

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**

Доц. др. Дамјан Иветић

Проф. др. Душан Продановић

Ментор:

Андреја Миловановић 670/21

Кандидат:

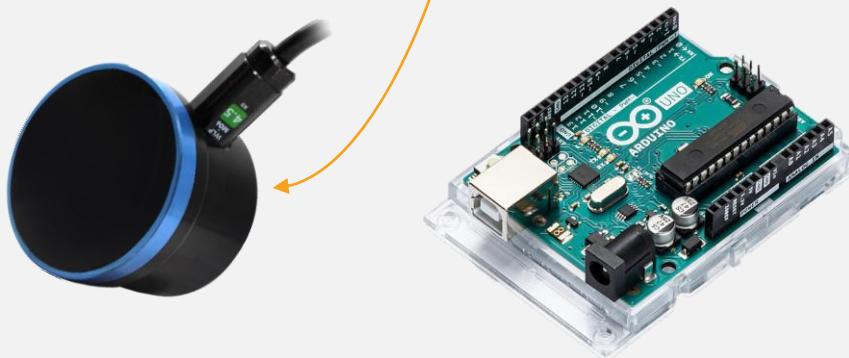
Београд, 2022.



УВОД

1. Задатак и циљ истраживања

- Познавање облика дна и дубине тока
- Испитивање радних карактеристика сонара произвођача **БлуРоботикс**
- Платформа Ардуино и могућности примене сонара





МЕРЕЊЕ ДУБИНЕ

Зашто меримо дубину?

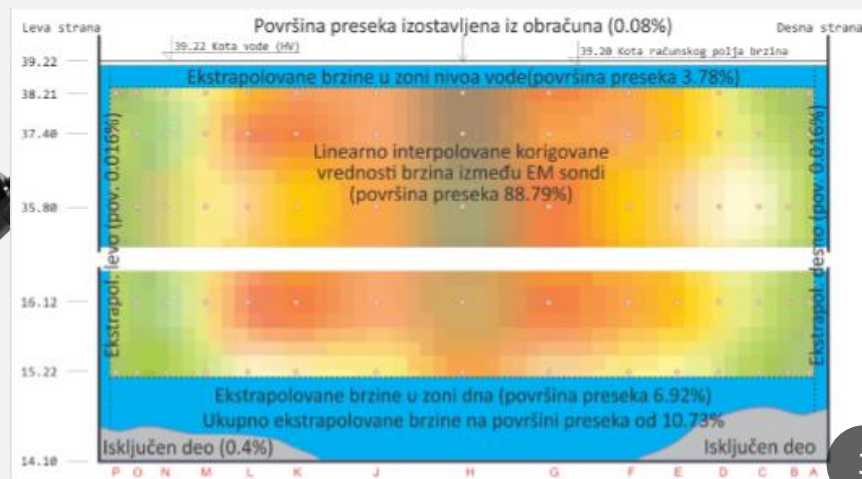
Мерење протока $Q=?$

Једнозначна веза $h \equiv Q$

$h \not\equiv Q$ Мерење протока приступом V-A

Типови дубиномера:

1. Ручни дубиномери
2. Дубиномери заснови на мерењу хидростатичкох притиска
3. **Ехосаундери (принцип ултразвука)**





ЕХОСАУНДЕР

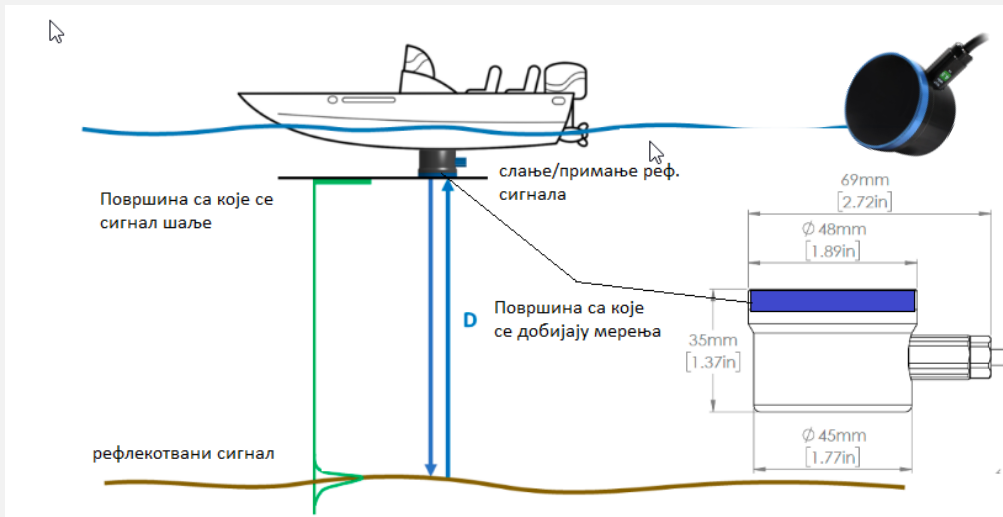
ПРОИЗВОЂАЧА БЛУ РОБОТИКС

Како сонар мери растојање?

- Принцип рада $D = V * \left(\frac{t}{2}\right)$
- V – брзина звука у води,
- t – време путовања ултразвука

→ Рачунамо

→ Меримо



Техничке карактеристике

Параметри	Вредности	
Електрични		
Максималан напон	5.5 v	
Минималан напон	4.5 v	
Потрошња струје	100 milliamps	
Комуникација		
Сигнал протокол	TTL Serial (UART)	
Брзина преноса података	115200 bps (default), 9600 bps	
Протокол комуникације	Пинг протокол	
Библиотеке	Python, C++, Arduino	
Акустичне карактеристике		
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
Физичке карактеристике		
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



ТЕОРИЈА ЗВУКА

Математичка интерпетација

$$c^2 = \frac{\varepsilon}{\rho}$$

ε – модул стишљивости

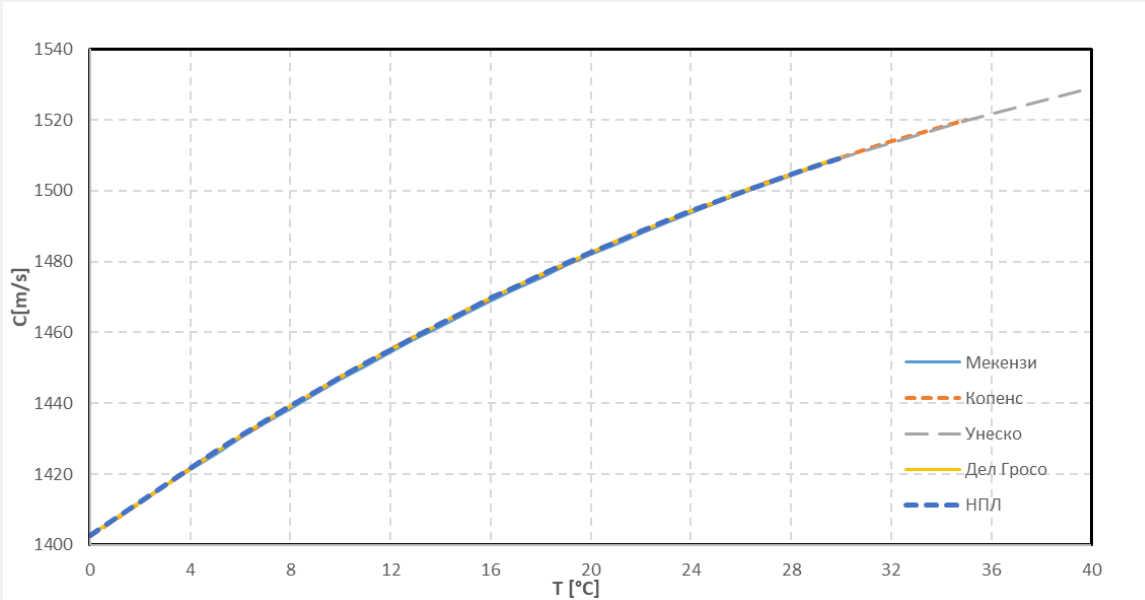
ρ – густина средине

Емпиријске једначине

Пример једначине, (енг. Chen, Millero, 1977):

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

T - температура у целзијусима, S - салинитет у промилима
 P - притисак у барима (дубина на којој се мерења врше)



Средње вредности брзина
у функцији температуре воде

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

Промена брзине звука применом емпиријских једначина



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕРЕЊА

Циљеви експерименталних мерења

Варирање доступних параметара

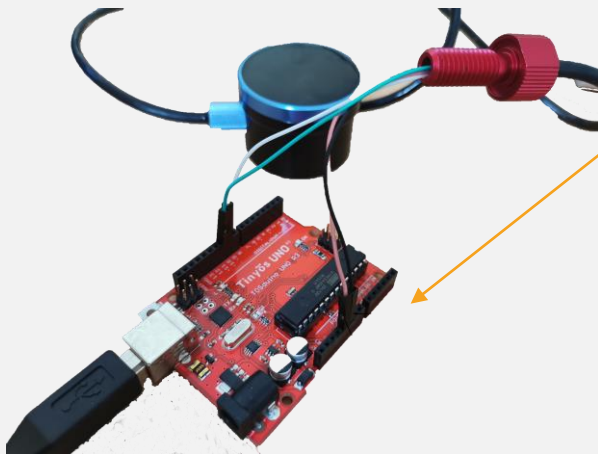


Резултати мерења

Анализа измерених података, Закључци



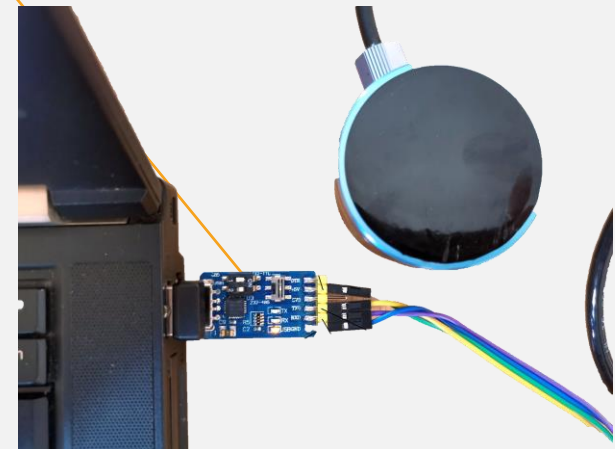
- Коришћења опрема при мерењу



Tanyos Uno



Сензор температуре DS18B20

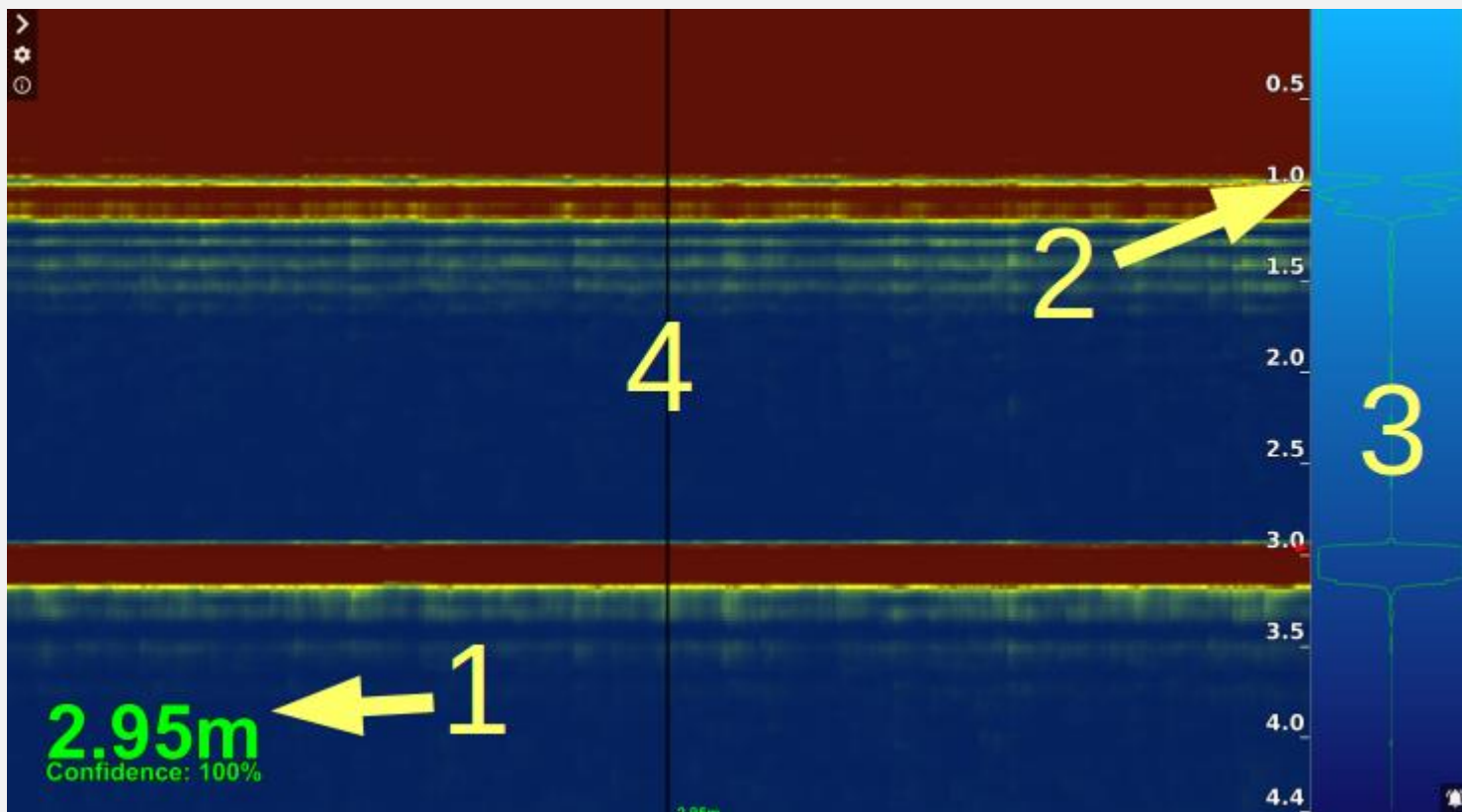


RS485



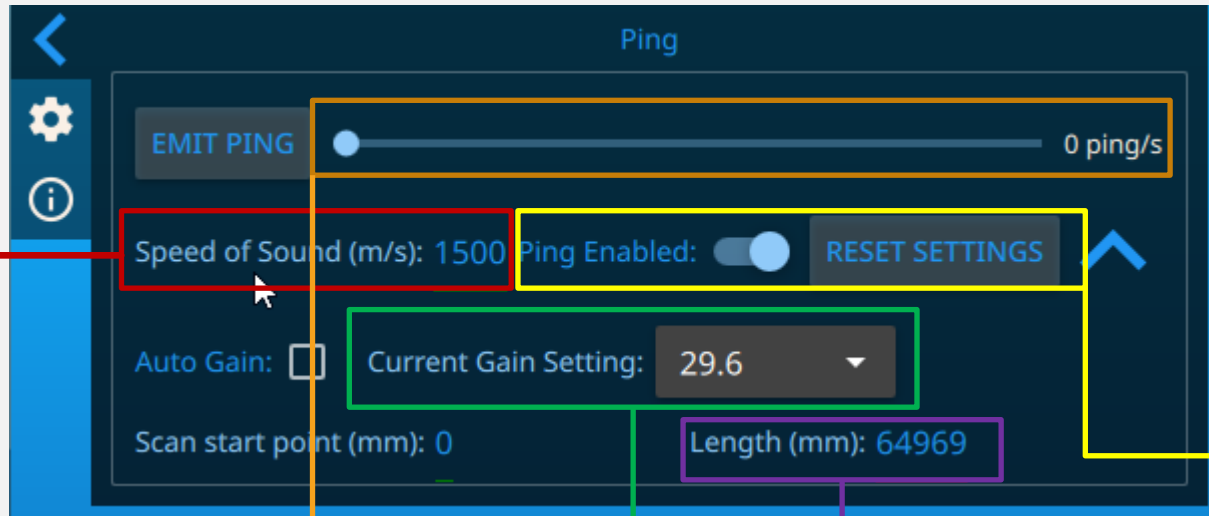
“PINGVIEWER” АПЛИКАЦИЈА

- Софтвер коришћен за иницијализацију сонара и читање резултата
- 1. Поверење сигнала 2. Оса-Растојање од сонара 3. Најснажнији ехо 4. 2д приказ





ПАРАМЕТРИ СОФТВЕРА “PINGVIEWER”



Брзина звука

Брзина ажурирања података

Остељивост уређаја

Опсег скенирања

Омогућује рад уређаја



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕРЕЊА АРДУИНО СОФТВЕР

- Ардуино софтвер коришћен за иницијализацију сонара и Tanyos Uno плочице
- **Предности у односу на PingViewer:**
- Већи степен контроле над параметрима (температура процесора, растојање, напон)
- Прилагођен начин обраде резултата мерења

```
COM4  
12:55:28.545 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:29.597 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:30.707 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:31.789 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:32.861 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:33.937 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:35.013 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:36.128 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:37.180 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:38.258 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:39.367 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:40.452 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:41.507 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:42.586 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
12:55:43.697 -> Dist: 982[mm] Conf: 100[%] Send any char to repeat parameter sending or enter new sound speed [mm/s]  
  
 Autoscroll  Show timestamp Newline 115200 baud Clear output
```



ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕРЕЊА

МЕТОДОЛОГИЈА МЕРЕЊА

- Локације на којима су вршена мерења
- Компоненте носача сонара

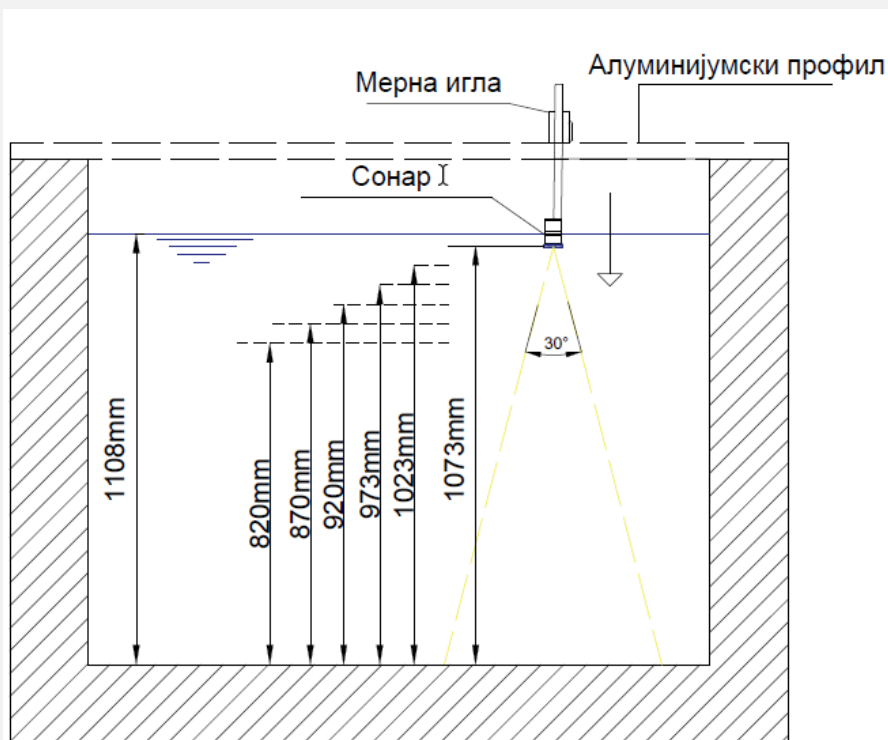




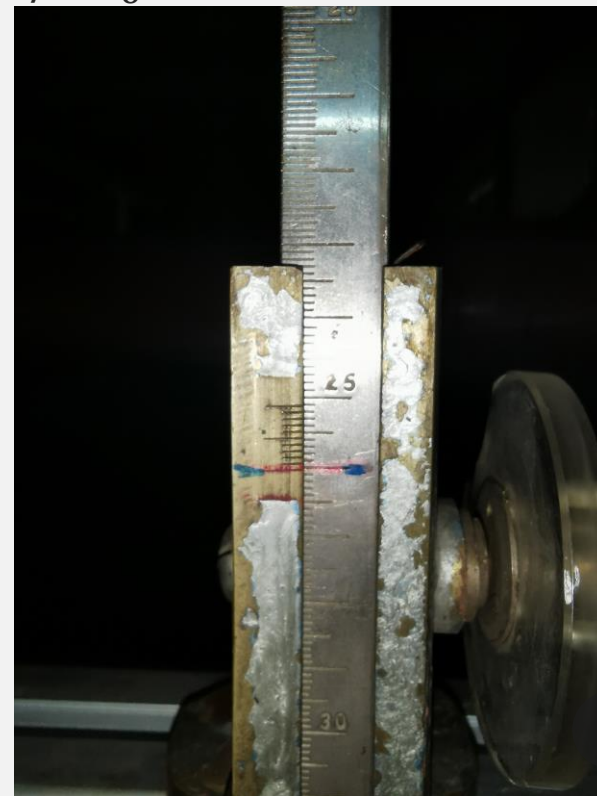
ЛАБОРАТОРИЈСКА МЕРЕЊА

ЕКСПЕРИМЕНТ БРОЈ 1

- Лабораторијска мерења на великом каналу Института за хидротехнику $V = 100m^3$
- Аутоматски режим мерења
- Почетни услови: $T = 21.81\text{ }^\circ\text{C}$, $v_{prep} = 1487.79\text{ m/s}$ $H_0 = 1108\text{ mm}$



*Стварни распоред дубина

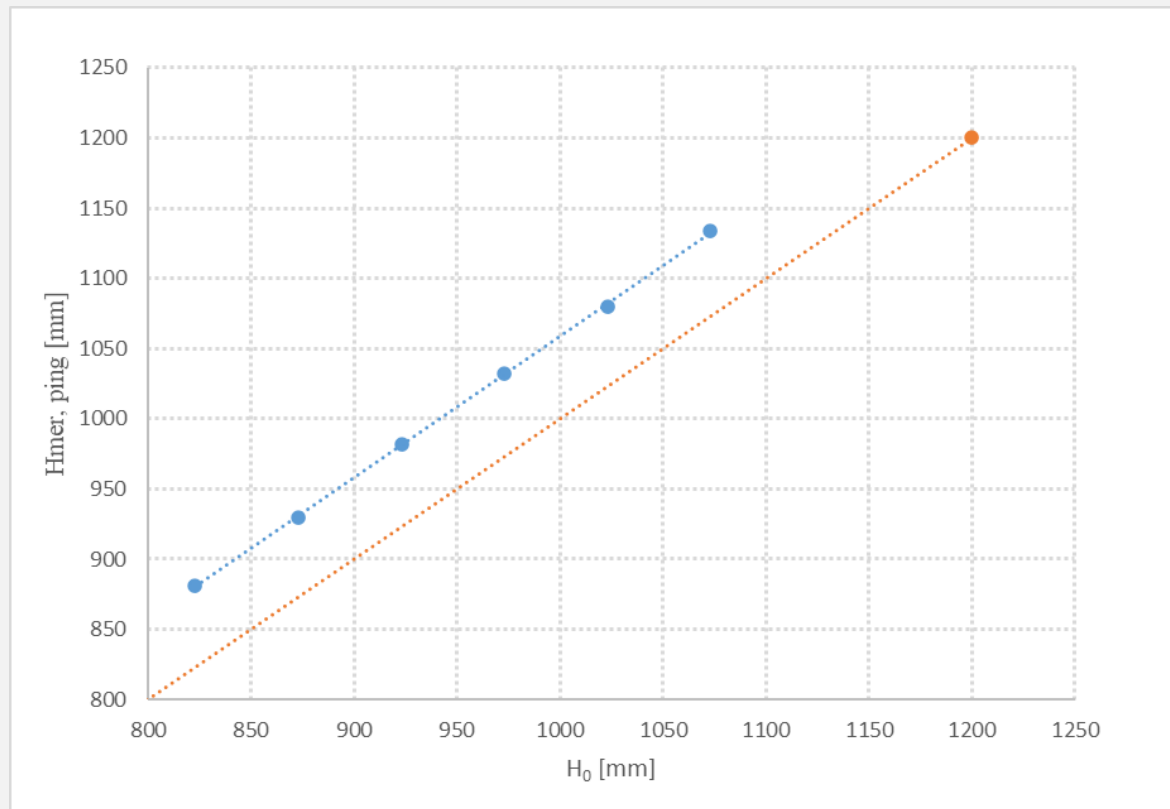




РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

ЕКСПЕРИМЕНТ БРОЈ 1

- Поновљивост у резултатима мерења по корацама мерења
- Просечно одступање од 58.5 mm
- Резолуција 0.5% од опсега мерења





ЕКСПЕРИМЕНТ 2

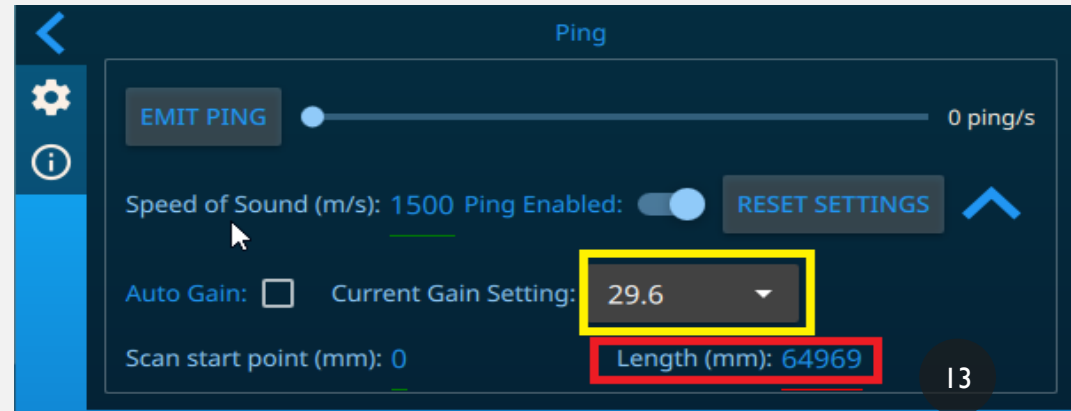
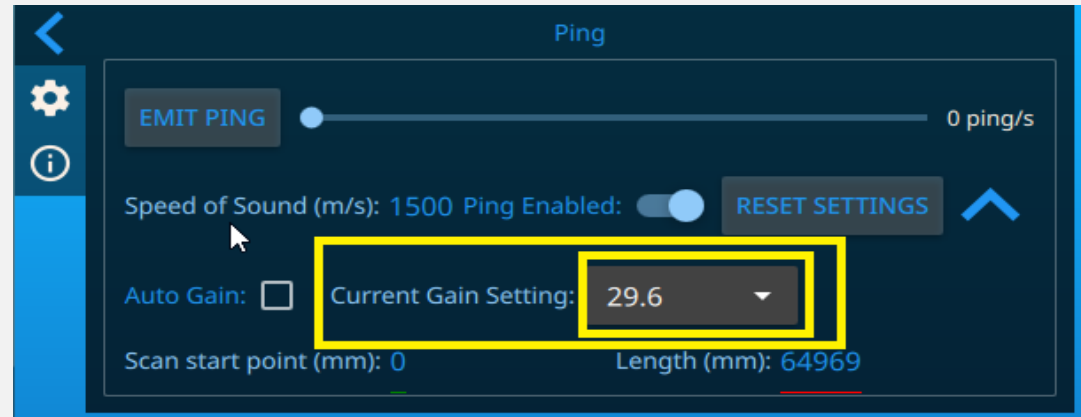
- Циљ експеримента
- 3 фазе

Фаза 1

- Почетни услови:
 $T = 22.75 \text{ }^\circ\text{C}$, $v_{prep} = 1490.51 \text{ m/s}$
- Осетљивост сонара

Фаза 2

- Почетни услови:
 $T = 22.75 \text{ }^\circ\text{C}$, $v_{prep} = 1490.51 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Опсег скенирања

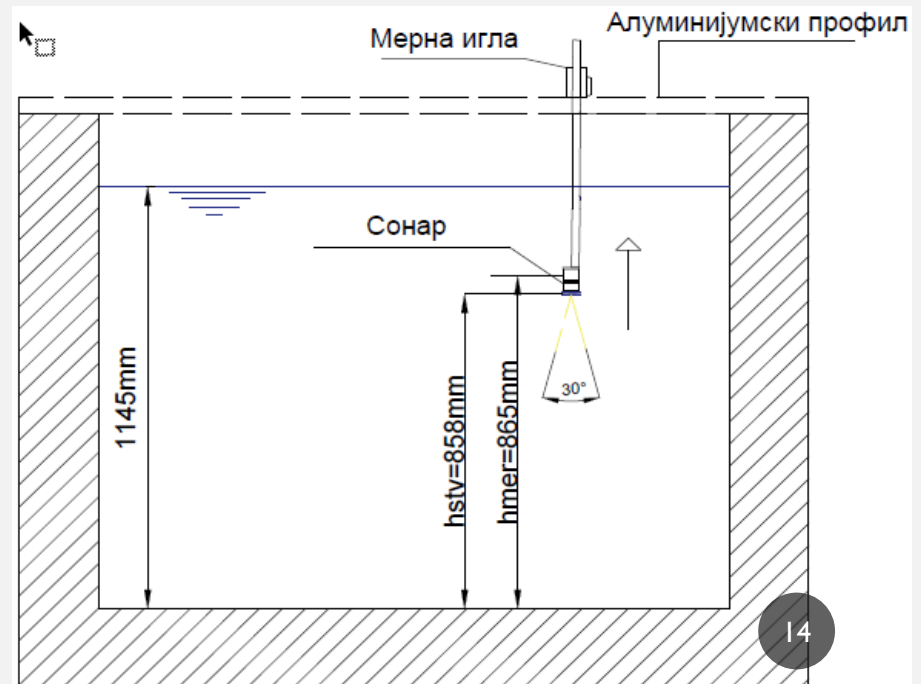
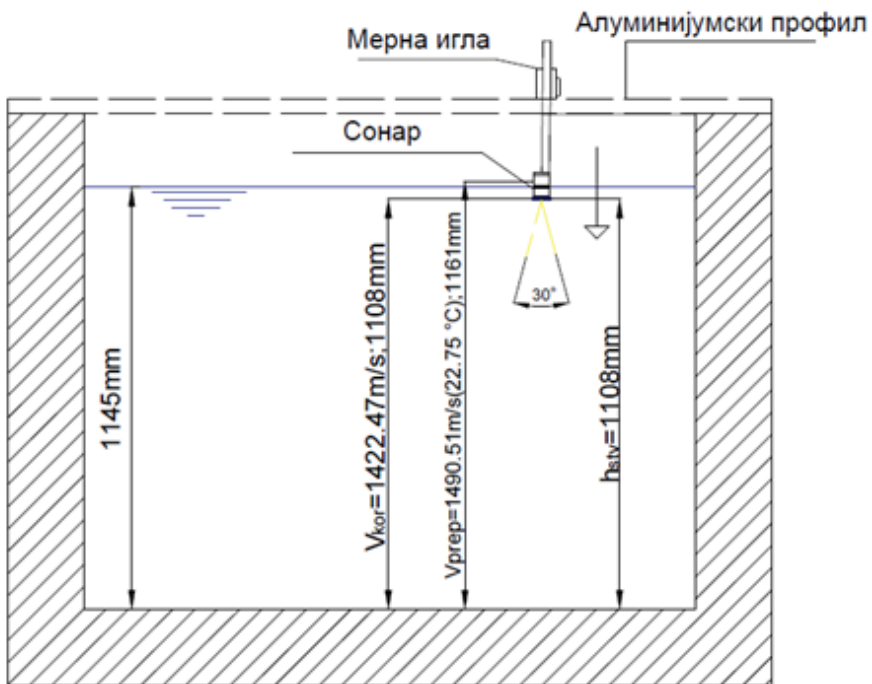




ЕКСПЕРИМЕНТ 2

Фаза 3

- Сви параметри су аутоматском режиму
- Калибрација мерења
- $v_{prep} \longrightarrow v_{kor}$





КОРЕКЦИЈА РЕЗУЛТАТА ПРИМЕНОМ ТЕОРИЈСКИХ ОБРАЗАЦА

• Математички модел

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

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

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

- Ово методологија нам пружа могућност накнадног кориговања резултата мерењем у ауто режиму рада
- Поређење резултата мерења применом калибрисане брзине и дубина коригованих у накнадној обради ће додатно показати одступања од очекиваних вредности



ТЕРЕНСКА МЕРЕЊА





- Локација мерења —————> Чукарички рукавац, Ада Циганлија
- Методологија мерења (3 позиције на сплаву, Варирање дубине сонара у 5 корака)
- Промена дубине спуштањем мерне игле за 50 mm, Аутоматски режим рада
- Мерење дубина није вршено другим методама

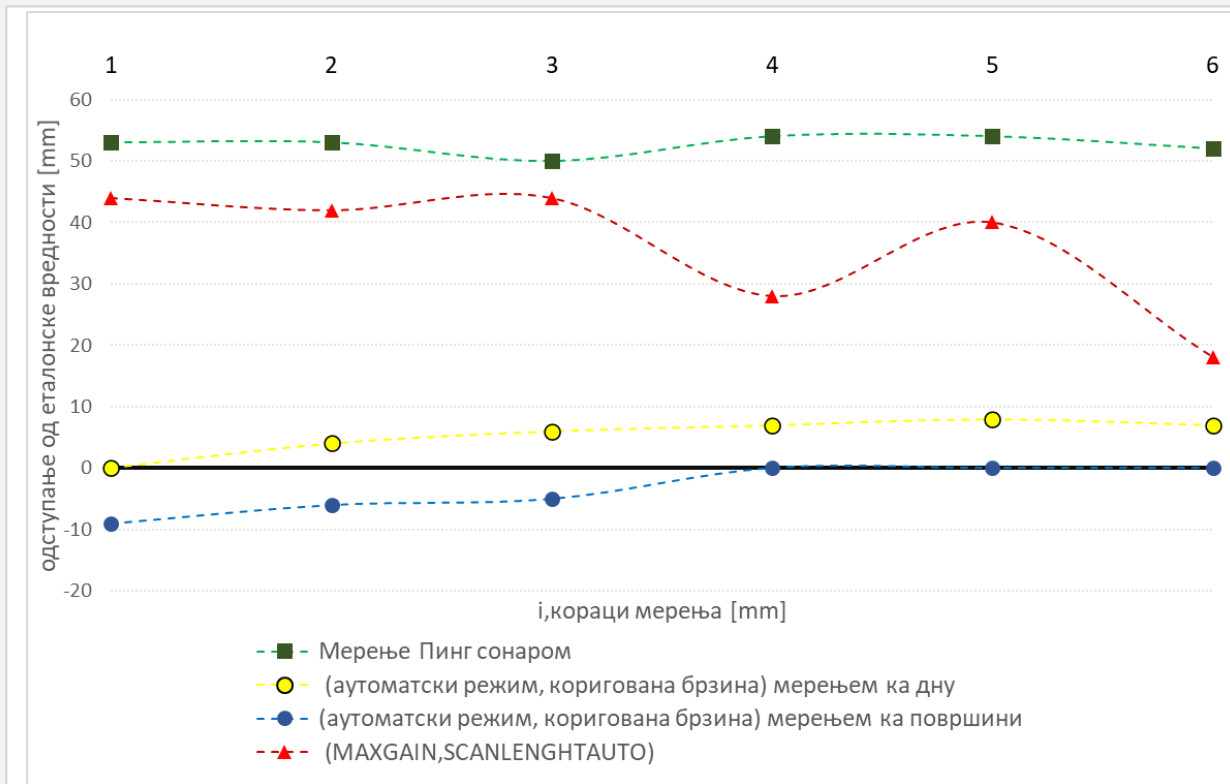




РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТА БР.2

РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА У ФАЗИ 1 И ФАЗИ 3

- Ауто режим просечно одступање од **52.7 mm** 
- Фаза 1 (*GAIN SETTING*) – максимална осетљивост (**36 mm**) 
- Фаза 3-Калибрисана брзина ка дну (**6.4 mm**) , ка површини (**4 mm**)  

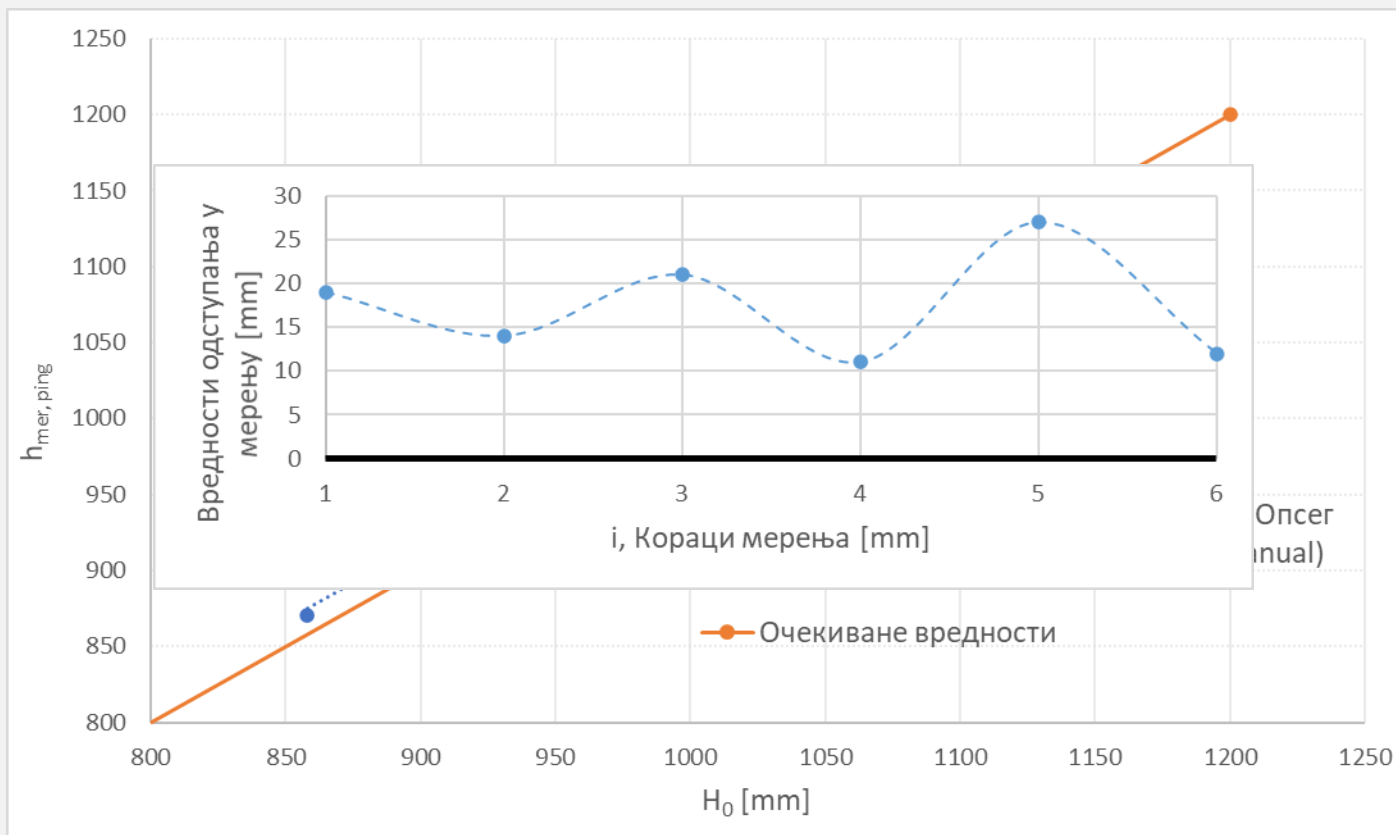




РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТА БР.2

ФАЗА 2

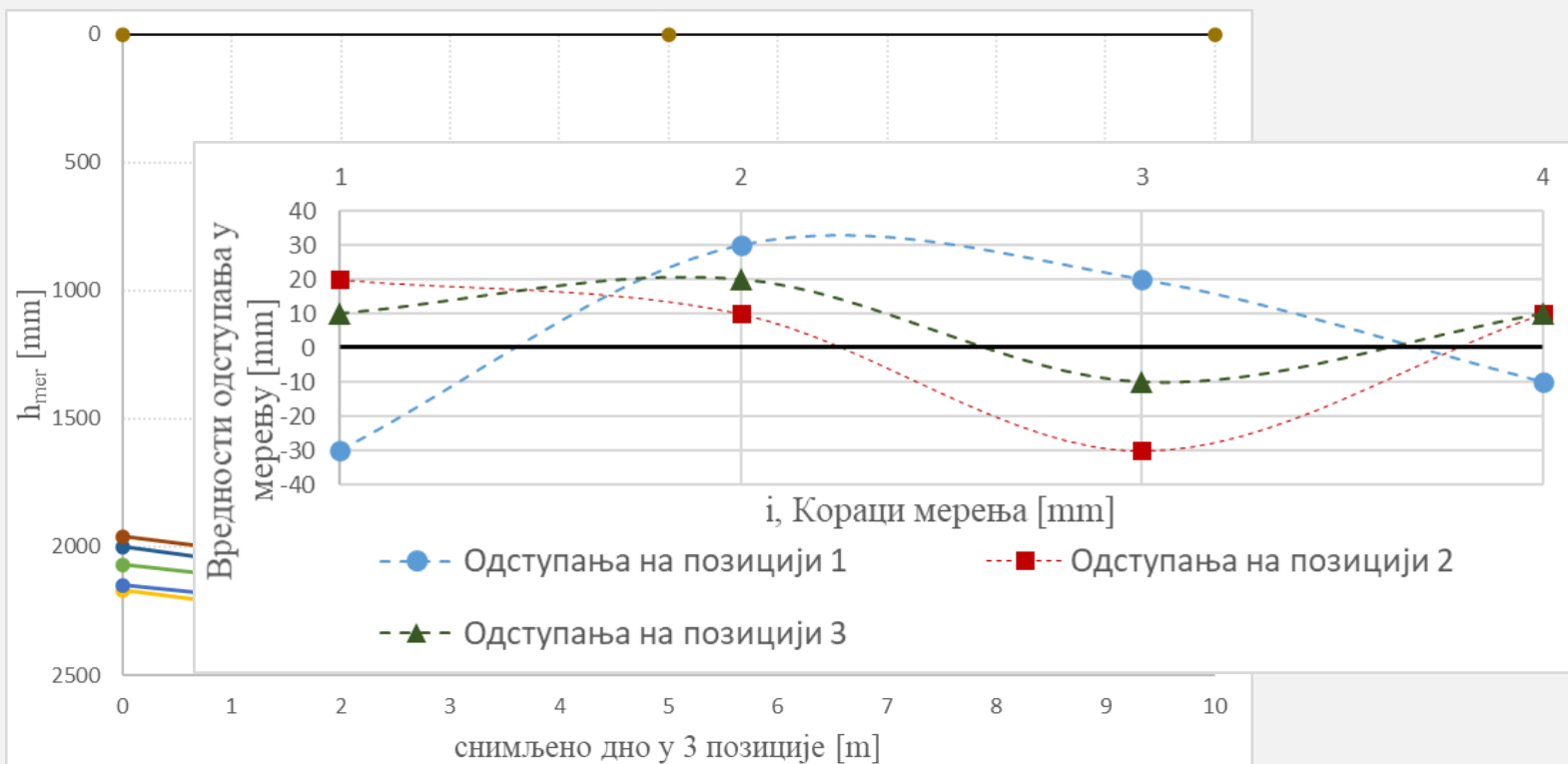
- Просечно одступање износи **17.4 mm**
- Минимални опсег претраживања (*SCAN LENGTH*) које је могуће унети је **1000 mm**
- Применљива када желимо да повећамо резоулицију мерења (рибарски сонар)





РЕЗУЛТАТИ ТЕРЕНСКИХ МЕРЕЊА

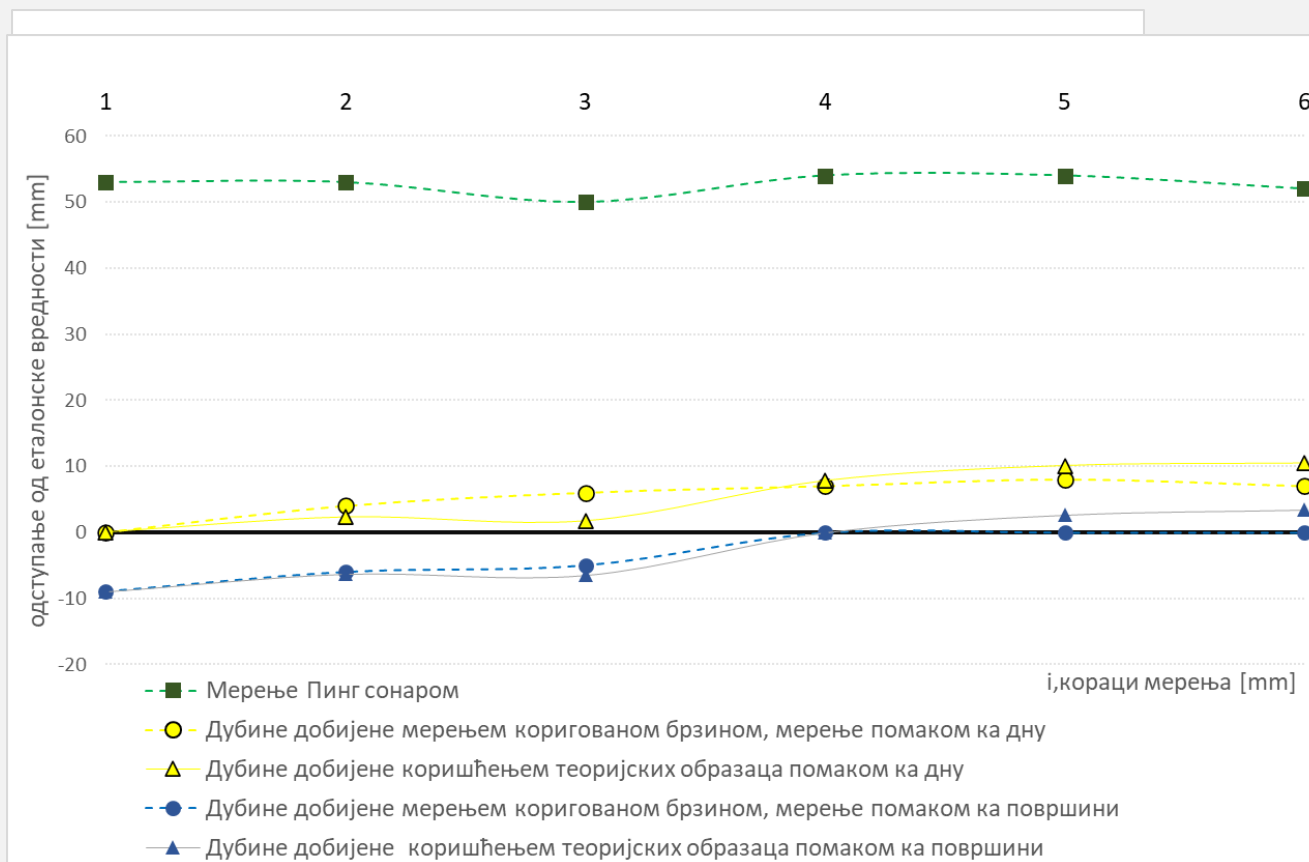
- Облик снимљеног дна одговара природном облику корита у обалском делу
- Благо укошен положај сонара нема утицаја на резултате мерења
- Одступања су у очекиваним границама али се примећује њена нелинарност





РЕЗУЛТАТИ КОРЕКЦИЈЕ ДУБИНА У НАКНАДНОЈ ОБРАДИ

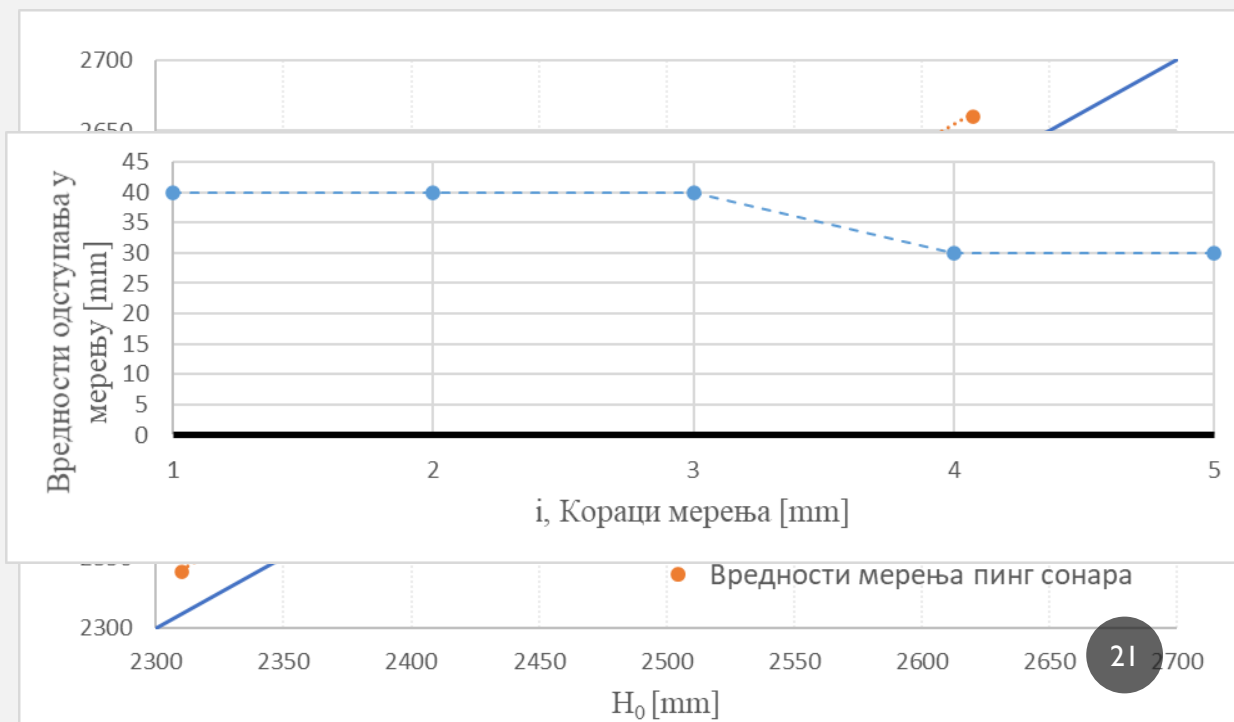
- Постоје одређена одступања резултата мерењем (фаза 3) у односу на накнадно кориговане дубине која су занемарљива. Могуће је вршити накнадну корекцију резултата мерења у ауто режиму применом ове методологије.





РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА У ВАЗДУХУ

- Брзина процењена коришћењем теоријских образаца (Owen Cramer, 1993).
- $V_{prep} = 346.97 \text{ m/s}$. ($T=24.4 \text{ }^\circ\text{C}$, влажност ваздуха 62 %, $p=988 \text{ mbar}$.)
- Резултати мерења у ваздуху одговарају резултатима мерења у води (Ауто режим)
- Просечно одступање износи **36mm**



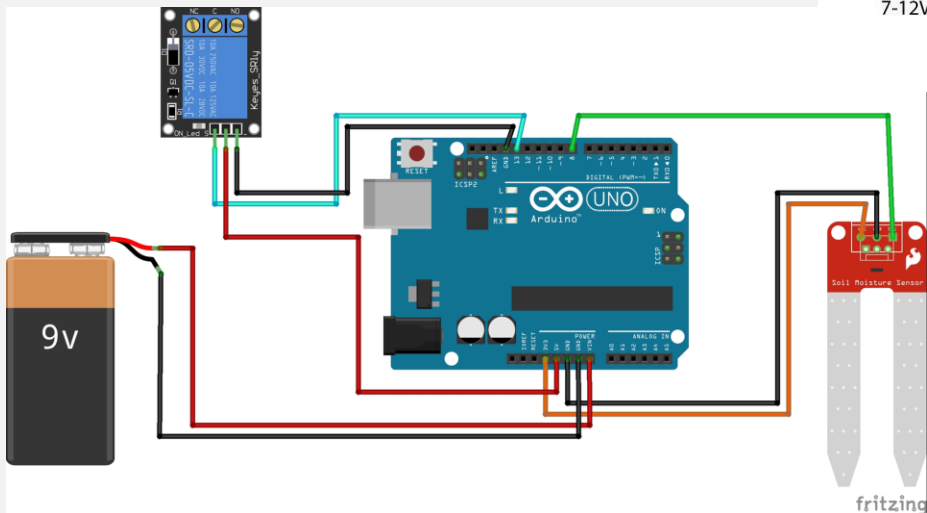
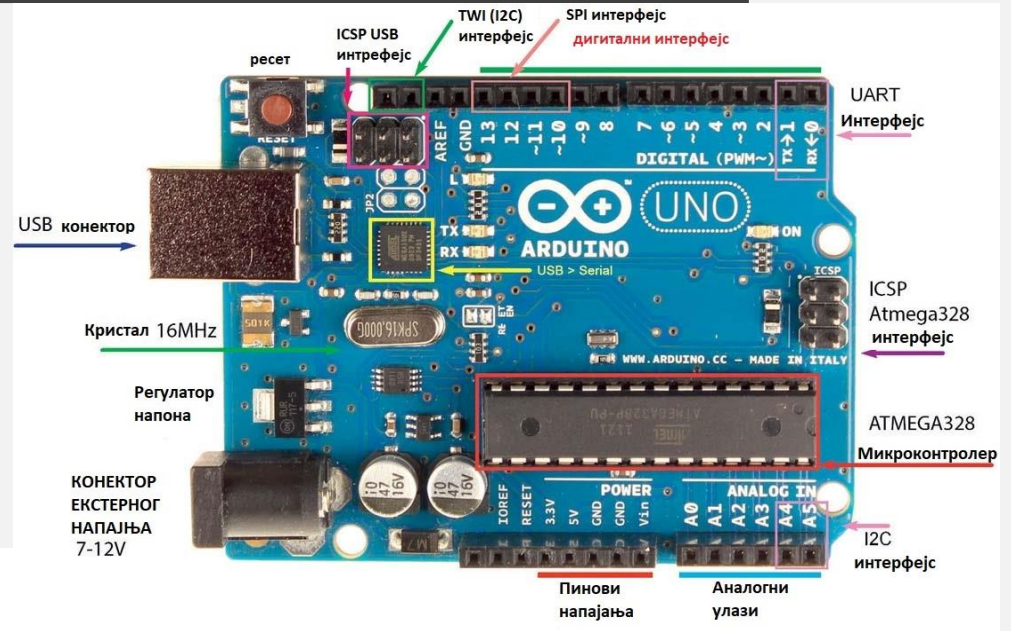


МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ



АРДУИНО ПЛАТФОРМА И ПОВЕЗИВАЊЕ СА СОНАРОМ

- Шта је Ардуино?





TANYOS UNO

РАД СА СОНАРОМ

- Микроконтролерска платформа произвођача Tanyos Uno базирана на Ардуино пл.
- Ардуино софтвер, Примери (Get и set) методе
- Развој скрипти за примену уређаја

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  1208 transmit_duration
1201 device_id          1210 general_info
1202 voltage_5         1211 distance_simple
1203 speed_of_sound    1212 distance
1204 range              1213 processor_temperature
1205 mode_auto         1214 pcb_temperature
1206 ping_interval     1215 ping_enable
1207 gain_setting      1300 profile control
```

Control метода:

```
1100 goto_bootloader
1400 continuous_start
1401 continuous_stop
```

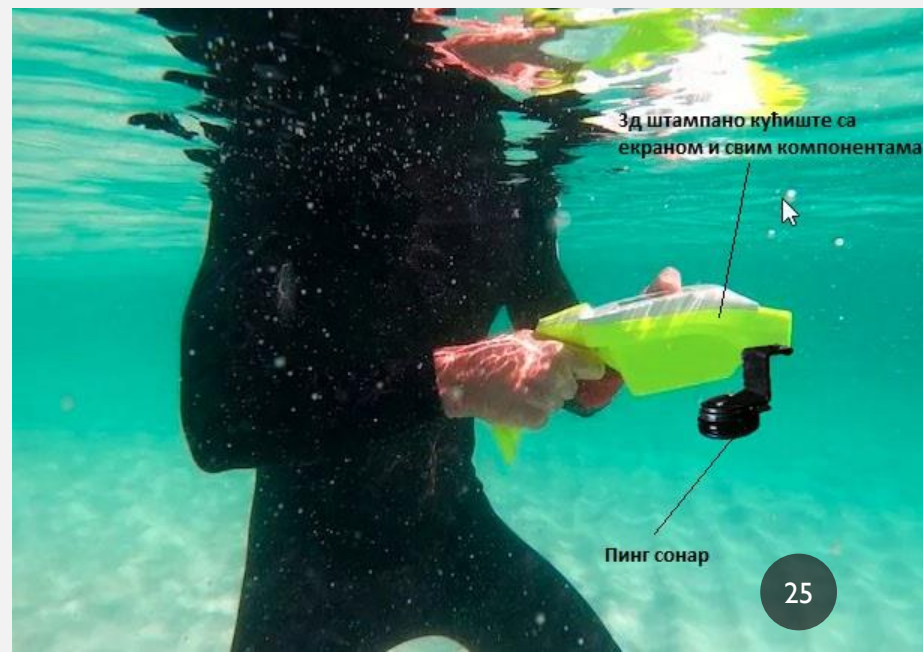
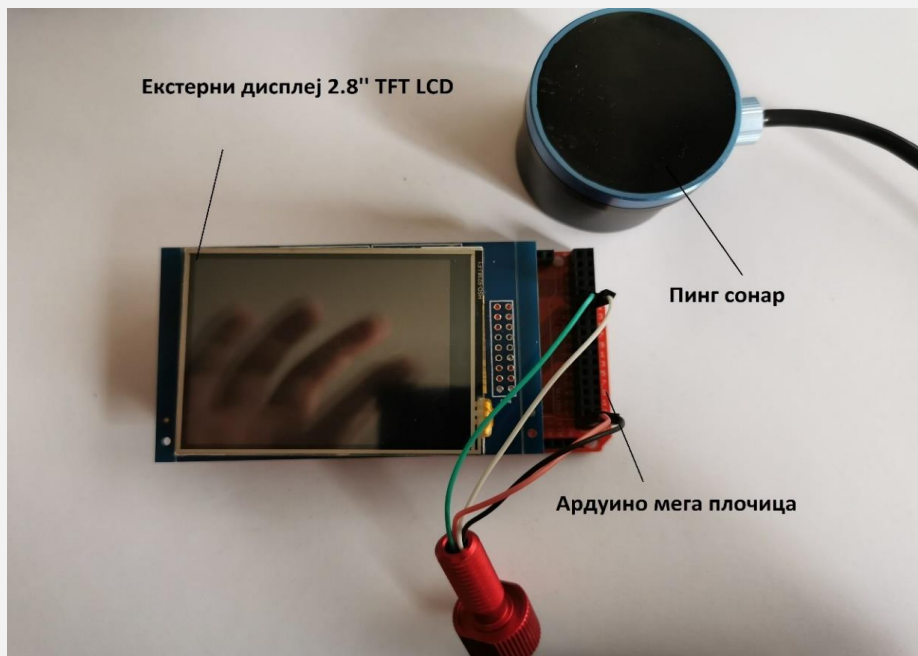
Комуникација

Напајање



МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ „HAND HELD”

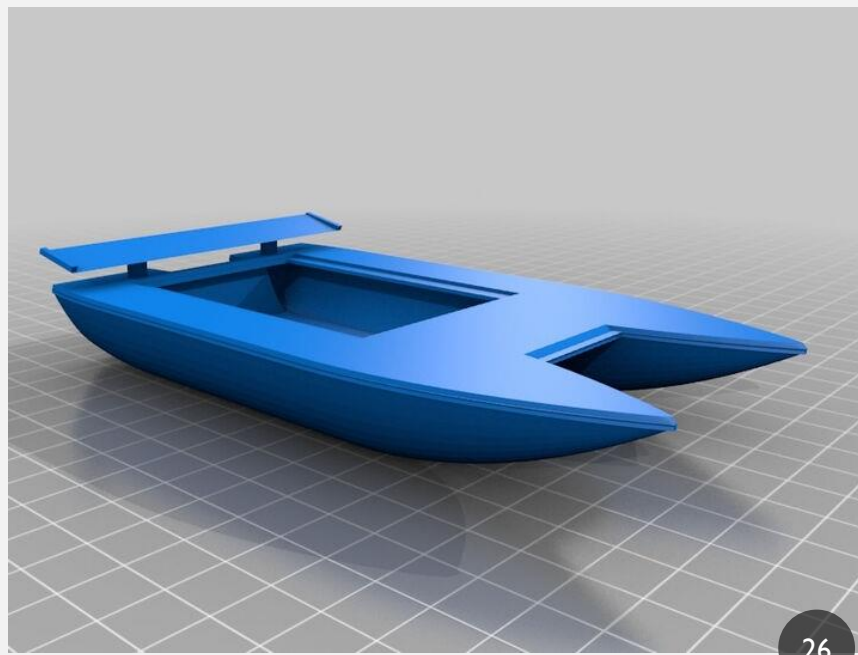
- Идејно Решење ручно управљаног уређаја (енг. „hand held”)
- Примена
- Начин ожичења уређаја
- Израда кућишта за складиштење компоненти
- Развој скрипти и графичког окружења за управљање сонаром





МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ “ЛАКА ПЛОВИЛА”

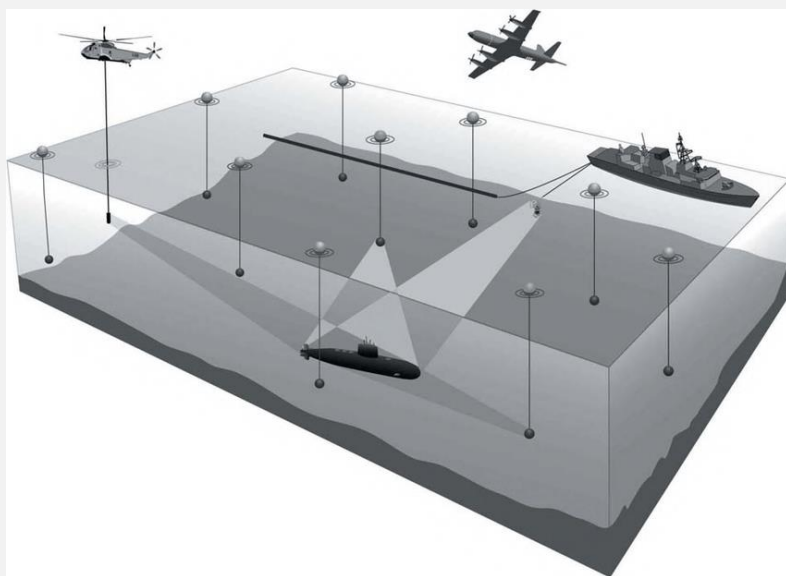
- Израда пловила применом 3д штампе
- Комерцијална пловила
- Снимање дна са обале





МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ “СИСТЕМ БОВА”

- Познавање параметера стања система у реалном времену
- Мерење нивоа воде на пловним путевима
- Монтажа сонара на систем бова





ЗАКЉУЧЦИ ИСТРАЖИВАЊА

Мерења у лабораториским и теренским условима су показала:

- Могуће је применити један од емпиријских образаца при процени брзине звука
- Употреба уређаја у аутоматском режиму су показала одређена одступања
- Коришћење уређаја у ваздуху је могућа уз поштовање истих принципа мерења
- Појава нелинарности у резултатима мерења у теренским условима могућа последица осцилација нивоа. Потребна су додатна мерења на терену.
- Благо закошење положаја сонара у односу на вертикалну раван нема утицаја на резултате мерења. Битна карактеристика при монтажи на покретно пловило.

Корекција параметара у софтверу PingViewer су довела до следећих закључака:

- Корекција опсега претраживања смањује грешку при мерењу и повећава резолуцију простора коју претражујемо
- Мерење са максималном осетљивошћу показало је смањење просечног одступања од очекиваних вредности за 30%
- Резултати мерења након калибрације су показала задовољавајући ниво али постоје одређена одступања од теоријски очекиваних вредности. Потребна су детаљнија истраживања.



ХВАЛА НА ПАЖЊИ