

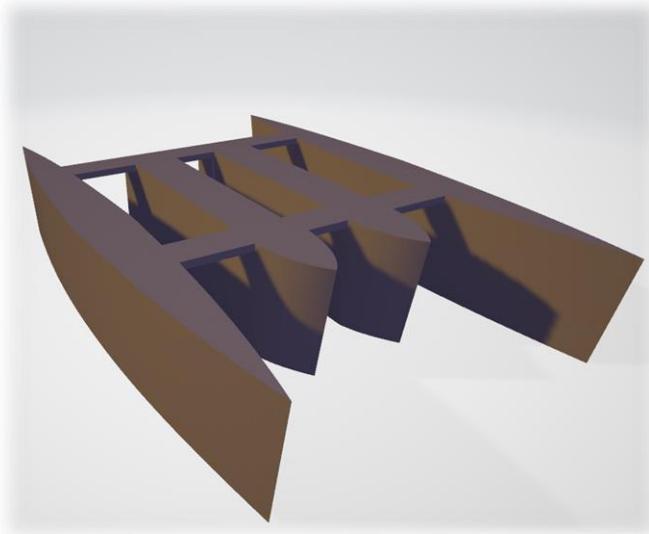


GIMNAZIJA ŠKOFJA LOKA  
PODLUBNIK 1b, ŠKOFJA LOKA

## RAZISKOVALNA NALOGA

MIRNO, TIHO PLOVBO VAM ŽELIVA

**Področje: fizika**



Mentor: Aljoša ERMAN, prof.

Aljaž JERAM, 3. a

Jakob GRAŠIČ, 3. a

Škofja Loka, 20. 3. 2022

## **Kazalo vsebine**

POVZETEK .....	V
ABSTRACT .....	VI
ZAHVALA.....	VII
1 UVOD .....	1
1.1 Namen in cilj naloge .....	2
2 TEORETIČNI DEL.....	3
3 EKSPERIMENTALNI/RAZISKOVALNI DEL .....	4
3.1 Metode dela .....	4
4 REZULTATI.....	7
4.1 Analiza rezultatov.....	9
5 ZAKLJUČEK .....	10
6 VIRI IN LITERATURA .....	11

## **Kazalo slik**

Slika 1: Podmornica Rdeči oktober.....	1
Slika 2: Kovinski plošči .....	3
Slika 3: Baterija tipa CR2032.....	4
Slika 4: Program Fusion 360 .....	4
Slika 5: 3D natisnjen model ladjice .....	5
Slika 6: Neodimski magneti .....	5
Slika 7: Eksperimentiranje .....	6

## **Kazalo grafov**

Graf 1: Hitrost v odvisnosti od napetosti .....	7
Graf 2: Hitrost v odvisnosti od koncentracije raztopine .....	8

## **POVZETEK**

Običajno se plovila premikajo s pomočjo ladijskega vijaka. Ta vijak s pomočjo vrtenja ustvari močno potisno silo, ki plovilo požene naprej. Tak način pogona uporabljajo tudi podmornice, pri katerih je zelo pomembno, da je delovanje motorja čim tišje. Ker klasični pogoni uporabljajo premikajoče se dele, s tem proizvajajo zvok. Prav tako so motorji zapleteni in imajo več kritičnih mest, pri katerih lahko pride do okvare.

Da bi našli alternativo ladijskemu vijaku, smo raziskali drugačen koncept – magnetno-hidrodinamični pogon. Ko skozi slano vodo spustimo elektriko, se v njej pojavijo ioni. Na ione lahko vplivamo z magnetni poljem, ki nanje deluje pravokotno, zato za tak pogon potrebujemo samo akumulator, vodnik, dve plošči in magnete. Plošči postavimo vzporedno in ju priključimo na električno napetost. Nato nad njiju postavimo magnet. To je vse, kar potrebujemo, da v slani vodi ustvarimo vodni tok. Smer toka spreminjamamo tako, da zamenjamo pole na ploščah. Pomembno je omeniti, da za pogon potrebujemo slano vodo, saj navadna, sladka voda v sebi nima dovolj raztopljenih snovi, iz katerih bi ustvarili ione.

Opravili smo meritve hitrosti pri različnih napetostih ter v različnih raztopinah soli in vode, ter primerjali rezultate.

## **ABSTRACT**

Vessels are usually moved by means of a propeller. This propeller creates a strong thrust force by rotating, which propels the vessel forward. This is also the method of propulsion used by submarines, where it is very important to keep the engine as quiet as possible. As conventional drives use moving parts, they produce sound. Engines are also complex and have several critical points where failure can occur.

To find an alternative to the ship's propeller, we explored one concept. Magnetohydrodynamic drive. When electricity is passed through salt water, ions are produced. The ions can be influenced by a magnetic field, which acts perpendicularly on the ions. Therefore, all you need for such a drive is a battery, a lead, two plates and magnets. Place the plates in parallel and connect them to the battery. Then place a magnet over them. That is all we need to create a water current in salt water. The direction of the flow is changed by swapping the poles on the plates. It is important to note that salt water is needed for propulsion, as ordinary tap water does not have enough dissolved substances in it to create ions.

We measured the velocity at different voltages and in different salt and water solutions and compared the results.

## **ZAHVALA**

Največja zahvala gre najinemu mentorju Aljoši Ermanu za pomoč pri raziskovanju, prav tako se zahvaljujeva Alešu Križnarju za priskrbljene merilne aparature. Profesorici Ireni Florjančič se zahvaljujeva za lektoriranje raziskovalne naloge, profesorici Bernardi Kovač pa za lektoriranje prevedenega povzetka. Zahvala gre tudi Gašperju Joštu za pomoč pri 3D tiskanju modela ladice.

## 1 UVOD

Ladijski vijak, ki ga danes uporablajo čolni in ladje, je leta 1826 izumil Čeh Josef Ressel. Pred tem izumom in še nekaj let po izumu so za pogon ladij uporabljali ladijska kolesa, podobna mlinu, ki je priključen na motor, da poganja ladjo. Vsem tem pogonom je skupno, da jih poganja motor. Ta je preko kardanskih prenosov povezan z vijakom, ki ladjo ali čoln dejansko potisne naprej. Za pogon se uporablajo dizelski, parni ali električni motorji, na večjih vojaških ladjah in podmornicah pa uporablajo celo jedrske reaktorje, ki poganjajo motorje, ti pa ladijski vijak. Vsi ti pogoni so glasni, eni bolj (npr. dizelski motorji), drugi manj (električni motorji). Glasnost je posledica premikajočih se delov. Ko se kardan obrača, oddaja zvok, prav tako je glasen sam propeler v vodi, da ne omenjamo delovanja motorja na notranje izgorevanje.

Ker je pri tajnih nalogah vojaških podmornic tišina življenjskega pomena, so z leti poskušali pogon podmornic izboljšati predvsem v smeri glasnosti. Eden izmed zanimivih konceptov je bila podmornica Rdeči oktober, ki je predstavljena v filmu *Lov na Rdeči oktober*. Podmornica naj bi uporabljala t. i. gosenični pogon (»caterpillar sistem«). Največja prednost pogona je bila praktično neslišno delovanje, ki je omogočilo plovbo, ne da bi jo kdo odkril s pasivnim sonarjem.



Slika 1: Podmornica Rdeči oktober

Ta sistem je bolj poznan kot magnetno-hidrodinamični pogon. Ta vrsta pogona deluje samo v slanih vodah, saj za delovanje potrebuje ione, na katere vpliva magnetno polje. S pomočjo električne napetosti v vodi ustvarimo natrijeve in OH-ione, ki jih magnetno polje potisne iz ladje. Po 3. Newtonovem zakonu zato ioni vplivajo na magnetno polje, pritrjeno na ladjo, v nasprotni smeri in ga porinejo naprej.

## **1.1 NAMEN IN CILJ NALOGE**

Na začetku raziskovanja sva postavila naslednje hipoteze:

### **Hipoteza 1**

Ko čolnič z magnetno-hidrodinamičnim motorjem priključimo na električno napetost, bo v slani vodi viden tok.

### **Hipoteza 2**

Čolnič bo z magnetno-hidrodinamičnim motorjem po slani vodi plul samostojno, brez dodatne pomoči.

### **Hipoteza 3**

Višja napetost na viru pri enaki koncentraciji soli povzroči hitrejši vodni tok.

### **Hipoteza 4**

Višja koncentracija soli pri enaki napetosti povzroči hitrejši vodni tok.

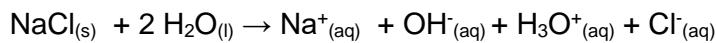
### **Hipoteza 5**

Če zamenjamo pole na ploščah, se smer vodnega toka spremeni.

Cilj naloge je raziskati, če je z magnetnim pogonom mogoče poganjati plovila na slanih vodah, ter kaj vpliva na njihovo hitrost.

## 2 TEORETIČNI DEL

Ko skozi slano vodo spustimo električno napetost, poteče proces elektrolize. Elektroliza je proces, pri katerem s pomočjo enosmernega električnega toka izvajamo redoks reakcije. Pri tem nastanejo nabiti delci, ki so za nas zanimivi. Natrijev klorid oz. kuhinjska sol razpade na  $\text{Na}^+$  in na  $\text{Cl}^-$ .



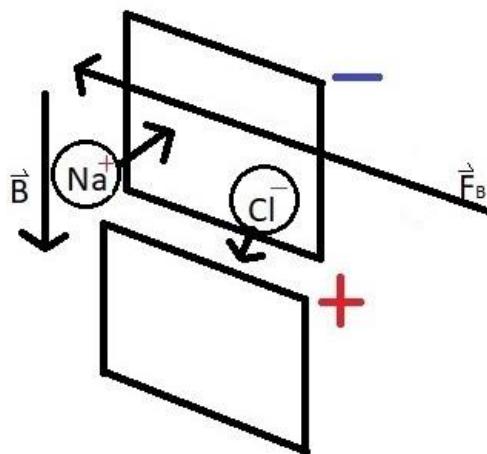
Na ione deluje električna sila, saj kovinski plošči delujeta kot kondenzator. Električna sila na nabite delce deluje pravokotno na plošči in povzroči, da se delci začnejo premikati proti njima. Natrijevi delci se začnejo premikati proti negativno nabiti katodi, klorovi anioni se začnejo pomikati proti pozitivno nabiti anodi.

$$F = e E$$

Zaradi smeri premikanja in naboja delcev pri delovanju magnetne sile delci dobijo hitrost v pravokotni smeri na magnetno polje in vzporedno na plošči.

$$\vec{F} = (e\vec{v}) \times \vec{B}$$

Kljub temu da so kationi in anioni nasprotno nabiti, nanje magnetna sila deluje v isti smeri, saj nanje deluje električna sila tako, da se delci gibljejo v nasprotni smeri pravokotno na plošči.



$\vec{B}$  – gostota magnetnega polja

$\vec{F}_B$  – magnetna sila

Slika 2: Kovinski plošči

Tok ionov deluje na vodo tako, da jo potisne v isti smeri, kot se premikajo nabiti ioni. Ker mora težišče sistema vode in čolna ostati v isti točki, deluje voda na čoln z nasprotno enako silo, kot delujejo delci na vodo.

### 3 EKSPERIMENTALNI/RAZISKOVALNI DEL

#### 3.1 METODE DELA

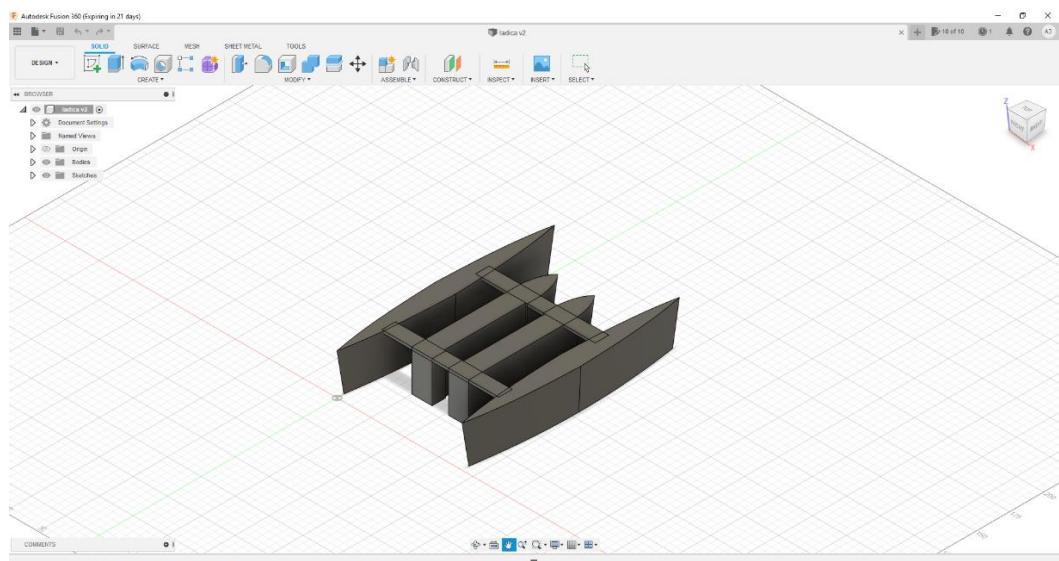
Cilj raziskovalne naloge je bil ugotoviti, kako deluje magnetno-hidrodinamični pogon ter ali je z njim mogoče pognati modelno ladjico.

Najprej sva se lotila izdelovanja ladjice. Izbrala sva si obliko štiri marana, saj je taka oblika stabilna in dovolj plovna za naše potrebe. Ladjica je narejena za težo sebe ter dodatno težo motorja, ki je bil sestavljen iz dveh aluminijastih plošč velikosti 60 mm x 15 mm x 0,8 mm, štirih neodimskih magnetov z magnetnim poljem 3 mT, premera 10 mm in debeline 2 mm. Magnetno polje sva izmerila s Hallovo sondjo in merilnikom Vernier. Največje breme je predstavljala 9-voltna baterija, ki tehta približno 50 g. Baterijo sva kasneje zamenjala za tri manjše baterije tipa cr 2032, saj so lažje in v zaporedni vezavi treh baterij prav tako dobimo napetost 9 V.



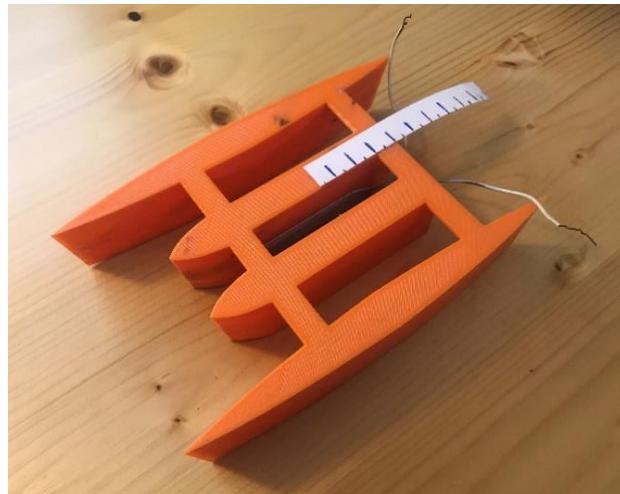
Slika 3: Baterija tipa CR2032

Model ladjice sva najprej izrisala v programu *Fusion 360*, ki nama je bil v pomoč tudi pri računanju prostornine ladjice, da sva lahko zagotovila plovnost modelčka.



Slika 4: Program Fusion 360

Naslednji korak pri izdelovanju je 3D tiskanje modela. Ker sva želela, da je sama ladjica čim lažja, sva ladjico natisnila z 10 % polnitvijo. Ladjico sva natisnila iz PLA (poli-mlečna kislina) plastike, saj je ta preprosta za tiskanje in je zadostovala najinim potrebam.



Slika 5: 3D natisnjen model ladjice

Magnete sva naročila na spletni strani <https://www.svetmagnetov.com>. Odločila sva se za valjaste neodimske magnete, saj so le-ti za svojo težo precej močni.



Slika 6: Neodimski magneti

Na težavo sva naletela, ko sva v motorju želela uporabiti več kot samo en magnet, saj so se magneti med seboj sprijemali in jih ni bilo mogoče razporediti v vrsto orientirane z enakim polom proti tlom. Ta problem sva rešila z držalom za magnete, sestavljenim iz lesene ploščice, na katero sva magnete preprosto prilepila s sekundnim lepilom. Ker so magneti nameščeni neposredno nad aluminijasti plošči, sva jih zavila v plastično folijo, da ne bi prevajali električnega toka med ploščama. S plastično folijo sva magnete zaščitila tudi pred korozijo. Ker pri izvajanju eksperimentov nisva opazila vodnega toka, sva baterije zamenjala z napajalnikom, ki lahko odda 3 ampere toka. S tem sva sicer dokončno onemogočila, da bi se ladjica premikala samostojno, vendar sva še vedno lahko izvedla poskuse na meritvah vodnega toka. Pomembno je omeniti tudi to, da sva imela pri visokih koncentracijah soli težave, saj nisva videla toka vode. Eden od razlogov je prav gotovo to, da pri elektrolizi nastajajo mehurčki, zaradi katerih se toka ni videlo. Ko sva koncentrirano raztopino zamenjala za bolj

blago raztopino v masnem razmerju 1:50, sva prvič opazila tok vode in črnila, ki sva ga dodala za lažje opazovanje.



Slika 7: Eksperimentiranje

Končno so bili ustvarjeni pogoji, ko so se lahko začele dejanske meritve. Pri dani koncentraciji sva si zapisala napetost na viru in prižgala kamero, ki je posnela tok vode in črnila. Iz posnetkov sva razbrala hitrost toka. Še pred snemanjem sva na čolnič pritrdila merilni trak z oznakami na pol centimetra.

S pomočjo programa *Adobe Premiere Pro* sva računala hitrosti tokov. To sva storila tako, da sva preštela število slik, ki jih je zajela kamera med tem, ko je kaplja črnila prepotovala določeno razdaljo ob merilnem traku. Kamera je snemala s 60 slikami na sekundo, to pomeni, da je čas od ene do druge slike 0,0167 sekunde.

Ta čas sva pomnožila s številom slik in tako dobila čas, ki ga je kaplja potrebovala, da je naredila določeno pot na merilnem traku. Dolžino poti sva tako delila s časom, ki ga je kaplja potrebovala za določeno pot, in tako sva dobila hitrost toka.

## 4 REZULTATI

**Hipoteza 1: Ko čolnič z magnetno-hidrodinamičnim motorjem priključimo na električno napetost, bo v slani vodi viden tok.**

Hipoteze 1 nisva potrdila, saj sva imela veliko težav, da sva motor spravila v delajoče stanje. Motor ni deloval pri čisto vseh koncentracijah soli.

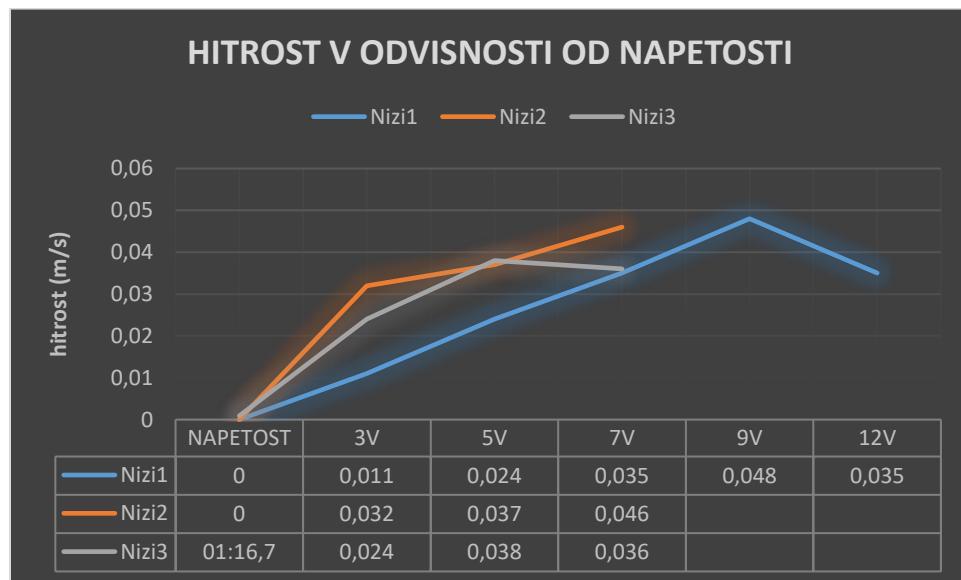
Vseeno pa ne moreva hipoteze ovreči, saj sva pri pravih okoliščinah dosegla viden tok. Viden tok sva dosegla pri napetostih od 3 V naprej.

**Hipoteza 2: Čolnič bo z magnetno-hidrodinamičnim motorjem po slani vodi plul samostojno, brez dodatne pomoči.**

Hipotezo 2 sva ovrgla, saj kljub občutnemu toku nisva dosegla samostojnega premikanja čolniča. Tu se pokaže glavna težava magnetno-hidrodinamičnega pogona, saj sam motor ne vpliva na molekule vode, ampak samo na ione, katerih je pre malo, da bi lahko poganjali čolnič.

**Hipoteza 3: Višja napetost na viru pri enaki koncentraciji soli povzroči hitrejši vodni tok.**

Hipotezo 3 sva potrdila. Pri višji napetosti je vodni tok hitrejši.



Graf 1: Hitrost v odvisnosti od napetosti

Niz 1-masno razmerje soli in vode 1:50

Niz 2-masno razmerje soli in vode 1:25

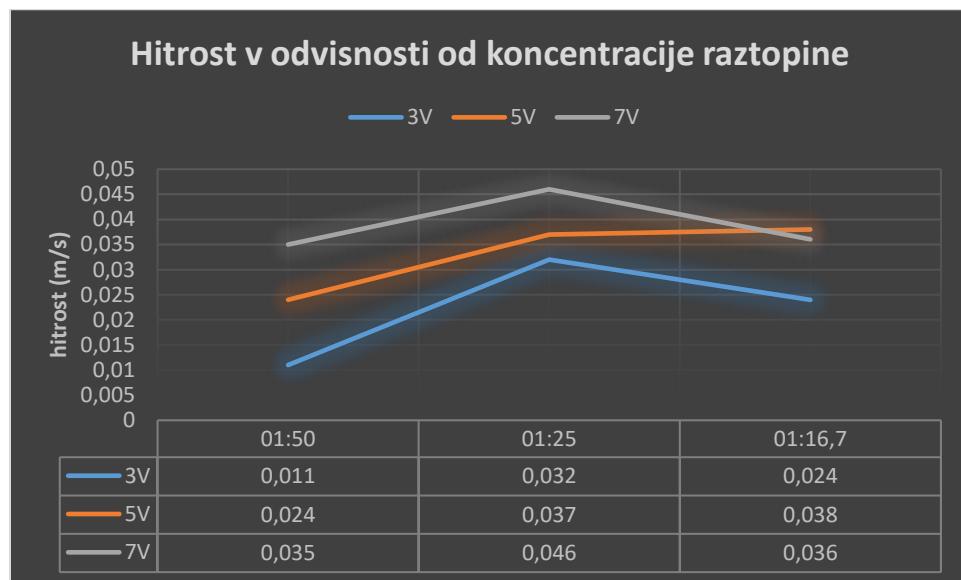
Niz 3-masno razmerje soli in vode 1:16,7

Rezultate sva dosegla z aluminijastima ploščama velikosti 15 mm x 60 mm pri oddaljenosti 12 mm pri magnetnem polju 3 mT.

Pri nizih 1 in 3 opaziva, da pri najvišji napetosti hitrost upade. To je bila najvišja napetost, ki jo je prikazal instrument na napajalni enoti. Ker je bila to maksimalna moč, ki jo je napajalnik oddal, je pri instrumentih prišlo do odstopanj. Če bi uporabila močnejšo napajalno enoto, bi pri napetostih 7 in 12 voltov pri nizih 1 in 3 dosegla drugačne rezultate. To sklepamo iz niza 2. Napajalna enota pri 7 voltih ni bila na 100 % svoje moči, zato so rezultati pričakovani.

Najvišjo hitrost je dosežena pri masnem razmerju 1:50 pri napetosti 9 V, in sicer 0,048 m/s.

#### **Hipoteza 4: Višja koncentracija soli pri enaki napetosti povzroči hitrejši vodni tok.**



Graf 2: Hitrost v odvisnosti od koncentracije raztopine

Rezultate sva dosegla z aluminijastima ploščama velikosti 60 mm x 15 mm pri oddaljenosti 12 mm pri magnetnem polju 3 mT.

Opazila sva, da so hitrosti pri višjih koncentracijah višje, vendar to popolnoma velja le za napetost 5 V. Za ostale napetosti je najbolj učinkovita koncentracija 1 del soli na 25 delov vode. Če je koncentracija soli še višja, se hitrosti znižajo.

#### **Hipoteza 5: Če zamenjamo pole na ploščah, se smer vodnega toka spremeni.**

Hipotezo 5 sva potrdila. Ko sva na napajalni enoti zamenjala pole na vodnikih in posledično zamenjala pole na ploščah, se je smer vodnega toka obrnila v nasprotno smer.

## 4.1 ANALIZA REZULTATOV

Na začetku raziskovanja sva postavila 5 hipotez. Potrdila sva le dve hipotezi, in sicer tretjo, ki se glasi: »Višja napetost na viru, pri enaki koncentraciji soli, povzroči hitrejši vodni tok«, in peto hipotezo: »Če zamenjamo pole na ploščah, se smer vodnega toka spremeni«. Hipotezi sva potrdila na podlagi meritev, ki sva jih opravila.

Popolnoma sva ovrgla hipotezo 2. Čolnič na hidro-magnetni pogon ne more pluti samostojno, saj tok iz motorja ni dovolj močan.

Hipoteze 1 nisva popolnoma potrdila. Pri napetostih 1 V in 2 V ni bilo vidnega toka. Prav tako ni bilo vidnega toka pri koncentrirani raztopini soli in vode.

Tako lahko hipotezo 1 potrdila samo v okviru okoliščin, ki so:

- napetost višja od 2 V
- koncentracija soli med 1:50 in 1:16,7

Hipoteza 4 prav tako velja samo v okviru določenih okoliščin. Hitrosti pri enaki napetosti se višajo samo do neke mere, če se viša koncentracija soli. Če je koncentracija prevelika, se hitrosti toka zmanjšajo.

## 5 ZAKLJUČEK

Raziskovalne naloge sva se lotila, ker naju je navdušil pogon podmornice v filmu *Lov na Rdeči oktober*. Želela sva ugotoviti, ali je tak način pogona sploh mogoč ali je šlo samo za znanstveno fantastiko. Z raziskovanjem sva začela na spletu, tako da sva poiskala videoposnetke delujočega pogona, vendar sva, da bi se prepričala o resničnosti videoposnetka, tudi sama izdelala podoben pogon. Prišla sva do ugotovitev, da koncept pogona deluje, vendar sam pogon ni uporaben, saj motor ni dovolj močan, da bi poganjal plovila. Druga težava tega pogona je, da pogon deluje samo v določenih razmerah. Če je v vodi prevelika ali premajhna koncentracija soli, pogon ne bo deloval.

Raziskovanje bi lahko razširila tako, da bi ugotavljala vpliv ploščic iz različnih materialov na hitrost toka. Prav tako bi lahko raziskala še vpliv razdalje med ploščicama na hitrost toka.

## 6 VIRI IN LITERATURA

<https://www.youtube.com/watch?v=nFsiydpICtw> 19. 10. 2021

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Josef\\_Ressel](https://sl.wikipedia.org/wiki/Josef_Ressel) 16. 3. 2022

[http://projlab.fmf.uni-lj.si/arhiv/2009\\_10/naloge/izdelki/colnicek/index.html](http://projlab.fmf.uni-lj.si/arhiv/2009_10/naloge/izdelki/colnicek/index.html) 18. 3. 2022

Kladnik, R. in Kodba, S. (2016). Elektrika, magnetizem in atomi. Učbenik za fiziko za gimnazije in srednje šole 3. Ljubljana: DZS

Naslovna slika: lasten fotografski arhiv

Slika 1: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS9OIE9t6HOSJDEP--ZaBNmkCRfDNLVDyAW\\_GcWSQLbllgl-GT9](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS9OIE9t6HOSJDEP--ZaBNmkCRfDNLVDyAW_GcWSQLbllgl-GT9)

Slika 2: lasten fotografski arhiv

Slika 3:

<https://media.discordapp.net/attachments/777272386130411541/955054504733196349/pctdetail.png?width=901&height=676>

Slika 4: lasten fotografski arhiv

Slika 5: lasten fotografski arhiv

Slika 6: [https://images-ext-1.discordapp.net/external/ZPysl533tEmOew18k6OpHdm\\_FDmBOBx2YNTKT-mBPLw/https/www.taomagnets.com/wp-content/uploads/2013/08/DX02-N52-600x600-600x600.jpg](https://images-ext-1.discordapp.net/external/ZPysl533tEmOew18k6OpHdm_FDmBOBx2YNTKT-mBPLw/https/www.taomagnets.com/wp-content/uploads/2013/08/DX02-N52-600x600-600x600.jpg)

Slika 7: lasten fotografski arhiv