

Osnovna šola Partizanska bolnišnica Jesen Tinje

Raziskovalna naloga

**MERJENJE HITROSTI IZTEKANJA  
TEKOČINE S TEMPERATURN  
OBČUTLJIVIM UPOROM**

Raziskovalno področje: fizika in elektronika

Avtor: Črt Kolenc

Mentor: Jernej Kamenšek

Lektorica: Zofija Polanec

## **ZAHVALA**

Rad bi se zahvalil mojemu mentorju - učitelju Jerneju za pomoč pri merjenju in izdelavi meritvenega instrumenta. Brez njegove pomoči bi mi poskus povzročil veliko preglavic. Zahvala pa gre tudi učiteljici slovenščine Zofiji Polanec, ki je lektorirala mojo nalogo.

## **POVZETEK**

Moja raziskovalna naloga temelji na anemometrih, njihovem delovanju in o vprašanju, če lahko tako delovanje/merjenje pustvarim sam z pomočjo mojega mentorja. Ker so bili rezultati meritev dovolj natančni, sva z mentorjem sklenila, da bova izdelala preprosto napravo, ki deluje kot anemometer. Osnova za izdelavo anemometra je bil anemometer na vročo žico. Po posvetovanju z mentorjem sem se odločil, da za izdelavo anemometra uporabim termistor. Za izdelavo anemometra je bil najprej predviden mini računalnik Raspberry Pi, vendar sem premislil in izdelal anemometer s pomočjo računalniškega vmesnika Vernier in programa Logger Pro.

Ključne besede: anemometer, termistor

## **ABSTRACT**

My research paper is based around anemometers, their functioning in and the question if this functioning/measuring can be recreated by me and my mentor. Because of the good accuracy of our results me and my mentor decided to make a simple device. The basis for making the anemometer was a hot-wire anemometer. For making anemometer was first meant mini-computer Raspberry Pi, but then I decided for anemometer with computer interface Vernier and program Logger Pro.

Key words: anemometer, termistor

## KAZALO

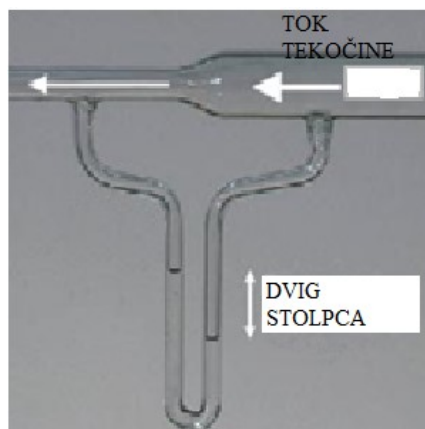
1. UVOD.....	5
1.2 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE .....	6
2. METODE IN MATERIALI .....	7
3. MERITVE .....	9
4. RAZPRAVA.....	9
5. IZDELAVA ANEMOMETRA .....	12
6. ZAKLJUČEK.....	14
7. VIRI IN LITERATURA.....	15

## 1. UVOD

Tekočine so snovi, ki zajemajo kapljevine in pline. Skupna lastnost tekočin je, da tečejo [1]. Pri toku tekočine po izbrani cevi, je pomembno, kolikšna prostornina tekočine steče po cevi na časovno enoto. Tej fizikalni količini pravimo volumski pretok ( $\Phi_v$ ). Enačba, ki povezuje volumski ( $\Phi_v$ ) pretok tekočine, hitrost tekočine v cevi ( $v$ ) in presek cevi, se zapiše kot [2]:

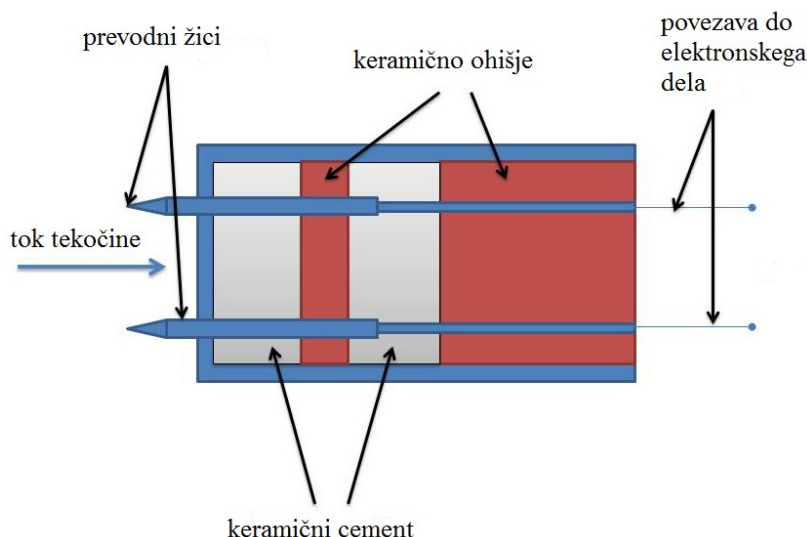
$$\Phi_v = Sv. \quad (1)$$

Naprava za merjenje hitrosti tekočine se imenuje anemometer. Večina anemetrov deluje po mehanskem principu. Dobro poznamo anemometer z lopaticami za merjenje hitrosti zraka [3], za merjenje hitrosti tekočine lahko uporabimo tudi Venturijevo cev [2,4] (slika 1). Sestavljena je ožjega in širšega dela cevi. Na ožji in širši del damo U- cevko. Če je volumski pretok tekočine vedno enak, potem je hitrost tekočine ( $v$ ) v ožjem delu cevi nekoliko večja kot v ožjem delu, saj se presek ( $S$ ) cevi zmanjša in s tem poveča hitrost pretakanja tekočine. Izkaže se, da je na mestu, kjer je večja hitrost tlak manjši in obratno [2,4]. Zato se gladina vode v U-cevki dvigne proti ožjemu delu cevi. Če imamo na U-cevki pravilno umerjeno skalo, lahko izmerimo hitrost tekočine.



Slika 1 [4]: Venturijeva cev

Naslednja vrsta merilnikov za merjenje hitrosti tekočin so elektronski merilniki, ki s pomočjo električnega toka segrevajo žico (slika 2) [5]. Žica se segreje nad temperaturo mirujoče kapljevine ali plina. Če kapljevina oziroma plin tečeta okoli žice, se žica bolj hitro ohlaja, ker segreto plast kapljevine oziroma plina ob žici odnaša tok kapljevine oziroma plina. Z ohlajanjem pa se manjša električni upor žice. Spremembo upora zazna elektronika in jo uporabi za izračun hitrosti kapljevine ali plina [5].



Slika 2: Anemometer na žico [5]

## 1.2 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA IN HIPOTEZE

Zanimalo me je, ali lahko izdelam podoben anemometer, kot je anemometer na segreto žico. Predvsem sta me zanimali naslednji raziskovalni vprašanji:

1. Ali lahko izmerimo spremembo upornosti žice oziroma električnega elementa skozi katerega teče električni tok, če žico oziroma element prestavimo iz mirujoče tekočine v tekočino, ki se giblje?
2. Ali je mogoče izdelati preprost anemometer, ki deluje na podobnem principu kot anemometer na segreto žico?

Na osnovi raziskovalnih vprašanj sem si zastavil dve hipotezi:

1. Spremembo upornosti električnega elementa je možno izmeriti, vendar je sprememba upornosti tako majhna, da jo je težko izmeriti.
2. V kolikor je spremembo upornosti električnega elementa možno izmeriti, se da izdelati tudi anemometer, ki deluje na podobnem principu kot anemometer na segreto žico.

Namen moje raziskovalne naloge je bil preveriti, ali drži prva zastavljena hipoteza. Če jo uspem potrditi, potem se lahko lotim izdelave anemometra in preverbe druge hipoteze.

Pobrskal sem po literaturi in zasledil, da obstajajo tudi anemometri, ki imajo namesto žice termistor [6]. Termistor je električni upor, ki se mu spreminja upornost v odvisnosti od temperature. Obstajajo termistorji, ki jim z naraščanjem temperature upor pada in termistorji, ki jim z naraščanjem temperature upor narašča [7]. Zato sem se odločil, da namesto žice uporabim termistor in izdelam anemometer s termistorjem.

Raziskovalna naloga je sestavljena iz petih poglavij. V poglavju metode in materiali bom predstavil poskus, s katerim želim preveriti prvo hipotezo in opisati uporabljene metode. V poglavju meritve v tabeli prikažem rezultate.

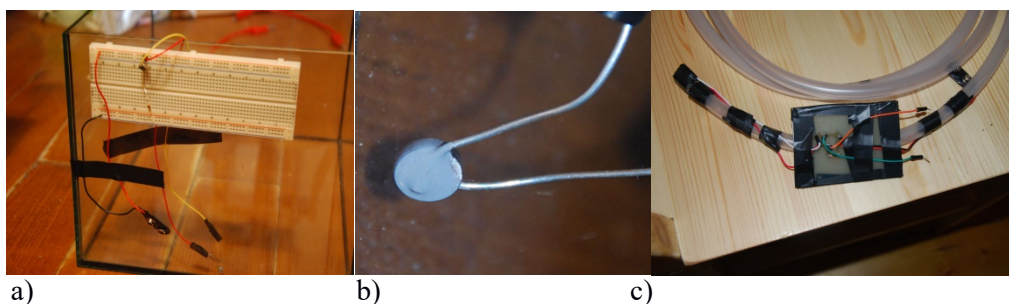
Nato sledi razprava, kjer preverjam veljavnost prve hipoteze.

Če uspem potrditi hipotezo, v naslednjem poglavju opišem izdelavo anemometra s termistorjem in preverim še veljavnost druge hipoteze. Anemometer izdelam s pomočjo računalniškega vmesnika Vernier in programa Logger Pro [8].

## 2. METODE IN MATERIALI

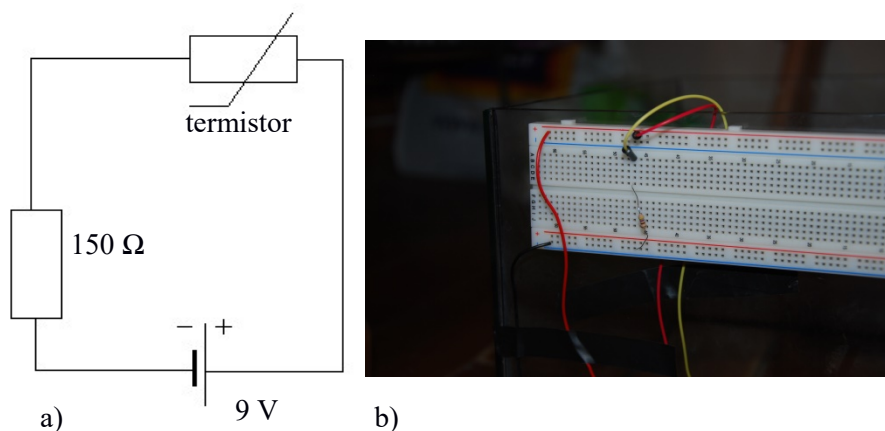
Preden sem začel z merjenjem, sem moral razmisliti, kako postaviti poskus, da bom lahko preveril prvo hipotezo. Imel sem idejo, da bi meril upornost termistorja v vodi, ki teče izpod pipe. Nato bi nekaj vode natočil v posodo in prestavil termistor vanjo. Izmeril bi upornost termistorja in preveril, ali se izmerjeni upornosti razlikujeta. Vendar sem po posvetovanju z mentorjem idejo opustil. Mentor me je tudi opozoril, da mora imeti termistor malo višjo temperaturo kot voda, potem bi lažje izmeril razliko v upornosti med termistorjema, ki se nahajata v mirujoči in gibajoči tekočini.

Zato sem se odločil, da uporabim akvarij, cev, dva termistorja [7], ki se jima z višanjem temperature upor zmanjšuje, termometer, štoparico, meter in čašo (slika 3).



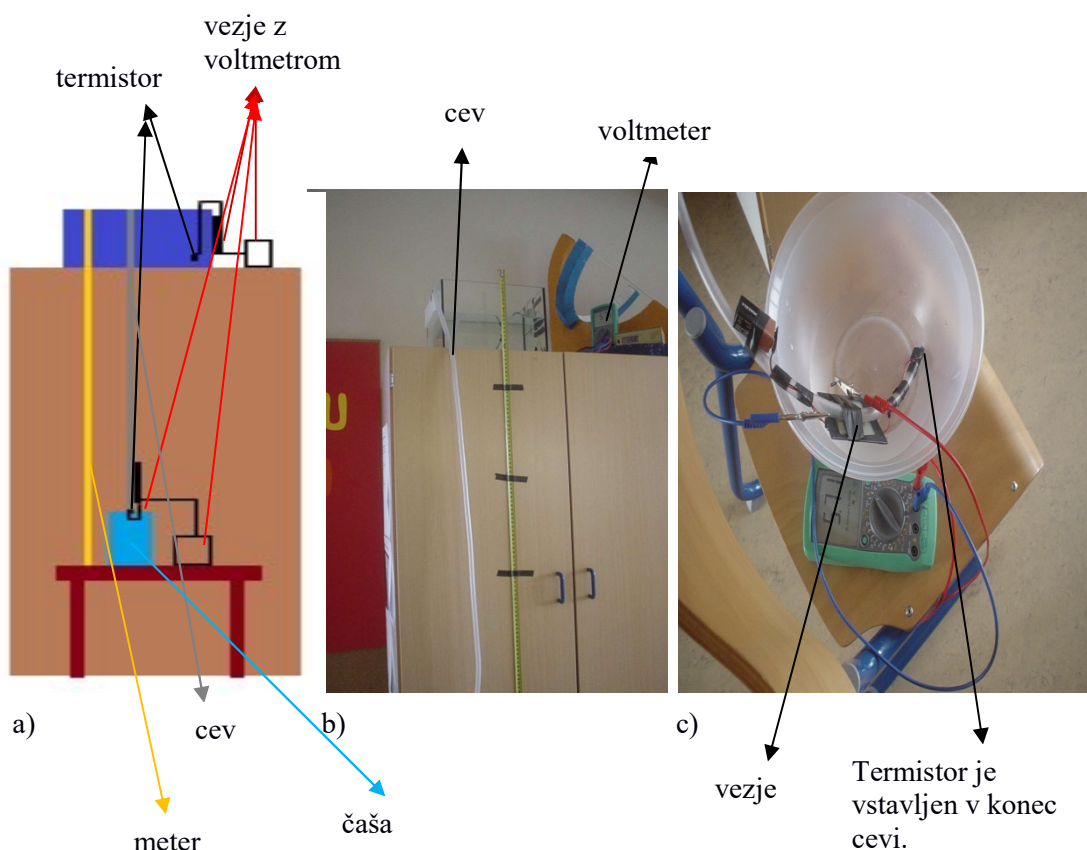
Slika 3: a) Akvarij; b) termistor; c) cev.

Da bi se termistor segrel, sem ga priključil na 9 voltno baterijo, zaporedno sem mu priključil še upor s  $150 \Omega$ . Odločil sem se, da bom namesto upornosti meril padec električne napetosti na termistorju, saj sta napetosti in tok povezana preko Ohmovega zakona. Za merjenje napetosti sem potreboval še voltmeter (slika 4).



Slika 4: a) Shema električnega vezja s termistorjem; b) slika vezja na preizkusni ploščici.

Omenjeno vezje sem sestavil na preizkusni ploščici in jo prilepil na steno akvarija (slika 4 b), termistor pa sem sem potopil v mirujočo vodo v akvariju. Drugi termistor sem pritrdil na konec cevi. Za drugi termistor sem potreboval enako vezje, ki je na testni ploščici na akvariju. Da bi lažje meril, mi je mentor ponudil pomoč in izdelal vezje (slika 4 a), ki sem ga lahko pritrdil na konec cevi. Akvarij sem postavil na omaro v fizikalni učilnici, vanj sem potopil še termometer. Na vrata omare sem pritrdil meter (slika 5).



Slika 5: a) Shema poskusa; b) slika poskusa; c) cev s termistorjem in vezjem.

Ko sem poskus sestavil, sem pričel z merjenjem. Zanimalo me je, v kolikšnem času se pri izbrani višinski razliki med gladino vode v akvariju in koncem cevi, napolni čša s prostornino 1 liter. Čase in višinsko razliko sem uredil v tabelo. Pri vsaki meritvi sem bil pozoren še na temperaturo vode in napetost na termistorju v mirujoči vodi v akvariju in napetost na termistorju v tekoči vodi, ki se nahaja na koncu cevi (slika 5 c) (tabela 1). Ker se je gladina vode v akvariju med merjenjem malo znižala, sem uporabil za višinsko razliko povprečno vrednost.



### 3. MERITVE

Tabela 1: Merjenje napetosti na termistorjih v mirujoči in gibajoči tekočini in merjenje časa, v katerem se napolni čaša s prostornino 1 liter. Pri vsaki meritvi sta zapisani tudi povprečna višinska razlika in temperatura vode.

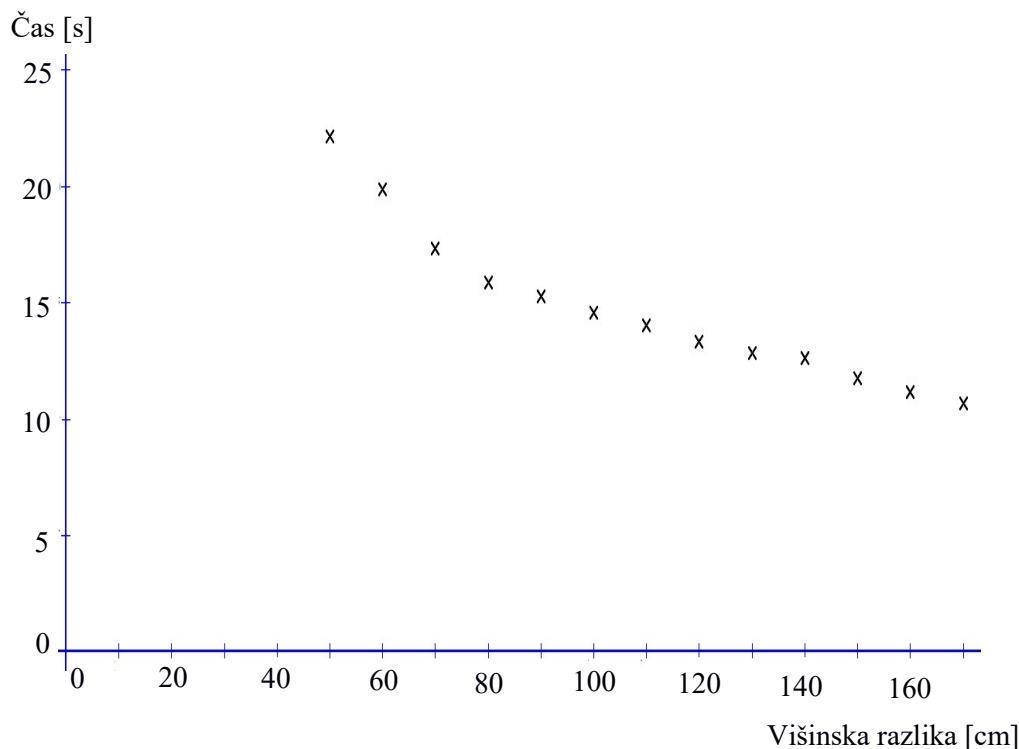
ŠT. MERITVE	TEMPERATURA [°C]	POVPREČNA VIŠINSKA RAZLIKA [cm]	ČAS [s]	IZMERJENA NAPETOST V MIRUJOČI TEKOČINI [V]	IZMERJENA NAPETOST V GIBAJOČI TEKOČINI [V]
1.	16,0	170,0	10,66	5,74	5,90
2.	16,5	160,0	11,16	5,66	5,80
3.	16,7	150,0	11,75	5,61	5,73
4.	16,8	140,0	12,63	5,59	5,70
5.	16,9	130,0	12,85	5,57	5,68
6.	17,0	120,0	13,32	5,55	5,65
7.	17,1	110,0	14,03	5,53	5,63
8.	17,3	100,0	14,59	5,50	5,59
9.	17,4	90,0	15,28	5,48	5,57
10.	17,5	80,0	15,85	5,47	5,55
11.	17,6	70,0	17,35	5,47	5,53
12.	17,7	60,0	19,87	5,45	5,50
13.	17,8	50,0	22,13	5,43	5,47

### 4. RAZPRAVA

Ko sem pogledal meritve (tabela 1), sem najprej opazil, da se je voda, ki smo jo nalili v akvarij segrevala, zato se je spreminjala napetost na termistorju, ki se je nahajal v akvariju. Po pričakovanju je padala, saj smo izbrali termistor, ki mu z višanjem temperature upornost pada. Upor pa je povezan preko Ohmovega zakona z napetostjo. Če se zmanjša upor, se mora zmanjšati tudi napetost.

Presenetilo pa me je dejstvo, da sta se pri vsaki meritvi napetosti na termistorjih v akvariju in cevi dovolj razlikovali, da sem lahko izračunal razliko napetosti. Torej sem del prve hipoteze uspel potrditi, spremembo upornosti električnega elementa je možno izmeriti. Drugi del prve hipoteze pa sem ovrgel, saj je sprememba upornosti termistorjev dovolj velika, da jo brez težav izmerimo. Iz tega sledi sklep, da lahko izdelam anemometer, njegovo izdelavo in delovanje bom opisal v naslednjem poglavju.

Meritve je dobro prikazati še na grafu. Slika 6 prikazuje odvisnost časa v kolikšnem se napolni čaša s prostornino 1 liter in povprečne višinske razlike.



Slika 6: Čas polnjenja v odvisnosti od povprečne višinske razlike.

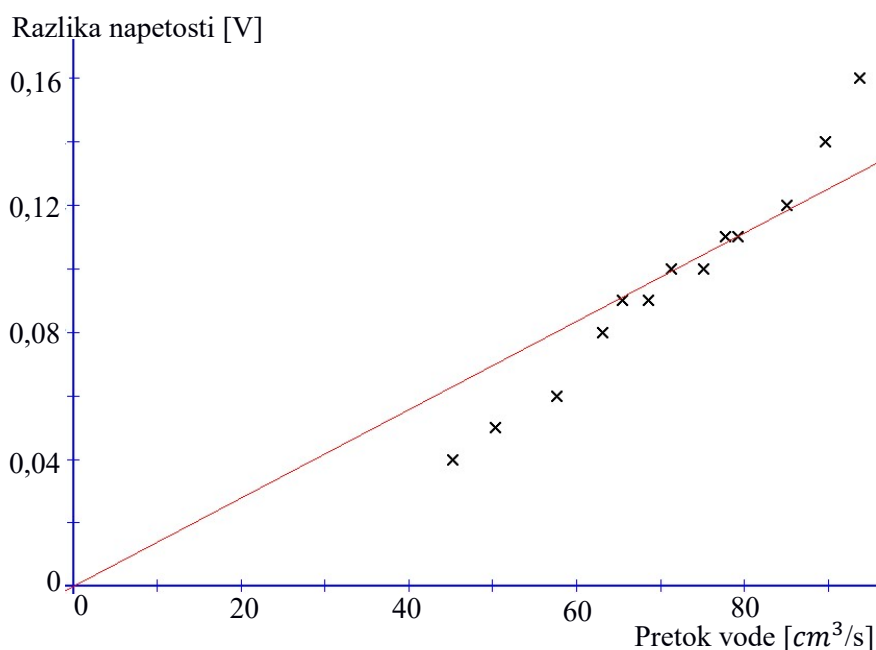
Če pogledamo sliko 6, opazimo, da se čas polnjenja čaše podaljšuje z manjšanjem povprečne višinske razlike. To je v skladu s pričakovanji. Vzemimo na primer 6. meritve v tabeli 1 in pogledjmo ali lahko izračunamo povprečno hitrost iztekanja vode iz konca cevi. Problema sem se lotil tako, da sem najprej izračunal pretok vode, tako da sem delil  $1000 \text{ cm}^3$  s časom polnjenja, ta pri 6. meritvi znaša 13,32 s. Izračun za pretok nam da rezultat  $75,1 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Hitrost iztekanja vode sem izračunal s pomočjo enačbe (1), tako da sem vanjo vstavil izračunan pretok in presek cevi v  $\text{cm}^3$ . Notranji premer cevi znaša 0,8 cm. Tako sem za hitrost iztekanja dobil  $149 \text{ cm/s}$ , oziroma  $1,49 \text{ m/s}$ , kar je smiseln rezultat.

Zanimalo me je tudi, ali se rezultat dobro ujema s teoretično napovedjo za iztekanje tekočine iz cevi, če privzamemo, da se voda ne oprijemlje sten cevi, ko teče. Fiziki bi rekli, da smo privzeli, da voda ni viskozna [2]. Za teoretični izračun lahko potem uporabimo kar ohranitev energije. Del tekočine ima pri vodni gladini potencialno energijo, ki pa se pretvori v kinetično energijo dela tekočine, ki jo le ta ima, ko priteče iz cevi. Nivo potencialne energije lahko postavimo na nič pri koncu cevi. Pri fiziki smo izpeljali izraz, ki ga potrebujemo za teoretično napoved hitrosti iztekanja tekočine ( $v$ ) iz cevi:  $v = \sqrt{2gh}$ , pri čemer sta  $g$  in  $h$  težni pospešek in povprečna višinska razlika. Za rezultat dobimo  $4,90 \text{ m/s}$ . Razlika med teoretično napovedjo in izmerjeno vrednostjo znaša  $3,41 \text{ m/s}$ . Vidimo, da ujemanje ni dovolj dobro. Viskoznosti vode ne smemo zanemariti.

Če hočemo izdelati anemometer, potrebujemo še graf razlike napetosti med termistorjema v odvisnosti od pretoka tekočine v  $\text{cm}^3/\text{s}$  (slika 7). Za vsako meritev izračunamo razliko iz tabele 1. Prav tako izračunamo za vsako meritev tudi pretok tekočine v cevi, ki ga podamo v  $\text{cm}^3/\text{s}$  (tabela 2).

Tabela 2: Prikaz razlike napetosti v odvisnosti od pretoka vode

ŠT. MERITVE	NAPETOSTNA RAZLIKA [V]	PRETOK [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ]
1.	0,16	93,8
2.	0,14	89,6
3.	0,12	85,1
4.	0,11	79,2
5.	0,11	77,8
6.	0,10	75,1
7.	0,10	71,3
8.	0,09	68,5
9.	0,09	65,4
10.	0,08	63,1
11.	0,06	57,6
12.	0,05	50,3
13.	0,04	45,2



Slika 7: Graf razlike napetosti med termistorjema v odvisnosti od pretoka vode. Strmina premice znaša  $0,0014 \text{ Vs}/\text{cm}^3$ .

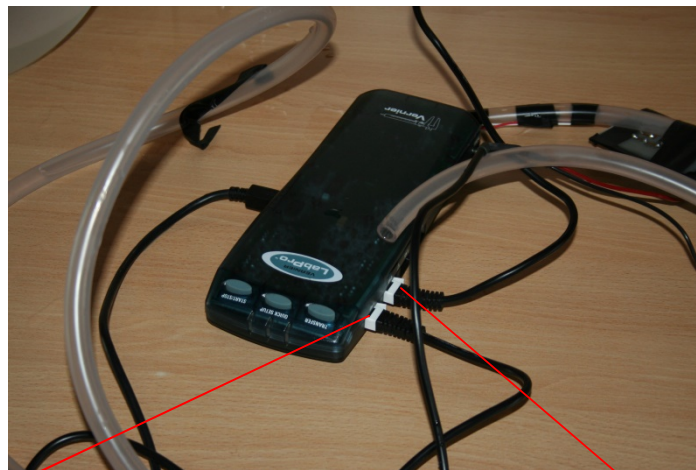
Graf (slika 7) sem narisal v programu Graph, tako da sem vanj vstavil točke iz tabele 2. Program nam omogoča, da vrišemo med izrisane točke premico, ki se najbolj prilega točkam. Predpostavil sem, da je pri višinski razliki 0 cm razlika napetosti na termistorjih enaka 0 V. Program Graph nato izpiše strmino premice, ki je koristen podatek za izdelavo anemometra.

Preden se lotimo poglavja o izdelavi in delovanju anemometra, si dobro oglejmo graf razlike napetosti med termistorjema v odvisnosti od pretoka tekočine (slika 7). Zmotile so me meritve, ki se ne spreminjajo povsem linearno. Zato premica podaja bolj povprečno vrednost vseh meritev. Če bi izdelali merilnik in upoštevali strmino premice, bi bile vrednosti za hitrost iztekanja vode oziroma velikosti pretoka vode nenatančne predvsem pri skrajnih višinskih razlikah, saj opazimo (slika 7), da se premica najbolj prilega točkam med povprečno višino približno 65 cm do 85 cm. Razlog je lahko tudi v tem, da se upornost termistorja s temperaturo ne spreminja enakomerno, pravimo da nima povsem linearne karakteristike [7].

## 5. IZDELAVA ANEMOMETRA

Odločil sem se, da izdelam digitalni anemometer, ki bo prikazoval pretok vode v cevi v  $cm^3/s$ . Za izdelavo anemometra sem potreboval računalnik. Če želimo, da računalnik prikaže izmerjeno napetost, moramo analogno vrednost napetosti pretvoriti v digitalno vrednost, zato pa potrebujemo analogno-digitalni pretvornik. Za anemometer sem najprej želel uporabiti mini računalnik Raspberry Pi, vendar sem ugotovil, da nima analogno-digitalnega pretvornika.

Odločil sem se, da namesto mini računalnika Raspberry Pi, uporabim računalniški vmesnik Vernier in program Logger Pro [8]. Računalniški vmesnik Vernier je analogno-digitalni pretvornik, na katerega lahko priključimo različne senzorce. Jaz sem na vmesnik priključil senzorja za merjenje napetosti. Prvi senzor sem povezal na vezje, ki se nahaja na cevi (slika 5 c). S prvim senzorjem sem torej meril napetost na termistorju, ki je vstavljen na konec cevi. Z drugim senzorjem sem meril padec napetosti na termistorju, ki se je nahajal v vodi v akvariju (slika 8).



Senzor za merjenje napetosti, ki je meril napetost na termistorju, ki se nahaja na koncu cevi.

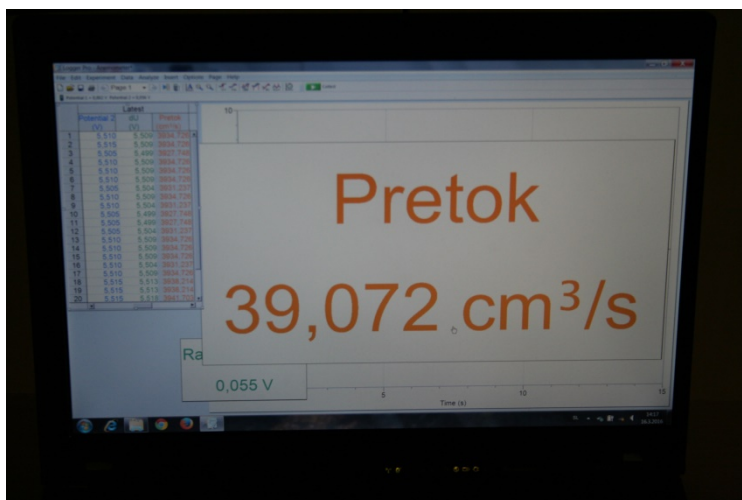
Senzor za merjenje napetosti, ki je meril napetost na termistorju, ki se nahaja v akvariju.

Slika 8: Vmesnik Vernier s senzorjema za merjenje napetosti.

Napetosti, ki jih merimo s senzorjema, lahko spremljamo s programom Logger Pro. Program omogoča, da z izmerjenimi količinami računamo. Če želimo, da nam program prikazuje pretok vode po cevi v  $cm^3/s$  (slika 9), moramo razliko napetosti med termistorjema ( $\Delta U$ ) pomnožiti z obratno vrednostjo strmine premice na sliki 7:

$$\Phi_v = 714 \frac{cm^3}{sv} \Delta U, \quad (2)$$

kjer je  $714 \frac{cm^3}{sv}$  obratna vrednost strmine premice na sliki 7.



Slika 9: Program Logger Pro prikazuje pretok vode v  $cm^3/s$ .

Odločil sem se, da enačbo (2) in s tem izdelan digitalni anemometer (slika 9), preverim za tri različne višinske razlike med gladino vode in koncem cevi. Rezultate sem zbral v tabeli 3

Tabela 3: Prikaz pretoka vode v odvisnosti od povprečne višinske razlike med gladino vode in koncem cevi. Za pretok sta podani dve vrednosti, ena prikazuje vrednost, ki nam jo prikaže digitalni anemometer, druga pa vrednost, ki jo izmerimo. Pretok v  $cm^3/s$  pa sem izmeril tako, da sem izmeril čas, v katerem voda napolni čašo s prostornino  $1000 cm^3$ . Temperatura vode pa je bila  $18,8 ^\circ C$ .

Povprečna višinska razlika [cm]	Izmerjena vrednost za pretok [ $cm^3/s$ ]	Prikazana vrednost pretoka [ $cm^3/s$ ]
75	64	63
95	67	72
105	69	87

Iz tabele 3 je razvidno, da se prikazana in izmerjena vrednost pretoka vode najbolj ujemata pri vrednostih pri višinski razliki 75 cm in 95 cm. Odstopanje je večje pri višinski razliki 105 cm. Razlog je v tem, da se premica na sliki 7 ne ujema dobro z meritvami pri višinskih razlikah, ki so daljše od približno 90 cm. S tem, ko sem izdelal anemometer, sem potrdil tudi drugo hipotezo, vprašljiva je le natančnost takšnega anemometra.

## 6. ZAKLJUČEK

V uvodu raziskovalne naloge sem najprej predstavili nekaj vrst anemometrov. Izhodišče za izdelavo anemometra z dvema termistorjema je bil anemometer na vročo žico [5]. Nato sem postavil dve raziskovalni vprašanji in oblikoval hipotezi. V poglavju metode in materiali sem opisal, katere potrebščine sem potreboval pri izvedbi poskusa. Prikazal sem, kako je bil sestavljen poskus, s katerim sem meril hitrost iztekanja vode iz cevi. Meritve sem zbral v naslednjem poglavju. Pri razpravi sem narisal graf razlike napetosti med termistorjema v odvisnosti od pretoka vode (slika 7). Strmina premice na sliki 7 je predstavljala osnovo za izdelavo anemometra. S pomočjo računalniškega vmesnika Vernier in programa Logger Pro sem izdelal digitalni anemometer.

Veseli me, da sem uspel potrditi del prve hipoteze. Presenetilo pa me je dejstvo, da je spremembo upornosti dejansko mogoče izmeriti, saj se upornost termistorja v tekoči vodi dovolj poveča. Tudi drugo hipotezo sem uspel potrditi, vendar nisem bil zadovoljen z ujemanjem digitalnega anemometra pri višinski razliki 105 cm (tabela 3). Pravega vzroka za večje odstopanje nisem našel. Termistor res nima povsem linearne karakteristike [7], vendar lahko na manjšem temperaturnem območju privzamemo, da je odziv termistorja linearen. Druga možnost pa je, da so meritve pri nižjih hitrostih natančnejše. Če voda teče počasneje okoli termistorja, se okoli njega ne ustvarjajo vrtinci, tok je laminaren [2], zato bi morda bile meritve pri nižjih hitrostih natančnejše.

Anemometer sem najprej želel izdelati z miniračunalnikom Raspberry Pi, vendar sem se odločil za lažjo pot z vmesnikom Vernier in programom Logger Pro. Digitalni anemometer bi lahko poskusil izdelati tudi z mikrokontrolerjem, izdelek bi bil za šolsko uporabo zelo zanimiv.

## 7. VIRI IN LITERATURA

- [1] Tekočine. Pridobljeno dne 25. 2. 2016 iz <https://en.wikipedia.org/wiki/Fluid>.
- [2] Marjan Hribar, Slavko Kocjančič, Andrej Likar, Seta Oblak, Bojan Pajk, Vicenc Petruna, Nada Razpet, Branko Roblek, Fedor Tomažič in Miro Trampuš, *Mehanika in toplota; fizika za 1. in 2. letnik srednjih šol* (Modrijan, Ljubljana, 2001).
- [3] Ročni anemometer. Pridobljeno dne 27. 2. 2016 iz [http://www.ames.si/cat/products/rocni\\_anemometer\\_meteoroloska\\_postaja\\_rvm\\_96c/l:2](http://www.ames.si/cat/products/rocni_anemometer_meteoroloska_postaja_rvm_96c/l:2).
- [4] Venturijeve cev. Pridobljeno dne 25. 2. iz [https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure\\_head](https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_head).
- [5] Anemometer na vročo žico. Pridobljeno dne 24. 2. 2016 iz <http://instrumentationandcontrollers.blogspot.si/2012/03/hot-wire-anemometer-thermal-method.html>.
- [6] Anemometer s termistorjem. Pridobljeno dne 26. 2. iz <https://www.zoro.com/uei-test-instruments-hot-wire-and-thermistor-anemometers/g/00241609/>.
- [7] Navodila za termistor. Pridobljeno dne 26. 2. 2016 iz [http://www.ic-elect.si/pub/files/product\\_files/225000200100.pdf](http://www.ic-elect.si/pub/files/product_files/225000200100.pdf).
- [8] Vmesnik Vernier in program Logger pro. Pridobljeno dne 24. 2. 2016 iz <http://www.vernier.com/>.