostima. Kao i kod redovne nastave, u izvannastavnim aktivnostima potrebno je kvalitetno planirati rad kako on ne bi bio pukom rješavanjem složenijih računskih zadataka ili obrada izbornih tema (što se često radi na dodatnoj nastavi).

Projektna nastava se organizirana oko projekta utemeljenog na problemskoj nastavi u kojoj učenici istražuju i uče sadržaj na individualiziran način (Thomas) [2]. Cindrić i sur. [5] projektne nastavu navode u okviru pojmovnog konstrukta nastavne strategije interaktivnog učenja i rada na projektu.

Projektna nastava je kvalitetno i opsežno planirana i osmišljena nastava kojoj je cilj doći do spoznaja istraživanjem određene situacije na temelju interaktivnog učenja. Matjević i Radovanović [6] govore o projektnoj nastavi kao o nastavi usmjerenoj na učenike. Prema V. Fabijanić [4], projektna nastava privikava učenike na interdisciplinarni rad, te usvajanje metoda znanstveno-istraživačkog rada. Potiče ih na razvoj istraživačkih, komunikacijskih, organizacijskih i kritičkih sposobnosti. Visković [3], smatra da je glavna metoda vrednovanja napretka i uspjeha učenika u projektnoj nastavi samovrednovanje.

Priprema projekata u izvannastavnoj aktivnosti

Priprema školskih projekata mora obavezno uključivati:

- Pronalaženje teme projekta / dio gradiva, izborni sadržaj, maturalni rad, istraživački projekt.../
- Određivanje zadaće ili cilja projekta
- Planiranje /podjela rada u grupi, izbor materijala i metoda rada, mjesto i vrijeme rada /
- Provedba projekta, izvođenje istraživanja/ provedba projekta prema planu uz stalno nastavnikovo paćenje učeničkih uradaka /
- Predstavljanje projekta / prikaz rezultata projekta i njegovo iznošenje u javnost
- Vrednovanje projekta / procjena ostvarenosti projekta, provedbe i predstavljanja projekta, teškoće, uspjesi...

Motivacija za projekt „Cijevni ksilofon“

Osnovna škola Luka ima dvije Posebne odgojno – obrazovne skupine (POOS) s čak 16 učenika i učenica s poteškoćama u savladavanju nastavnih sadržaja. U ovisnosti o vrstama poteškoća koje ti učenici imaju, neki od njih djelomično su integrirani u nastavu likovne, tjelesne i zdravstvene te glazbene kulture. Za one koji nisu integrirani u redovnu nastavu glazbene kulture predviđena je aktivnost u POOS-u koja predstavlja svojevrsnu glazbenu terapiju.

U našoj školi radi Neda Perdija Grbić, profesor glazbene kulture, koja u zaduženju ima i rad s djecom iz POOS-a. Kolegica je osposobljena za glazbenu terapiju i trenutno pohađa specijalizirani Studij za rehabilitaciju glazbom. Budući da je u dvjema skupinama POOS-a 16 učenika i učenica s dijagnozama (rješenjima) u rasponu od Downovog sindroma i lakšeg autizma do težih intelektualnih smetnji, rodila se ideja pokušati im pomoći.

Za glazbenu terapiju, škola bi trebala imati glazbala prilagođena za rad s djecom s posebnim potrebama. Takva glazbala su specifična i skupa, stoga smo učenici i ja na satu izvannastavne aktivnosti *Mladi fizičari* odlučili pokrenuti projekt *Učenici učenicima* i tako pomoći djeci iz POOS-a (slika 1.). Naš projekt za cilj je imao napraviti glazbalo.



SLIKA 1. Učenice i učenici iz POOS-a.

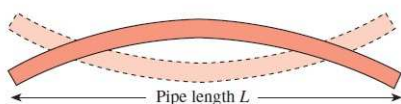


Figure 1. A bar or pipe vibrating transversely in its first mode.

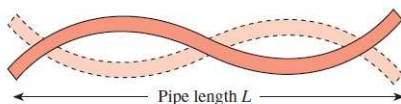


Figure 2. A bar or pipe vibrating transversely in its second mode.

SLIKA 2. Cijevi ili šipke u različitim modovima titranja. Slika prenesena iz [1].

tijekom ožujka 2017. godine učiniti svoje prve korake prema glazbi

Fizikalna osnova projekta „Cijevni ksilofon za učenike iz posebne odgojno – obrazovne skupine“

„Glazba je zvonka radost.“, netko je jednom rekao. Škola ispunjena glazbom je škola radosti. Često zaboravljamo kako je izrada instrumenata postupak koji je usko povezan s fizikom. Cijevni ksilofon je instrument iz skupine udaračkih instrumenata. Sličan je klasičnom ksilofonu, kod kojeg zvuk proizvode titrajuće metalne pločice. Umjesto metalnih pločica, koriste se metalne cijevi ili šipke.

Svako tijelo proizvede zvuk kada na njega kratkotrajno djelujemo silom. Frekvencija i karakter nastalog zvuka ovisi o mnogo faktora (gustoća, dimenzije tijela, homogenost ili nehomogenost građe...).

Kod cijevi koje proizvode zvuk titrajući ključna geometrijska značajka je duljina (L). Da bi cijev mogla proizvesti zvuk, njeni krajevi moraju biti slobodni. Cijev se pri nastanku zvuka mikroskopski izobličuje, tvoreći transverzalan stojni val. Kod ovakvog načina titranja ograničujuće je to što oba slobodna kraja cijevi tvore trbuhe. Najjednostavniji način na koji ovakva cijev može titrati je titranje s jednim trbuhom na svojoj sredini.

Eksperimentalno je moguće utvrditi da se čvorovi nalaze na 0,224 L i 0,776 L . [1] To su vrijednosti za prvi mod titranja, pri kojem nastaje zvuk frekvencije f_1 . Pri drugom modu titranja nastaje zvuk frekvencije f_2 koja je viša od prethodne, a duž cijevi postoje 4 trbuha (uključujući i one na krajevima). Pri drugom modu jedan se čvor nalazi u sredini cijevi dok su druga dva na 0,132 L i 0,868 L . Postoje i mnogi viši modovi titranja. Frekvencija n -tog transversalnog moda f_n može se izračunati prema formuli:

$$f_n = \frac{\pi v K}{8L^2} m^2 \quad (1)$$

u kojoj je v brzina zvuka u materijalu cijevi (u bakru je 3700 m/s), L je duljina cijevi, a $m = 3,0112$ za $n = 1$ i $m = 5$ za $n = 2$, $m = 7$ za $n = 3$...

Vrijednosti m pokazuju da, za razliku od modova titranja trznute žice ili žice zatitrane gudačkom ili stupaca zraka unutar puhačkih instrumenata, modovi transversalnog titranja šipki i cijevi nisu harmonički. Umjesto

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{5^2}{3,0112^2} = 2,76 \quad (2)$$

i

$$\frac{f_3}{f_1} = \frac{7^2}{3,0112^2} = 5,40. \quad (3)$$

K je radijus giracije koji se računa kao

$$K = \frac{1}{2} \sqrt{(r_u)^2 + (r_v \text{ vanjski radijus cijevi})^2} \quad (4)$$

za cijevi kružnog presjeka, ako je r_u označen unutarnji a r_v vanjski radijus cijevi..

Koristeći jednadžbu (1), moguće je izračunati potrebne duljine cijevi, kako bi one bile unutar odgovarajućeg frekvencijskog raspona čujnosti. Samo ako dobivene frekvencije odgovaraju frekvencijama stvarnih tonova, moguće je pomoću bakrenih cijevi konstruirati pravi instrument. Koriste li se npr. cijevi vanjskog promjera 16 mm i unutarnjeg promjera 14 mm, vrijednost konstante K iznosit će

$$K = \frac{1}{2} \sqrt{(7 \text{ mm})^2 + (8 \text{ mm})^2} = 5,32 \text{ mm} \quad (5)$$

Duljina cijevi koja će titrati frekvencijom od 523,25 Hz, što dogovara tonalitetu C_5 , trebala bi biti

$$L = \sqrt{\frac{\pi v L K m^2}{8 f_1}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 3700 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,00532 \text{ m} \cdot (3,0112)^2}{8 \cdot 523,25 \text{ Hz}}} = \sqrt{\frac{1136,24 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{4186 \text{ Hz}}} = 0,366 \text{ m} \quad (6)$$

Gornju jednadžbu moguće je dodatno pojednostavniti uvrštavanjem svih konstanti, pa i osnovnoškolski učenici lako mogu izračunati potrebnu duljinu cijevi pomoću jednadžbe:

$$L = \sqrt{\frac{170 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{f \text{ (Hz)}}} \quad (7)$$

Na taj su način učenici izračunali potrebne duljine cijevi, prema frekvencijama tonova koje su pronašli na internetu:

TABLICA 1. Frekvencije tonova ljestvice C5 i potrebne duljine bakrenih cijevi.

Ton	Frekvencija	Potrebna duljina cijevi
C ₅	523,25 Hz	0,366 m
D ₅	587,33 Hz	0,345 m
E ₅	659,26 Hz	0,326 m
F ₅	698,46 Hz	0,317 m
G ₅	783,99 Hz	0,299 m
A ₅	880,00 Hz	0,282 m
H ₅	987,77 Hz	0,266 m
C ₆	1046,55 Hz	0,259 m

**SLIKA 3.** Bakrene cijevi ksilofona najbolje je rezati dijamentnim rezačem za bakrene cijevi

Prema svojim izračunima, učenici su rezali bakrenu cijev ručnim dijamentnim rezačima (slika 3.). Takva metoda rezanja prilagođena je školskim uvjetima i fizičkim mogućnostima učenika. Drugi, iznimno važan aspekt je i minimalno zagrijavanje cijevi pri rezanju, što je omogućavalo trenutnu provjeru frekvencije, bez čekanja da se cijev ohladi. Početni pokušaji rezanja ručnom pilom za metal i brusilicom s reznom pločom pokazali su da su zbog zagijavanja pri rezanju bakrena cijev može produžiti nekoliko milimetara. Kada su učenici mjerili frekvenciju tona tople

cijevi tonaliteta je uvijek bio nešto dublji. U par su navrata učenici načinili cijevi koje su u toplom stanju bile dobre, a nakon hlađenja do sobne temperature postale su prekratke, tj. tonovi su znali biti viši od planiranih i do 30 Hz. Frekvencije titranja cijevi provjeravali su aplikacijama za ugađanje instrumenata koje rade na mobitelima i tabletima (slika 4.).

Po završetku izrade cijevi bilo je potrebno konstruirati i kućište instrumenta. Razmatrale su se mnoge konstrukcijske mogućnosti, no ipak je presudila krajnja svrha instrumenta. Kućište je uz pomoć gospodina Franje Jelića, voditelja Centra za tehničku kulturu Sesvete konstruirano od masivne jelovine, s tankim i rezonantnim dnom od šperploče. Ključan konstrukcijski element bile su letvice kroz koje cijevi prolaze. Razmak letvica morao je biti prilagođen duljinama cijevi, tako da svaka cijev bude oslonjena točno u čvorovima, tj. na 0,24 l i 0,776 l. Kako se udarac udarala po cijevi ne bi izravno prenosio na drveno kućište, cijevi su oblijepili samoljepljivom trakom za toplinsku izolaciju prozora. Udarala za ksilofon učenici su načinili od drvenih letvica za tiple i tokarenih (kupljenih) drvenih kuglica.

**SLIKA 4.** Aplikacija za ugađanje tonova instrumenata omogućila je dobivanje točnih tonova

ZAKLJUČAK

Izrada ksilofona od bakrenih cijevi učenicima je omogućila da spoznaju kako upraba fizikalnih jednadžbi može omogućiti ne samo opis transverzalnih titraja bakrenih cijevi već i praktičnu izradu instrumenta. Proizvod njihovog truda ujedinio je glazbu, fiziku i tehniku na

koherentan i jedinstven način. Sama primjenjivost ksilofona u nastavi glazbene kulture i u posebnim odgojno – obrazovnim skupinama govori u prilog trajnosti i smislenosti ovakvih projekata.

Projekti koje smo u školi realizirali tijekom proteklih godina (Planetarij u geodetskoj kupoli, Iglu od stiropora, Razbijanje čaša zvukom, Tubulum...) prezentirani su i roditeljima i učenicima nižih i viših razreda, što je pridonijelo popularizaciji fizike i osvješćivanju učenika da je fizika nešto što vrijedi dobro naučiti.

ZAHVALA

Projekt izrade cijevnog ksilofona ne bi bio moguć bez potpore Zagrebačke zajednice tehničke kulture, posebice Glavne tajnice Zagrebačke zajednice, gospođe Gracijele Gabriel Pukšec gospodina Franje Jelića, voditelja Centra za tehničku kulturu Sesvete.

LITERATURA

1. David R Lapp, *Building a copper pipe 'xylophone'*, Journal of physics education, 38 (4), July 2003. str. 316. – 319.).
2. John W. Thomas, *Project-Based Learning: Inspiring Middle School Students to Engage in Deep and Active Learning*, NYC Department of Education, Division of Teaching and Learning Office of Curriculum, Standards, and Academic Engagement, 52 Chambers Street New York, New York 10007, 2000.
3. Ines Visković, *Projektna nastava kao područje unaprjeđenja kvalitete škole*, Školski vjesnik, časopis za pedagoškijsku teoriju... Tematski broj, str.1 - 392, Zagreb 2016.
4. Vesna Fabijanić, *Projektna nastava: Primjena u izradi istraživačkih radova učenika*, Educatio biologiae, EdBi, 1:89-96., Zagreb 2014.
5. Cindrić, M., Miljković, D. i Strugar, V. *Didaktka i kurikulum*. Zagreb: IEP-D2, 2010.
6. Matjević, M. i Radovanović D. *Nastava usmjerena na učenika*. Školske novine, Zagreb 2010.
7. Meyer, H. *Didaktika razredne kvake*. Zagreb: Educa 2007.