

Грађевински факултет Универзитета у Београду  
Одсек за хидротехнику и водно еколошко инжењерство



## **МАСТЕР РАД**

**из уже научне области: Механика нестишљивих флуида и хидраулика**

**ТЕМА:**

**Сонар за мерење одстојања под водом:  
испитивање карактеристика, осетљивости на кључне  
параметре и могућности за практичну примену**

Ментори:

Доц. др. Дамјан Иветић

Проф.др. Душан Продановић

Кандидат:

Андреја Миловановић 670/21

Београд, 2022.



## Садржај

Списак слика: .....	3
Списак табела: .....	5
1. Увод .....	6
1.1 Предмет истраживања .....	6
1.2 Задатак и циљ истраживања .....	6
2. Методологија .....	7
2.1 Теорија звука (Акустика) .....	7
2.1.1 Јачина звука .....	7
2.1.2 Брзина звука .....	8
2.2 Математичка интерпретација .....	9
2.3 Брзина звука у морској води и емпиријски изрази .....	11
2.3.1 Мекензи .....	11
2.3.2 Копенс .....	11
2.4 Побољшање једначине .....	12
2.4.1 Једначина УНЕСЦО-а: Чен и Милеро .....	12
2.4.2 Дел Гросова једначина .....	13
2.4.3 НПЛ једначина .....	15
2.5 Брзина звука у ваздуху .....	15
2.6 Поређење теоријских образаца у условима који приближно одговарају условима рада сонара на ХЕ Ђердап 2 .....	16
2.7 Ултразвучни уређаји , сонари и примена .....	16
2.7.1 Комерцијални уређаји (проналазач риба) .....	17
2.7.1.1 Рад у плиткој води .....	19
2.7.1.2 Рад у дубокој води .....	19
2.7.2 Пинг сонар .....	20
2.8 Експериментална мерења .....	24
2.8.1 Анализа температурног одзива ПЦБ сензора у води .....	24
2.8.2 Испитивање радних карактеристика Пинг сонар уређаја у води .....	24
2.8.2.1 Експеримент 1 .....	24
2.8.2.2 Експеримент 2 .....	26
2.8.2.3 Корекција резултата мерења коришћењем теоријских образаца .....	29
2.8.3 Испитивање радних карактеристика Пинг сонар уређаја у ваздуху .....	29
2.8.4 Испитивање радних карактеристика уређаја "FISH FINDER" .....	31
2.8.5 Теренска мерења .....	31



2.9 Ардуино платформа и повезивање са Пинг сонаром.....	34
2.9.1 Опште информације о платформи .....	34
2.9.2 Коришћење уређаја Пинг сонар коришћењем Usb rs485 и Ардуино платформе.....	36
2.10 Могућност практичне примене сонара.....	38
3. Резултати и дискусија .....	43
3.1 Резултати анализе температурног одзива ПЦБ сензора у води .....	43
3.2 Резултати мерења применом Пинг сонара на каналу Института за хидротехнику (Експеримент бр. 1) .....	44
3.3 Резултати мерења применом Пинг сонара на каналу Института за хидротехнику (Експеримент бр. 2) .....	45
3.3.1 Приказ фазе 1 и фазе 3 .....	45
3.3.2 Фаза 2.....	47
3.4 Резултати калибрације уређаја применом теоријских образаца и мерењем.....	48
3.5 Резултати мерења Пинг сонаром у ваздуху .....	49
3.6 Резултати теренских мерења на Чукарчком Рукавцу .....	50
.....	51
4. Закључци и предлог будућег истраживања .....	52
4.1 Закључци и предлог будућег истраживања .....	52
4.2 Предлози будућег истраживања.....	54
Додатак 1 .....	54
Трансформација притиска у дубину:.....	54
Трансформација дубине у притисак .....	55
Литература: .....	56



## Списак слика:

Слика 1: Извођење експеримента у брдима Француске 1822 године .....	8
Слика 2: Експеримент на мерењу брзине звука у води 1827 године.....	9
Слика 3: Модул стишљивости у функцији температуре и притиска .....	10
Слика 4: Промена брзине звука у води применом једначина описаних у поглављу 3.2.....	16
Слика 5: Систем за мерење коте дна (методологија мерења) .....	17
Слика 6: Рибарски сонар GKF-02а.....	17
Слика 7: Приказ контролне јединице са могућим функцијама.....	18
Слика 8: Сонар са пластичном облогом ради бољег усмеравања сигнала и баластом за стабилизацију у брзој вода ( <i>преузето са: <a href="http://www.fish-finder.org">http://www.fish-finder.org</a></i> ).....	19
Слика 9: 3d модел Пинг сонара.....	20
Слика 10: Технички цртеж димензије уређаја, ( <i>преузето са: <a href="https://bluerobotics.com/">https://bluerobotics.com/</a></i> ) .....	21
Слика 11: Приказ на који начин сонар мери дубину .....	22
Слика 12: Кориснички интерфејс софтвера PingViewer.....	22
Слика 13: Сензор температуре и Пинг сонар .....	24
Слика 14: Велики канал са опремом за мерење на Институту за хидротехнику .....	25
Слика 15: Приказ елемената примењених при мерењу и измерене очекиване дубине у 5 позиција .....	25
Слика 16: Сензор температуре DS18B20 потопљен на половини дубине.....	26
Слика 17: Кориснички интерфејс са приказом вредности остетљивости уређаја .....	26
Слика 18: Кориснички интерфејс са приказом вредности опсега претраживања(црвена боја) .....	27
Слика 19: Илустрација изведеног мерења на каналу Института за хидротехнику, корекција препоручене брзине на брзину која одговара стварној дубини. Мерење се одвија померањем ка дну. ....	28
Слика 20: Илустрација изведеног мерења на каналу Института за хидротехнику. Брзина је поново коригована и мерење је извршено померањем ка површини.....	28
Слика 21: Илустрација експеримента мерења у ваздуху и приказ ласерског даљинометра.....	30
Слика 22: Рибарски сонар фиксиран на алуминијумски профил .....	31
Слика 23: Позиције на сплаву са којих је мерена дубина до дна.....	32
Слика 24: Припрема опреме за мерења. На слици се може уочити алуминијумски носач мерне игле са сонаром. Носач је конструисан тако да би се превазишла денивелација између коте површине воденог огледала и коте на сплаву. ....	32
Слика 25: Позиционирање опреме на једну од позиција на сплаву. ....	33
Слика 26: Провера позиције сонара поклапањем нуле и поделе на мерном нонијусу.....	33



Слика 27: Пластица Ардуино Уно са приказом компонентни (преузето са: <a href="https://www.sk.rs">https://www.sk.rs</a> ) .....	34
Слика 28: Остваривање комуникације између Пинг сонара и PingViewer софтвера путем USB RS485 серијске комуникације.....	36
Слика 29: Пренос података RS485.....	36
Слика 30: Ожичење сонара са (енг. Tinyos Uno) плочицом.....	37
слика 31: Измена координата у циљу калибрације тач скрин дисплеја.....	38
Слика 32: Калибрисан тфт дисплеј и одговарајуће графичко окружење.....	39
Слика 33: Приказ компонентни потребних за коришћење уређаја без употребе рачунара. Сонар остварује комуникацију са Tinyos Mega архитектуром и податке о мерењу приказује на екрану.....	40
Слика 34: Лего Техникс пловило. Покрећу га два електромотора а управљање се врши даљинским путем.....	41
Слика 35: Приказ бове опремљене системом сонара за детекцију подводних објеката.....	42
Слика 36: Упоредне вредности промене температуре на ПЦБ сензору и сензору температуре .....	43
Слика 37: График са приказом одступања мерења Пинг сонаром од очекиваних вредности .....	44
Слика 38: График са резултатима мерења у Експерименту бр. 2, упоредне вредности мерења варирањем различитих параметара у корисничком интерфејсу PingViewer. Променом различитих параметара циљ је био постићи боље перформансе уређаја и сагледати његово понашање.....	45
Слика 39: Вредности одступања мерења у mm од очекиваних резултата по корацима мерења. Варирањем различитих параметара кориговани су резултати мерења и они се могу видети на дијаграму. На легенди су приказани варирани параметри. (нпр. MaxGain, ScanLenghtAuto).....	46
Слика 40: График са резултатима мерења у Експерименту бр. 2, Фаза 2.....	47
Слика 41: Вредности одступања мерења у mm од очекиваних резултата.....	47
Слика 42: Поређење вредности директних мерења дубина, кориговањем препоручене брзине <i>Vprep</i> и добијених дубина добијених коришћењем теоријских образаца.....	48
Слика 43: Одступање мерених дубина од очекиваних вредности после корекција директним мерењем и коришћењем теоријских образаца.....	48
Слика 44: Резултати мерења Пинг сонара у ваздуху.....	49
Слика 45: Вредности одступања мерења (ваздух) у mm од очекиваних резултата.....	50
Слика 46: Приказ резултата мерења у 3 различите позиције на сплаву. Дијаграм приказује резултате мерења за 5 различитих вредности одстојања сонара од дна. Свако наредно мерење је вршено померањем сонара за 50mm ка дну.....	50
Слика 47: Вредности одступања мерења од очекиваних резултата на Чукаричком рукавцу.....	51



## Списак табела:

Табела 1: Промена густине чисте воде у функцији температуре .....	10
Табела 2: Коефицијенти за израчунавање брзине једначина Чен и Милеро .....	13
Табела 3: Коефицијенти за израчунавање брзине једначине Дел Гросо.....	14
Табела 4: Средње вредности брзина применом емпиријских једначина .....	16
Табела 5: Техничке карактеристике сонара (GKF-02) .....	18
Табела 6: Техничке карактеристике Пинг сонар уређаја.....	21
Табела 7: Техничке карактеристике ласерског даљинометра Rowefix Hg03064A .....	30



## 1. Увод

### 1.1 Предмет истраживања

Суочавајући се са енергетским изазовима данашњице постоји све већа потреба за ефикаснијим радом наших система. Са енергетског становишта један од најбитнијих параметара је количина произведене енергије. Да ли се ради о хидроенергетском потенцијалу или неком другом, веома је важно квантификовати улаз и изаз у енергетском смислу и користити методологију која се бави праћењем њене ефикасности.

Један од основних начина на који се боримо против пада ефикасности је познавање његовог стања. Основна метода којом квантификујемо стање наших система је мерењем.

Савремен и убрзан развој електронике и уређаја допире до свих области инжењерства. Тако и наша могућност да користимо исте и побољшамо наша мерења. Доступна микроконтролерска платформа Ардуино, спрега између софтверских и хардверских компоненти је данас доступна савременим инжењерима који желе да побољшају своја мерења и унапреде своје системе.

### 1.2 Задатак и циљ истраживања

Веома је важно познавати облик дна (батиметрију). То су поред других параметара битни улазни подаци за математичко моделовање течења у отвореним токовима (линијско, раванско и просторно).

Неустаљеност течења, пронос наноса, промена геометријских карактеристика протицајног профила услед ерозије, константно изискује праћење и осматрање тих промена. У ретким случајевима може се успоставити једнозначна веза између протока и дубине тока.

Један од начина на који меримо дубину је коришћењем сонара. Циљ истраживања у овом раду је првенствено био испитивање радних карактеристика сонара произвођача PING1D за потребе пројекта мерног система на хидроенергетском систему Ђердап 2 (Продановић, Иветић 2020). Тестирања су вршена коришћењем платформе Ардуино и софтвера PingViewer. Функција сонара је осматрање облика дна (наносне формације) у циљу корекције протицајног профила.

Испитивање радних карактеристика и понашање уређаја у различитим условима има за циљ процену мерне несигурности и дефинисање начина примене уређаја. Конструкција уређаја је таква да се на једноставан начин може интегрисати кроз друге системе. У раду ће бити разматрана идејна решења за употребу уређаја коришћењем Ардуино платформе.



## 2. Методологија

Испитивање рада Пинг сонара у лабораторијским и реалним условима рада има за циљ упознавање са радним карактеристикама у различитим условима експлоатације. Обрадиће се функционисање сонара у лабораторијским и теренским реалним условима. Уређај се користи за мерење одстојања под водом. Један од важних фактора је познавање брзине пропагације звука у води или у условима у којима се мерења врше. (ваздух, уље..)

Функционисање уређаја се базира на познавању брзине звука и јако је важно проучити теорију звука. Познавање брзине звука, начина и услова у којима се он мења је од пресудног значаја за прецизну анализу рада сонара коју ћемо обрадити у овом раду.

Начин комуникације уређаја Пинг сонар даје могућност повезивања са Ардуино платформом. Детаљан начин комуникације и повезивања уређаја биће разрађени у даљим поглављима. Размотриће се могућност и методе рада уређаја користећи га у форми ручног уређаја (енг. „hand held”). Такав начин рада уређаја олакшава његово практично коришћење без потребе за коришћењем рачунара и додатне опреме.

### 2.1 Теорија звука (Акустика)

Ако прстима ударимо клупу, кредом о школску таблу, а звоно кључем, ако дувамо у трубу или фрулу итд. примамо неке осећаје преко чула слуха које називамо звуком. Тело које одаје звук зове се звучни извор. Звучни извор може бити свако тело, ако његови молекули врше треперење. Све што чујемо ухом називамо звуком, звук постаје треперењем неког звучног извора. Између слушног извора и нашег уха постоји материјална средина која преноси треперење. Веза која их спаја је нека материјална средина која ће пренети треперење. Као посредник могу бити разна тела, јер сва тела без обзира на агрегатно стање, преносе звучне осцилације. Звук се не простире кроз празан простор и зато између нашег уха и звучног извора мора се налазити неко гасовито, течно или чврсто тело да би се звук чуо. (Ђурић, Ђулум, 1973)

#### 2.1.1 Јачина звука

Искусствено познајемо да је јачи осећај звука када чекићем ударамо велики наковањ, него када истом снагом ударамо мањи наковањ. Јачина звука једног звучног извора ће бити већа уколико је маса звучног извора већа. Пошто је кинтичка енергија звучног извора који трепери сразмерна његовој маси, јасно је, зашто звучи извори већих маса, при истим побудама дају звук веће јачине од оних чија је маса мања.

$$J = \sigma \frac{ma^2}{d} \quad (1)$$

$\sigma$  - коеф. чија вредност зависи од природе и густине средине која преноси звук

$J$  - јачина звука,  $m$  - маса звучног извора

$a$  - амплитуда материјалних делића звучног извора

$d$  - даљина од звучног извора





## 2.1.2 Брзина звука

Када се ноћу испали пушка или топ далеко од нас, прво видимо пламен, а касније чујемо пуцањ. Од тренутка када опазимо муњу у облацима, па до тренутка када чујемо грмљавину, прође увек извесно краће или дуже време, што зависи од даљине извора.

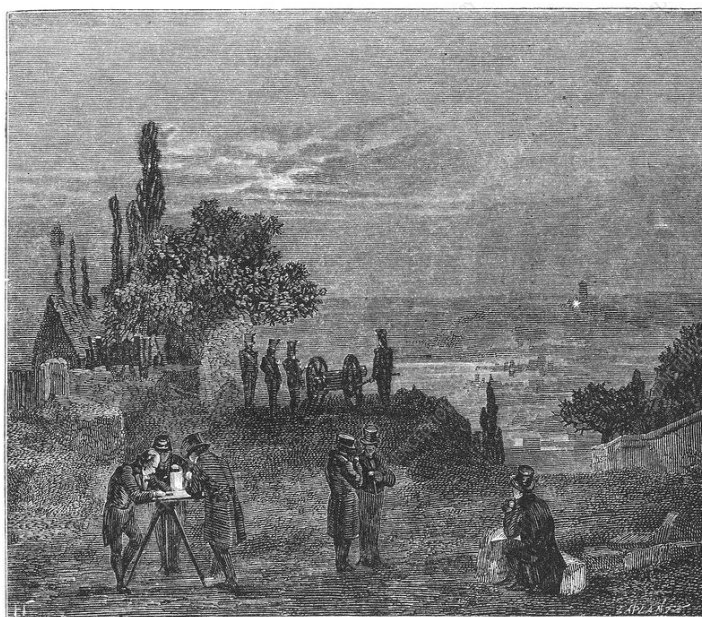
Брзина звука кроз хомогену средину иста је у свим правцима, па можемо закључити да се звук простире једноликим кретањем. Према томе брзину звука можемо одредити помоћу једначине

$$c = \frac{S}{t} \quad (2)$$

Ако одредимо време  $t$  за које је звук прешао пут  $S$ .

Брзину звука у ваздуху одредила је комисија Париске академије наука 1882 године. Комисијом су руководили Хумболт и Араго (енг. Humboldt, Arago). Експеримент је изведен у брдима близу Париза. Добијена је брзина звука у ваздуху од  $340 \text{ m/s}$ , температура је износила  $16^\circ\text{C}$ .

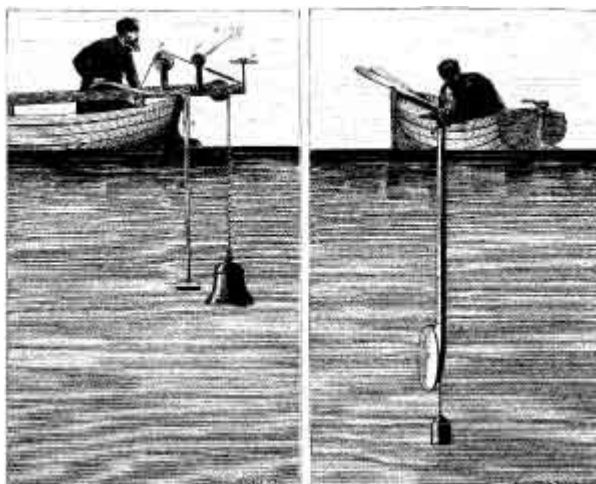
Експериментално је доказано да је брзина звука већа у топлом и влажном ваздуху и зависи од притиска ваздуха. Повећањем температуре за  $1^\circ\text{C}$ , брзина звука се повећава за  $0.6 \text{ m/s}$ . Ветар може имати утицаја ако дува у правцу простирања или супротро од правца простирања таласа.



Слика 1: Извођење експеримента у брдима Француске 1822 године  
(преузето са: <https://www.sciencephoto.com>)

Брзину звука у води одредили су експериментално Каладон и Штурм (Calladon, Sturm) 1827 године. Оглед је изведен на Женевском језеру помоћу два чамца.

Звоно је уроњено на једном крају чамца као звучни извор а на другом чамцу се налази левак помоћу којег се региструје звук који путује у води. Брзина звука у води износи  $1435 \frac{m}{s}$ . (Ђурић, Ђулум, 1973)



Слика 2: Експеримент на мерењу брзине звука у води 1827 године (преузето са: <https://dosits.org>)

## 2.2 Математичка интерпретација

Брзина звука је брзина простирања механичких таласа кроз хомогену средину. То је својство материје које је повезано са зависношћу промене притиска и густине саме материје:

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (3)$$

Дизањем на квадрат претходну једначину и множењем са  $\frac{\rho}{\rho} = 1$  добија се:

$$c^2 = \frac{dp}{d\rho} \frac{\rho}{\rho}, \text{ па се узимањем у обзир израза } s = \frac{d\rho}{\rho} \frac{1}{dp} \text{ добија:}$$

$$\boxed{c^2 = \frac{\varepsilon}{\rho}} \quad (4)$$

или  $c^2 = \frac{1}{s\rho}$  коефицијент стишљивости  $s = \frac{dV}{V_0} \frac{1}{dp}$  ( $pa^{-1}$ )

Реципрочна вредност коефицијента стишљивости је модул стишљивости:

$$\varepsilon = \frac{1}{s} = -\frac{V_0}{dV} dp \quad (5)$$

Ова једначина директно повезује стишљивост и брзину звука као особине флуида. За чврста тела важи аналогни израз:

$$\boxed{c^2 = \frac{E}{\rho}} \quad E\text{-модул еластичности} \quad (6)$$

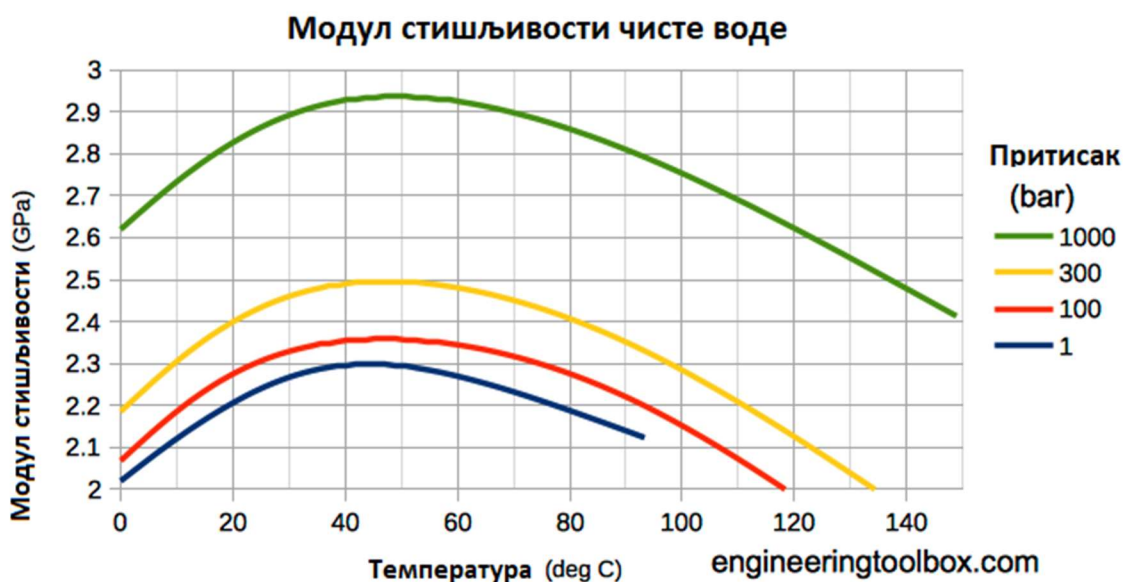
Чиме се доказује веза између модула стишљивости и модула еластичности.



Табела 1: Промена густине чисте воде у функцији температуре

Темп (°C)	Густина (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>[17][18]</sup>
+100	958.4
+80	971.8
+60	983.2
+40	992.2
+30	995.6502
+25	997.0479
+22	997.7735
+20	998.2071
+15	999.1026
+10	999.7026
+4	999.9720
0	999.8395
-10	998.117
-20	993.547
-30	983.854

(преузето са: <https://www.engineeringtoolbox.com>)



Слика 3: Модул стишљивости у функцији температуре и притиска  
(преузето са: <https://www.engineeringtoolbox.com>)



## 2.3 Брзина звука у морској води и емпиријски изрази

Брзина ширења звучног таласа у морској води зависи од температуре воде, дубини на којој се звук шири и салинитет воде. Сви ови параметри садржани су у емпиријским изразима који, према изворима у литератури (енг. Mackenzie, 1981), (енг. Coppens, 1981), (енг. Chen & Millero, 1977), (енг. Fofonoff & Millard, 1983), (енг. Wong & Zhu, 1995), (енг. Leroy, Robinson, Goldsmith, 2008), (енг. Leroy, Parthiot, 1998) јако поуздано дају тражене резултате.

### 2.3.1 Мекензи

$$C(D, S, T) = 1448.96 + 4.591T + 5.304 \cdot 10^{-2}T^2 + 2.374 \cdot 10^{-4}T^3 + 1.340(S - 35) \quad (7) \\ + 1.630 \cdot 10^{-2}D + 1.675 \cdot 10^{-7}D^2 - 1.025 \cdot 10^{-2}T(S - 35) - 7.139 \\ \cdot 10^{-13}TD^3$$

**T** = температура у целзијусима

**S** = салинитет у промилима

**D** = дубина у метрима на којој се врше мерења

**Опсег примењљивости** : температуре 2 до 30 °C, салинитет 25 ‰ to 40 ‰, дубина 0 до 8000 m

Дата једначина за брзину звука у морској води у функцији температуре, салинитета и дубине се назива Макензијевом једначином (енг. Mackenzie, 1981).

### 2.3.2 Копенс

$$C(D, S, T) = c(0, S, t) + (16.23 + 0.253t)D + (0.213 - 0.1)D^2 \quad (8) \\ + [0.016 + 0.0002(S - 35)] \cdot (S - 35)tD$$

$$C(0, S, t) = 1.449.05 + 45.7t - 5.21t^2 + 0.23t^3 + \quad (9) \\ (1.333 - 0.126t + 0.009t^2)(S - 35)$$

**t** = T/10 где је **T** = температура у целзијусима

**S** = салинитет у промилима

**D** = дубина у километрима на којој се врше мерења

**Опсег примењљивости** : температура од 0 до 35 °C, салинитет 0‰ to 45‰, дубина 0 до 4000 m

Дата једначина за брзину звука у морској води у функцији температуре, салинитета и дубине дата је Копенсовом једначином (енг. Coppens, 1981)



## 2.4 Побољшање једначине

### 2.4.1 Једначина УНЕСКО-а: Чен и Милеро

Међународни стандардни алгоритам, често познат као Унеско алгоритам, заслуга Чен и Милеро (енг. Chen, Millero, 1977), и има компликованији облик од горњих једноставних једначина. Користи притисак као променљиву, а не дубину. За оригинални Унеско документ видети рад Фофоноф и Милард (енг. Fofonoff & Millard, 1983). Вонг и Зу (енг. Wong & Zhu, 1995) су поново израчунали коефицијенте у овом алгоритму након усвајања Међународне температурне скале из 1990. год, њихов облик УНЕСКО-ове једначине је :

$$C(S, T, P) = C_W(T, P) + A(T, P) \cdot S + B(T, P) \cdot S^3 + D(T, P) \cdot S^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} C_W(T, P) = & (C_{000} + C_{01}T + C_{02}T^2 + C_{03}T^3 + C_{04}T^4 + C_{05}T^5) \\ & + (C_{10} + C_{11}T + C_{12}T^2 + C_{13}T^3 + C_{14}T^4)P \\ & + (C_{20} + C_{21}T + C_{22}T^2 + C_{23}T^3 + C_{24}T^4)P^2 \\ & + (C_{30} + C_{31}T + C_{32}T^2)P^3 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} A(T, P) = & (A_{00} + A_{01}T + A_{02}T^2 + A_{03}T^3 + A_{04}T^4) \\ & + (A_{10} + A_{11}T + A_{12}T^2 + A_{13}T^3 + A_{14}T^4)P \\ & + (A_{20} + A_{21}T + A_{22}T^2 + A_{23}T^3)P^2 \\ & + (A_{30} + A_{31}T + A_{32}T^2)P^3 \end{aligned} \quad (12)$$

$$B(T, P) = B_{00} + B_{01}T + (B_{10} + B_{11}T)P \quad (13)$$

$$D(T, P) = D_{00} + D_{10}P \quad (14)$$

T = температура у целзијусима

S = салинитет у промилима

p = притисак у барима (дубина на којој се мерења врше)

Опсег примењљивости: температура од 0 до 40 °C, салинитет 0‰ to 40‰, притисак 0 до 1000 bar



Табела 2: Коефицијенти за израчунавање брзине једначина Чен и Милеро

Табела коефицијената			
Коефицијент	Нумеричке вредности	Коефицијент	Нумеричке вредности
C00	1402.388	A02	7.17E-05
C01	5.0383	A03	2.01E-06
C02	-5.81E-02	A04	-3.21E-08
C03	3.34E-04	A10	9.47E-05
C04	-1.48E-06	A11	-1.26E-05
C05	3.14E-09	A12	-6.49E-08
C10	0.153563	A13	1.05E-08
C11	6.90E-04	A14	-2.01E-10
C12	-8.18E-06	A20	-3.91E-07
C13	1.36E-07	A21	9.11E-09
C14	-6.13E-10	A22	-1.60E-10
C20	3.13E-05	A23	7.99E-12
C21	-1.71E-06	A30	1.10E-10
C22	2.60E-08	A31	6.65E-12
C23	-2.54E-10	A32	-3.39E-13
C24	1.04E-12	B00	-1.92E-02
C30	-9.77E-09	B01	-4.42E-05
C31	3.85E-10	B10	7.36E-05
C32	-2.37E-12	B11	1.80E-07
A00	1.389	D00	1.73E-03
A01	-1.26E-02	D10	-7.98E-06

#### 2.4.2 Дел Гросова једначина

Алтернативна једначина Унеско алгоритму, која има ограниченији опсег тачности, али коју неки аутори преферирају, је Дел Гросо једначина (1974). Вонг и Зу (Wong, Zhu, 1995) су такође преформулисали ову једначину за нову међународну температурну скалу из 1990. године и њихова верзија је:

$$c(S, T, P) = C_{000} + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{STP} \quad (15)$$



$$\Delta C_T(T) = C_{T1}T + C_{T2}T^2 + C_{T3}T^3 \quad (16)$$

$$\Delta C_S(S) = C_{S1}S + C_{S2}S^2 \quad (17)$$

$$\Delta C_P(P) = C_{P1}P + C_{P2}P^2 + C_{P3}P^3 \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \Delta C_{STP} = & C_{TP}TP + C_{T3P}T^3P + C_{TP2}TP^2 + C_{T2P2}T^2P^2 + C_{TP3}TP^3 + C_{ST}ST \\ & + C_{ST2}ST^2 + C_{STP}STP + C_{S2TP}S^2TP + C_{S2P2}S^2P^2 \end{aligned} \quad (19)$$

T = температура у целзијусима, S = салинитет у промилима, p = притисак у kg/cm<sup>2</sup>

Опсег примењљивости: температура од 0 до 30 °C, салинитет 30‰ to 40‰., притисак 0 до 1000kg/cm<sup>2</sup> , притисак мора бити у kPa.

Табела 3: Коefицијенти за израчунавање брзине једначине Дел Гросо

Табела коefицијената	
Коefицијент	Коefицијент
C000	1402.392
CT1	5.01E+00
CT2	-5.51E-02
CT3	2.22E-04
CS1	1.33E+00
CS2	1.29E-04
CP1	0.1560592
CP2	2.45E-05
CP3	-8.83E-09
CST	-1.28E-02
CTP	6.35E-03
CT2P2	2.66E-08
CTP2	-1.59E-06
CTP3	5.22E-10
CT3P	-4.38E-07
CS2P2	-1.62E-09
CST2	9.69E-05
CS2TP	4.86E-06
CSTP	-3.41E-04



### 2.4.3 НПЛ једначина

Најновија једначина за брзину звука у морској води је НПЛ једначина коју су формулисали Лерои, Робинсон и Голдсмит (енг. Leroy, Robinson, Goldsmith 2008). Ова једначина је створена из потребе за једначином која би задовољила променљивост услова у водама, искључујући абнормалне „вруће тачке“ абнормално високе температуре и висок салинитет, како би се омогућило да се прецизно израчуна брзина звука у разним сценаријима користећи само једну једначину.

$$c = 1402.5 + 5T - 5.44 \cdot 10^{-2}T^2 + 2.1 \cdot 10^{-4}T^3 + 1.33S - 1.2 \cdot 10^{-2} + 8.7 \quad (20)$$

$$\cdot 10^{-5}ST^2 + 1.56 \cdot 10^{-2}Z + 2.55 \cdot 10^{-7}Z^2 - 7.3 \cdot 10^{-12}Z^3 + 1.2$$

$$\cdot 10^{-6}Z(\Phi - 45) - 9.5 \cdot 10^{-1}TZ^3 + 3 \cdot 10^{-7}T^2Z + 1.43 \cdot 10^{-5}SZ$$

Ова једначина важи за употребу у било ком океану или мору са салинитетом који не прелази 42‰.

### 2.5 Брзина звука у ваздуху

Алгоритам је заснован на приближној формули коју је објавио часопис Америчке асоцијације акустичара [енг. Owen Cramer, 1993].

„Варијација односа специфичне топлоте и брзине звука у ваздуху са температуром, притиском, влажношћу и концентрацијом  $CO_2$ “

$$f(t, p, x_w, x_c) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (a_3 + a_4 t + a_5 t^2) x_w + (a_6 + a_7 t \quad (29)$$

$$+ a_8 t^2) p + (a_9 + a_{10} t^2 + a_{11} t^2) x_c + a_{12} x_w^2 + a_{13} p^2$$

$$+ a_{14} + a_{15} x_w p x_c$$

Где је  $t$  температура у целзијусима,  $p$  притисак,  $X_w$  молска фракција водене паре,  $X_c$  молска фракција угљен диоксида.

Коефицијенти су:

$$a_0 = 331.5024, a_1 = 0.603055, a_2 = -0.000528, a_3 = 51.471935, a_4 = 0.1495874,$$

$$a_5 = -0.000782, a_6 = -1.82 \times 10^{-7}, a_7 = 3.73 \times 10^{-8}, a_8 = -2.93 \times 10^{-10}, a_9 =$$

$$-85.20931, a_{10} = -0.228525, a_{11} = 5.91 \times 10^{-5}, a_{12} = -2.835149, a_{13} = -2.15 \times$$

$$10^{-13}, a_{14} = 29.179762, a_{15} = 0.000486.$$

$$x_w = \frac{h f p_{sw}}{p} \quad (30)$$

Где је  $h$  релативна влажност изражена као фракција,  $f$  је фактор побољшања и  $p_{sw}$  притисак [Pa] засићења водене паре у ваздуху.



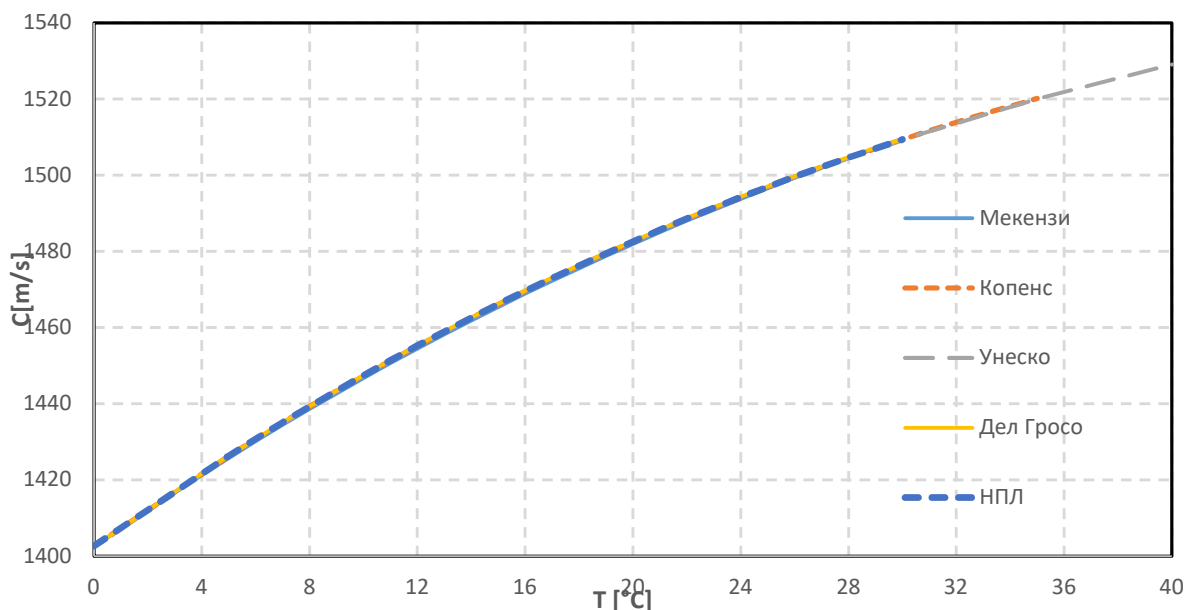


$$f = 1.00062 + 3.14 \times 10^{-8}p + 5.6 \times 10^{-7}t^2 \quad (31)$$

$$p_{sv} = e^{(1.2811805 \times 10^{-5}T^2 - 1.9509874 \times 10^{-2}T + 34.04926034 - \frac{6.3536311 \times 10^3}{T})} \quad (32)$$

Опсег применљивости: температура од 0 до 30 °C, релативна влажност 0 до 100%.

## 2.6 Поређење теоријских образаца у условима који приближно одговарају условима рада сонара на ХЕ Ђердап 2



Слика 4: Промена брзине звука у води применом једначина описаних у поглављу 3.2

Улазни параметри коришћени при прорачуну:

$$S = 0\text{‰}, P = 1\text{bar} (100\text{Kpa}), D = 10\text{m}, \phi = 44.52,$$

Табела 4: Средње вредности брзина применом емпиријских једначина

T [°C]	C [m/s]
5	1426.18
10	1447.27
15	1465.96

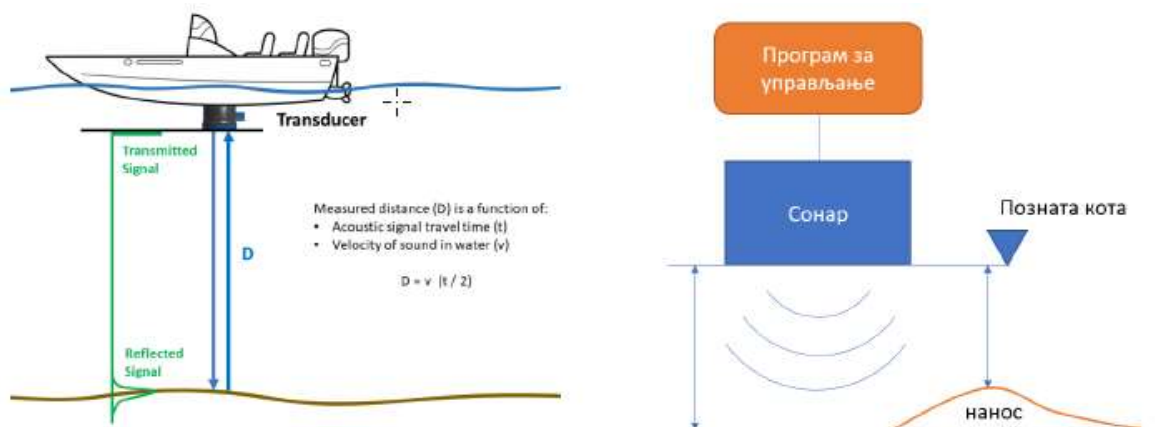
Може се закључити да емпиријске једначине за исте услове дају резултате који јако мало одсутпају један од других.

## 2.7 Ултразвучни уређаји, сонари и примена

Сонар је систем који се користи у детекцији објеката (обично испод површине воде). За свој рад користи простирање акустичних таласа.

Прву забележену примену ове технике остварио је Леонардо да Винчи 1490. године који је употребио цев уметнуту у воду да детектује пловила помоћу ува. Сонар је развијен током Првог светског рата како би се супротставило растућој претњи подморничког рата, са оперативним пасивним сонарним системом који је био у употреби до 1918.

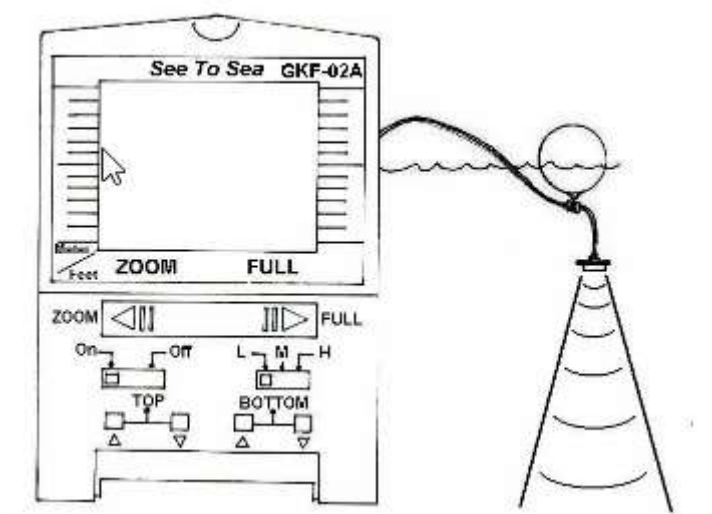
Принцип рада овог типа мерног уређаја је заснован на ултразвучном мерењу растојања. Сензор мери време и прерачунава растојање, слика у наставку. (Продановић, Иветић 2020)



Слика 5: Систем за мерење коте дна (методологија мерења)

### 2.7.1 Комерцијални уређаји (проналазач риба)

See to Sea GKF-02A је уређај са више наменским функцијама . Поседује сонар са углом ултразвучног конуса од 40°. Комбинује функције проналажења рибе и осталих објеката у води и идентификацију дна водотока у опсегу од 0-30m. Екран резолуције 64x64 пиксела.

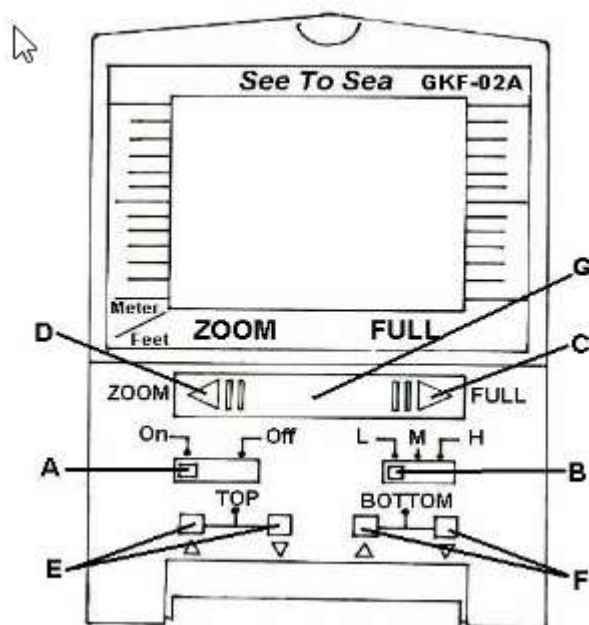


Слика 6: Рибарски сонар GKF-02a  
(преузето са: <http://www.fish-finder.org>)

Има три избора нивоа снаге у зависности од услова примене. Произвођач наводи да се уређај може користити у плиткој, дубокој води, са кајака, обале, моста, у слатководним водним телима као што су језера, реке итд.

Табела 5: Техничке карактеристике сонара (GKF-02)

Извор напајања	: 4 x "AAA" батерије (1.5v).
Потрошња	: Непрекидан рад током 38 сати за батерију
Статус приказа	: 64 x 64 тачке (= 4,096 пиксела) Екран са матричним тачкама.
Опсег претраживања	: 0 ~ 30 метара / 0 ~ 99 стопа
Сурвеи Англе	: 40° Угао конуса
Операте Темп.	: -4°C ~ +75°C
Дужина кабла	: 8 метара / 25 стопа
Тежина	: Главна јединица 85 г (искључена батерија). Сонар 70 гр.
Димензије	: 65 мм (Ш) к 102 мм (В) к 32 мм (Д) / Главна јединица



Слика 7: Приказ контролне јединице са могућим функцијама (преузето са: <http://www.fish-finder.org>)

#### А. Прекидач за Укључивање/Искључивање

**В. Избор снаге** –Изаберите 3 нивоа снаге.(L=низак, M=средњи, H=висок)

**С. Пун опсег** --Приказује детекцију у пуном домету уређаја (корисници подесиви од 0-30 метара)

**Д. Дугме за зумирање** –Подешавање дубине детекције (корисник може подесити од 0-29 метара)

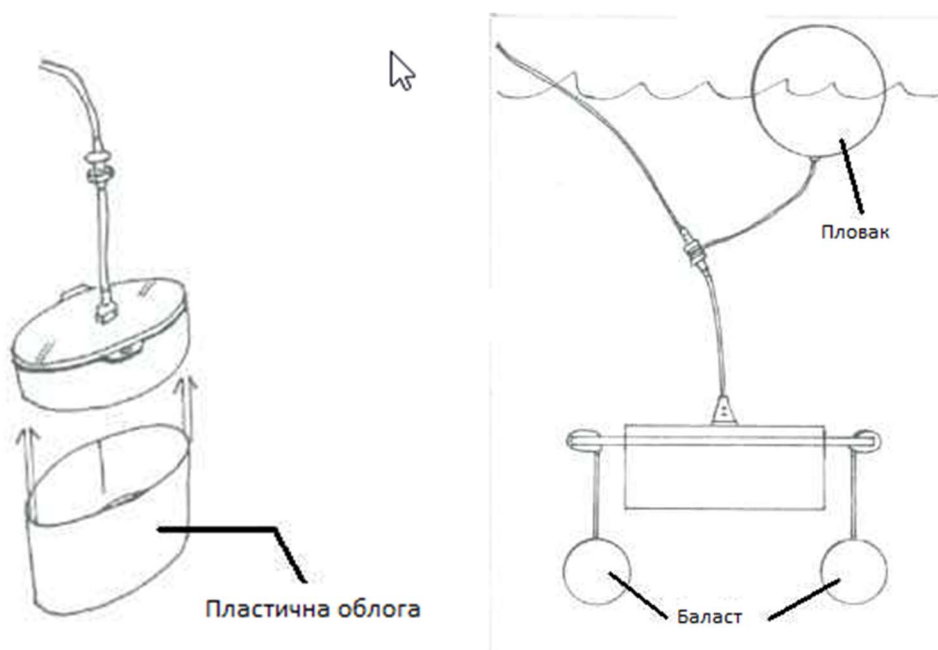
**Е. Дугме за подешавање нивоа** ▲▼ – За подешавање највишег нивоа нагоре/надоле.

**Ф. Дугме за подешавање дна** ▲▼ – За подешавање доњег нивоа нагоре/надоле.

**Г. Дугме за промену ID-а објекта**

#### 2.7.1.1 Рад у плиткој води

У плиткој води од 1-2.5m у присуству каменитог дна или високе траве може доћи до поремећаја сигнала услед рефлексије сигнала. Препочује се замена 2 батерије за 2 коришћене, уз коришћење нисконапонског режима рада. У случају лоших резултата направити пластичну облогу или цев која ће смањити угао претраге и смањити мешање сигнала услед рефлексије. Видети слику 8.



Слика 8: Сонар са пластичном облогом ради бољег усмеравања сигнала и баластом за стабилизацију у брзој вода (*преузето са: <http://www.fish-finder.org>*)

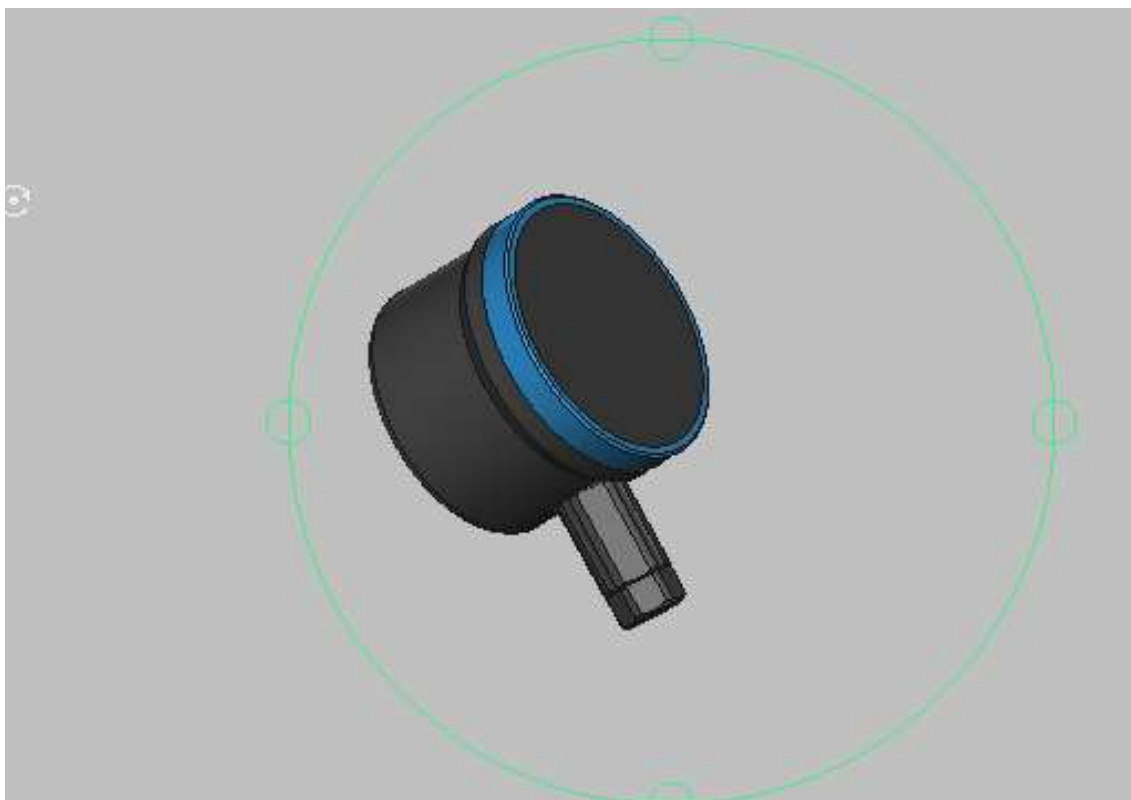
#### 2.7.1.2 Рад у дубокој води

Подесити режим рада на висок (high). У дубокој и брзој води, сонар има тенденцију да буде нестабилан. У том случају треба поставити тежински баласт на главу сонара. Видети слику 8. У случају снимања у води чија дубина прелази 30m, доња граница ће нестати али ће се на екрану и даље приказивати рибе и други објекти унутар ограничене средине.

## 2.7.2 Пинг сонар

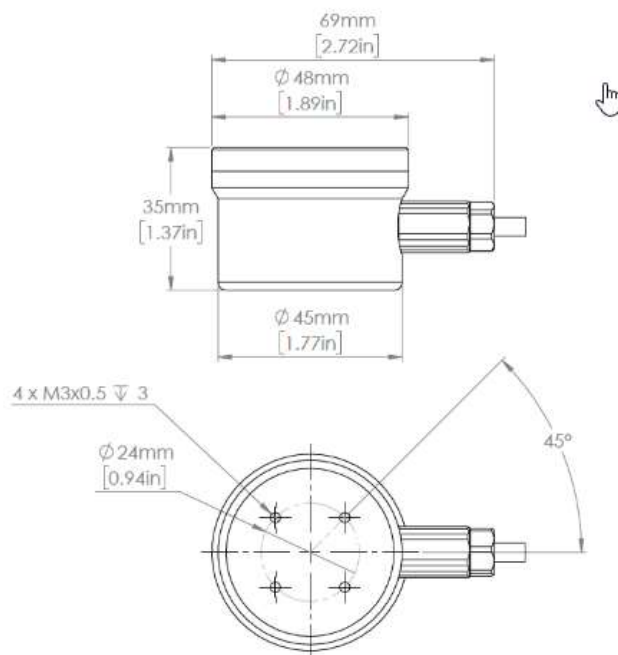
Представља вишенаменски уређај са једно снопским опсегом рада сонара. Користи се и као висиномер за даљински управљане мале подморнице и аутономне подводне машине, као и за избегавање препрека приликом навигације. Одликује га атестирана дубина коришћења од 300m. Ради помоћу пизоелектричног претварача који осцилује и ствара ултразвучни акустични импулс а затим прима рефлектоване сигнале назад.

Са овим информацијама може да одреди дистанцу са које се враћа најснажнији ехо. Претварач ради на фреквенцијама од 115Khz. Опсег мерења је могуће извршити од 0-50m. Ширина опсега сигнала од 30°. Пинг се може повезати са микроконтролерским уређајем као што је Ардуино.



Слика 9: 3d модел Пинг сонара  
(преузето са: <https://bluerobotics.com/>)

Алгоритам за лоцирање површине са које се сигнал враћа ка уређају ради на следећем принципу. Сигнал са највећим акустичним одјеком се узима као референтни и уређај га користи за дефинисање одстојања. У неким ситуацијама постоји присуство шума (signal to noise ratio). У оваквим ситуацијама алгоритам поседује параметар интервал поверења сигнала (confidence level, 0-100%) који нам показује веродостојност мерења.



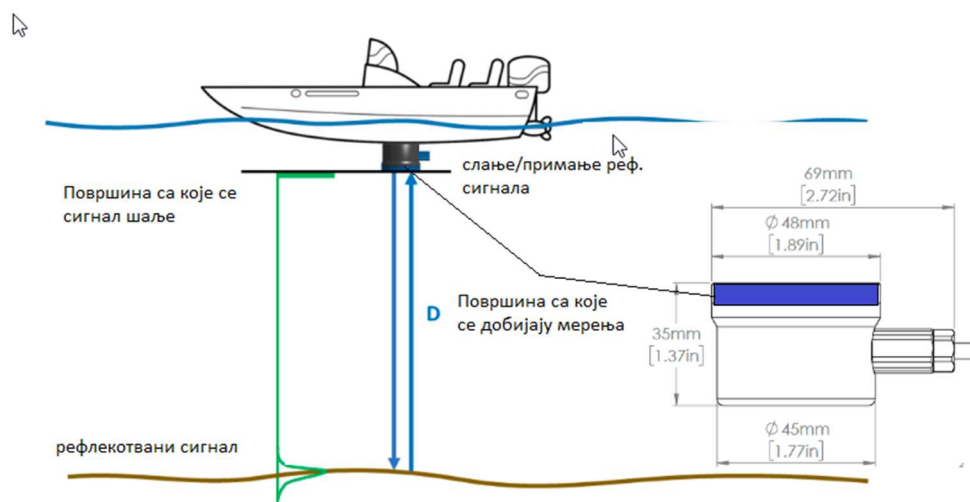
Слика 10: Технички цртеж димензије уређаја, (преузето са: <https://bluerobotics.com/>)

Табела 6: Техничке карактеристике Пинг сонар уређаја

<b>Електрични</b>		
Максималан напон	5.5 v	
Минималан напон	4.5 v	
Потрошња струје	100 milliamps	
<b>Комуникација</b>		
Сигнал протокол	TTL Serial (UART)	
Брзина преноса података	115200 bps (default), 9600 bps	
Протокол комуникације	Пинг протокол	
Библиотеке	Python, C++, Arduino	
<b>Ожичење</b>		
кабал	црна	узем.
	Црвена	Напон
	Бела	Уређај Tx
	Зелена	Уређај Rx
<b>Акустичне карактеристике</b>		
Фреквенција	115 kHz	
Ширина опсега рада сонара	30 °	
Минимална мерена дубина	0.5 m	1.6 ft
Препоручена дубина мерења	50 m	164 ft
Апсолутни максимум	70 m	230 ft
Резолуција опсега	0.5% од укупног опсега	
Резолуција на 50m	25 cm	9.85 in
Резолуција на 2m	1 cm	0.25 in
<b>Физичке карактеристике</b>		
максимални притисак	300 m	984 ft
Температурни опсег	0-30°C	32-86°F
Тежина у ваздуху	133 g	4.69 oz
Тежина у води	55 g	1.94 oz

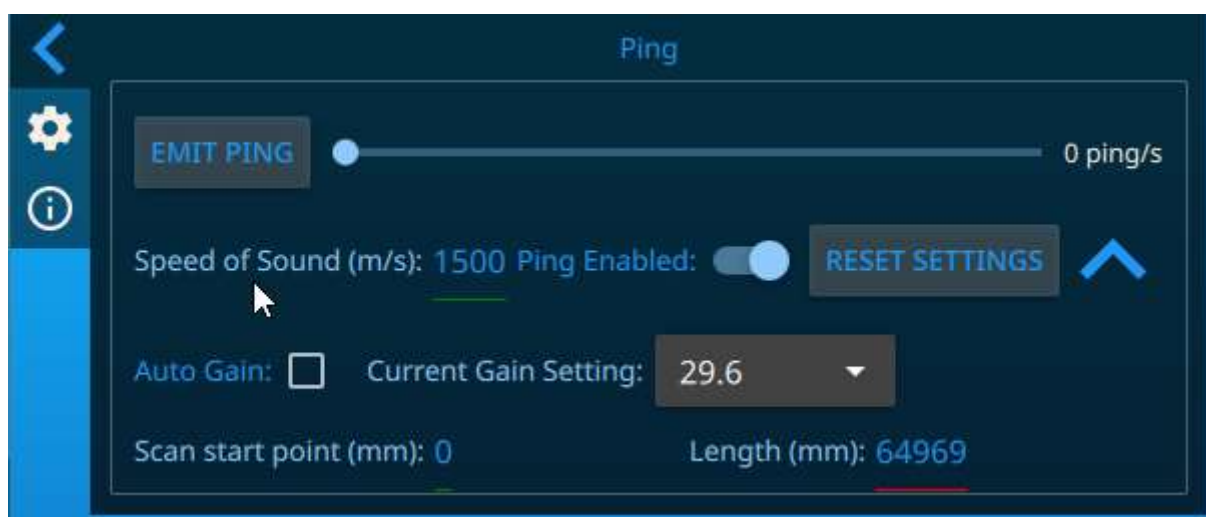
Пинг сонар користи сопствени софтвер (PingViewer) са сопственим интерфејсом. Могуће је коришћење и управљање уређајем преко Ардуино платформе. Потребно је унети препоручену брзину звука у условима којима се мери (вода, ваздух).

Површина са које се сигнал шаље и прима и са које се мерења добијају је дат на слици.



Слика 11: Приказ на који начин сонар мери дубину

Параметри у корисничком интерфејсу софтвера Pingviewer



Слика 12: Кориснички интерфејс софтвера PingViewer



### Параметри у софтверу PingViewer:

- **Emit ping:** Ова функција нам даје могућност регулисања брзине преноса података које сензор враћа кориснику. Повећавањем броја ping/s повећава се брзина којом уређај враћа измерене податке кориснику, тј брзину ажурирања података између емитовања 2 сигнала.
- **Ping Rate Slider:** Померањем позиције на пинг линији са лева на десно повећавамо брзину ажурирања. Она нам даје могућност да контролишемо којом ће брзином наше промене у мерењима бити забележене.
- **Speed of Sound:** Један од најбитнијих параметара које је потребно унети пре почетка мерења је брзина звука која се користи за израчунавање удаљености. Параметар од кога резултати мерења највише зависе. Методологија и начин прорачуна брзине звука детаљно су дати у поглављу 2.3
- **Ping Enabled:** Омогућује рад Пинг уређаја. Када је подешено на онемогућено, Пинг сонар неће емитовати сигнал и уређај неће приказивати резултате мерења.
- **Reset Settings :** ресетује поставке уређаја на подразумевану конфигурацију.

### Напредне функције:

- **Auto Gain:** Аутоматско подешавање осетљивости уређаја GAIN SELECTION (CURRENT GAIN SETTING) или и мерног опсега SCAN RANGE (LENGHT). Потребно је унети брзину звука док су остали параметри у аутоматском режиму рада.
- **Gain Selection:** Ова функција омогућује кориснику да контролише осетљивост уређаја. (аутоматски режим мора бити онемогућен). Одабиром већих бројева у падајућем менију, уређај ради са већом осетљивошћу. Коришћењем уређаја са максималним вредностима добијени су бољи резултати мерења. У условима присуства шума, повећавањем осетљивости уређаја смањујемо грешку.

**Scan Range:** Ручни избор опсега скенирања (аутоматски режим мора бити онемогућен). Омогућује кориговање опсега претраживања, његова 2 параметра.

Постоје два параметра за подешавање опсега скенирања:

- **Scan Start :** Корекција растојања са које уређај емитује сигнал (енг. Offset).
- **Scan Lenght :** Ручни избор опсега скенирања (аутоматски режим мора бити онемогућен). Омогућује кориговање опсега претраживања. Познато нам је растојање чамца од дна а желимо са већом резолуцијом да претражимо одређено подручје. Присуство риба на половини дубине.





## 2.8 Експериментална мерења

### 2.8.1 Анализа температурног одзива ПЦБ сензора у води

Циљ анализе је испитивање реакције температурног сензора (са пцб плочице на пинг сонару) на промене спољне температуре. Разматрана је могућност коришћења сензора температуре унутар уређаја као могућност мерења температуре воде ради процене брзине звука у води.



Слика 13: Сензор температуре и Пинг сонар

Температура воде на почетку експеримента  $21.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура ПЦВ сензора  $32.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сонар је потопљен у воду заједно са сензором температуре DS18B20. Промене су мерене на 1 минут, у трајању од 60 минута. Резултати експеримента су дати у поглављу 3.1.

### 2.8.2 Испитивање радних карактеристика Пинг сонар уређаја у води

#### 2.8.2.1 Експеримент 1

Мерења су изведена у каналу Института за хидротехнику запремине  $100\text{ m}^3$ . Ниво воде је мерен на два места уз бокове канала и на место сонара и његова вредност на месту сонара је  $1108\text{ mm}$ . Сонар је потопљен за своју висину у износу од  $35\text{ mm}$ . Експеримент је изведен коришћењем мерне игле са резолуцијом читања од  $1\text{ mm}$ . Причвршћен је за мерну иглу ради тачније и контролисане промене дубине. Почетна дубина од  $1073\text{ mm}$  одговара  $26\text{ cm}$  на мерној игли. Промена дубине је вршена за  $\Delta h = 50\text{ mm}$ , спуштањем игле за  $\Delta h$  смањује се дубина на којој сонар врши мерења.

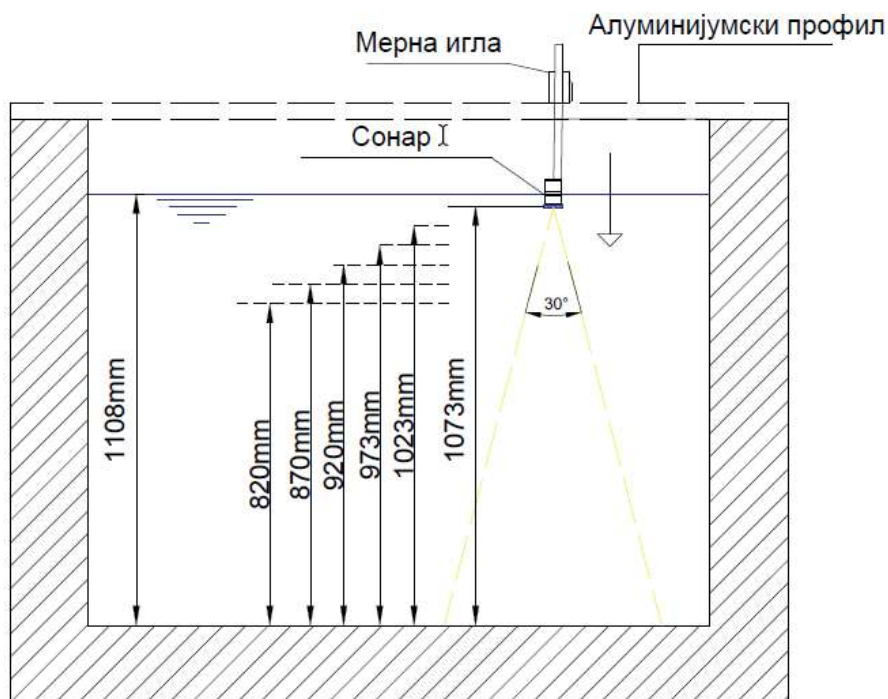
Препоручена брзина је рачуната применом емпиријских формула датим у 2.3. Добијена брзина пропагације звука у води износи  $1487.79\frac{\text{m}}{\text{s}}$  при температури воде од  $21.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура је мерена коришћењем сензора температуре DS18B20.

Комуникација између пинг сонара и сензора температуре је вршена помоћу платформе Тињос УНО.

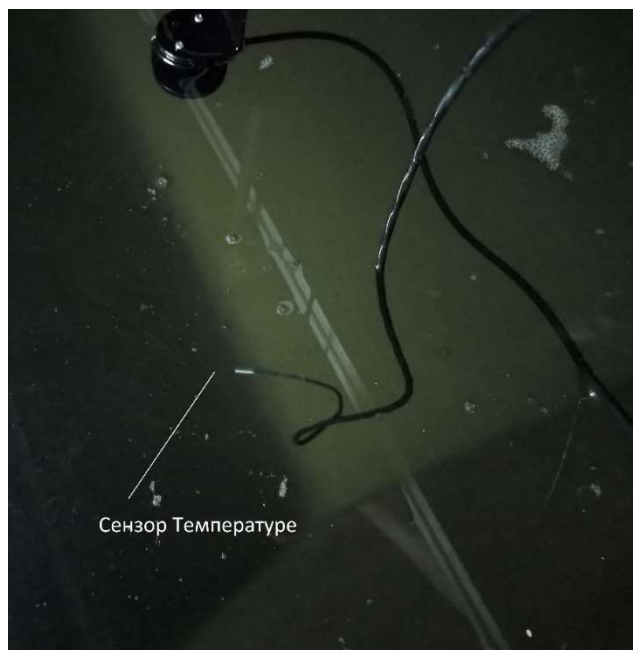
Резултати мерења су приказани у поглављу 3.2, слика 35.



Слика 14: Велики канал са опремом за мерење на Институту за хидротехнику



Слика 15: Приказ елемената примењених при мерењу и измерене очекиване дубине у 5 позиција

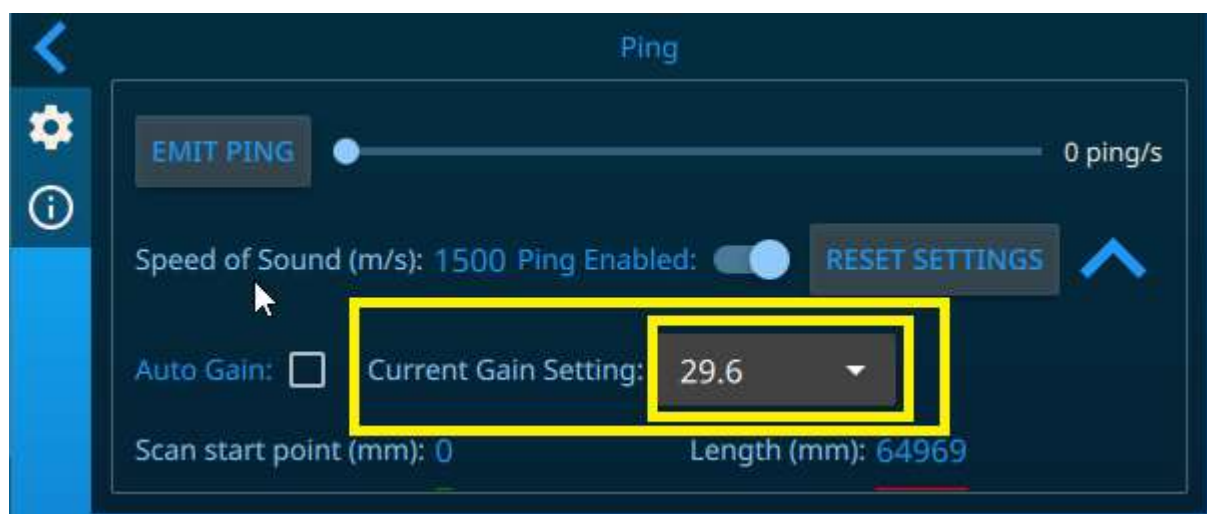


Слика 16: Сензор температуре DS18B20 потопљен на половини дубине

### 2.8.2.2 Експеримент 2

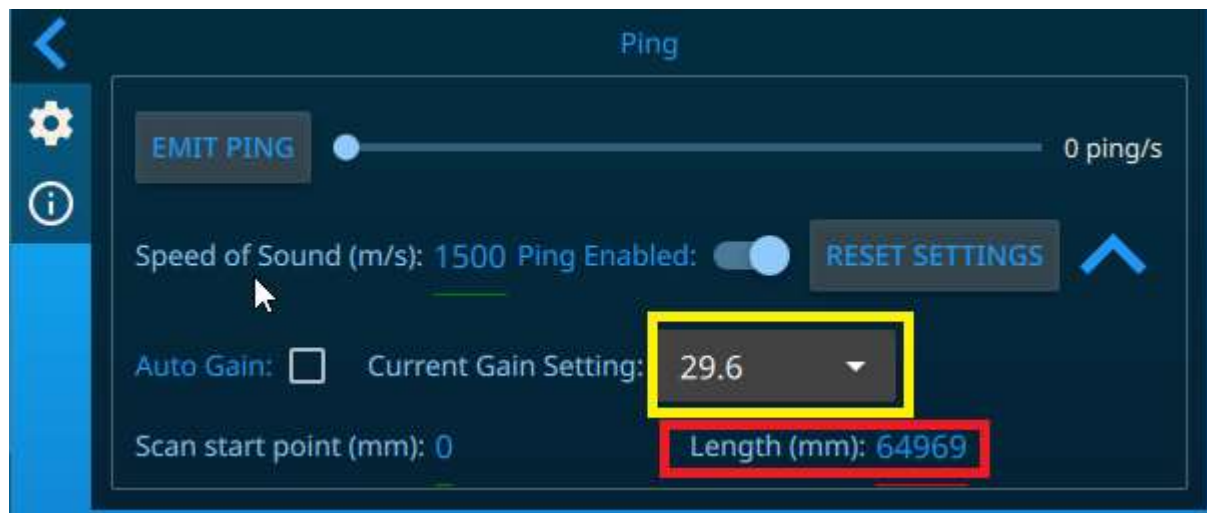
У експерименту број 2 мерења су поновљена на каналу Института за хидротехнику. Експеримент је имао за циљ да опише понашање мерних карактеристика сонара при промени одређених параметара у циљу покушаја кориговања одступања која су се јавила у експерименту број 1. Тестирања су вршена у 3 фазе. Почетни услови: Температура воде  $22.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{prep} = 1490.51\text{ m/s}$ .

Прва фаза је подразумевала промену осетљивости уређаја при мерењу (GAIN SETTING), док је опсег мерења (SCAN LENGTH) остао у аутоматском режиму. За више детаља о функцијама параметара које је могуће кориговати видети у поглављу [2.6.2.1](#). Параметар осетљивости (GAIN SETTING) је подешен на максималну вредност.



Слика 17: Кориснички интерфејс са приказом вредности осетљивости уређаја

У другој фази вариран је параметар опсег мерења (*SCAN LENGTH*) док је осетљивост уређаја (*GAIN SETTING*) подешен на максималну вредност. Једини параметар који је вариран је опсег мерења (*SCAN LENGTH*).



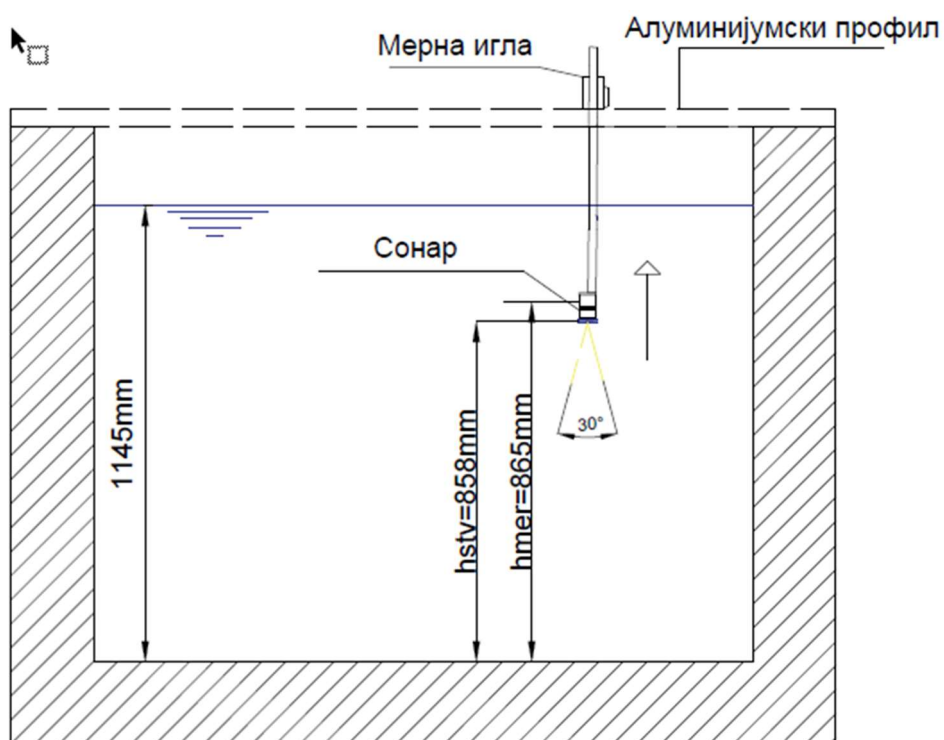
Слика 18: Кориснички интерфејс са приказом вредности опсега претраживања (црвена боја)

У трећој фази користећи препоручену брзину (обрасци поглавље 2.3) при температури воде од  $22.75^{\circ}\text{C}$  добијена је брзина  $V_{prep} = 1490.51 \text{ m/s}$ . Сви параметри на уређају су у аутоматском режиму. Користећи препоручену брзину сонар није измерио вредност која одговара стварној дубини. Брзина је коригована на  $V_{kor} = 1422.47 \text{ m/s}$ . За ову вредност брзине сонар је измерио дубину која одговара очекиваној. Након тога мерења су вршена у 5 позиција са променом дубине за 50mm ка доле. Илустрација изведеног експеримента може се видети на слици 19.

У последњој позицији мерења са сонара нису одговарала стварној дубини па је поново извршено кориговање брзине  $V = 1422.47 \text{ m/s}$  на  $V_{kor2} = 1410.96 \text{ m/s}$  која одговара стварној дубини у последњој позицији на којој је мерено. Експеримент је поновљен на исти начин померањем за 50mm у 5 позиција враћањем сонара ка површини. Резултати су приказани у поглављу 3.3 Илустрација изведеног мерења може се видети на слици 20.



Слика 19: Илустрација изведеног мерења на каналу Института за хидротехнику, корекција препоручене брзине на брзину која одговара стварној дубини. Мерење се одвија померањем ка дну.



Слика 20: Илустрација изведеног мерења на каналу Института за хидротехнику. Брзина је поново коригована и мерење је извршено померањем ка површини.



### 2.8.2.3 Корекција резултата мерења коришћењем теоријских образаца

Претходним експериментима смо добили резултате мерења у аутоматском режиму као и варирањем различитих параметара. Да бисмо извршили калибрацију, кориговали смо препоручену брзину и вршили мерења у оба смера. Методологија применом теоријских образаца нам омогућује да накнадно извршимо корекцију дубина добијених у ауто режиму. Потребно је да познајемо калибрисану брзину звука у води. Теоријска основа је изведена из математичког модела принципа мерења дубине. Поређење резултата мерења применом калибрисане брзине и дубина коригованих у накнадној обради ће додатно показати одступања од очекиваних резултата.

1. Срачунати време путовања  $t$  ултразвука, у зависности од препоручене брзине  $V_{prep}$  (брзина у зависности од услова средине, поглавље 2.3) и добијених мерених дубина у аутоматском режиму.

$$t = \frac{2 \times h_{mer}}{v_{auto}}$$

2. Коришћењем времена путовања ултразвука  $t$  и кориговане брзине  $V_{kor}$  која одговара очекиваној дубини мерења, израчунати кориговане дубине  $h$ . (\*потребно је познавати стварну дубину мерења да би се препоручена брзина кориговала у циљу добијања бољих резултата мерења)

$$h_{kor} = \frac{t * v_{kor}}{2}$$

Резултати применом теоријских образаца и мерење са коригованом брзином могу се видети у поглављу 3.4.

### 2.8.3 Испитивање радних карактеристика Пинг сонар уређаја у ваздуху

Мерења су изведена мерењем раздаљине између картонских кутија и површине плафона. Мерења у ваздуху треба да покажу понашање уређаја у овим условима. Циљ је био поновити сличан експеримент варирањем референтне позиције сонара у односу на плафон и забележити мерну несигурност. Препоручене раздаљине мерене су ласерским ултразвучним уређајем произвођача Powefix Hg03064A и поређене са резултатима Пинг сонара.

Препоручена брзина у зависности од температуре, влажности ваздуха и притиска дата је једначинама у поглављу 2.5. Услови приликом мерења: температура ваздуха 24.4 °C , влажност ваздуха 62 %, притисак 988 mbar. Добијена је  $V_{prep} = 346.97 \text{ m/s}$ .



Слика 21: Илустрација експеримента мерења у ваздуху и приказ ласерског даљинометра

Табела 7: Техничке карактеристике ласерског даљинометра Powefix Hg03064A

Опсег мерења:	0.6m-16m
Тачност мерења :	$\pm 1\%$
Таласна дужина ласера :	635–660 nm, 1 mW
Класа ласера:	II
Фреквенција ултразвука:	40khz

Резултати мерења су дати у поглављу 3.5 слика 44.

#### 2.8.4 Испитивање радних карактеристика уређаја "FISH FINDER"

Разматрањем упутства за употребу рибарског сонара, уређај је подешен за рад у плиткој води. Мерење је извршено на каналу Института за хидротехнику у истим условима у којима је коришћен Пинг сонар. Коришћење уређаја у плиткој води се не препоручује услед резултата који одступају од очекиваних вредности.



Слика 22: Рибарски сонар фиксиран на алуминијумски профил

#### 2.8.5 Теренска мерења

Након експерименталних мерења у лабораторијским условима уређај је требало тестирати у реалним теренским условима. Локација изабрана за тестирање је Чукарички рукавац на Ади Циганлији. У радионици Института за хидротехнику направљен је алуминијумски носач за који се фиксира сонар преко мерне игле. Мерења су вршена на 3 позиције по дужини сплава тако да позиција сонара прати нагиб дна од обале. На свакој позицији дуж сплава мерења су вршена у пет позиција варирањем дубине сонара. Сваки корак вршен је променом дубине за 50 *mm*.

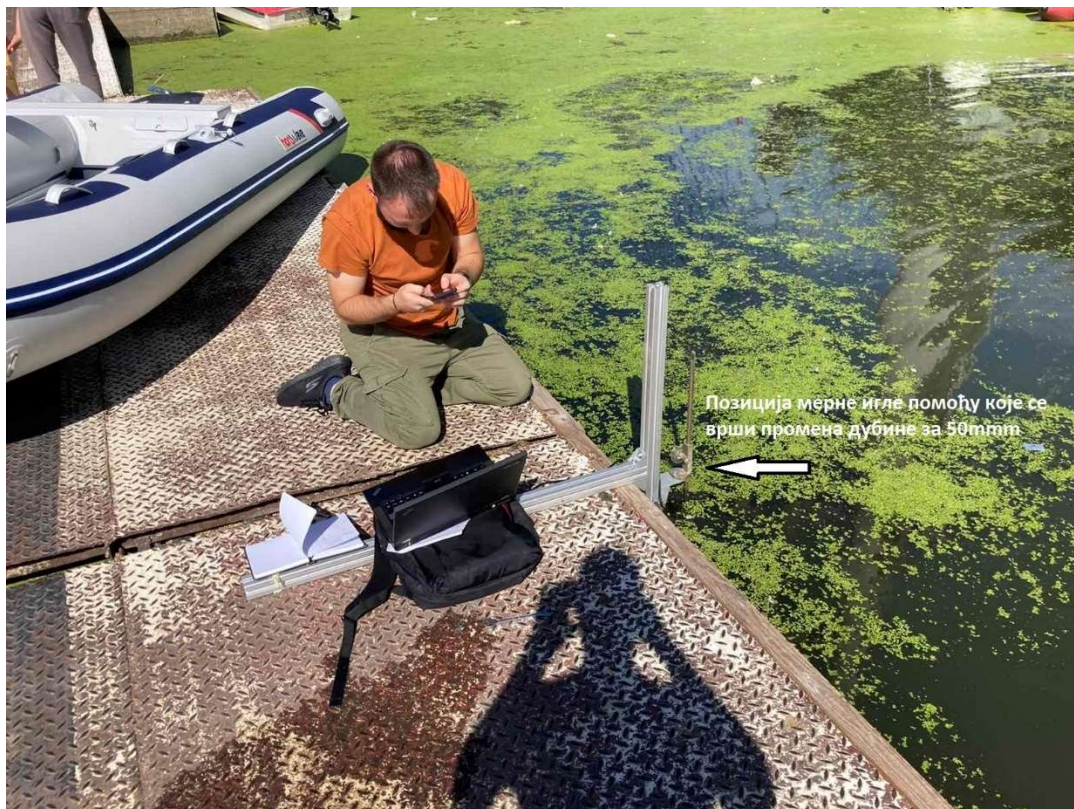




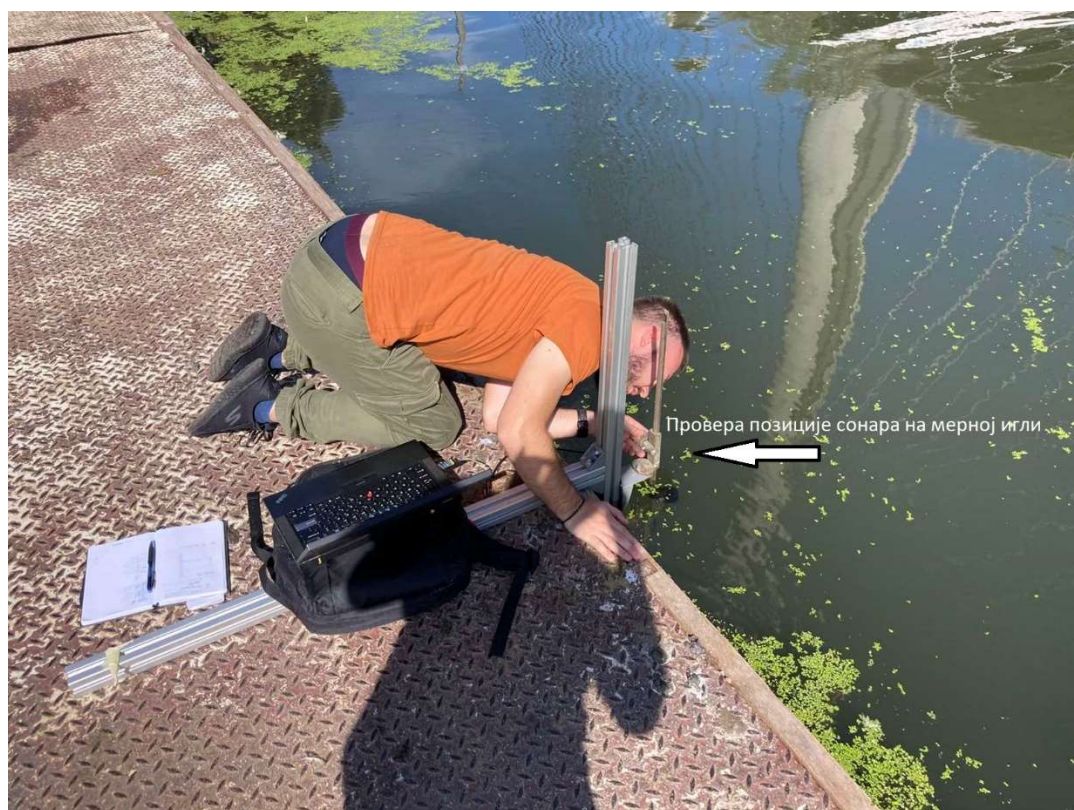
Слика 23: Позиције на сплаву са којих је мерена дубина до дна



Слика 24: Припрема опреме за мерења. На слици се може уочити алуминијумски носач мерне игле са сонаром. Носач је конструисан тако да би се превазишла денивелација између коте површине воденог огледала и коте на сплаву.



Слика 25: Позиционирање опреме на једну од позиција на сплаву.



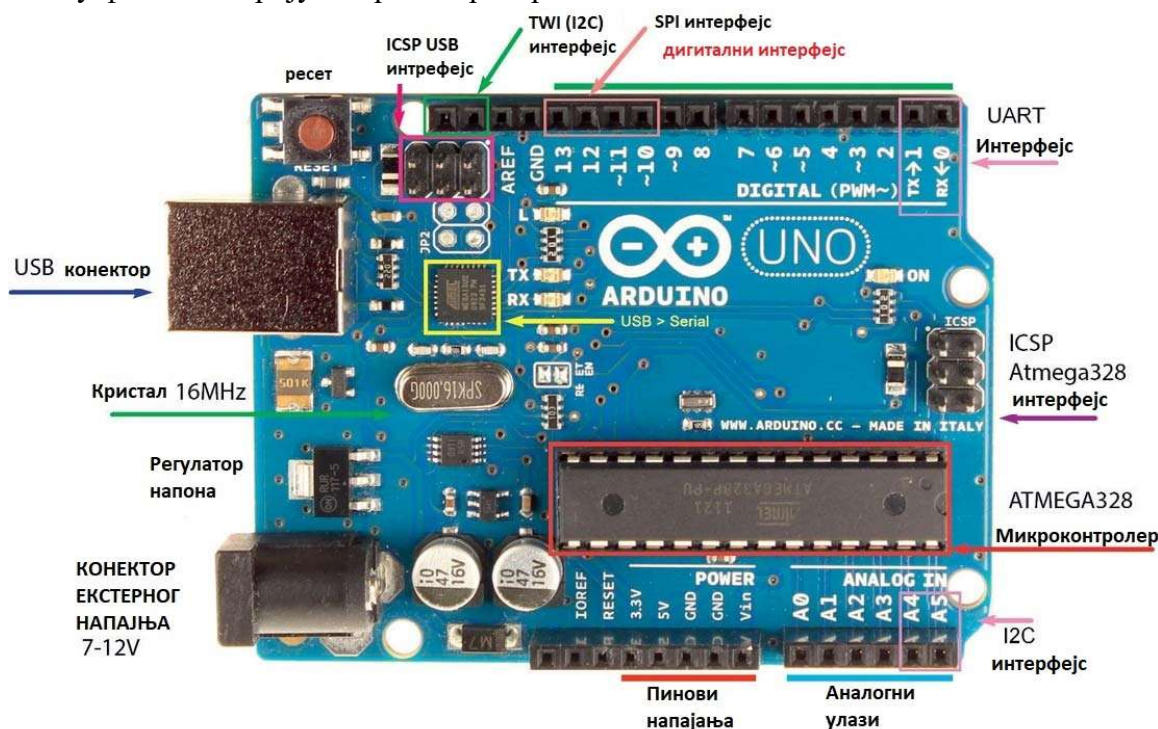
Слика 26: Провера позиције сонара поклапањем нуле и поделе на мерном нонијусу.

Поставке сонара су у аутоматском режиму. Препоручена брзина је рачуната на основу температуре воде измерене сензором DS18B20. Измерена температура воде износила је 18.25 °C. Препоручена брзина  $V_{prep} = 1477 \text{ m/s}$ . Резултати мерења су приказани у поглављу 3.6 слика 47.

## 2.9 Ардуино платформа и повезивање са Пинг сонаром

### 2.9.1 Опште информације о платформи

Ардуино је назив за заједничку фамилију микроконтролерских платформи, која за циљ има развој система и апликација на једноставан начин користећи спрегу између хардверских и софтверских компоненти. Хардвер се састоји од штампане плоче засноване на 8-битном Атмел AVR, или 32-битном Атмел АРМ архитектури. Контрола хардвера успоставља се коришћењем интегрисаног развојног окружења отвореног кода. Веза се остварује преко серијског усб интерфејса који се налази на самој плочици те се на овај начин врши трансфер скрипте у флеш меморију микроконтролера.



Слика 27: Плочика Ардуино Уно са приказом компонентни (преузето са: <https://www.sk.rs>)

Ардуино је по својој функцији У/И плоча, што значи да преко својих периферија омогућује рад са улазним и излазним уређајима. За прикључивање се користе пластични конектори који се називају пинови. Изводи су груписани у два модула, по два са обе стране.

Група пинова у делу напајење (POWER) има 8 контактних места. Два пина за уземљење (GND), излазни пинови 3.3v и 5v. Пин за улазни напон (VIN), пин за довођење RESET сигнала и само на R3, пин IOREF који има функцију да усклади напон додатог уређаја са напонем самог уређаја.



Следећа групација од 6 пинова названих А0-А5, чија је функција да прихвате информације у аналогном облику у виду различитих напона. Те информације се даље обрађују у ADC (Analog to digital converter) где се пристигли напон претвара у неку вредност изражену кроз 10-битни број. Вредности од 0-1024.

Пинови А4 и А5 су повезани са пиновима SDA и SCL, што омогућује комуникацију са другим уређајима кроз I2C магистралу. I2C је један од најједноставнијих начина за комуникацију серијским путем и за то су му потребне 2 жице. Брзине преноса података се крећу од 1 до 5 *mb/s*.

Две групе пинова (8 и 10 пинова) налазе се са горње стране и намењени су за рад са дигиталним сигналом. Пинови 0 до 13 по потреби могу да имају функцију како улазних тако и излазних конектора. Поред одређених пинова (3,5,6,9,10 и 11) се налази знак „~” који означава да они могу имати и функцију псеудо аналогних портова. Комбиновање квадратног таласа са вредностима наведених регистра ствара променљиве нивое напона у опсегу 0 до 5v. Функција analogWrite() сваке секунде може да буде извршена нешто мање од 500 пута. Ова функција се разликује од digitalWrite() по томе што је могуће дефинисати стање напона између вредности 0 и 5v (low и high стања), омогућује нам већи распон над излазом.

Пинови Д10 до Д13 обављају функцију SPI (Serial Peripheral Interface) порта. Разлика у односу на остале серијске протоколе које смо обрадили омогућују рад у дуплекс режиму (истовремено слање и примање података). Интерфејс користи четири пина за свој рад и то: Д10 (Slave Select) пин који користи мастер за активацију, деактивацију уређаја; Д11 – MOSI(Master Out Slave in) мастер линија за слање података на слејв; Д12-MISO(Master in Slave Out) слејв линија за слање података мастеру и Д13 – SCK(Serial Clock) клок за синхронизацију преноса.

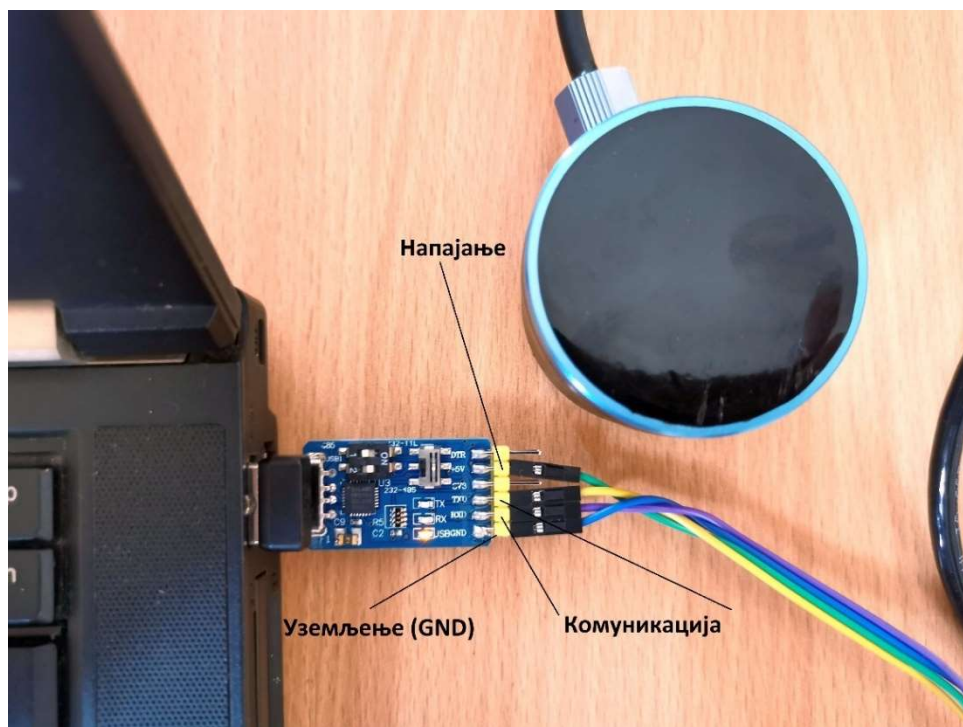
Пин 15 под називом AREF (Analog REference) служи за одређивање горње вредности улазног опсега за аналогно-дигитални конвертер. Подразумевана вредност је 5v за моделе који раде на напону од 5v и 3.3v за уређаје које немају напајање од 5v. Довођење вишег напона на овај пин може да доведе до оштећења.

Преостала два пина 16 и 17 представљају инстанцу серијског интерфејса који се назива TWI (Two wire Interface), а који је заправо исто што и I2C, само се користи друго име како би се избегао судски спор са Филипсом, пошто је I2C регистрован као њихов трговачки знак.

На дигиталним пиновима D0 и D1 се налазе ознаке Rx и Tx које означавају да се ради о USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter), представља серијски интерфејс преко кога можемо да остваримо комуникацију са другим рачунарима и уређајима, а у случају потребе може се користити и за програмирање самог Ардуина.

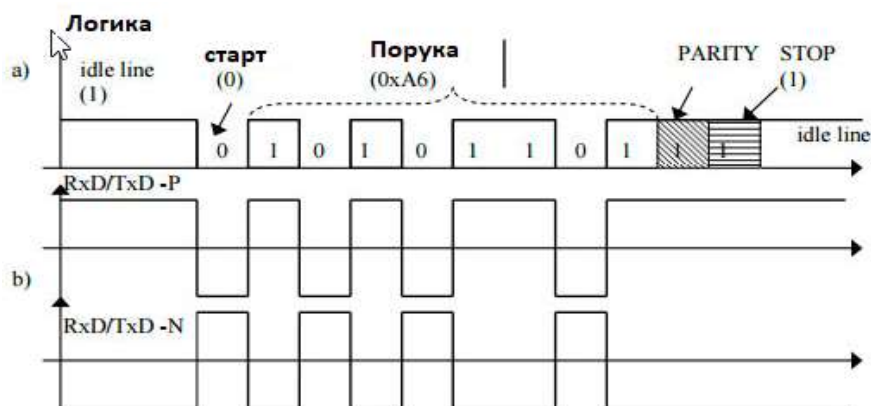
## 2.9.2 Коришћење уређаја Пинг сонар коришћењем Usb rs485 и Ардуино платформе

Повезивање и комуникација између Пинг сонара и усб порта рачунара остварује се путем RS485 серијског протокола.



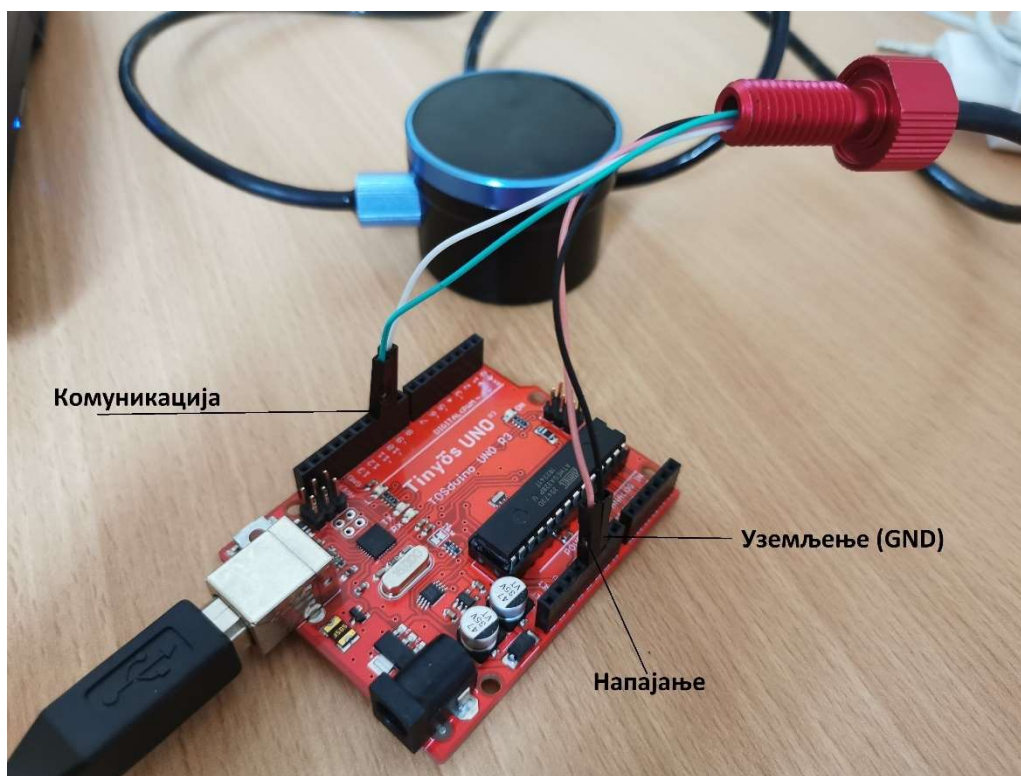
Слика 28: Остваривање комуникације између Пинг сонара и PingViewer софтвера путем USB RS485 серијске комуникације

Пренос података применом RS485 протокола остварује се помоћу асинхроне везе. Подаци се могу преносити у оба смера само не истовремено. Могуће су брзине преноса од  $9.6 \text{ kb/s}$  до  $2.0 \text{ Mbit/s}$ . Сви уређаји су спојени у заједничку сабирну структуру, а по сегменту је дозвољено спајање до 32 уређаја. Подаци се преносе као низ битова приказаним на слици 29.



Слика 29: Пренос података RS485  
(преузето са: <https://www.automatika.rs/>)

Произвођач уређаја BlueRobotics оставио је могућност комуникације и контроле уређаја путем Ардуино платформе.



Слика 30: Ожичење сонара са (енг. Tinycs Uno) плочицом

Плочица Tinycs Uno коришћена је на свим експериментима као и одговарајућа скрипта која извршава све наредбе за контролу и коришћење функција сонара.

Неке од функција сонара које је могуће користити различитим методама позивања. GET/SET, CONTROL метода путем ардуино софтвера.

Set метода: 1000 set_device_id 1001 set_range 1002 set_speed_of_sound 1003 set_mode_auto 1004 set_ping_interval 1005 set_gain_setting 1006 set_ping_enable	Get метода: 1200 firmware_version 1201 device_id 1202 voltage_5 1203 speed_of_sound 1204 range 1205 mode_auto 1206 ping_interval 1207 gain_setting	1208 transmit_duration 1210 general_info 1211 distance_simple 1212 distance 1213 processor_temperature 1214 pcb_temperature 1215 ping_enable 1300 profile control
---	--	--

Control метода: 1100 goto_bootloader 1400 continuous_start 1401 continuous_stop
--



## 2.10 Могућност практичне примене сонара

Искуства стечена кроз различите експерименте нам омогућавају да размотримо нека од могућих решења примене сонара.

Коришћење Пинг сонар уређаја као ручно управљани уређај (енг. „hand held”) биће разматрани као идејно решење за даљи развој. Биће размотрена методологија која би омогућила рад оваквог система као и опис тестираних компоненти.

У сврху будућег развоја овог система било је потребно омогућити функционисање екрана. Пакет није поседовао пратеће скрипте за иницијализацију. Увидом у серијски број на плочици дефинисана је архитектура. Коришћењем постојеће Ардуино библиотеке учитана је скрипта (енг. Adafruit\_TFTLCD.h, Adafruit\_Gfx.h, TouchScreen.h) која је омогућила рад екрана. У сврху тестирања покренута је апликација за скицирање. Рад у апликацији није био могућ јер дисплеј није одговарао на задате команде. Извршена је калибрација кориговањем координата у библиотеци Ардуино (TouchScreen.cpp).

```
int z1 = analogRead(_xm);
int z2 = analogRead(_yp);

if (_rxplate != 0) {
    // now read the x
    float rtouch;
    rtouch = z2;
    rtouch /= z1;
    rtouch -= 1;
    rtouch *= x;
    rtouch *= _rxplate;
    rtouch /= 1024;

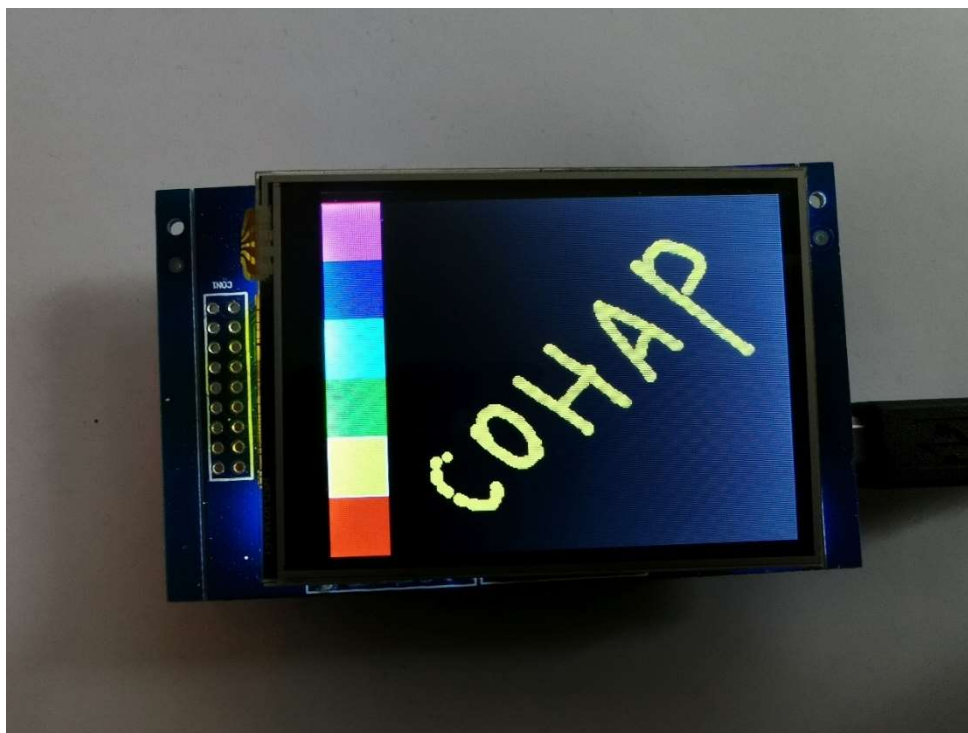
    z = rtouch;
} else {
    z = (1023 - (z2 - z1));
}

if (!valid) {
    z = 0;
}

return TSPoint(1023-x, 1023-y, z);
```

слика 31: Измена координата у циљу калибрације тач скрин дисплеја

Након ових измена у скрипти дисплеј је функционисао исправно. На слици 32. може се видети приказ апликације за графико скицирање.



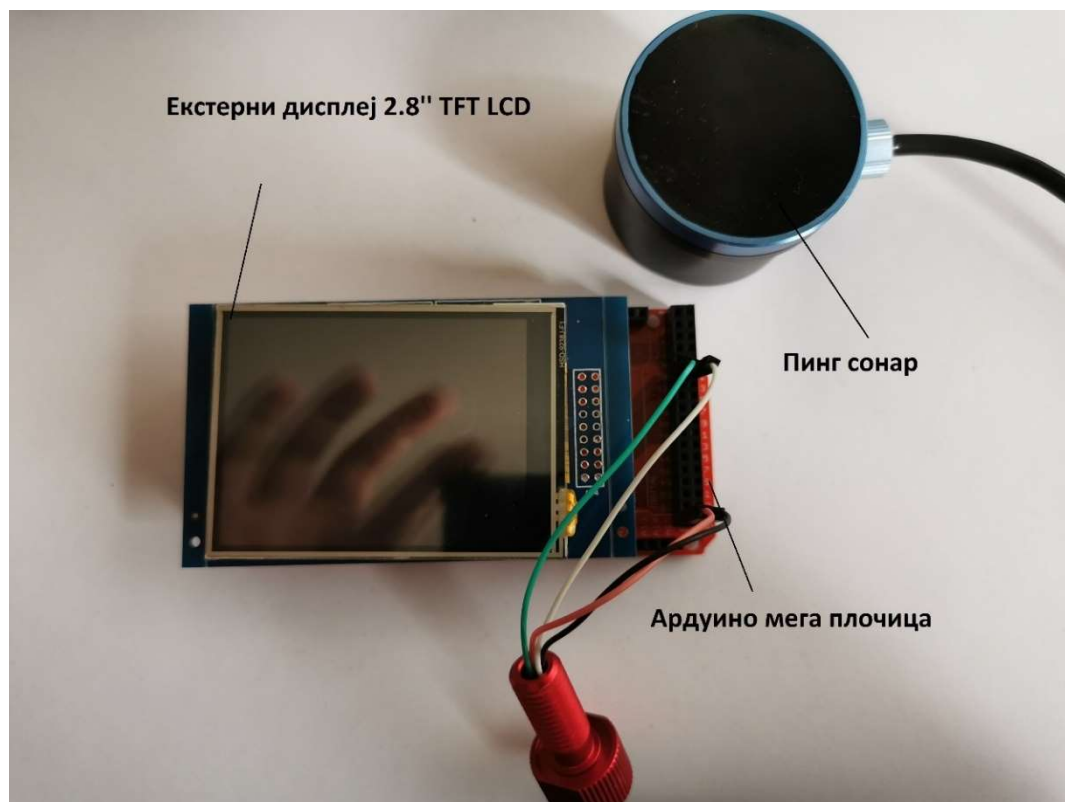
Слика 32: Калибрисан тфт дисплеј и одговарајуће графичко окружење

Након калибрације екрана треба размотрити начин ожичења свих компоненти које ће омогућити лако складиштење уређаја у осмишљено кућиште. Кућиште је могуће израдити применом 3д штампача. Главна јединица система је Tanyaos Mega плочица преко које се остварује комуникација са сонаром и напајањем, Слика 34. Дисплеј је могуће директно спојити са плочицом док је сонар потребно повезати проводницима. Функционисање компоненти захтева напајање од 5v што омогућава коришћење екстрених батерија које лако могу да се складиште унутар кућишта. Носач сонара би се монтирао за конструкцију кућишта које би поседовало неку врсту држача ради лакшег коришћења, слика 33. Комуникација би се вршила развојем скрипти за управљање функцијама сонара. Ова скрипта би користила гет и сет методе описане у овом раду. Потребно је развити графичко окружење које ће поседовати све битне функције сонара. Унос препоручене брзине, резултате мерења у функцији времена као и неке друге функције. Корисник би у реалном времену имао на располагању мерења која би се приказивала на екрану. Доступност интерне меморије на мега плочици и меморијске картице на екрану оставља могућност за складиштење података у већим временским интервалима. Употреба сонара на овај начин пружа лаку и брзу употребу уређаја. Не захтева додатне уређаје за рад и убрзава процес мерења. Ручно управљани сонар би примену имао у читавању дна при навигацији или као рибарски сонар.





Слика 33: Илустрација идејног решења ручно управљаног сонара



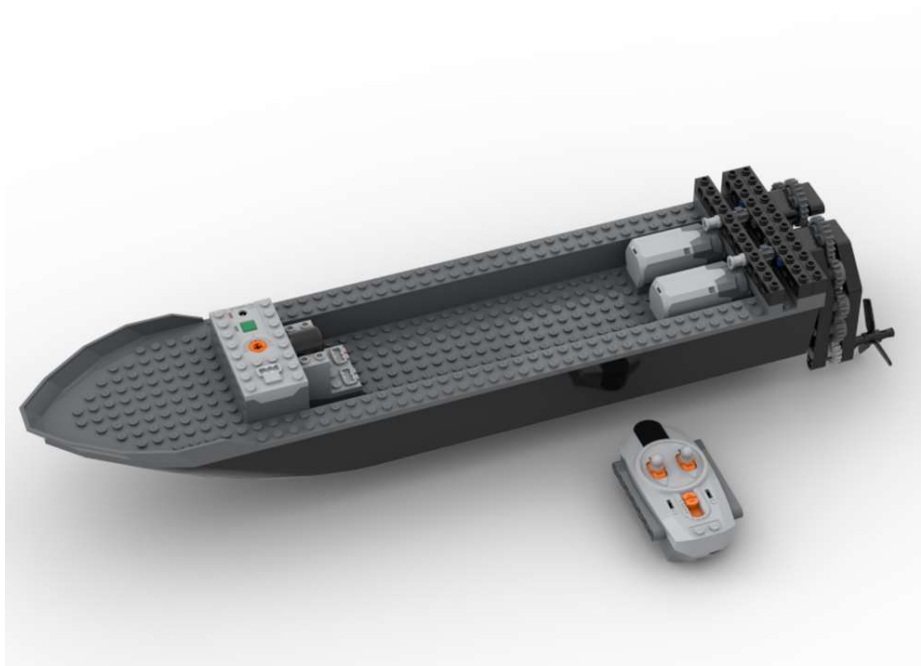
Слика 33: Приказ компонентни потребних за коришћење уређаја без употребе рачунара. Сонар остварује комуникацију са Tinyos Mega архитектуром и податке о мерењу приказује на екрану.



Узимајући у обзир компактност уређаја и лакоћу његове монтаже можемо размотрити још различитих начина примене. Један од могућих начина примене је креирање пловила за снимање дна. Израда је могућа коришћењем лако плутајућих материјала или штампањем на 3д штампачу. На тржишту су доступне разне варијанте готових пловила, слика 34. Управљање би се вршило ручним или даљинским путем. Сонар је могуће монтирати на труп пловила а све пратеће компоненте потребне за рад сонара сместити унутар њега.

Тестирање сонара у овом раду се заснивало на положају који се није мењао током мерења. У случају разраде овог решења потребно је проценити брзине одзива на промену геометрије као и мерну несигурност. Употреба сонара на овакав начин даје нам могућност да брзо проценимо облик дна неког протикајног профила са обале.

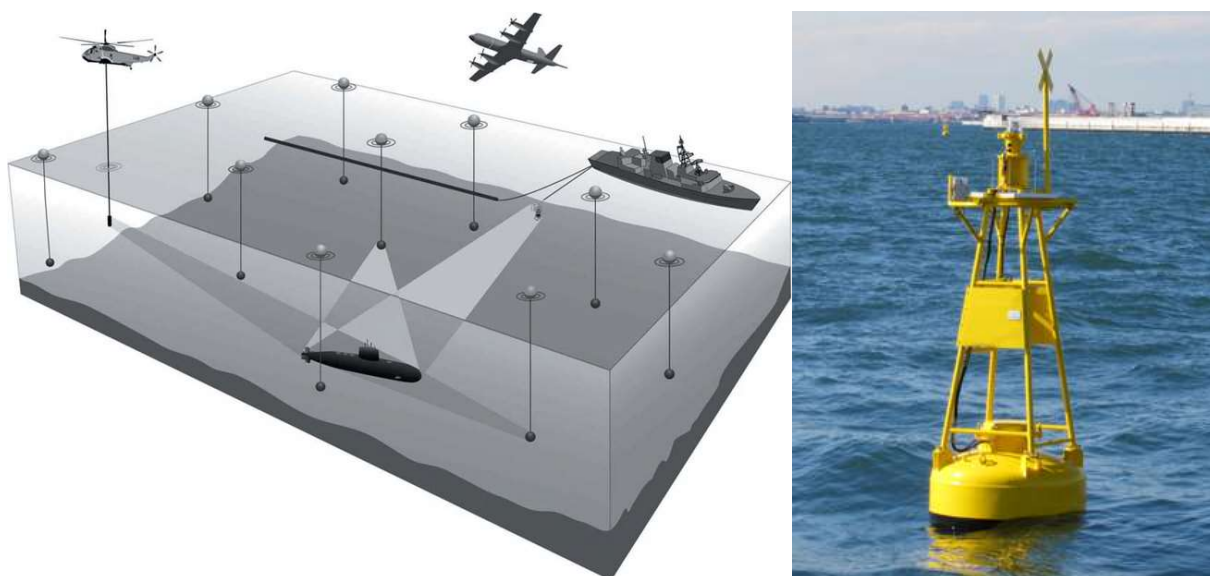
Једноставнија пловила без електромотора могу бити причвршћена за сајлу која спаја две обале. Повлачењем пловила које се креће по сајли могуће је проценити облик дна у задатом профилу. Сви подаци би били сачувани у интерној меморији.



Слика 34: Лего Техникс пловило. Покрећу га два електромотора а управљање се врши даљинским путем.



Главна карактеристика оваквог типа сонара је његова вишенаменска употребљивост и могућност да у сваком тренутку познајемо резултате мерења. Могуће га је применити у системима где је од пресудне важности познавање параметара стања система у реалном времену. Познавање дубине као главне карактеристике пловних путева даје нам могућност за употребу сонара у ове сврхе. Дobar начин примене би подразумевао монтажу сонара на систем бова на пловним путевима где је могуће бежичним путем пратити мерења у сваком тренутку. Сва разматрана методологија у претходним поглављима би се применила и у овом случају. Уместо пловила користили би плутајуће бове.

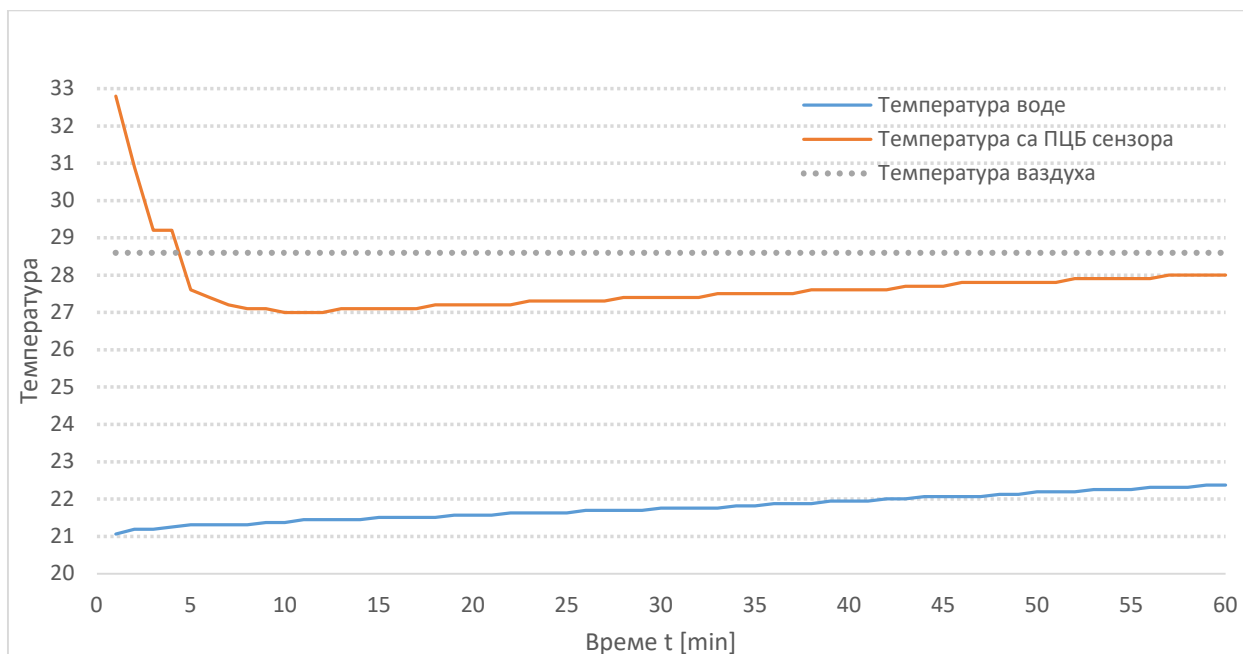


Слика 35: Приказ бове опремљене системом сонара за детекцију подводних објеката  
(преузето са <https://www.ryokuseisha.com/>) (Arabito, Abel, Lam, 2007)



### 3. Резултати и дискусија

#### 3.1 Резултати анализе температурног одзива ПЦБ сензора у води

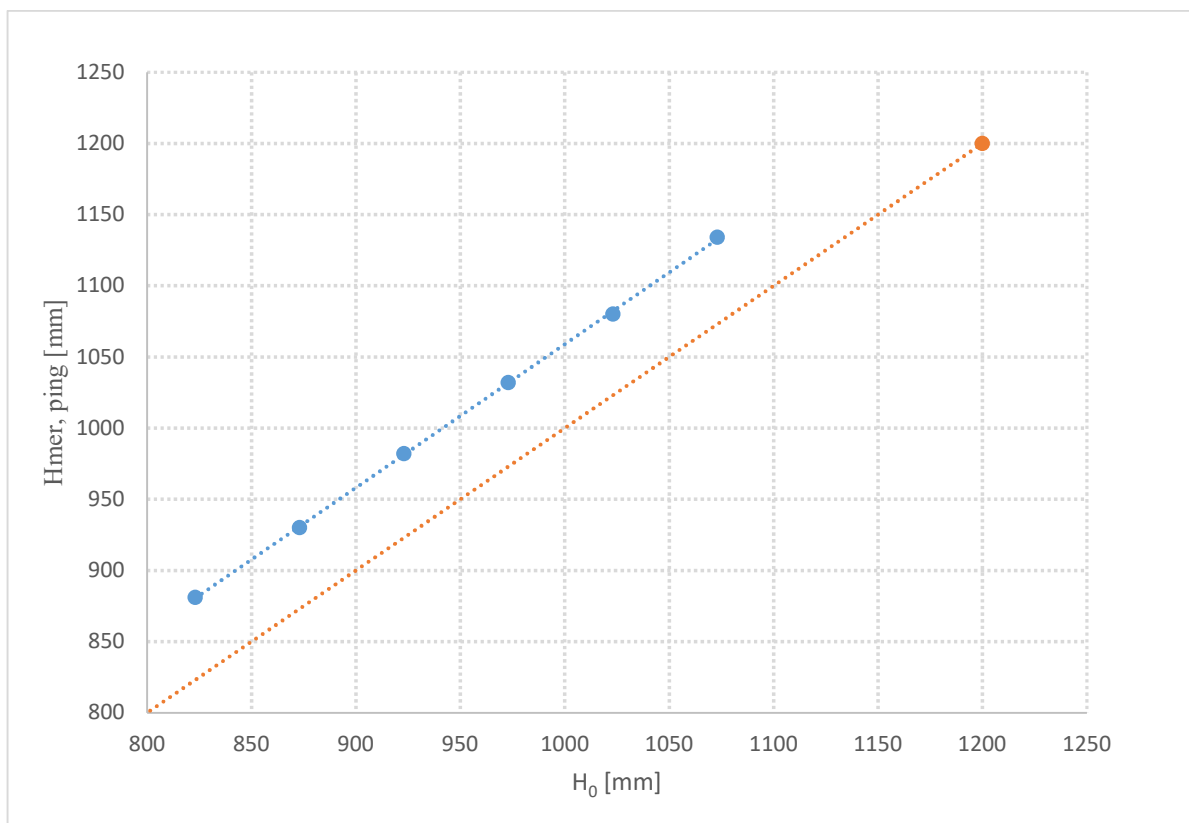


Слика 36: Упоредне вредности промене температуре на ПЦБ сензору и сензору температуре

На графику се може видети да је пцб сензору потребно 10 минута да достигне стабилну температуру коју на даље одржава константном релативно на температуру воде. Може се закључити да је сензор прилично изолован унутар конструкције кућишта. Температура на процесору такође има утицаја на загревање пцб сензора.



### 3.2 Резултати мерења применом Пинг сонара на каналу Института за хидротехнику (Експеримент бр. 1)

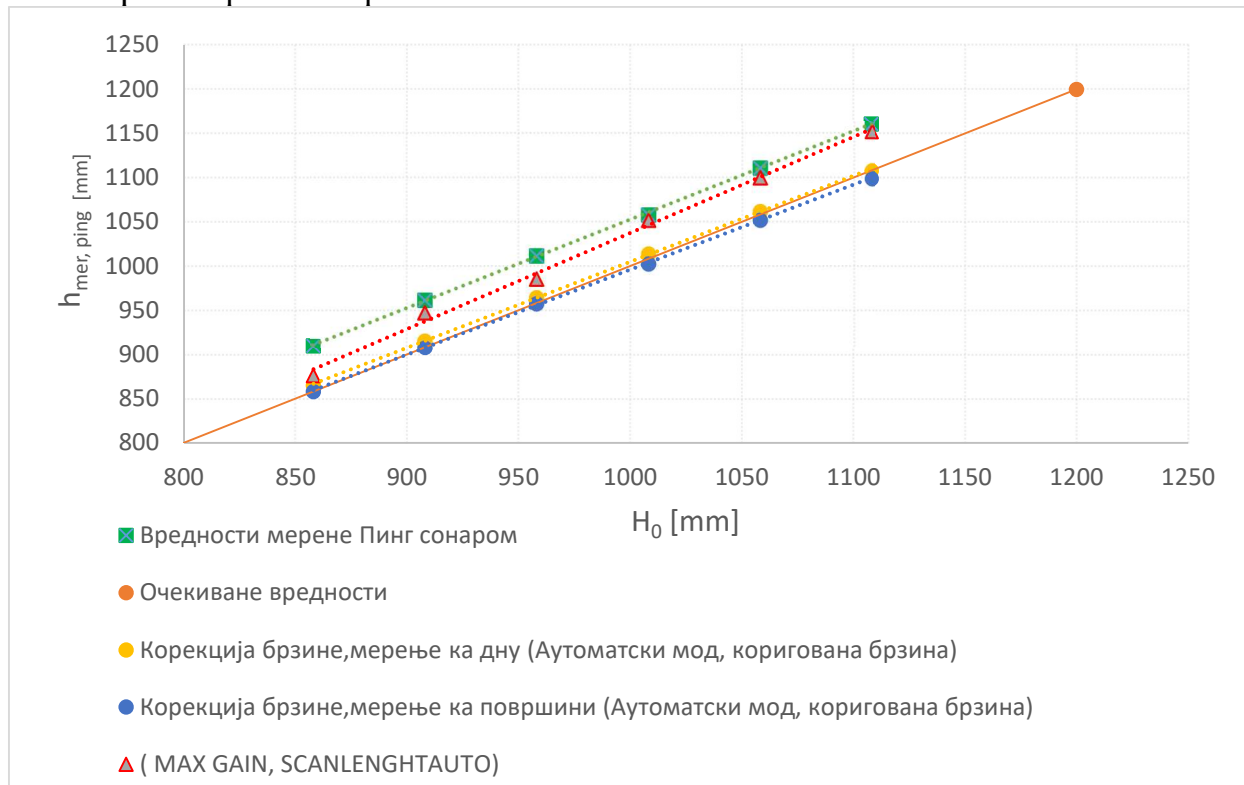


Слика 37: График са приказом одступања мерења Пинг сонаром од очекиваних вредности

На графику се може уочити средње одступање од очекиваних вредности од  $58.5 \text{ mm}$ . Разлози одступања резултата мерења биће разрађени даље у раду.

### 3.3 Резултати мерења применом Пинг сонара на каналу Института за хидротехнику (Експеримент бр. 2)

#### 3.3.1 Приказ фазе 1 и фазе 3



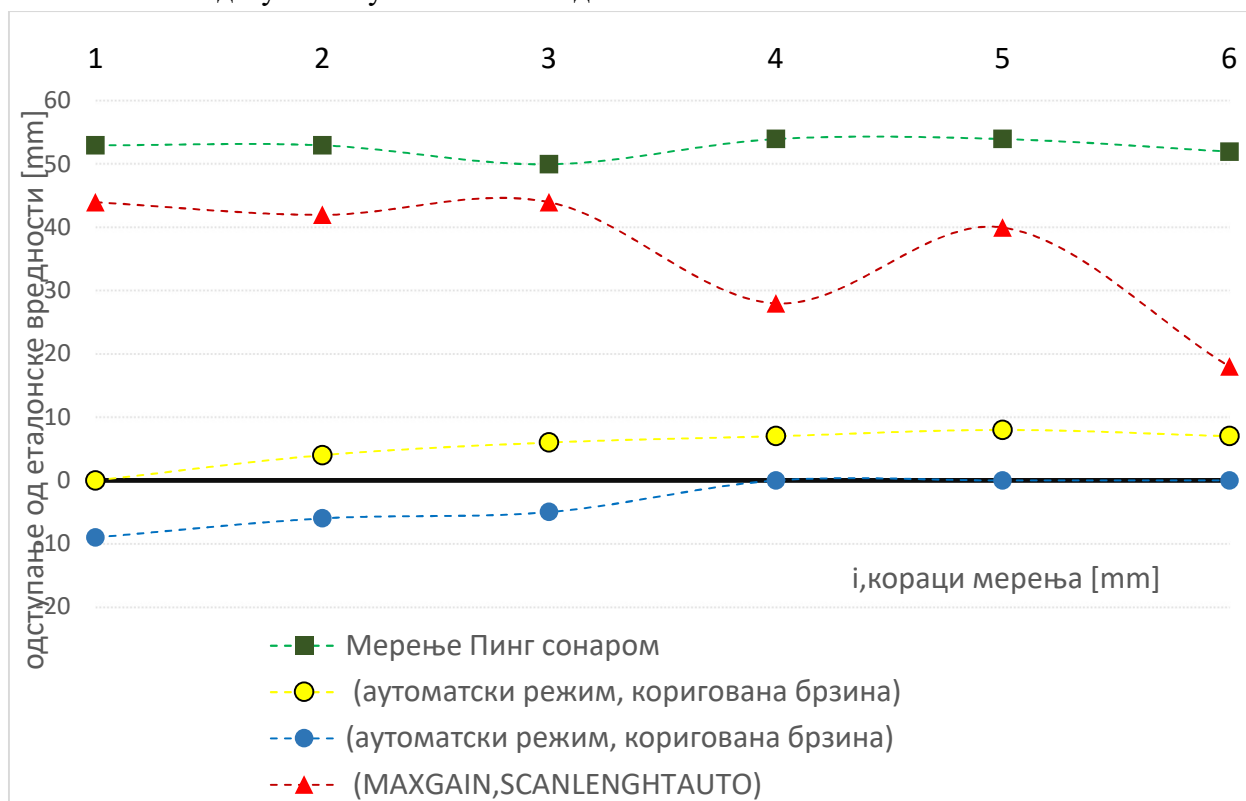
Слика 38: График са резултатима мерења у Експерименту бр. 2, упоредне вредности мерења варирањем различитих параметара у корисничком интерфејсу PingViewer. Променом различитих параметара циљ је био постићи боље перформансе уређаја и сагледати његово понашање.

На графику се могу уочити резултати експеримента варирањем различитих доступних параметара у софтверу (PingViewer).

- - Вредности мерење Пинг сонаром Фаза 1, резултати мерења у потпуно **аутоматском режиму**. Може се видети одступање од очекиваних вредности у просеку за *52.7 mm*. Ови резултати одговарају резултатима у експерименту број 1. Резултати мерења прате линеарну зависност, те се може закључити да је уређај поновљив у својим мерењима коришћењем у аутоматском режиму.
- - Очекиване вредности, вредности измерене коришћењем грађевинског метра. Очекивана дубина је добијена као разлика дубине воде од површине до дна и корака мерења од *50 mm*.



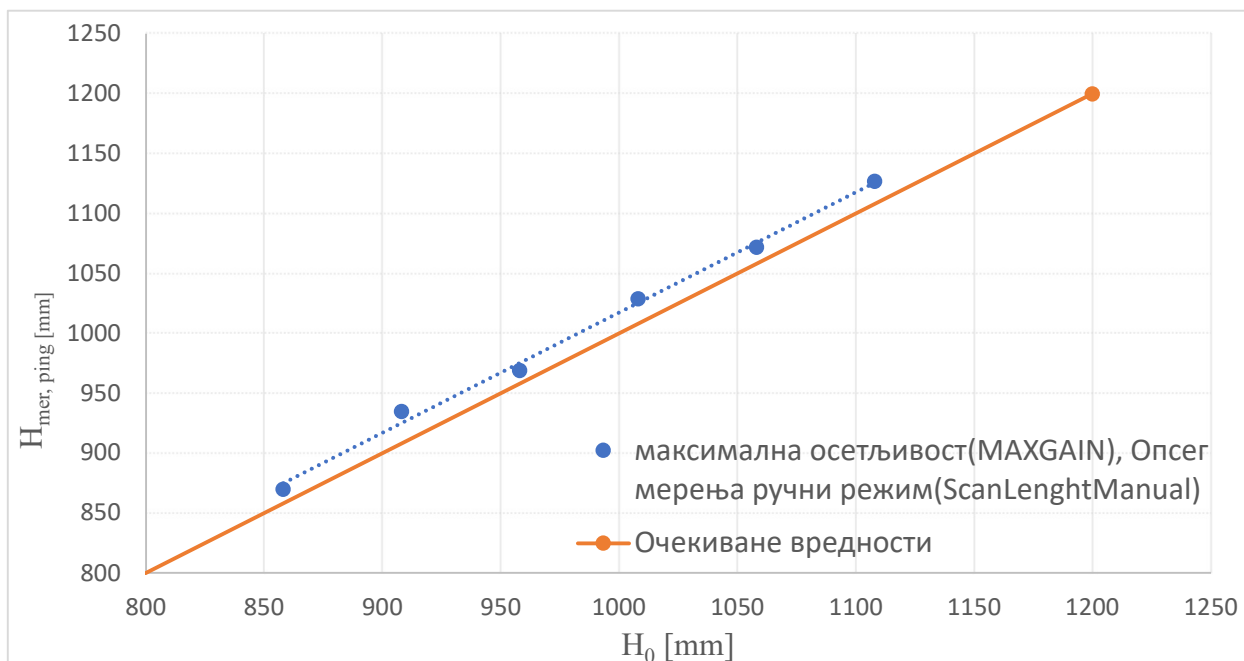
- - Мерења добијена у фази 3, подразумевала су **кориговање препоручене брзине** у условима који одговарају условима мерења за очекивану стварну дубину воде.  $V_{prep} = 1490.51 \text{ m/s}$  је коригована на  $V_{kor} = 1422.47 \text{ m/s}$ .
  - Уношењем ове брзине у софтвер очекивана дубина у почетном тренутку је одговарала мереној. Експеримент је поновљен варирањем дубине у пет помака за корак од  $50 \text{ mm}$  Резултати су приказани на дијаграму. Уређај је приказивао у просеку  $6.4 \text{ mm}$  већу вредност од очекиване.
  
- - Мерења су поновљена на исти начин кроз фазу 3 описану у 2.7.2.2. Једина разлика је била што је мерење обављено у обрнутом смеру помаком ка површини такође кориговањем брзине која је одговарала очекиваној. Уређај је показивао вредности мање од очекиваних у просеку за  $4 \text{ mm}$ .
  
- ▲
  - Резултати мерења коришћењем максималне осетљивости (MaxGain) уређаја и опсега скенирања (SCANLENGTH) у аутоматском режиму, Фаза 1. Циљ ових корекција у софтверу је имао кориговање резултата, смањивањем мерне грешке користећи ручни режим подешавања параметара. На приказаном дијаграму може се уочити побољшање мерења за сваки од корака али резултати нису у линеарној корелацији те су вредности добијених побољшања прилично разликују од корака до корака. Просечне вредности одступања су  $36 \text{ mm}$  веће од очекиваних.



Слика 39: Вредности одступања мерења у mm од очекиваних резултата по корацима мерења. Варирањем различитих параметара кориговани су резултати мерења и они се могу видети на дијаграму. На легенди су приказани варирани параметри. (нпр. MaxGain, ScanLenghtAuto)

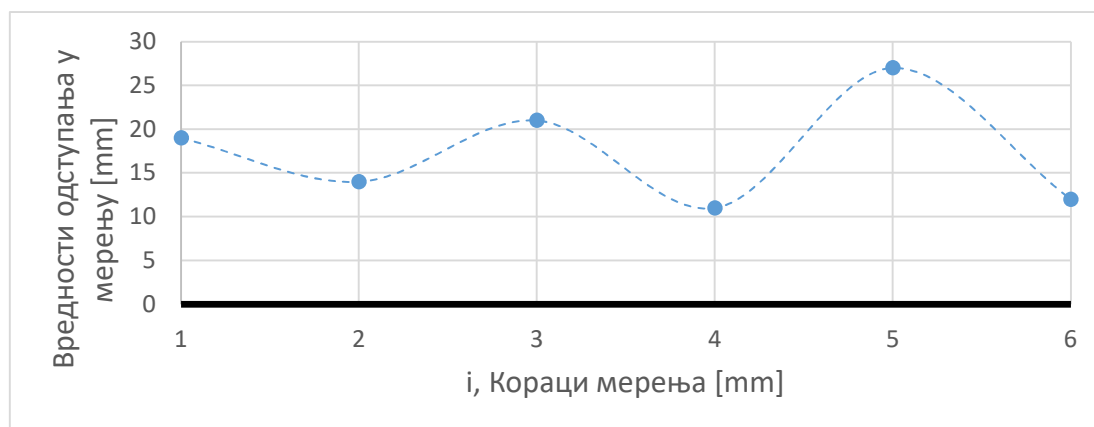


### 3.3.2 Фаза 2



Слика 40: График са резултатима мерења у Експерименту бр. 2, Фаза 2

Циљ фазе 2 мерења је подешавање уређаја на начин који ће дати најбоље резултате. Осетљивост уређаја (*GAIN SETTINGS*) је подешена на максималну вредност, док је опсег претраге (*SCANLENGTH*) подешаван тако да приближно одговара очекиваним вредностима. На пример ако је очекивана дубина  $1008 \text{ mm}$ , опсег претраге је подешен на вредност од  $1050 \text{ mm}$ . Вредност измерене дубине за овакве параметре подешавања је  $1029 \text{ mm}$ . Средње одступање мерења од очекиваних вредности је  $17.4 \text{ mm}$ . Минимална вредност опсега претраживања коју је могуће подесити је  $1000 \text{ mm}$ . Приказ резултата у осталим корацима мерења може се видети на дијаграму слика 40. Методологију је могуће користити у случајевима када нам је позната дубина мерења. Овај начин подешавања уређаја може се користити и у ситуацијама када желимо да претражимо одређену дубину. У случају да желимо да повећамо резолуцију на одређеној дубини, уместо максималних  $30 \text{ m}$ , унећемо половину опсега. Ова функција је применљива када се уређај користи као рибарски сонар.

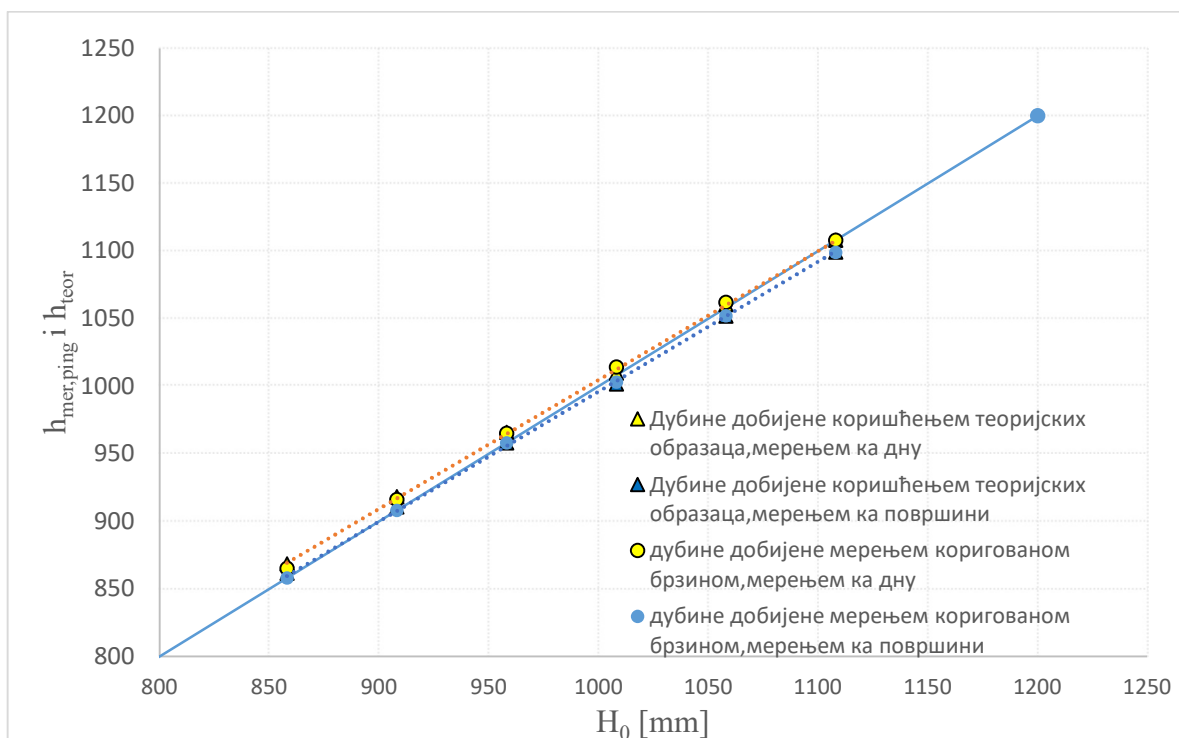


Слика 41: Вредности одступања мерења у mm од очекиваних резултата

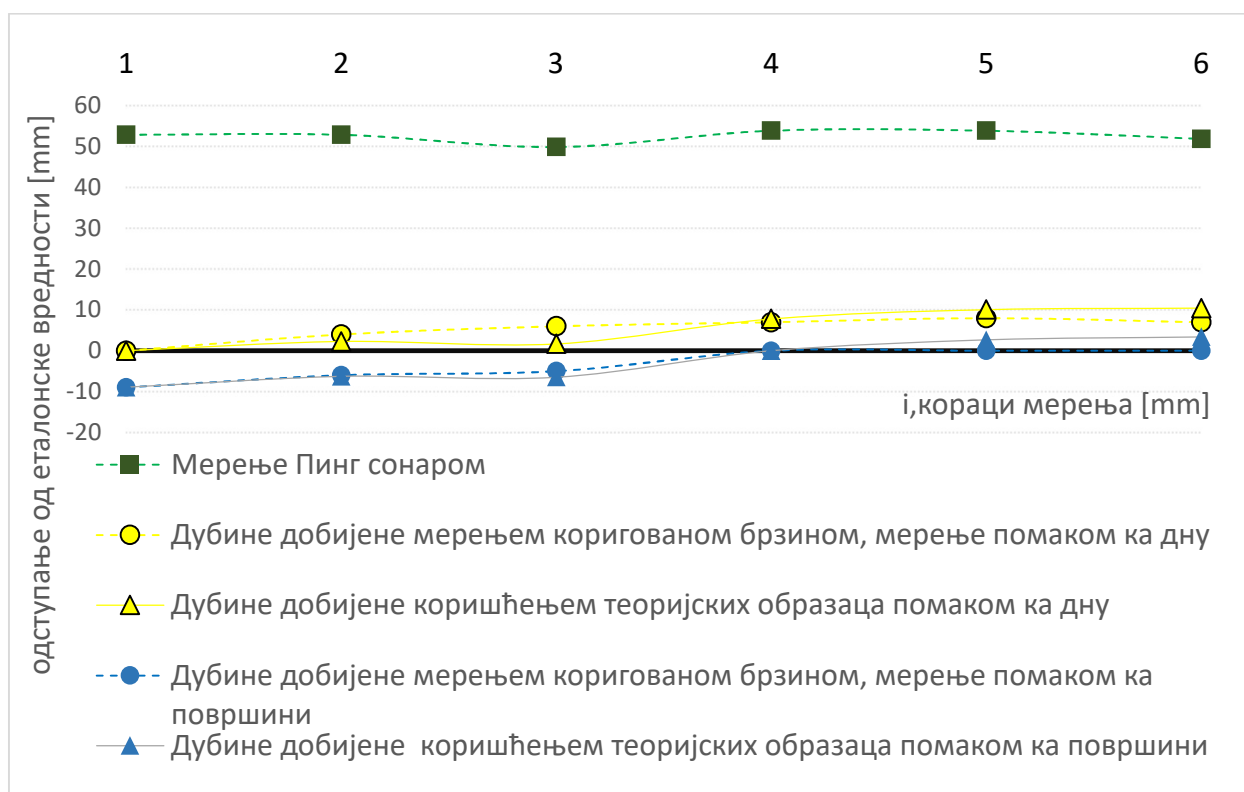




### 3.4 Резултати калибрације уређаја применом теоријских образаца и мерењем



Слика 42: Поређење вредности директних мерења дубина, кориговањем препоручене брзине  $V_{prep}$  и добијених дубина добијених коришћењем теоријских образаца.

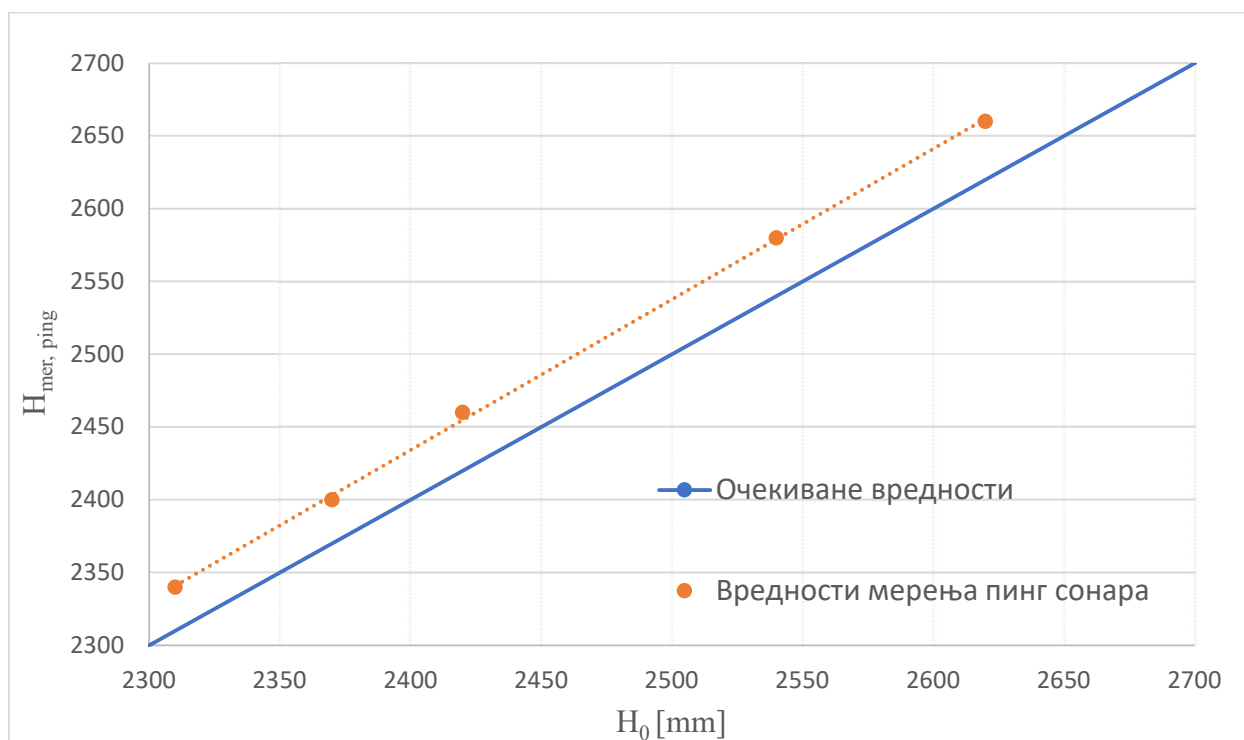


Слика 43: Одступање мерених дубина од очекиваних коришћењем теоријских образаца.



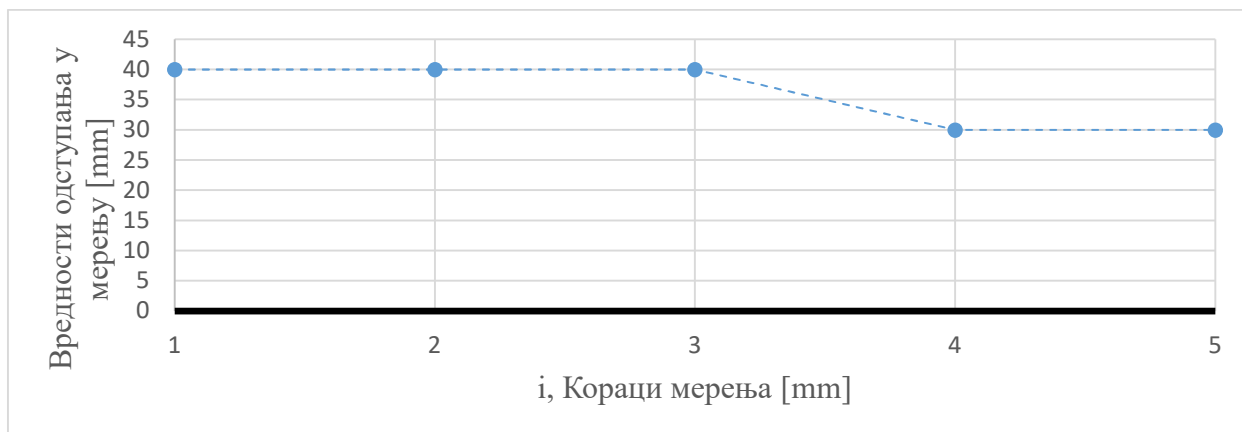
Уколико смо извршили мерења у аутоматском режиму а желимо накнадно да извршимо корекцију дубина применом калибрисане брзине, можемо применити методологију описану у поглављу 2.8.2.3. Анализом добијених резултата може се закључити да постоје одређена одступања резултата мерењем у односу на накнадно кориговане дубине. Могуће је вршити корекцију само ако се познаје стварна почетна дубина мерења. Уколико услови на терену дозвољавају извршити еталонско мерење одстојања од сонара до површине до које се мери. Користити неке од поузданих метода за мерење дубине. Уколико није могуће извршити еталонско мерење дубине, користити мерну иглу на носачу сонара при калибрацији. Након измерене стварне дубине, извршити калибрацију брзине. Уређај користити у аутоматском режиму рада.

### 3.5 Резултати мерења Пинг сонаром у ваздуху



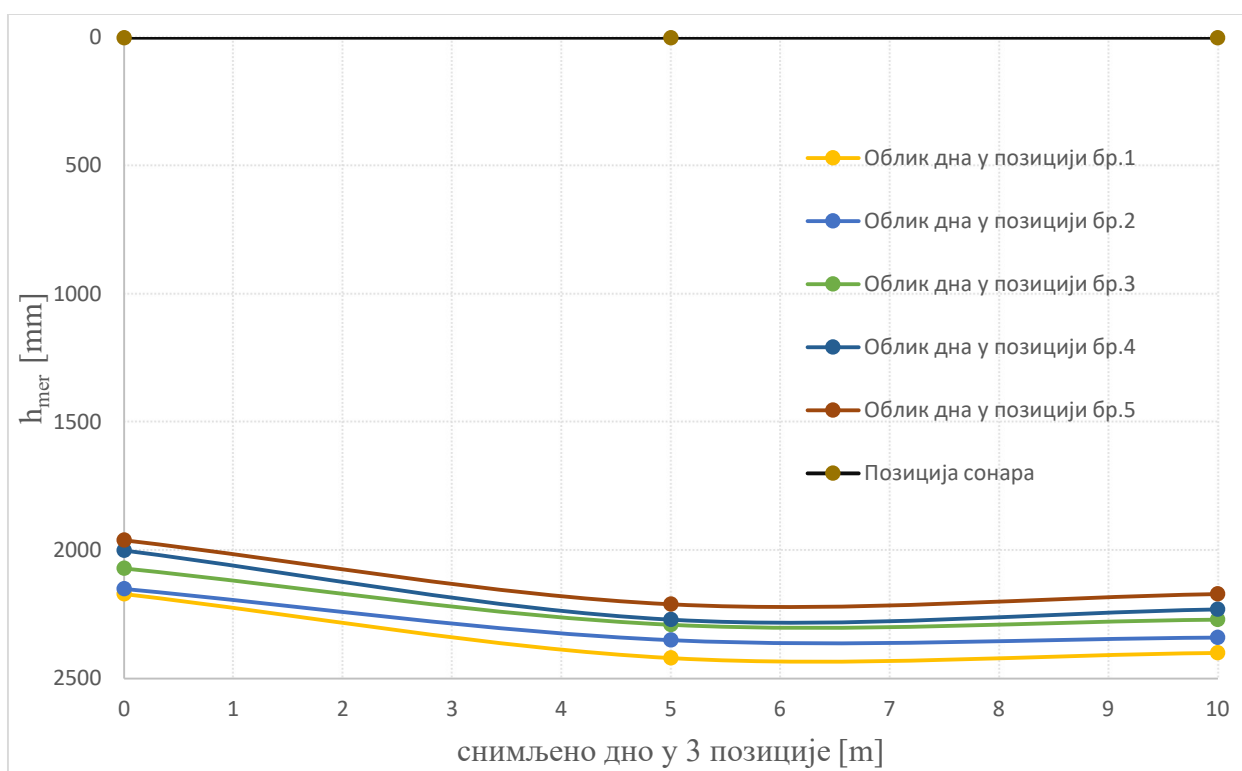
Слика 44: Резултати мерења Пинг сонара у ваздуху

Приказ резултата експеримента мерења у ваздуху. Може се уочити одступање резултата мерења од очекиваних вредности. Просечно одступање износи 36 *mm*. Понашање уређаја у потпуно аутоматском режиму је сличан резултатима добијених у експерименту 1 и 2.



Слика 45: Вредности одступања мерења (ваздух) у mm од очекиваних резултата

### 3.6 Резултати теренских мерења на Чукарничком Рукавцу

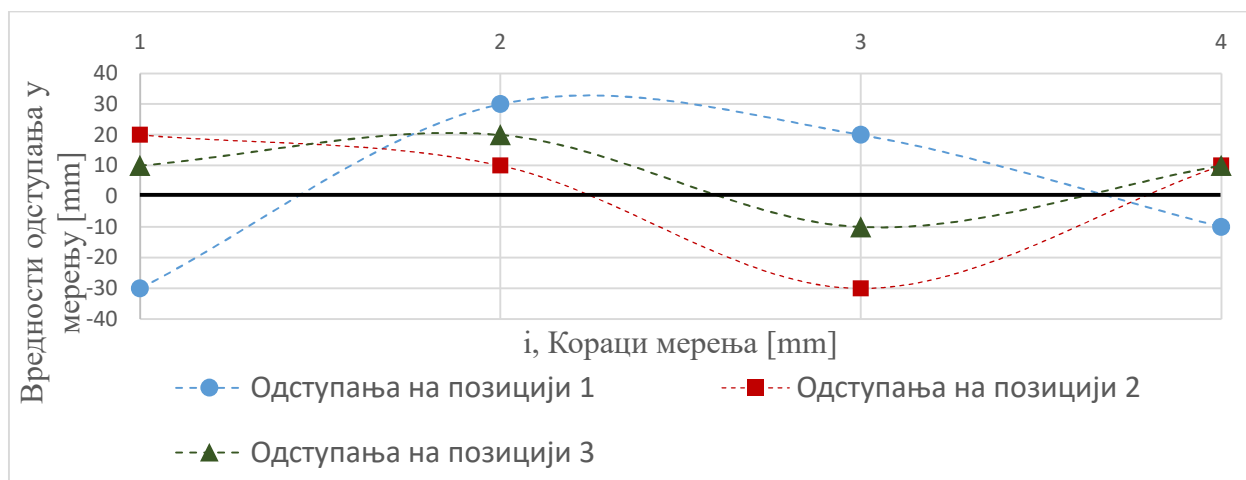


Слика 46: Приказ резултата мерења у 3 различите позиције на сплаву. Дијаграм приказује резултате мерења за 5 различитих вредности одстојања сонара од дна. Свако наредно мерење је вршено померањем сонара за 50mm ка дну.

Посматрајући добијене резултате може се видети промена геометрије дна која одговара природном облику корита у обалском делу. У почетку мерења сонар није био монтиран тако да буде потпуно паралелан са површином воде. Његов конус претраживања је био благо укошен. Након уочене грешке при монтажи, положај сонара на мерној игли је коригован. Мерења су поновљена где се показало да благо закошење сонара нема утицаја на резултате



мерења. Проблеми који су се јавили приликом мерења су утицај таласа на сплав и варирање нивоа воде. Промене нивоа на сплаву су имале утицај на повремене осцилације мерене дубине коју је уређај приказивао.



Слика 47: Вредности одступања мерења од очеиваних резултата на Чукаричком рукавцу

У овом случају могуће је само анализирати одступање од корака мерења. Пошто нам стварна дубина није позната а потребно је измерити неким од метода (калибрисана сајла за мерење дубине). Одступања од еталонских вредности су у очекиваним границама али се примећује њена нелинарност. Могућа последица ове појаве је утицај таласа на сплав.



## 4. Закључци и предлог будућег истраживања

Коришћење мерне опреме различитих намена и имплементација у будуће системе захтева од пројектанта система обавезу да провери карактеристике уређаја који имплементира. У овом раду су представљени резултати лабораторијског и теренског испитивања радних карактеристика и анализирани су могућности кроз друге платформе.

### 4.1 Закључци и предлог будућег истраживања

Испитивањем уређаја у лабораторијским условима на каналу Института за хидротехнику и тестирањем рада уређаја у теренским условима дошло се до следећих закључака:

- Функционисање уређаја се базира на улазној брзини коју је потребно израчунати коришћењем теоријских образаца. Важно је познавати ову брзину јер директно утиче на резултате мерења. Мала одступања између теоријских образаца за процену брзине звука омогућавају њихово коришћење. Могуће је применити један од датих образаца при процени стварне брзине пропагације звука.
- Тестирање уређаја у аутоматском режиму рада је показало просечно одступање од  $53\text{mm}$  за дубину мерења у опсегу од  $1000\text{mm}$ . Резултати мерења прате линеарну зависност, те се може закључити да је уређај поновљив у својим мерењима.
- Употреба уређаја у ваздуху могућа је применом истих принципа коришћења. Један од проблема који се јавио мерењем у ваздуху је варирање поверења сигнала у случајевима када површина није идеално равна. Пример је мерење растојања од пода просторије до површине плафона на коме је пристурна расвета или промена геомтерије.

Корекција одређених параметара у софтверу PingViewer софтверу довело нас је до следећих сазнања:

- Корекција опсега претраживања (ScanLenght) смањује грешку при мерењу и повећава резолуцију простора коју претражујемо.
- Подешавање опсега претраживања пружа нам могућност да подесимо тачан опсег дубине који желимо да скенирамо. У ситуацијама када користимо уређај као проналазач риба а знамо да се оне крећу ближе површини, преполовићемо опсег скенирања ради добијања боље резолуције. Опсег претраживања ћемо подесити на  $15\text{m}$  иако се наше дно налази на  $30\text{m}$ .
- Минимални опсег претраживања је  $1000\text{mm}$ .



- Мерење са максималном осетљивошћу (GainSettings) показало је смањење мерне несигурности за 30%. Анализом резултата уочило се веће одступање између два корака мерења.
- Један од циљева је био како калибрисати уређај. Калибрација је вршена кориговањем улазне брзине. Калибрацију је могуће извршити пре почетка мерења или накнадно извршити корекцију резултата применом теоријских образаца дефинисаним у поглављу 2.8.2.3. Након калибрације уређај је показао одређена одступања од теоријски очекиваних резултата. Потребна су накнадна тестирања која ће показати који фактори утичу на резултате мерења-

Тестирање сонара у реалним теренским условима нам доноси следеће закључке:

- Пинг сонар је тестиран на Чукаричком рукавцу у реалним теренским условима. Мерења су вршена са сплава у 3 различите позиције варирањем сонара ка дну. Јавиле су се осцилације у предложеним резултатима мерења као последица утицаја таласа на сплав. Стварна дубина није мерена те није могуће упоредити резултате мерења у аутоматском режиму са стварним дубинама. Сонар је спуштан ка дубини за 50m, тако да је могуће видети одступања у зависности од промене дубине. Одступања од еталонских вредности су у очекиваним границама али се примећује њена нелинарност. Могућа последица ове појаве је утицај таласа на сплав. Добијени резултати снимљеног дна су логични јер одговарају очекиваном облику дна у близини обале.
- У почетној фази мерења уређај је грешком постављен у благо коси положај. Након уочене грешке, положај уређаја је исправљен без промене на резултате мерења. Овакав начин понашања сонара нам показује да благо закошење уређаја при скенирању дна нема утицаја на резултате. Ово је јако битно када је уређај монтиран на покретно пловило или бову
- Пинг сонар произвођача Блу Роботикс својом конструкторском и робусношћу се може интегрисати у различите системе. Прилагођен начин монтирања омогућава да се фиксира за различите типове конструкција. Овакав начин монтирања искоришћен је и при креирању методологије мерења у овом мастер раду. Различити начини комуникације са уређајем су такође велика предност. Посебно коришћење са платформом Ардуино нам даје могућност веће контроле и обраде резултата на начин који ми желимо.

Приказаним резултатима постигнута су довољна сазнања која су основа за даљи развој. Уређај је показао неки вид одступања од еталонских вредности који нису превелики. Уз претходну калибрацију може се потпуно поуздано користити. Робусност и начин повезивања са различитим видовима платформи даје му велику предност у односу на остале конвенционалне доступне сонаре на тржишту.



## 4.2 Предлози будућег истраживања

Услови при којима је уређај тестиран су били такви да је у сваком тренутку уређај био фиксиран у одређеном положају који се није мењао. Сонар се није кретао кроз воду приликом мерења. Неки од предлога будућег истраживања је да се уређај монтира на неко покретно пловило где ће се тестирати његов рад у оваквим околностима. Треба истражити мерну несигурност у овим условима као и брзину одзива коју уређај има када се креће. Примена ових решења су детаљније описана у поглављу 2.10.

Описана решења у могућностима примене, првенствено захтевају рад на скриптама које ће омогућити рад система. Потребан је развој графичког окружења које би омогућило кориснику да управља функцијама сонара и приказом резултата мерења. Истражити могући начин бежичне комуникације са сонаром применом радио уређаја (одашиљача и пријемника) који је могуће применити са Ардуно платформом.

Један од тестова у овом раду је имао за циљ коришћење постојећег сензора температуре у сонару. Температура воде као параметар који се користи у процени брзине ултразвука оставља могућност за развој аутономног начина процене брзине. Овај битан параметар би се искористио у развоју скрипте која би користила измерену температуру да израчуна брзину. Ово би искључило ручно уношење брзине звука. Могуће је искористи коришћени дигитални сензор DS18B20.

### Додатак 1.

Унескоова једначина и Дел Гросова једначина користе притисак као променљиву уместо дубине јер су засноване на мерењима направљеним у комори под притиском у лабораторијским условима. Корисна упутства и одговарајућа једначина за претварање притиска у дубину и дубине у притисак могу се наћи у Лерои и Партиот (Leroy, Parthiot 1998). Кључне једначине овде су:

Трансформација притиска у дубину:

$$ZS(P, \Phi) = \frac{9.72659 \cdot 10^2 p - 2.2512 \cdot 10^{-1} p^2 + 2.279 \cdot 10^{-4} p^3}{1.82 \cdot 10^4 g(\Phi) + 1.092 \cdot 10^{-4} p} \quad (21)$$

Где је  $g(\Phi)$ , (међународни форум за гравитацију), дато као:

$$g(\Phi) = 9.780318(1 + 5.2788 \cdot 10^{-3} \cdot \sin^2 \Phi + 2.36 \cdot 10^{-5} \cdot \sin^4 \Phi) \quad (22)$$

$Z$  = дубина у метрима

$p$  = притисак у МПа (релативно од атмосферског притиска)



$\Phi$  = географска ширина

Горња једначина важи за стандардни океографски океан, дефинисан као идеалан медијум са температуром од 0°C и салинитетом од 35 промила.

Лерои и Партиот (Leroy, Parthiot, 1998) дају табелу исправки које су потребне када се стандардна формула примењује на одређене океане и мора. Горња једначина и интерактивна верзија не захтевају никакве исправке.

Трансформација дубине у притисак

$$P(Z, \phi) = h(Z, \phi) - h_0 Z \quad (23)$$

$$h(Z, \phi) = h(Z, 45) \cdot k(Z, \phi) \quad (24)$$

$$h(Z, 45) = 1.00818 \cdot 10^{-2} Z + 2.465 \cdot 10^{-8} Z^2 - 1.25 \cdot 10^{-13} Z^3 + 2.8 \cdot 10^{-19} Z^4 \quad (25)$$

$$k(Z, \phi) = (g(\phi) - 2 \cdot 10^{-5}) / (9.80612 - 10^{-5} Z) \quad (26)$$

$$g(\phi) = 9.7803(1 + 5.3 \cdot 10^{-3} \sin^2 \phi) \quad (27)$$

$$h_0 = 1.0 \cdot \frac{10^{-2} Z}{Z + 100} + 6.2 \cdot 10^{-6} Z \quad (28)$$

$Z$  = дубина у метрима

$P$  = притисак у МПа (релативно од атмосферског притиска)

$\Phi$  = географска ширина

Горња једначина,  $P = (h(Z, \Phi))$  би важила за стандардни океографски океан, дефинисан као идеалан медијум са температуром од 0 °C и салинитетом од 35 промила.

Лерои и Партиот (Leroy ,Parthiot 1998) дају табелу исправки које су потребне када се стандардна формула примењује на одређене океане и мора. Корекција  $h_0 Z$  је корекција применљива на уобичајене океане. Они су дефинисани као отворени океани између географских ширина од 60°N and 40°S, искључујући затворене океанске басене и мора. Читав низ исправки може се наћи у Лерои и Партиот(Leroy ,Parthiot 1998).





## Литература:

Ђурић, Б., Ђулум, Ж. (1973). **Физика 2**: Таласно кретање, звук и топлота. Београд: Научна књига.

Иветић, Д., Продановић, Д. (2020). **Мерење протока на брани ХЕ Ђердап 2**: Консултантске услуге у набавци опреме, мерењима и обради резултата, стр. 49.

Cramer, O., **The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO<sub>2</sub> concentration.** (1993) J. Acoust. Soc. Am. 93(5) p2510-2616; formula at p2514

C-T. Chen and F.J. Millero, **Speed of sound in seawater at high pressures** (1977) J. Acoust. Soc. Am. 62(5) pp 1129-1135

A.B. Coppens, **Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters** (1981) J. Acoust. Soc. Am. 69(3), pp 862-863

V.A. Del Grosso, **New equation for the speed of sound in natural waters** (with comparisons to other equations) (1974) J. Acoust. Soc. Am 56(4) pp 1084-1091

B.D. Dushaw, P.F. Worcester, B.D. Cornuelle and B.M. Howe, **On equations for the speed of sound in sea water** (1993) J. Acoust. Soc. Am. 93(1) pp 255-275

N.P. Fofonoff and R.C. Millard Jr. **Algorithms for computation of fundamental properties of seawater** (1983), UNESCO technical papers in marine science. No. 44, Division of Marine Sciences. UNESCO, Place de Fontenoy, 75700 Paris.

C. C. Leroy and F Parthiot, **Depth-pressure relationship in the oceans and seas** (1998) J. Acoust. Soc. Am. 103(3) pp 1346-1352

K.V. Mackenzie, **Nine-term equation for the sound speed in the oceans** (1981) J. Acoust. Soc. Am. 70(3), pp 807-812

C.S. Meinen and D.R. Watts, **Further evidence that the sound-speed algorithm of Del Grosso is more accurate than that of Chen and Millero** (1997) J. Acoust. Soc. Am. 102(4) pp 2058-2062

F.J. Millero and Xu Li, Comments on "**On equations for the speed of sound in seawater**" (1994), J. Acoust. Soc. Am. 95(5), pp 2757-2759

J.M. Pike and F.L. Beiboer, **A comparison between algorithms for the speed of sound in seawater** (1993) The Hydrographic Society, Special Publication no. 34



J.L. Speisberger and K. Metzger, **New estimates of sound speed in water** (1991a) J. Acoust. Soc. Am. 89(4) pp 1697-1700

J.L. Speisberger and K. Metzger, **A new algorithm for sound speed in seawater** (1991b) J. Acoust. Soc. Am. 89(6) pp 2677-2687

J.L. Speisberger, **Is Del Grosso's sound-speed algorithm correct ?** (1993) J. Acoust. Soc. Am. 93(4) pp 2235-2237

G.S.K. Wong and S Zhu, **Speed of sound in seawater as a function of salinity, temperature and pressure** (1995) J. Acoust. Soc. Am. 97(3) pp 1732-1736

Leroy, C. C., Robinson, S. P. and Goldsmith, M. J. “**A new simple equation using depth and latitude for the accurate calculation of sound speed in all ocean acoustics applications**”, J. Acoust. Soc. Am., vol 124 (5), p2774-2782, 2008.

Leroy, C. C., Robinson, S. P. and Goldsmith, M. J. Erratum: “**A new equation for the accurate calculation of sound speed in all oceans**” [J. Acoust. Soc. Am. 124(5), 2774-2783 (2008)] J. Acoust. Soc. Am. 126 (4), p2117, October 2009.

„Sonar”. Encyclopaedia Britannica.

Fahy, Frank (1998). **Fundamentals of noise and vibration**. John Gerard Walker. Taylor & Francis. стр. 375.

Arrabito, Robert & Abel, Sharon & Lam, Katie. (2007). **Methods for mitigating the vigilance decrement in an auditory sonar monitoring task: A research synthesis**. Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne. 35.

