

Merjenje temperature z ultrazvokom: eksperimentalno delo z Arduino ploščo

Mag. Daniel Doz

Državni znanstveni licej Franceta Prešerna s slovenskim učnim jezikom
Trst, Italija

Izvleček

Uporaba Arduinove plošče pri pouku fizike lahko pripomore k motiviranju učencev in predstavlja inovativen način eksperimentiranja v šolskem laboratoriju. V prispevku predstavimo možnost uporabe nizkocenovne mikrokontrolne plošče Arduino za merjenje temperature ozračja s pomočjo ultrazvoka. Hitrost širjenja zvočnih valov v zraku je namreč odvisna od različnih okolijskih faktorjev, kot so tlak, temperatura, koncentracija ogljikovega dioksida in vlaga. S pomočjo Arduinovih zvočnikov za ultrazvok lahko precej natančno izmerimo čas, ki ga zvok potrebuje, da premaga znano razdaljo. S pomočjo (aproksimirane) formule za računanje hitrosti zvoka v zraku je torej mogoče izračunati temperaturo ozračja.

Ključne besede: Arduinova plošča, temperatura, ultrazvok

Measuring Temperature with Ultrasounds: Experimental Work with an Arduino

Abstract

Using an Arduino during Physics lessons can help to motivate pupils and is an innovative way of conducting experiments in a school laboratory. The paper presents the possibility of using a low-cost Arduino microcontroller board for measuring air temperature using ultrasounds. The velocity of sound waves in the air depends on various environmental factors, e.g. pressure, temperature, carbon dioxide concentration, and humidity. Using Arduino ultrasonic speakers, we can quite accurately measure the time it takes for a sound to cover a known distance. Using the (approximated) formula for calculating the velocity of sound in the air, the air temperature can be calculated.

Keywords: Arduino, temperature, ultrasounds.

Uvod

Na italijanskih znanstvenih licejih in licejih uporabnih znanosti (tj. gimnazijah) se dijaki srečujejo z osnovami termodinamike že v prvih dveh letnikih [1–3], na preostalih licejskih smereh (npr. na jezikovnem, družbenoekonomskem, humanističnem, klasičnem in glasbenem liceju) pa dijaki spoznajo osnove termodinamike v tretjem, četrtem ali petem letniku [3]. V dokumentu [3] piše, da bi morali dijaki pri obravnavi toplotnih pojavov spoznati pojme temperature, termičnega ravnovesja in toplote. Poleg tega naj bi se srečali z modelom idealnega plina, plinskimi zakoni in termodinamičnimi transformacijami pa tudi z osnovami termodinamike, ki naj bi jim pomagala razumeti splošeni zakon ohranitve energije in njenih sprememb.

V dokumentu [1] piše tudi, da bi moral pouk fizike v prvih dveh letnikih znanstvenega liceja (gimnazije) sloneti na eksperimentalnem delu. Z eksperimentalnim delom naj bi dijaki poglobili teoretične vsebine, ki jih obravnavajo pri pouku, razumeli osnovne fizikalne pojave in jih znali opisati s primernim znanstvenim jezikom.

O pozitivnih vplivih eksperimentalnega dela na splošno razumevanje in na možnost višanja motivacije učencev pričajo mnoge raziskave (glej npr. [4] in [5]). Eksperimentalno delo je

O pozitivnih vplivih eksperimentalnega dela na splošno razumevanje in na možnost višanja motivacije učencev pričajo mnoge raziskave.

namreč ključno za razumevanje mnogih fizikalnih pojavov. Pomembno pa je poudariti tudi dejstvo, da eksperimentalno delo ne more nikakor nadomestiti učiteljeve razlage [4], je pa dobra metoda za doseganje zastavljenih učnih ciljev. Avtorja v [5] trdita, da lahko eksperimentalno delo pomaga učencem, da kritično razsodijo o najrazličnejših naravnih pojavih, ob tem pa si še sami postavljajo dodatna vprašanja o pojavih ter iščejo strategije in metode za rešitev različnih vsakdanjih problemov. Nekatere raziskave so med drugim pokazale, da lahko eksperimentalno delo iz fizike dodatno motivira učence pri učenju fizike [6].

V prispevku predstavimo alternativni način merjenja temperature v šolskih laboratorijih. Termometer je namreč osnovna naprava, ki naj bi jo imeli vsi znanstveni laboratoriji. Da bi učitelji popestrili pouk uvoda v termodinamiko, učencem večkrat pokažejo uporabo termometra in jih morda pozovejo, naj sami izmerijo temperaturo določene tekočine oziroma snovi. Uporaba klasičnega tekočinskega termometra je lahko koristna v začetni fazi pouka termodinamike, ko se učenci prvič srečajo s temperaturnimi skalami in pripomočki, ki jih uporabljamo pri merjenju temperature teles. Eksperimentalno delo, ki je osredotočeno izključno na raziskovanje uporabe termometra, kmalu postane precej trivialno in suhoparno, saj je večina učencev z uporabo tega pripomočka že seznanjena. Zato hočemo v prispevku predstaviti komplementarni in alternativni način merjenja sobne temperature, in sicer s pomočjo mikrokontrolne plošče Arduino. Pri tem pa ne uporabljamo klasičnega Arduinovega senzorja, kar so sicer raziskovali že mnogi avtorji (glej npr. [7–10]), temveč hočemo temperaturo ozračja izmeriti s pomočjo ultrazvoka [11]. Temperatura zraka namreč vpliva na hitrost, s katero se zvok širi v prostoru; z Arduinovo ploščo hočemo izmeriti hitrost zvoka v zraku v določenem trenutku, nato pa s pomočjo zakona o hitrosti zvoka v zraku izračunati temperaturo zraka v sobi.

Gradnja take naprave stane sorazmerno malo, pri tem pa imajo učenci možnost, da sami sestavijo »termometer«, se učijo programiranja v C/C++ in razumejo določene fizikalne pojave, ki so vezani na temperaturo. V prispevku pokažemo metodo takega eksperimentalnega dela s pomočjo Arduinove plošče in predstavimo morebitne didaktične implikacije uporabe te metode v šoli.

Poučevanje fizike z Arduinovo ploščo

Eksperimentalno delo je nujno potrebna didaktična metoda pri pouku fizike. Material in pripomočki, ki jih uporabimo pri pripravi eksperimenta, pa večkrat veliko stanejo in potrebujejo stalno oskrbo s strani specializiranega tehničnega osebja [12]. Zato so danes čedalje popularnejši t. i. nizkocenovni eksperimenti: gre za eksperimentalno delo, ki vsekakor pozitivno učinkuje na učenčevo razumevanje fizikalnih pojmov in naravnih pojavov, le da sloni na načelu samostojnega sestavljanja znanstvenih pripomočkov. Avtorji v [12] trdijo, da dejstvo, da morajo učenci sami sestaviti oziroma zgraditi pripomočke, ki jih bodo uporabljali pri eksperimentu, prinaša dodatne pozitivne učinke, med katerimi so omenjeni naslednji:

- boljše razumevanje teoretičnih konceptov;
- praksa s poskusi in učenje iz lastnih napak;
- analiza različnih materialov in delov, ki prinašajo boljše rezultate in so lažje uporabni;
- izboljšanje sodelovanja s strani učencev, ki so v središču didaktične situacije.

Dodatna pozitivna plat takega eksperimentalnega dela je, da so materiali cenejši [13]. Avtorje v [12] pa skrbi, da uporaba cenejših materialov, ki jih morajo nato učenci sami sestaviti, privede do manj natančnega merjenja, kar posledično vpliva na manj natančno analizo pridobljenih podatkov. Da bi se izognili večjim napakam, so znanstveniki v zadnjih letih razvili nekaj dodatnih pripomočkov, ki jih lahko uporabljamo v razredu, na primer fotocelice in mikrofone za neposredno merjenje s pomočjo računalnika, aplikacije in druge grafične programe ter elektronske mikrokontrolorje, na katere lahko priključimo več različnih senzorjev [12].

Avtorji v [12] trdijo, da so med najboljšimi tehnologijami, ki jih lahko uporabljamo pri pouku fizike, prav elektronski mikrokontrolerji. Pri tem pa dodajo, da je njihova pomanjkljivost dejstvo, da uporaba takih aparatov pri pouku predvideva precejšnje predhodno znanje elektronike in programiranja, ki ga učenci (in večkrat tudi učitelji) nimajo. Raziskovalci so zaključili, da lahko zahteva po predhodnem znanju programiranja in elektronike predstavlja veliko oviro, zaradi katere so takega eksperimentalnega dela deležni le nekateri.

Gradnja take naprave stane sorazmerno malo, pri tem pa imajo učenci možnost, da sami sestavijo »termometer«, se učijo programiranja v C/C++ in razumejo določene fizikalne pojave, ki so vezani na temperaturo.

Avtorji v [12] trdijo, da dejstvo, da morajo učenci sami sestaviti oziroma zgraditi pripomočke, ki jih bodo uporabljali pri eksperimentu, prinaša dodatne pozitivne učinke.

V delu [14] sta avtorja opazila, da uporaba Arduinove plošče pripomore k zvišanju učenčeve motivacije za učenje naravoslovnih in tehnoloških predmetov. Avtorja sta med drugim ugotovila, da so učenci bolje razumeli določene fizikalne količine (razdaljo, sile, temperaturo, tlak, pospešek ipd.) z manipulacijo različnih elektronskih senzorjev.

Učenci lahko z uporabo Arduinove plošče pri pouku fizike razvijejo različne kompetence tudi na drugih področjih [14, 15]:

- na področju tehnologije lahko učenci praktično uporabijo motorje, električne naprave in mehanske komponente;
- na področju elektronike lahko učenci razumejo principe delovanja različnih električnih pripomočkov, kot so uporniki, kondenzatorji, LED, tranzistorji in integrirana vezja;
- na področju informatike se lahko učenci naučijo programskega jezika C/C++, ki ga potem praktično uporabijo pri programiranju Arduinove plošče [16];
- na področju matematike se lahko učenci naučijo modelirati situacije iz vsakodnevnega življenja in analizirati različne pojave s formalnega zornega kota.

Arduinovo ploščo lahko torej uporabljamo v različnih projektih v zvezi z matematiko, naravoslovjem in tehnologijo [17]. V razredu lahko namreč z lahkoto sestavimo inštrumente, ki jih uporabimo v določenih eksperimentih [12]. Prednosti uporabe Arduinove plošče pri eksperimentalnem delu vključujejo majhno razsežnost mikrokontrolerja, nizko ceno in nizko porabo elektrike [18]. Odprtokodna programska oprema, povezana z Arduinovo ploščo, lahko pripomore k znižanju stroškov laboratorijskih pripomočkov [19, 20]. Avtorji v [19] so pokazali, da je Arduinova plošča lahko vsestransko uporabna v šolskih fizikalnih laboratorijih in da predstavlja nekakšno nadomestilo za konvencionalno laboratorijsko opremo.

Uporaba Arduinove plošče pri pouku fizike bi lahko pripomogla k temu, da bi bili učenci bolj motivirani za učenje novih fizikalnih konceptov ter da bi sami sodelovali pri sestavi laboratorijske opreme, ki je potrebna za uspešno izvedbo predstavljenega eksperimenta [19, 21]. Avtorji v [14] in [21] so ugotovili, da so bili učenci, ki so eksperimentalno delo opravljali s pomočjo Arduinove plošče, bolj ustvarjalni, sodelovalni in da so sami iskali inovativne poti za razvoj in dokončanje predstavljenega projekta. Avtorja v [14] sta še dodala, da so bile posledice uporabe Arduinove plošče pri pouku fizike vidne tudi pri delu v razredu; projekt, ki sta ga avtorja predlagala učencem, naj bi jim pomagal izboljšati šolski uspeh pri vseh naravoslovnih predmetih. Uporaba Arduinove plošče pri poučevanju fizike bi lahko potemtakem izboljšala kakovost in učinkovitost pouka fizike [14].

Prednosti uporabe Arduinove plošče pri eksperimentalnem delu vključujejo majhno razsežnost mikrokontrolerja, nizko ceno in nizko porabo elektrike.

Hitrost zvoka v zraku

Hitrost zvoka v zraku ni konstanta, temveč je odvisna od različnih faktorjev [22], kot so vlaga [23], temperatura, tlak in koncentracija CO₂ [24]. Hitrost zvoka v zraku z 0 % vlago lahko računamo s formulo:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}},$$

kjer je P tlak okolja, ρ gostota plina, skozi katerega potuje zvok, γ pa razmerje med specifično toploto plina pri konstantnem tlaku in specifično toploto pri konstantnem volumnu. Konstanta γ je odvisna, med drugim, od kompleksnosti molekule: za enoatomske molekule upoštevamo $\gamma=1,67$, za dvoatomske $\gamma=1,40$, za troatomske pa $\gamma=1,33$ [22]. Ker je zrak sestavljen večinoma iz dvoatomskih molekul, računamo:

$$v = \sqrt{\frac{1,40P}{\rho}}.$$

Če aproksimiramo zrak kot idealni plin, lahko iz plinske enačbe $PV = nRT$ in iz definicije gostote $\rho = \frac{m}{V}$ dobimo naslednjo formulo za hitrost zvoka v zraku:

$$v = \sqrt{\frac{1,40RT}{M}},$$

kjer je R univerzalna plinska konstanta, T absolutna temperatura in M molska masa zraka na nadmorski višini 0 metrov. Enačba, ki smo jo tako dobili, kaže, da je hitrost zvoka odvisna od temperature zraka. Definirajmo $R^* = \frac{R}{M}$, iz česar dobimo:

$$v = \sqrt{1,40R^*T}.$$

Če upoštevamo temperaturo v stopinjah Celzija in je T^* mersko število za to temperaturo, potem zapišemo absolutno temperaturo $T = (T^* + 273,15)$ K. Iz tega sledi, da lahko hitrost zvoka v zraku napišemo tudi kot $v = \sqrt{1,40R^*(T^* + 273,15)\text{K}}$, oziroma:

$$v = \sqrt{1,40R^* \cdot 273,15 \text{ K}} \cdot \sqrt{1 + \frac{T^*}{273,15}}.$$

Če upoštevamo vrednosti $R = 8,31451 \text{ J/(mol K)}$ in $M = 0,02896 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$, računamo:

$$v = 331,3 \cdot \sqrt{1 + \frac{T^*}{273,15} \frac{\text{m}}{\text{s}}}.$$

Razvijemo lahko koren $\sqrt{1 + \frac{T^*}{273,15}}$ s pomočjo Taylorjevega polinoma v T^* in dobimo:

$$v = 331,3 \cdot \left(1 + \frac{T^*}{2 \cdot 273,15}\right) \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

oziroma:

$$v = (331,3 + 0,606 \cdot T^*) \text{ m/s}.$$

Pri temperaturi 0°C je torej hitrost zvoka v zraku (z 0 % vlago) enaka 331,3 m/s.

Hitrost zvoka so eksperimentalno dobili v primeru zraka s temperaturo 273,15 K, pri standardnem atmosferskem tlaku 1 atm, in je ta enaka [22]:

$$v = (331,45 \pm 0,05) \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Opazimo lahko, da je hitrost zvoka neodvisna od frekvence; to pomeni, da visokofrekvenčni zvok potuje z enako hitrostjo kot zvok z nižjimi frekvencami [25].

Temperaturo lahko potemtakem neposredno merimo s pomočjo hitrosti zvoka v zraku. Temperaturo lahko dobimo iz enačbe $v = (331,3 + 0,606 \cdot T^*) \text{ m/s}$, in sicer tako, da jo obrnemo:

$$T^* = \frac{v - 331,3 \text{ m/s}}{0,606 \text{ m/s}}.$$

T^* je mersko število temperature zraka izražene v stopinjah Celzija.

Merjenje temperature z Arduinovo ploščo

V prejšnjem razdelku smo predstavili teoretični način merjenja sobne temperature s pomočjo hitrosti zvoka v zraku. Sprašujemo pa se, kako je mogoče meriti to hitrost. V delu [26] iz leta 2002 so avtorji predstavili nov način merjenja hitrosti zvoka v zraku s pomočjo ultrazvoka. S pomočjo oddajnika in sprejemnika ultrazvoka so merili čas, ki ga ultrazvok z znano frekvenco potrebuje, da pride od oddajnika do sprejemnika. Tako so lahko računali hitrost zvoka v zraku in, posledično, temperaturo zraka. Članek [26] je mnoge druge raziskovalce spodbudil, da so delno spremenili eksperiment, ga izboljšali in implementirali (glej tudi [27–30]).

Eksperimentov, ki so jih opisali avtorji v raziskavah [26–30], pa ne moremo izvesti v šolah. Šola namreč ni znanstvena ustanova, ki bi razpolagala z veliko količino javnih in zasebnih

V delu [26] iz leta 2002 so avtorji predstavili nov način merjenja hitrosti zvoka v zraku s pomočjo ultrazvoka.

finančnih sredstev, zato je v šolskem laboratoriju ali v razredu nemogoče izvesti zelo natančne eksperimente z dragimi laboratorijskimi pripomočki.

Če pa bi hoteli izvesti podobne eksperimente tudi v šolskih prostorih, lahko uporabimo Arduino ploščo. Plošča, električno vezje in druge osnovne Arduinove komponente namreč stanejo sorazmerno malo (cena je seveda odvisna od modela Arduinove plošče, ki jo hočemo kupiti, in od različnih komponent, ki si jih hočemo priskrbeti).

Zaradi sorazmerno nizke cene je uporaba Arduinove plošče za merjenje temperature zraka s pomočjo ultrazvoka v šolskem prostoru primerna.

Priprava eksperimenta je sestavljena iz dveh faz, ki sta med sabo zelo povezani:

- prva faza je nekoliko bolj »programerske« narave: v njej bi morali učenci sestaviti osnutek programa, ki bi ga potem naložili na Arduinovo ploščo. Učenci naj najprej sestavijo diagram poteka algoritma, ki ga bodo napisali v C/C++, nato naj svoje ideje preoblikujejo v program, ki ga bo Arduinova plošča prepoznala;
- druga faza, ki je v resnici komplementarna prvi in ki se s prvo fazo močno prepleta, je bolj »elektronske« narave. Med pisanjem programa v C/C++, ki ga sestavijo za Arduinovo ploščo, morajo učenci že vzeti v poštev elektronsko strukturo eksperimenta: katere žice so povezane s *pinom* (tj. vhodno-izhodno enoto) 5 voltov, kako sestaviti električno in elektronsko vezje, kako povezati zvočnike na ploščo ipd.

Obe fazi sta precej zapleteni, saj se lahko med pripravo elektronskega vezja in algoritma pojavijo številne napake. Na primer med sestavljanjem elektronskega vezja lahko učenci »zamešajo« žice in napačno povežejo vhode in izhode. V takem primeru, seveda, naprava ne deluje. Podobno se lahko pojavljajo napake v kodiranju: učenci večkrat pozabijo na podpičja, oklepaje in druge simbole, ki so del skladnje programskega jezika C/C++.

Preden se lotimo kodiranja in programiranja Arduinove plošče, moramo nastaviti idejo delovanja sistema. Temperaturo bomo merili s pomočjo formule $T^* = \frac{v-331,3}{0,606}$; najprej pa moramo izmeriti hitrost zvoka v zraku. Za to bomo uporabljali ultrazvok. Naj bo *A* zvočnik oddajnik in *B* zvočnik prejemnik. Razdalja med njima naj bo *x*. Iz zvočnika *A* sprožimo zvočni impulz v določenem času *t* in ga zaznamo z zvočnikom *B* v času *t* + Δ*t*. Ker se zvok širi v zraku približno enakomerno, lahko izračunamo povprečno hitrost zvoka s formulo:

$$\bar{v} = \frac{x}{\Delta t}.$$

V eksperimentu, ki ga bomo izvedli, moramo določiti razdaljo med zvočnikoma *x*, čas Δ*t* pa bomo izmerili s pomočjo Arduinove plošče. Znani podatek *x* bomo nato delili z izmerjenim časom Δ*t* s pomočjo Arduinove plošče in izračunali hitrost zvoka (in posledično temperaturo). V nastavitvi eksperimenta moramo torej poskrbeti, da sta zvočnika oddaljena natanko za *x*.

Pri eksperimentu bomo potrebovali naslednje pripomočke:

- Arduinova plošča (katera koli verzija; v našem eksperimentu bomo uporabili Arduino Uno);
- testna ploščica;
- nekaj žic;
- senzor za ultrazvok *HC-SR04 Ultrasonic Sensor*;



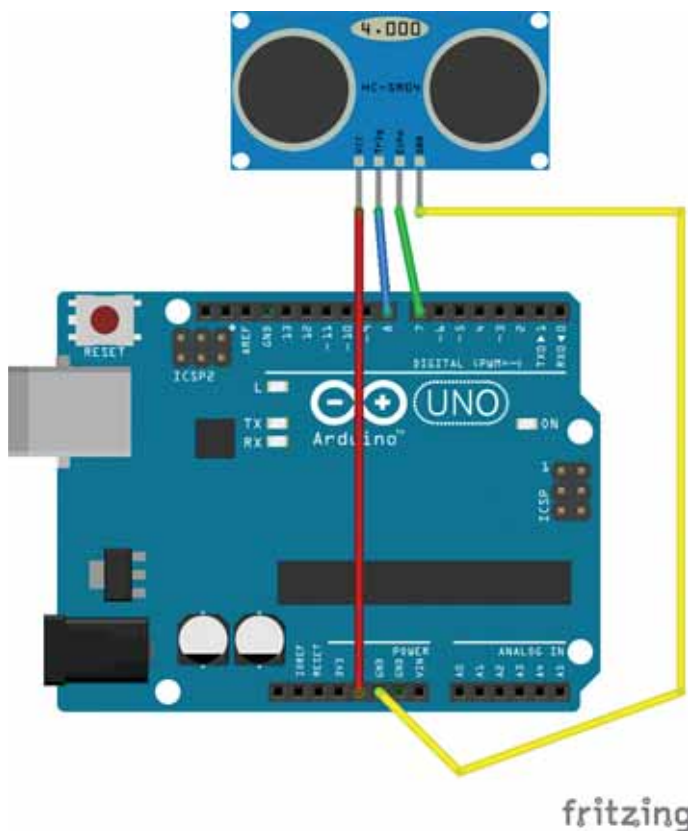
Slika 1: HC-SR04 Ultrasonic Sensor (vir: makerlab-electronics.com).

Zaradi sorazmerno nizke cene je uporaba Arduinove plošče za merjenje temperature zraka s pomočjo ultrazvoka v šolskem prostoru primerna.

- plastične slamice ali lesena palica;
- pištola za vroče lepljenje in lepilo;
- kositer in spajkalnik;
- ravnilo ali meter.

Postopek priprave eksperimenta:

- s pištolo za vroče lepljenje zaporedno pritrdimo dve slamici. Plastične slamice so le način, da zberemo dolge žice in jim preprečimo zatikanje med eksperimentiranjem;
- skozi odprtini slamic potegnemo dve dolgi žici (če nimamo dovolj dolgih žic, lahko spajkamo skupaj več žic);
- s pomočjo spajkalnika ločimo desni zvočnik senzorja HC-SR04 Ultrasonic Sensor;
- s spajkalnikom spajkamo žici na odprta konca prostega zvočnika;
- drugi konec žic spajkamo z odprtima koncema na plošči senzorja HC-SR04 Ultrasonic Sensor;
- zvočnik nato pritrdimo na plastično slamico s pomočjo pištole za vroče lepljenje. Zvočnik naj bo usmerjen proti drugemu koncu slamice;
- na drugem koncu plastične palice s pištolo za vroče lepljenje zalepimo drugi zvočnik tako, da gleda vzporedno proti že pritrjenemu zvočniku;
- z ravnilom ali metrom izmerimo razdaljo (v mikrometrih) med zvočnikoma. Podatek imenujmo **razdalja**;
- zobe plošče senzorja HC-SR04 Ultrasonic Sensorja vstavimo v testno ploščico;
- pin **GND** na senzorju povežemo s pinom **GND** na Arduinovi plošči;
- pin **Echo** na senzorju povežemo s pinom **7** na Arduinovi plošči;
- pin **Trig** na senzorju povežemo s pinom **8** na Arduinovi plošči;
- pin **VCC** na senzorju povežemo s pinom **5V** na Arduinovi plošči;
- Arduino ploščo povežemo z USB-jem na računalnik;
- sprožimo kodo na IDE-ju Arduinove plošče (uporabili smo verzijo 1.8.9).



Slika 2: Shema vezja (sliko smo ustvarili s prosto dostopnim programom fritzing).

Med pripravljanjem eksperimenta se lahko posvetimo tudi pisanju kode, ki jo bomo naložili na Arduinovo ploščo. Kodo pišemo v enem izmed programov, ki nam omogočajo nalaganje ukazov na ploščo. Uporabljali smo uradno programsko opremo »Arduino IDE« (verzija 1.8.9), ki je prosto dostopna na spletni strani [31]. Koda za Arduinovo ploščo je naslednja:

```
#define echo 7
#define trigger 8
double cas, temperatura, hitrostzvoka, razdalja;

void setup(){
  pinMode(trigger, OUTPUT);
  pinMode(echo, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  digitalWrite(trigger, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigger, LOW);

  razdalja=350000;
  cas=pulseIn(echo, HIGH);
  hitrostzvoka=razdalja/cas;
  temperatura=(hitrostzvoka-331.3)/0.606;
  Serial.println(temperatura);
  delay(500);
}
```

Pri pisanju programa moramo posebej paziti, da se pini, ki jih uporabljamo v kodi, skladajo z elektronskimi vezavami, ki smo jih naredili.

Preden sprožimo program, najprej pregledamo, ali so v kodi morebitne napake in ali smo za izhodno enoto izbrali tisto USB-enoto, ki je povezana z Arduinovo ploščo, nakar nanjo naložimo program. Izmerjene temperature lahko dobimo v terminalu »Serial monitor«, do katerega lahko dostopamo tudi z bližnjico »Ctrl+Shift+M«. Podatki se posodobijo vsake pol sekunde oziroma 500 milisekund (`delay(500)`).

Oglejmo si, kako deluje napisana koda.

- Najprej definirajmo dve spremenljivki, in sicer `echo` (odboj) bo spremenljivka v pinu 7, `trigger` (sprožilec) pa v pinu 8:
`#define echo 7`
`#define trigger 8`
- Nato definiramo vse spremenljivke, ki jih bomo uporabljali v programu. Za nas so to čas

Pri pisanju programa moramo posebej paziti, da se pini, ki jih uporabljamo v kodi, skladajo z elektronskimi vezavami, ki smo jih naredili.

(cas), temperatura (temperatura), hitrost zvoka (hitrostzvoka) in razdalja med zvočnikoma (razdalja). Vse te spremenljivke so tipa `double`, tj. števila z decimalno vejico in 15–16 zanesljivimi mesti (8 bajtov):

```
double cas, temperatura, hitrostzvoka, razdalja;
```

- Nato opišemo vse potrebne informacije, ki zadevajo vhodno-izhodne enote (`pinMode`). Sprožilec (`trigger`) je izhodna enota, medtem ko je `echo` vhodna enota. Poleg tega naročimo Arduinovi plošči, naj sporoča prek »Serial monitorja«, in sicer s hitrostjo 9600 bitov na sekundo (`Serial.begin(9600)`):

```
void setup(){
  pinMode(trigger, OUTPUT);
  pinMode(echo, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}
```

- Nato moramo opisati operacije, ki jih mora plošča izvesti, dokler ne izklopimo Arduinove plošče. Sprožilec (`trigger`) je na začetku ugasnjen (`digitalWrite(trigger, LOW)`), in sicer za 2 mikrosekundi (`delayMicroseconds(2)`), nakar se prižge (`digitalWrite(trigger, HIGH)`) za 10 mikrosekund (`delayMicroseconds(10)`), nato pa se ponovno ugasne (`digitalWrite(trigger, LOW)`):

```
void loop(){
  digitalWrite(trigger, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigger, LOW);
}
```

Ta operacija je potrebna, da se sproži ultrazvok iz zvočnika sprožilca.

- V program nato vključimo izmerjeno razdaljo v mikrometrih. Denimo, da je razdalja med zvočnikoma natanko 35 cm:

```
razdalja=350000;
```

- Arduinovi plošči ukažemo, naj izmeri čas, ki ga sproženi zvočni impulz potrebuje, da doseže drugi zvočnik `echo`:

```
cas=pulseIn(echo, HIGH);
```

- Arduinova plošča mora nato izračunati hitrost zvoka kot razmerje med prepotovano razdaljo in časom, ki ga je zvočni val potreboval, da je dosegel drugi zvočnik:

```
hitrostzvoka=razdalja/cas;
```

- Arduinova plošča mora nato izračunati temperaturo okolja s formulo, ki smo jo predstavili prej, in prikazati ta podatek na terminalu »Serial monitor«, nato počaka pol sekunde, da ponovi postopek (podatek lahko poljubno spremenimo tako, da Arduinova plošča izmeri temperaturo vsako sekundo, vsaki dve sekundi ali pa vsako minuto):

```
temperatura=(hitrostzvoka-331.3)/0.606;
Serial.println(temperatura);
delay(500);
}
```

Eksperiment lahko dodatno izboljšamo s tem, da se izognemo uporabi »Serial monitor« in prikažemo izmerjene temperature kar na Arduinovem LCD-ekranu (ki ga je treba kupiti posebej in povezati na Arduinovo ploščo), vendar smo se hoteli v začetni fazi eksperimentiranja z Arduinovo ploščo izogibati uporabi zapletenih elektronskih vezij, saj so naši dijaki precej neizkušeni na področju programiranja in nimajo zadostnega predznanja iz elektronike.

Didaktični komentar in zaključki

Eksperimentalno delo je pri pouku fizike ključnega pomena, da lahko učenec bolje razume določene naravne pojave in fizikalne pojme. Italijansko ministrstvo za izobraževanje spod-

Eksperimentalno delo je pri pouku fizike ključnega pomena, da lahko učenec bolje razume določene naravne pojave in fizikalne pojme. Italijansko ministrstvo za izobraževanje spodbuja profesorje in učitelje k uporabi eksperimentalnega dela pri pouku fizike, da bi učencem predstavili znanstveno metodo in v njih razvili kritičnost.

buja profesorje in učitelje k uporabi eksperimentalnega dela pri pouku fizike, da bi učencem predstavili znanstveno metodo in v njih razvili kritičnost [1–3]. Pomembno je namreč, da se učenci naučijo pravilnega podajanja znanja, ki ga usvojijo pri laboratorijskem delu, in kritičnega razmišljanja (Ali se dobljeni rezultati skladajo s predpostavkami? Ali smo eksperiment opravili dovolj natančno? Zakaj so naši rezultati različni od teoretičnih?).

Mnoge raziskave so pokazale, da eksperimentalno delo pripomore k dodatnemu povečanju učenčeve motivacije za učenje in k njegovemu razumevanju fizike [4–6]. Zato bi bilo koristno, da bi učitelji fizike v Italiji (in v svetu nasploh) dejansko uporabljali eksperimentalno delo pri podajanju različnih fizikalnih konceptov. V Italiji pa je eksperimentalno delo večkrat odsotno, zato je pouk fizike pogosto le teoretične narave. Razlogov, zakaj se učenci večkrat ne srečujejo z eksperimentalnim delom, je več; med njimi naj omenimo vsaj naslednje:

- odsotnost primerno opremljenih učilnic, v katerih bi bilo mogoče izvajati eksperimentalno delo (pomanjkanje laboratorijev) [32];
- odsotnost primerno pripravljenega pomožnega tehničnega osebja, ki bi lahko upravljalo šolski laboratorij in skrbelo za pravilno uporabo ter vzdrževanje laboratorijskih pripomočkov [33];
- previsoka cena za nakup novih fizikalnih pripomočkov in vzdrževanja inštrumentov [34].

Arduinovo ploščo lahko učitelji uporabijo v katerikoli učilnici, ki je opremljena z računalnikom, obenem pa je cena te plošče precej dostopna. Ploščo lahko upravlja tudi učitelj fizike brez pomoči pomožnega tehničnega osebja (laboratorijskega tehnika), zato uporaba Arduinove plošče v mnogih italijanskih gimnazijah in višjih tehničnih zavodih pomeni rešitev kočljivega problema odsotnosti eksperimentalnega dela pri pouku fizike.

Nekatere raziskave so pokazale, da uporaba Arduinove plošče v razredu pripomore k povečanju motivacije učencev za učenje fizike in jim pomaga bolje razumeti določene vsebine; rezultati uporabe te plošče pri pouku pa imajo dolgoročne posledice tudi pri teoretičnem pouku [14, 15].

Pozitivne plati uporabe Arduinove plošče lahko potemtakem obnovimo v naslednjih točkah:

- z didaktičnega vidika uporaba tega mikrokontrolerja pripomore k višanju motivacije učencev in jim pomaga razumeti obdelane vsebine. Učenci lahko razvijejo kompetence na različnih drugih področjih, na primer računalniško-programerske sposobnosti, sposobnosti sestavljanja električnega in elektronskega vezja, mehanske sposobnosti idr.;
- z ekonomskega vidika pa uporaba Arduinove plošče pomeni zmanjšanje stroškov za upravljanje in oskrbo laboratorijskih pripomočkov ter učitelju zagotavlja določeno stopnjo avtonomije, saj lahko eksperimentalno delo opravlja brez pomoči pomožnega tehničnega osebja.

Čeprav so mnoge raziskave pokazale, da uporaba Arduinove plošče v razredu pripomore k višanju motivacije učencev za učenje fizike in ima dolgotrajne pozitivne posledice na učenčevo vsesplošno razumevanje različnih fizikalnih pojmov, so z uporabo Arduinove plošče v razredu povezane nekatere težave:

- treba je poznati programski jezik C/C++ in kodiranje v Arduinovi plošči razumljivem jeziku, kar pa ni povsem enostavno. Mnogi učitelji fizike namreč nimajo zadostnega predznanja na področju programiranja in elektronike, da bi znali sami programirati Arduinovo ploščo oziroma pravilno sestaviti elektronsko vezje. Na spletu lahko dobimo več brezplačnih priročnikov o programiranju Arduinove plošče, vendar učenje takega programiranja zahteva več tednov; obstajajo pa tudi načini, da se učitelji učijo programiranja Arduinove plošče s pomočjo posebnih programov [35]. Učitelj bi moral biti potemtakem seznanjen z osnovami programiranja Arduinove plošče in s sestavljanjem vezij. Učitelj bi moral posledično tudi poznati vse komponente, ki jih potrebuje pri sestavi eksperimenta, da bi jih lahko smiselno predstavil v razredu;
- učenci večkrat nimajo nobenega predznanja iz računalništva, programiranja ali elektronike. Učitelj bi moral torej učencem najprej obrazložiti, kako je mogoče programirati v jeziku, ki ga Arduinova plošča sprejme, nato bi jim moral pokazati nekaj osnovnih primerov sestavljanja elektronskega vezja, ki vključuje LED-svetilke, žice, upornike, zvočnike ipd. Brez ustreznega predznanja bi se bilo torej nemogoče lotiti uporabe Arduinove plošče v razredu, saj bi zgolj prepisovanje algoritma (ne da bi ga pri tem učenci razumeli) in posnemanje učiteljeve sestave vezja predstavljali sterilni dejanji brez pedagoškega rezultata;

Nekatere raziskave so pokazale, da uporaba Arduinove plošče v razredu pripomore k povečanju motivacije učencev za učenje fizike in jim pomaga bolje razumeti določene vsebine; rezultati uporabe te plošče pri pouku pa imajo dolgoročne posledice tudi pri teoretičnem pouku [14, 15].

Čeprav so mnoge raziskave pokazale, da uporaba Arduinove plošče v razredu pripomore k višanju motivacije učencev za učenje fizike in ima dolgotrajne pozitivne posledice na učenčevo vsesplošno razumevanje različnih fizikalnih pojmov, so z uporabo Arduinove plošče v razredu povezane nekatere težave.

- čeprav je Arduinova plošča cenejša od nekaterih laboratorijskih pripomočkov, cena mikrokontrolerja in dodatnih členov vsekakor ni zanemarljiva. Nekatere šole si torej ne morejo privoščiti nakupa plošče in dodatkov, čeprav stanejo manj od običajnega laboratorijskega pribora;
- rezultati, ki jih pridobimo s pomočjo Arduinove plošče, so vsekakor podvrženi različnim napakam. Poleg človeških napak pri sestavljanju vezja (npr. uporaba prevelikih ali premajhnih upornikov, napačno izmerjena razdalja med zvočniki) in kodiranju (sintaktične in semantične napake v kodi) so prisotne tudi številne sistemske napake. Arduinova plošča je sestavljena iz različnih elektronskih komponent, ki so lahko okvarjene. Okvare v vezju, ki sestavlja ploščo, lahko vplivajo na nepravilno računanje in prenašanje podatkov. Poznavanje napak, ki jih lahko storimo pri uporabi Arduinove plošče, je ključnega pomena pri končni analizi podatkov in pri njihovi kritični obravnavi. Poleg teh napak pa so prisotne tudi napake v modeliranju: v modelu, ki smo ga uporabili v tem delu, smo zanemarili vlogo, ki je vsekakor prisotna v ozračju, ali pa koncentracijo ogljikovega dioksida in tlak, ki vplivata na hitrost širjenja zvoka v zraku. Rezultati, ki jih torej dobimo z Arduinovo ploščo, se lahko bistveno razlikujejo od resnične temperature.

Po eni strani je torej uporaba Arduinove plošče za merjenje temperature s pomočjo ultrazvoka priporočljiva; po drugi strani pa obstajajo različne težave, ki jih je treba upoštevati, če hoče učitelj tak mikrokontroler uporabiti v razredu. Po didaktični plati pa uporaba Arduinove plošče ponuja možnost izboljšanja kakovosti in učinkovitosti pouka fizike [14].

Poznavanje napak, ki jih lahko storimo pri uporabi Arduinove plošče, je ključnega pomena pri končni analizi podatkov in pri njihovi kritični obravnavi.

Po eni strani je torej uporaba Arduinove plošče za merjenje temperature s pomočjo ultrazvoka priporočljiva; po drugi strani pa obstajajo različne težave, ki jih je treba upoštevati, če hoče učitelj tak mikrokontroler uporabiti v razredu.

Uporabljeni viri

- [1] https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaArticolo?art.progressivo=1&art.idArticolo=1&art.versione=1&art.codiceRedazionale=010G0232&art.dataPubblicazioneGazzetta=2010-12-14&art.idGruppo=0&art.idSottoArticolo1=10&art.idSottoArticolo=1&art.flagTipoArticolo=6#art (25. 4. 2019)
- [2] http://www.indire.it/lucabas/lkmw_file/licei2010/indicazioni_nuovo_impaginato/_Liceo%20scientifico.pdf (25. 4. 2019)
- [3] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2010/12/14/291/so/275/sg/pdf> (25. 4. 2019)
- [4] A. Hofstein, V. N. Lunetta, *The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research*, Review of educational research **52**, 2, (1982), 201–217.
- [5] R. Trumper, *The physics laboratory—a historical overview and future perspectives*, Science & Education **12**, 7, (2003), 645–670.
- [6] A. Hofstein, V. N. Lunetta, *The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century*, Science education **88**, 1, (2004), 28–54.
- [7] A. Adriansyah in A. W. Dani, *Design of small smart home system based on Arduino V: Electrical Power, Electronics, Communications, Control and Informatics Seminar (EECCIS)*, IEEE, (2014), 121–125.
- [8] K. Krishnamurthi, S. Thapa, L. Kothari, in A. Prakash, *Arduino based weather monitoring system*. International Journal of Engineering Research and General Science, **3**, 2, (2015), 452–458.
- [9] M. A. Miah, M. H. Kabir, M. S. R. Tanveer in M. A. H. Akhand, *Continuous heart rate and body temperature monitoring system using Arduino UNO and Android device*, V: 2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technologies (EICT), IEEE, (2015), 183–188.
- [10] D. Călinoiu, R. Ionel, M. Lascu in A. Cioabă, *Arduino and LabVIEW in educational remote monitoring applications*. V: IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings, IEEE, (2014), 1–5.
- [11] <https://create.arduino.cc/projecthub/berkeralpz/make-it-possible-with-physics-ultrasonic-thermometer-712871> (20. 6. 2019)
- [12] L. H. M. de Castro, B. L. Lago, F. Mondaini, *Damped harmonic oscillator with Arduino*, Journal of Applied Mathematics and Physics, **3**, 6, (2015), 631–636.
- [13] D. K. Fisher, P. J. Gould, *Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research*, Modern instrumentation, **1**, 2, (2012), 8–20.
- [14] M. Oprea, C. Miron, *Applied Physics Project Using the Arduino Platform*, The 8th International Conference on Virtual Learning ICVL, (2013), 204–210.

- [15] C. Galeriu, S. Edwards, G. Esper, *An Arduino investigation of simple harmonic motion*, The Physics Teacher, **52**, 3, (2014), 157–159.
- [16] M. A. Rubio, C. M. Hierro, A. P. D. M. Pablo, *Using arduino to enhance computer programming courses in science and engineering*. V: Proceedings of EDULEARN13 conference, IATED Barcelona (Španija), (2014), 1-3.
- [17] C. Galeriu, *An Arduino-controlled photogate*, The Physics Teacher, **51**, 3, (2013), 156–158.
- [18] V. M. Cvjetković, U. Stanković, *Arduino based physics and engineering remote laboratory*. V: International Conference on Interactive Collaborative Learning, Springer, Cham, (2016), 560–574.
- [19] J. C. Álvarez, J. Lamas, A. J. López, A. Ramil, A, *An Arduino controlled chaotic pendulum for a remote physics laboratory*. Proceedings of Conference INTED, (2013), 6062.
- [20] A. D'Ausilio, *Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment*, Behavior research methods, **44**, 2, (2012), 305-313.
- [21] F. Bouquet, J. Bobroff, M. Fuchs-Gallezot, L. Maurines, *Project-based physics labs using low-cost open-source hardware*, American Journal of Physics, **85**, 3, (2017), 216-222.
- [22] D. A. Bohn, *Environmental effects on the speed of sound*. V: Audio Engineering Society Convention 83. Audio Engineering Society, (1987), https://smhttp-ssl-66277.nexcesscdn.net/media/wysiwyg/PDFs/Environmental_Effects_on_the_Speed_of_Sound.pdf, 1. 8. 2019.
- [23] G. S. Wong, T. F. Embleton, *Variation of the speed of sound in air with humidity and temperature*, The Journal of the Acoustical Society of America, **77**, 5, (1985), 1710-1712.
- [24] O. Cramer, *The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO2 concentration*. The Journal of the Acoustical Society of America, **93**, 5, (1993), 2510-2516.
- [25] R. Kladnik, S. Kodba, *Energija, toplota, nihanje in valovanje. Učbenik za fiziko za gimnazije in srednje šole 2*, (2016), DZS, Ljubljana.
- [26] K. N. Huang, C. F. Huang, Y. C. Li, M. S. Young, *High precision, fast ultrasonic thermometer based on measurement of the speed of sound in air*, Review of scientific Instruments, **73**, 11, (2002), 4022-4027.
- [27] W. Y. Tsai, C. F. Huang, T. L. Liao, *New implementation of high-precision and instant-response air thermometer by ultrasonic sensors*, Sensors and Actuators A: Physical, **117**, 1, (2005), 88-94.
- [28] W. Y. Tsai, C. F. Huang, T. L. Liao, *An ultrasonic air temperature measurement system with self-correction function for humidity*, Measurement science and technology, **16**, 2, (2005), 548-555.
- [29] W. Y. Tsai, C. F. Huang, T. L. Liao, *High accuracy ultrasonic air temperature measurement using multi-frequency continuous wave*, Sensors and Actuators A: Physical, **132**, 2, (2006), 526-532.
- [30] S. Velasco, F. L. Román, A. González, J. A. White, *A computer-assisted experiment for the measurement of the temperature dependence of the speed of sound in air*, American Journal of Physics, **72**, 2, (2004), 276-279.
- [31] <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (28. 7. 2019)
- [32] <https://www.skuola.net/scuola/scuole-senza-laboratori-progetto-esperimenti-online.html> (25. 6. 2019)
- [33] <https://www.lastampa.it/2017/07/19/alessandria/mancano-i-bidelli-gli-impiegati-i-tecnici-di-laboratorio-e-cos-la-scuola-va-in-affanno-kRaKqxnMaJzPhyKr0KwB6l/pagina.html> (25. 6. 2019)
- [34] <https://www.esperimentanda.com/lattrezzatura-laboratorio-essenziale-per-dilettante-scuole-universita/> (25. 6. 2019)
- [35] I. Albatish, M. J. Mosa, S. S. Abu-Naser, *ARDUINO Tutor: An Intelligent Tutoring System for Training on ARDUINO*. International Journal of Engineering and Information Systems, **2**, 1, (2018), 236-245.