



Универзитет у Београду, Грађевински факултет
Катедра за хидротехнику и водно-еколошко
инжењерство



МАСТЕР РАД

Анализа рада равних електромагнетних сензора брзине

Кандидат:

Лука Стојадиновић

Ментор:

Проф. др Душан Продановић

Децембар, 2017

Садржај излагања

- **Мерење протока**
- **Електромагнетни сензори**
- **Мерење ЕМ поља**
- **Утицај наноса**
- **Закључак**

О протоку

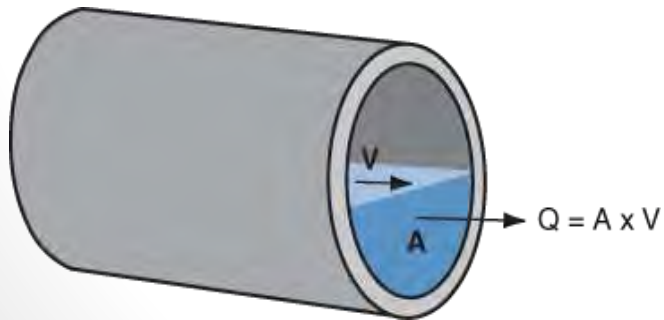
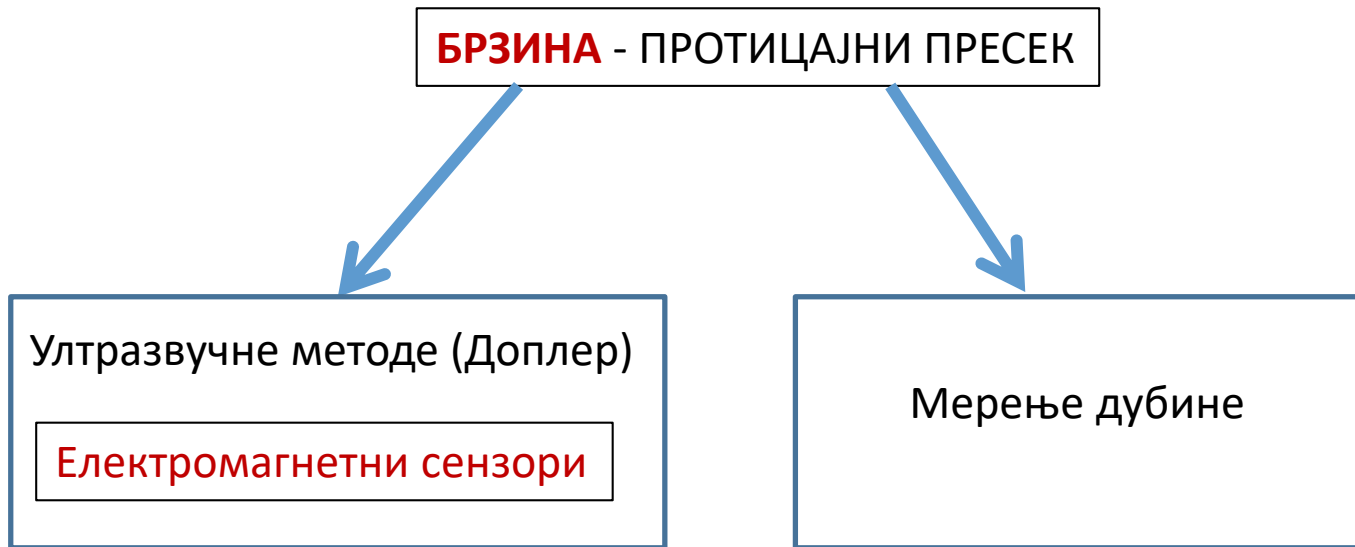
- Једна од најбитнијих хидротехничких величина
- За правилно управљање хидротехничким системима, потребни су подаци о протоку у реалном времену

Неки од проблема мерења протока у канализацији:

- Комбиновани услови течења (слободна површина – течење под притиском)
- Однос минималног и максималног протока већи од 1:1000
- „Прљава“ вода - **Таложење седимената**



Мерење протока



Проблеми код Доплерових метода:
Засипање сензора

А код ЕМ сензора?

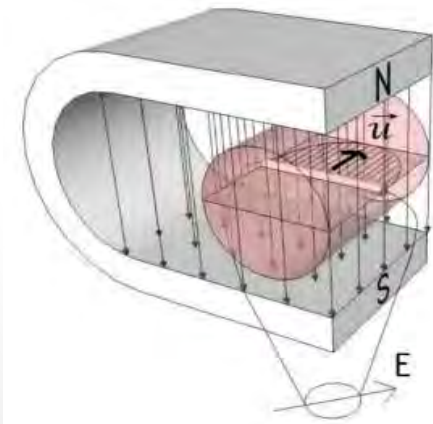
О ЕМ сензорима

Електромагнетно поље \times Поље брзина флуида $=$ Напон

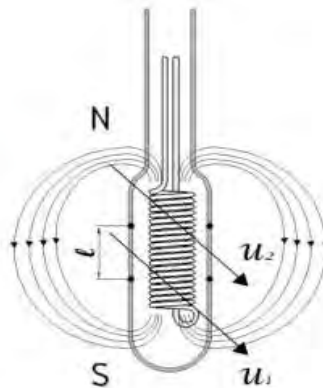
(Фарадејев закон индукције)

$$U = \int_A (\vec{B} \times \vec{j}) \cdot \vec{V} dA$$

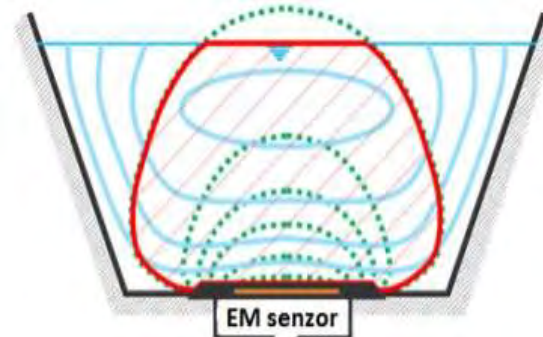
Не баш тако једноставно, постоји и густина струје....



Интегрални



У „тачки“



Полу - интегрални

Равни ЕМ сензор

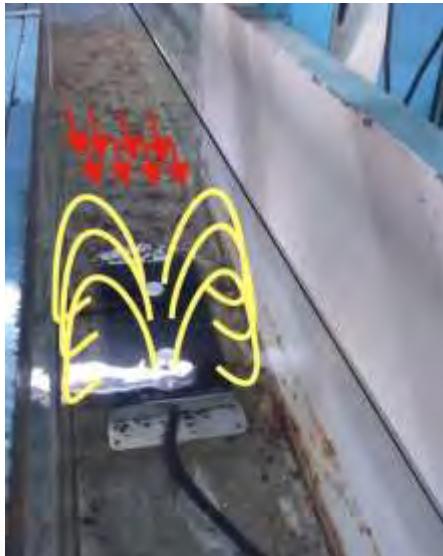
Електромагнетно поље



Поље брзина флуида



Напон



Равни ЕМ сензор брзине

Шта има пресудну улогу у величини индукованог напона?

Електромагнетно поље

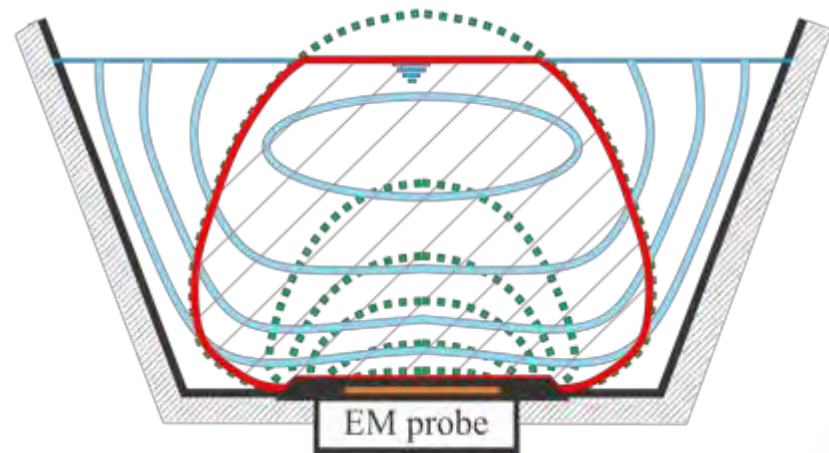
Измерено

Поље брзина флуида

Измерено (није обрађено)

ОСНОВНА ИДЕЈА:

Успоставити везу ЕМ поља, поља брзина и излазног напона сензора. За свако ново мерно место, могуће је компјутерски симулирати поље брзина – добија се јединствена калибрациона крива



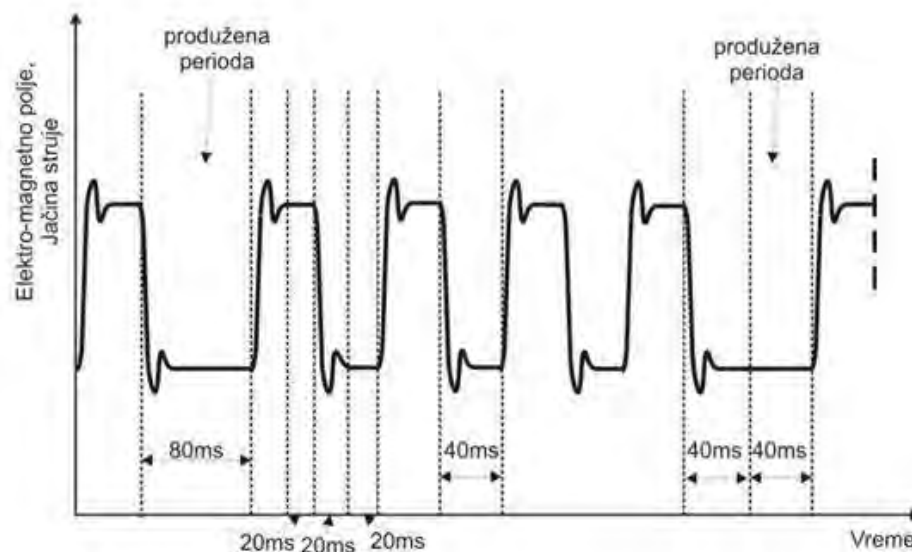
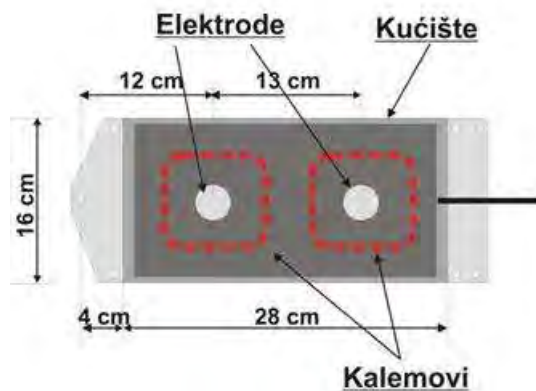
Мерење ЕМ поља

Побуда сензора:

Промена знака на сваких **40 ms**

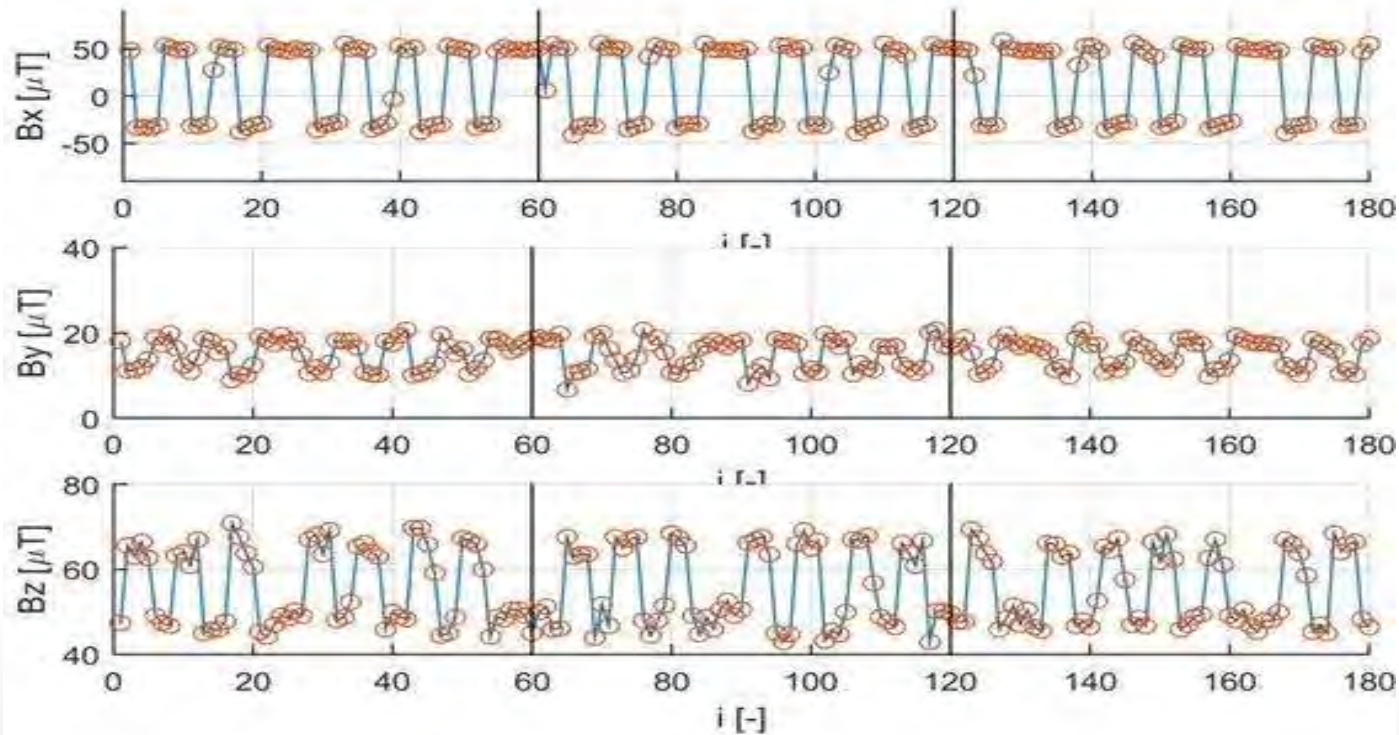
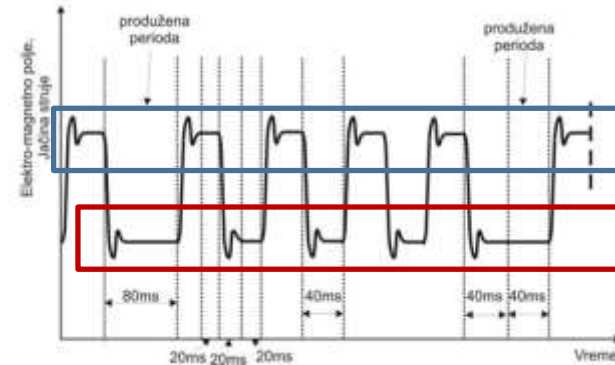
Снимање магнетометром:

3*60 снимања на сваких **11 ms**

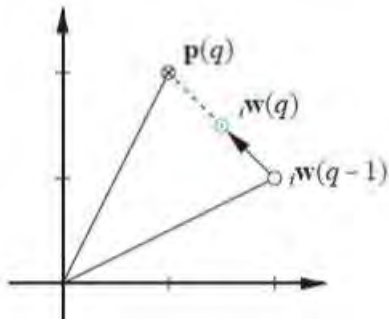


Мерење ЕМ поља

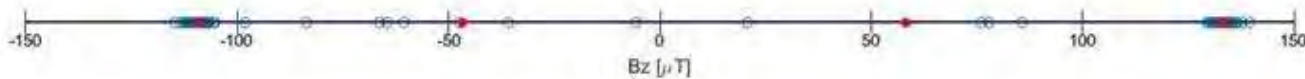
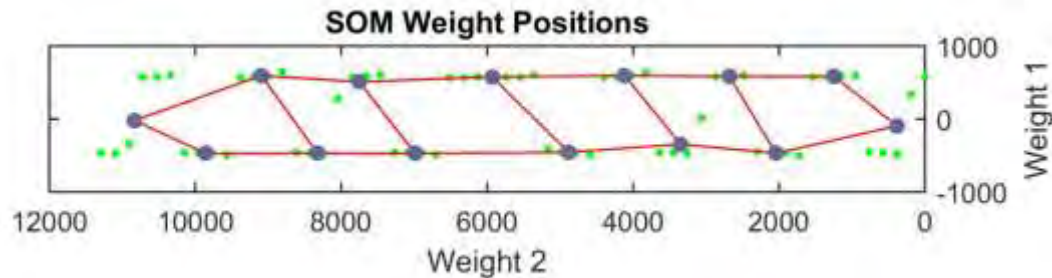
Сирове податке снимљене магнетометром потребно је поделити на „**ПОЗИТИВНО**“ и „**НЕГАТИВНО**“ поље (просторно уклапање)



Мерење ЕМ поља – неуралне мреже

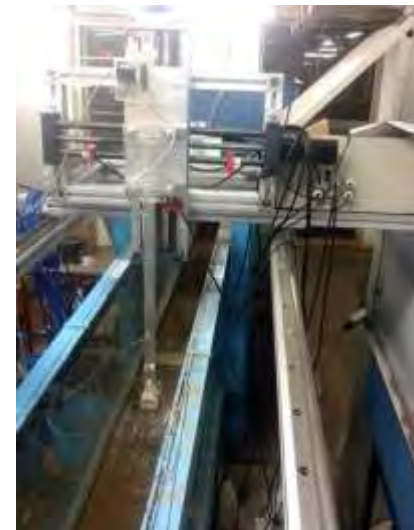
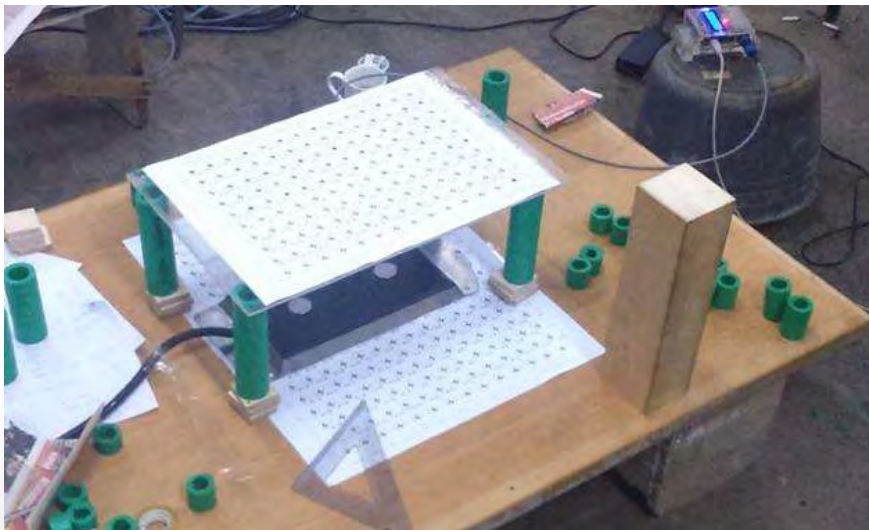
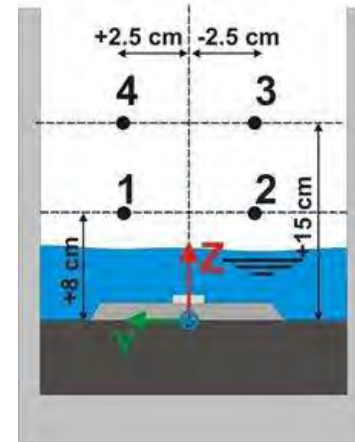


- Неурони проналазе групе података у простору
- 1D и 2D мреже

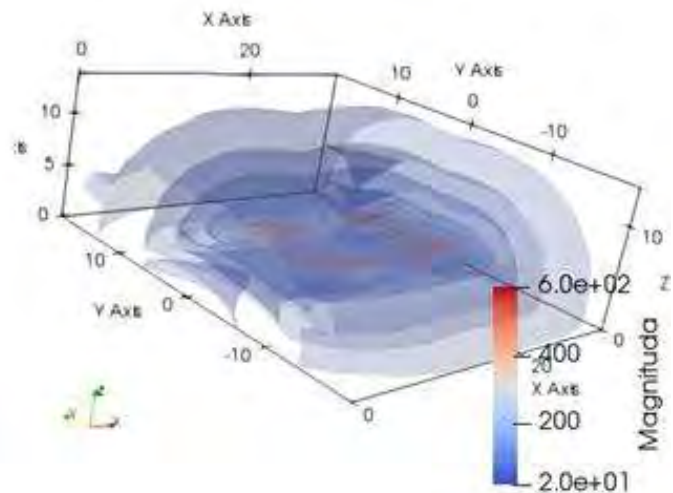
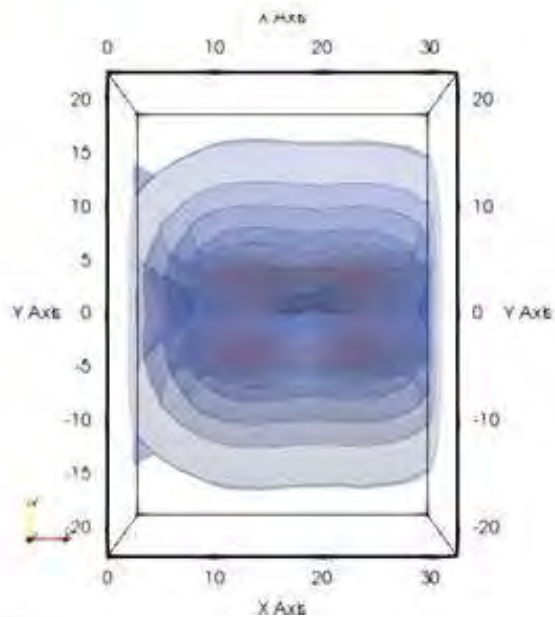
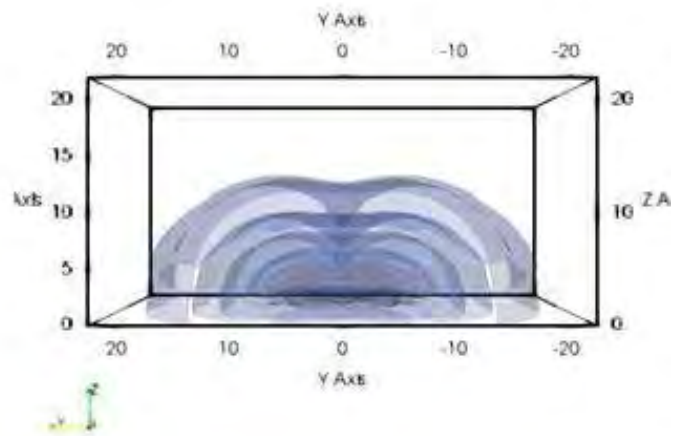
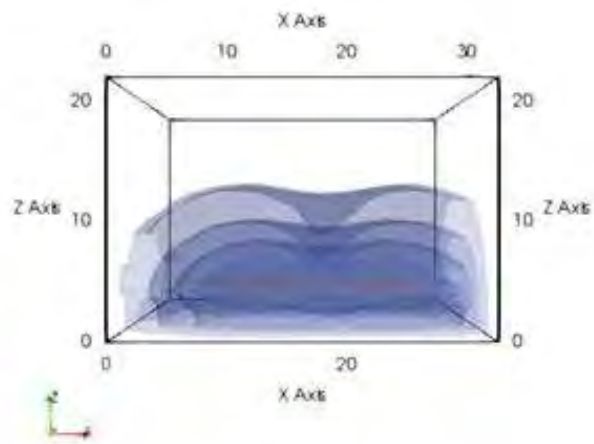


Мерење ЕМ поља – мерна места

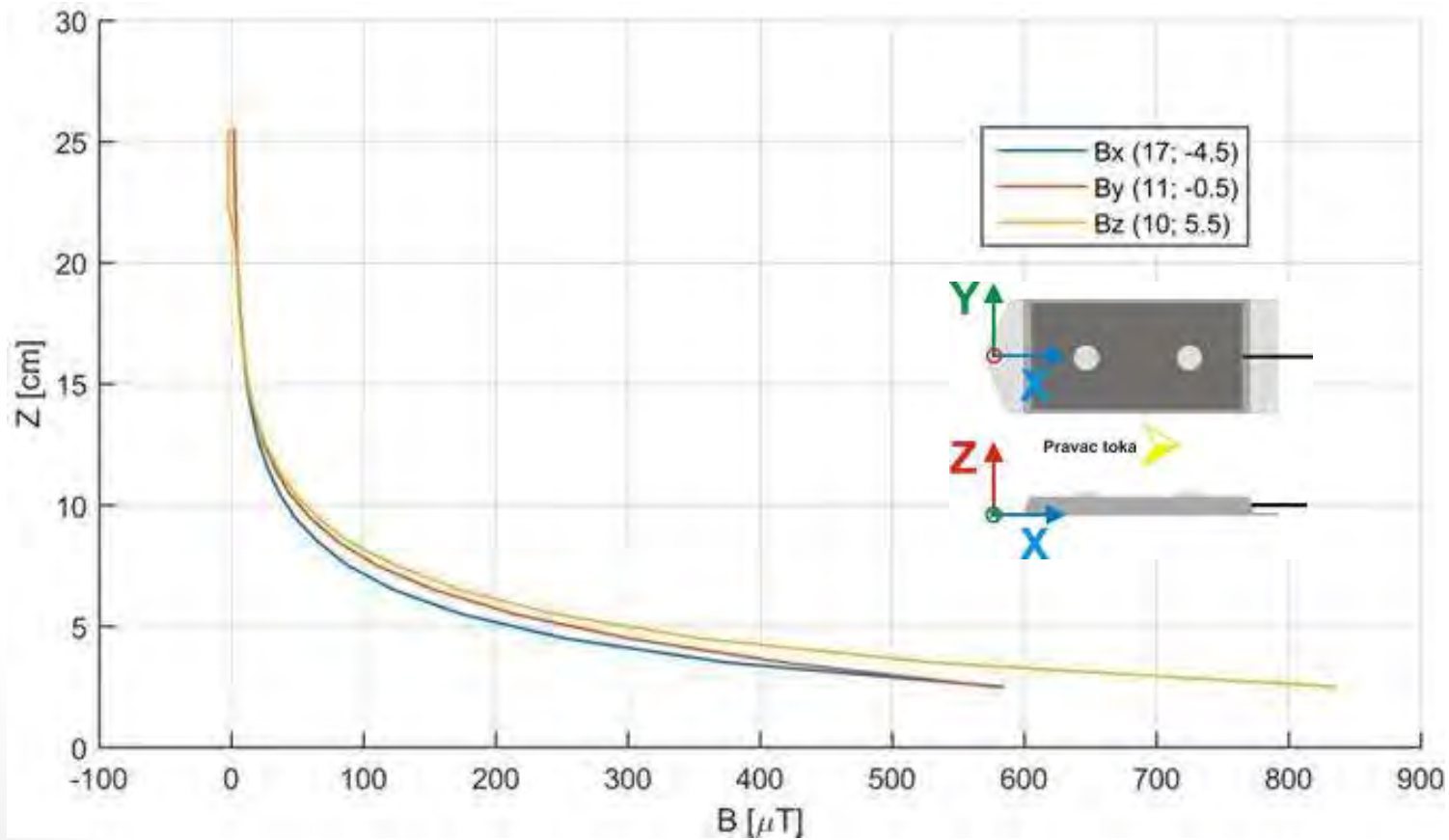
1. Ван канала (минимум околних сметњи)
2. У каналу (најгушће, позиционер)
3. Са водом која тече
4. Зид од стакла/метала



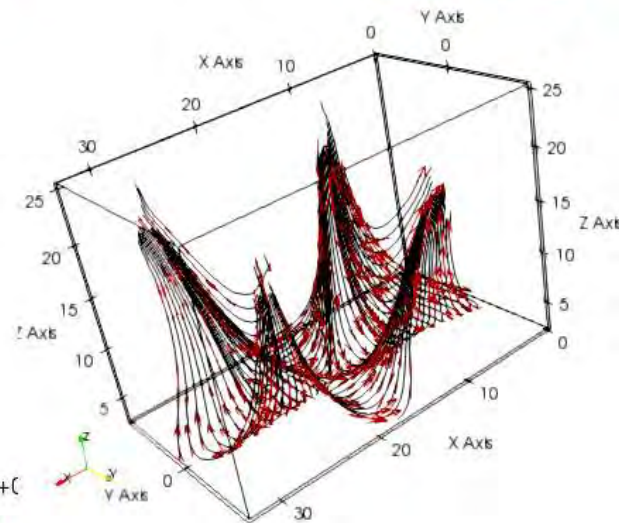
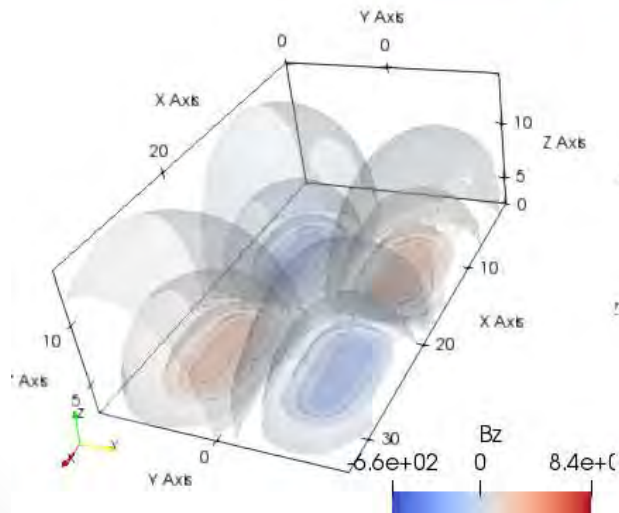
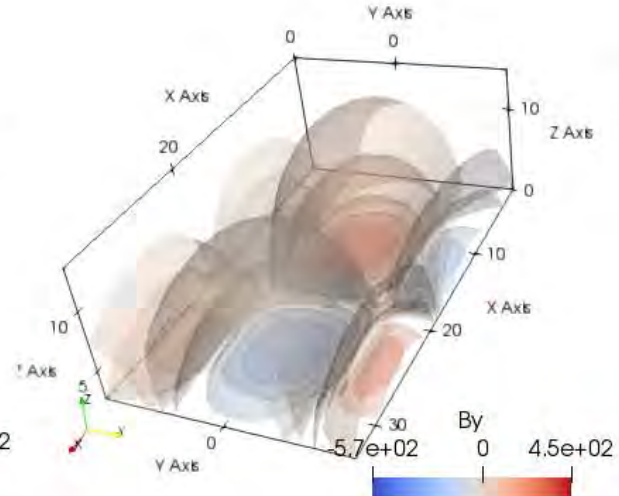
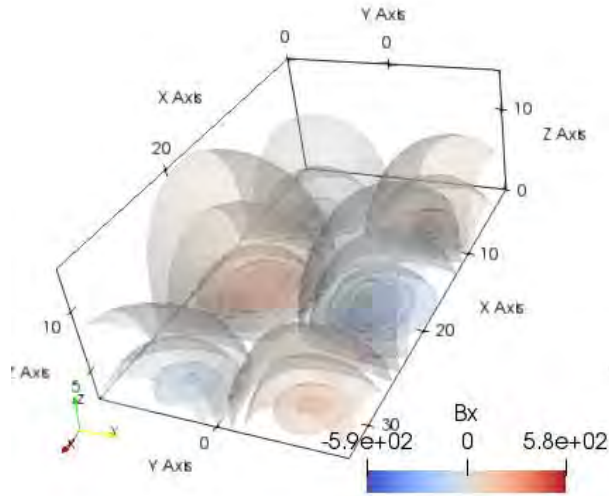
Мерење ЕМ поља – резултати ван канала



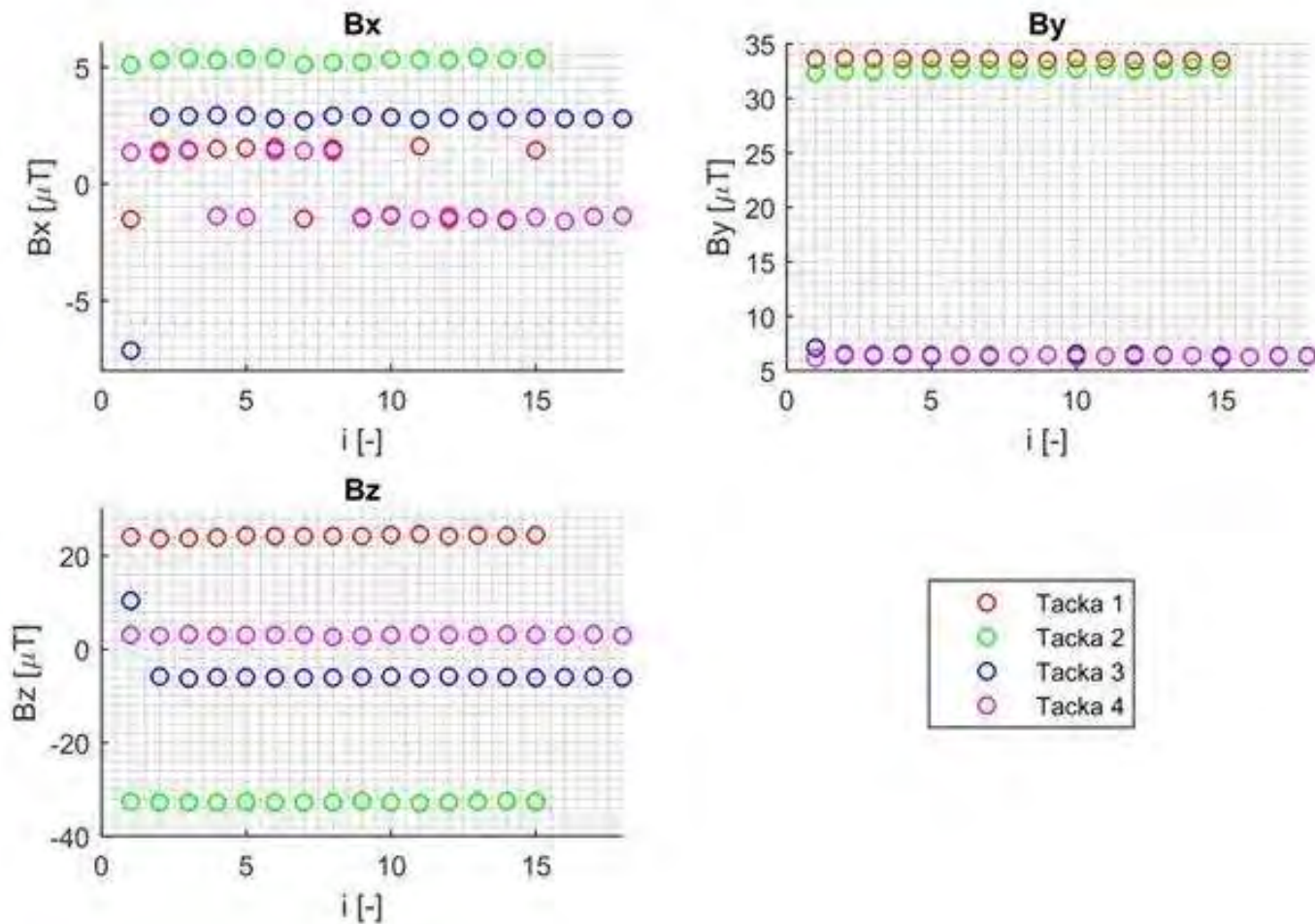
Мерење ЕМ поља – резултати у каналу



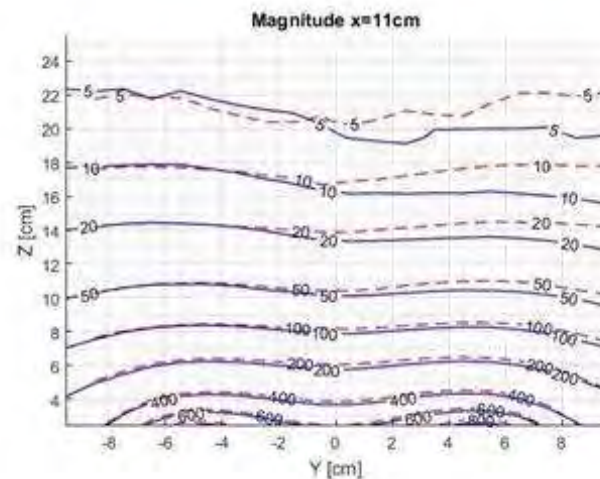
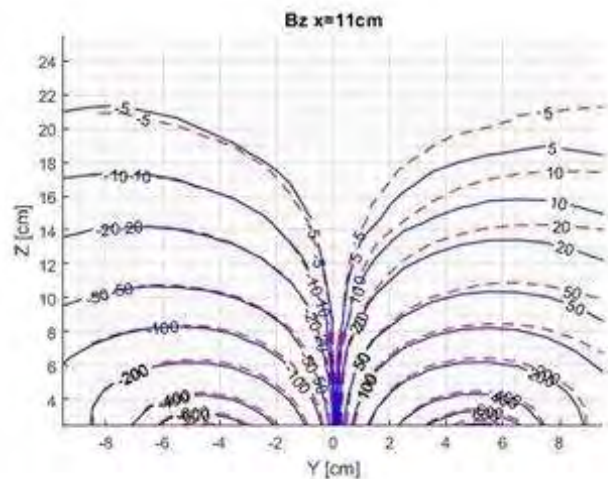
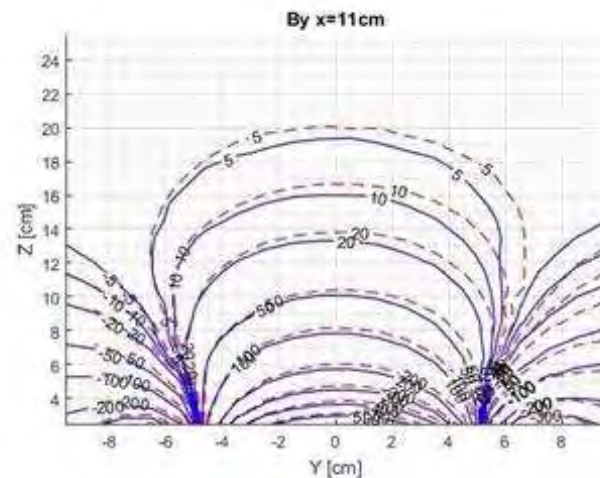
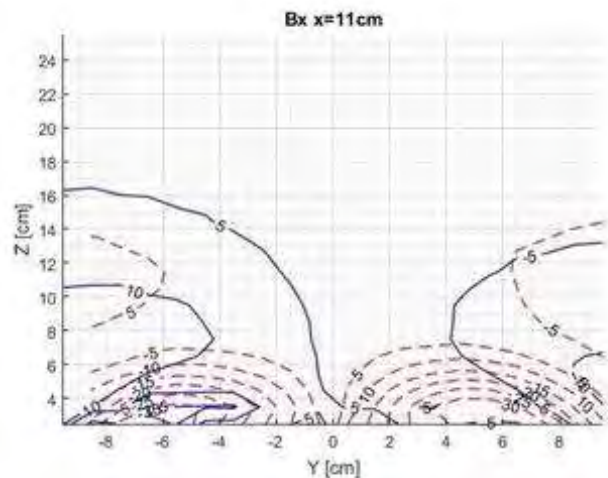
Мерење ЕМ поља – резултати у каналу



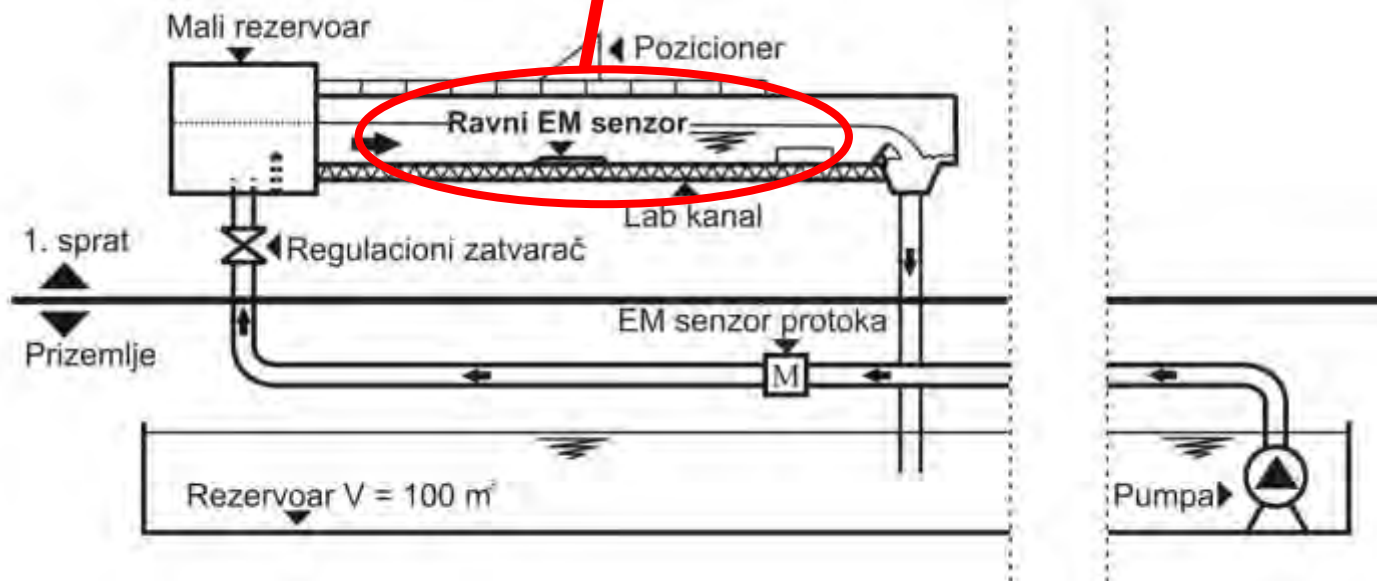
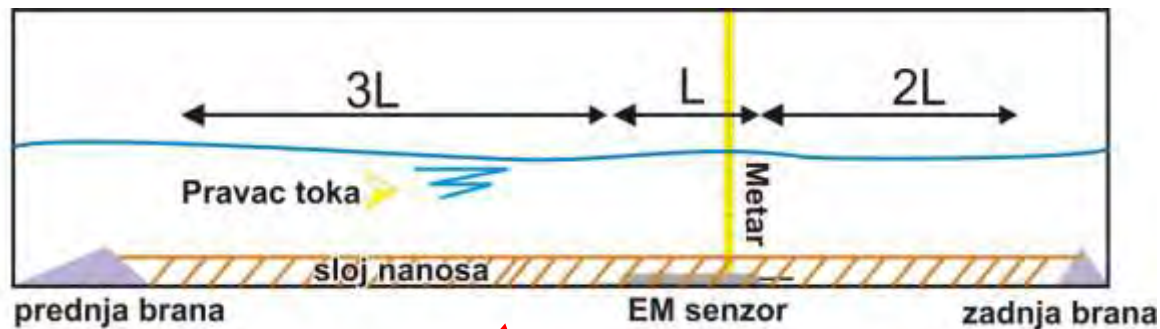
Мерење ЕМ поља – вода која тече



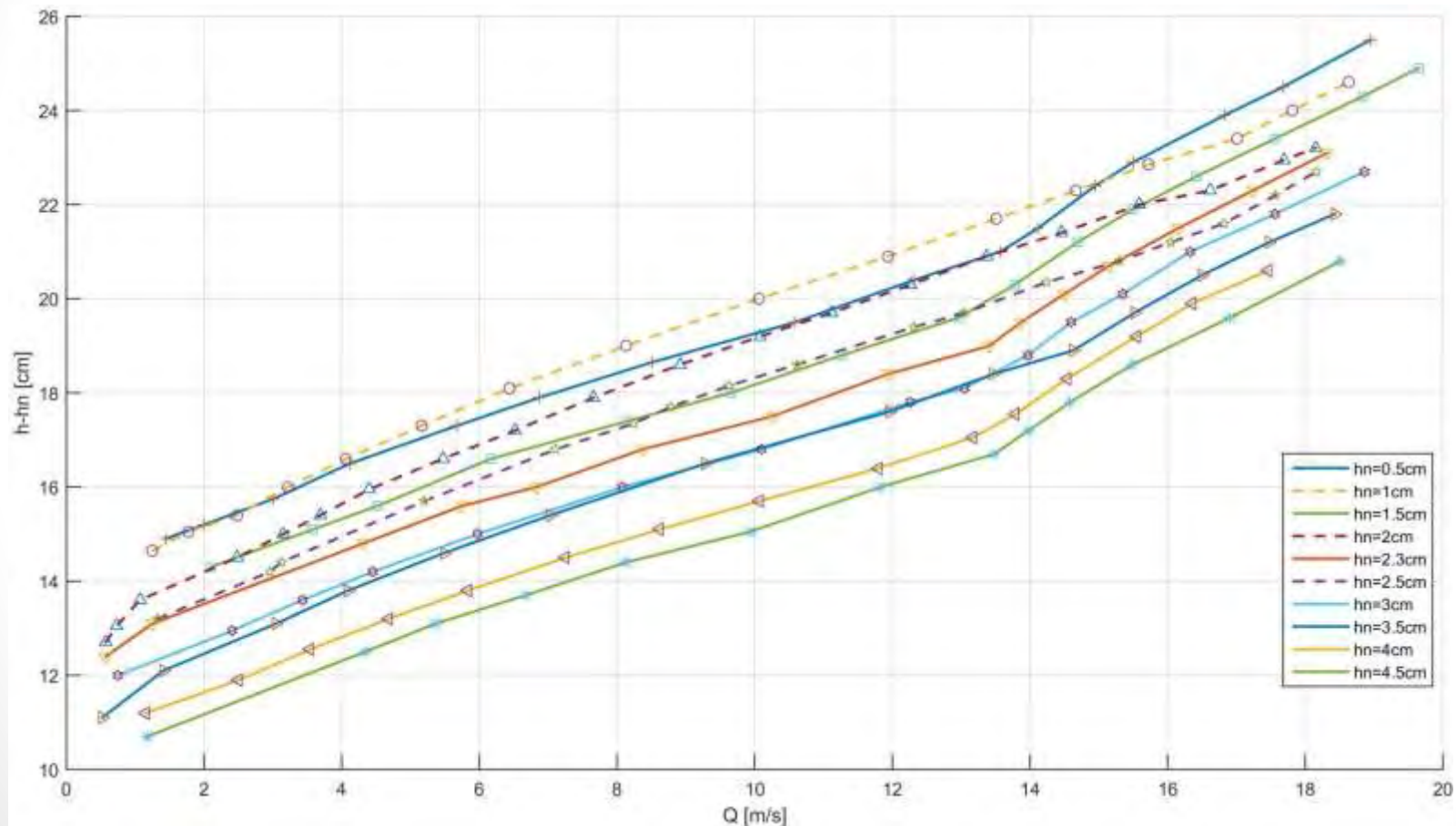
Мерење ЕМ поља – зид од метала/стакла



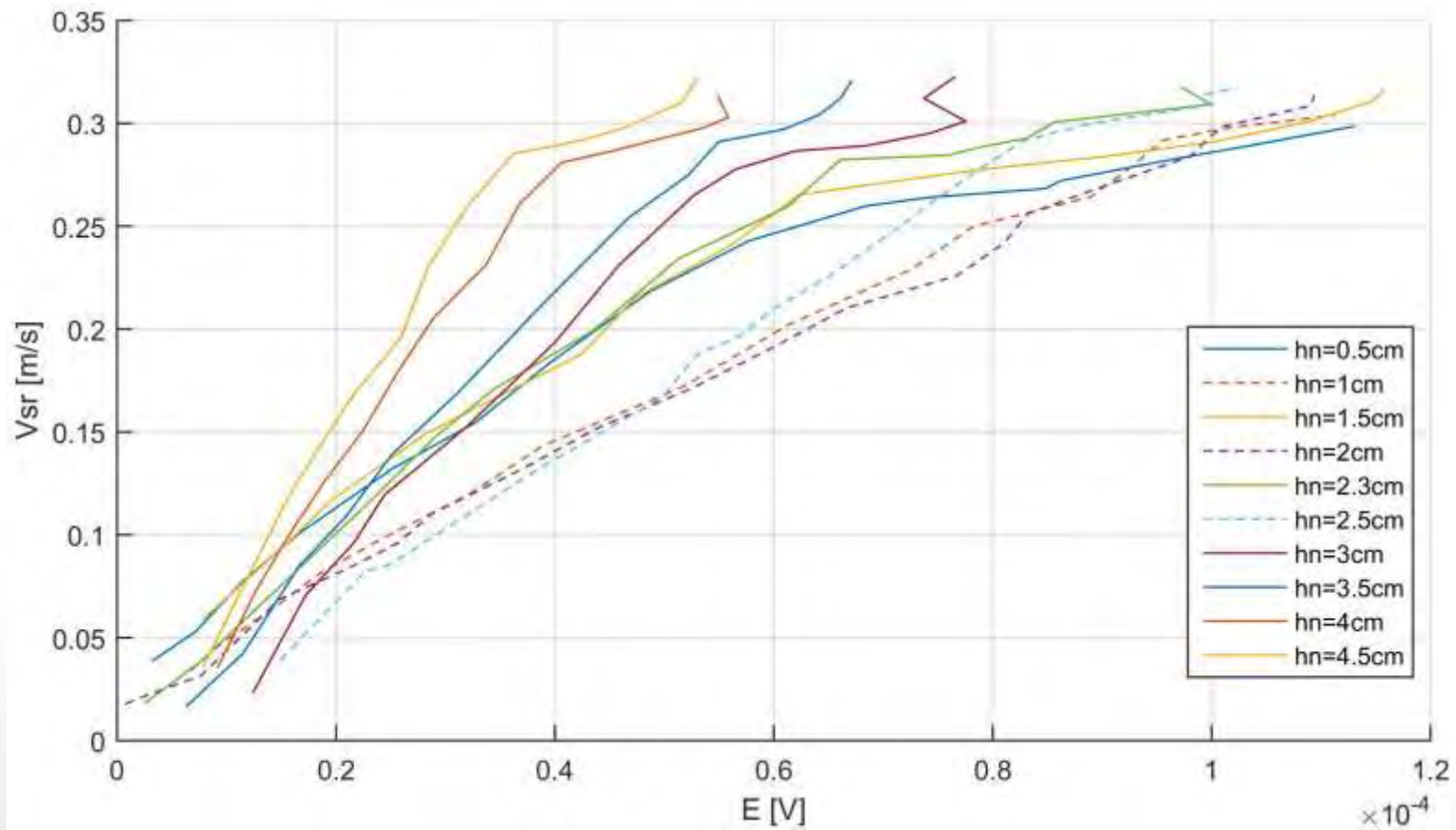
Мерења са наносом - поставка



Резултати мерења са наносом – Q-h крива

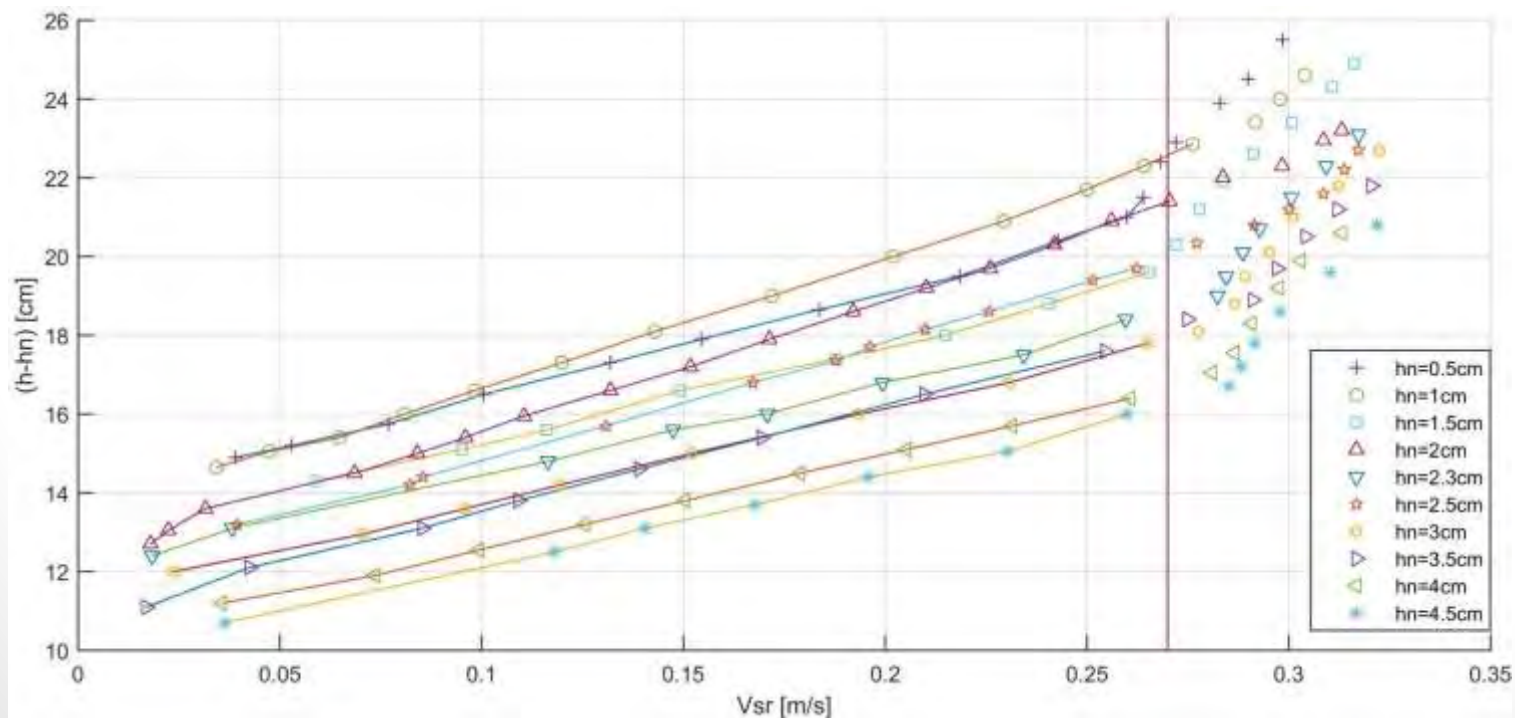
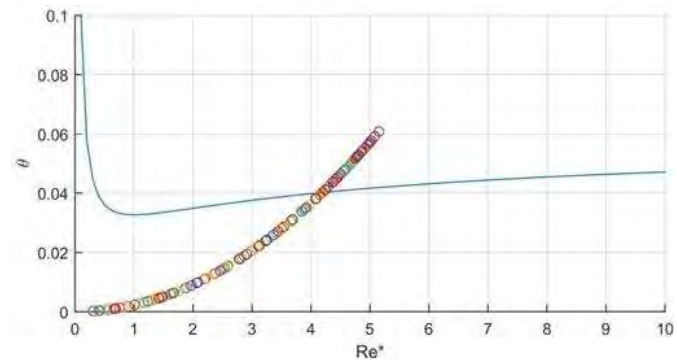


Резултати мерења са наносом-Е – V_{sr} крива



Резултати мерења са наносом

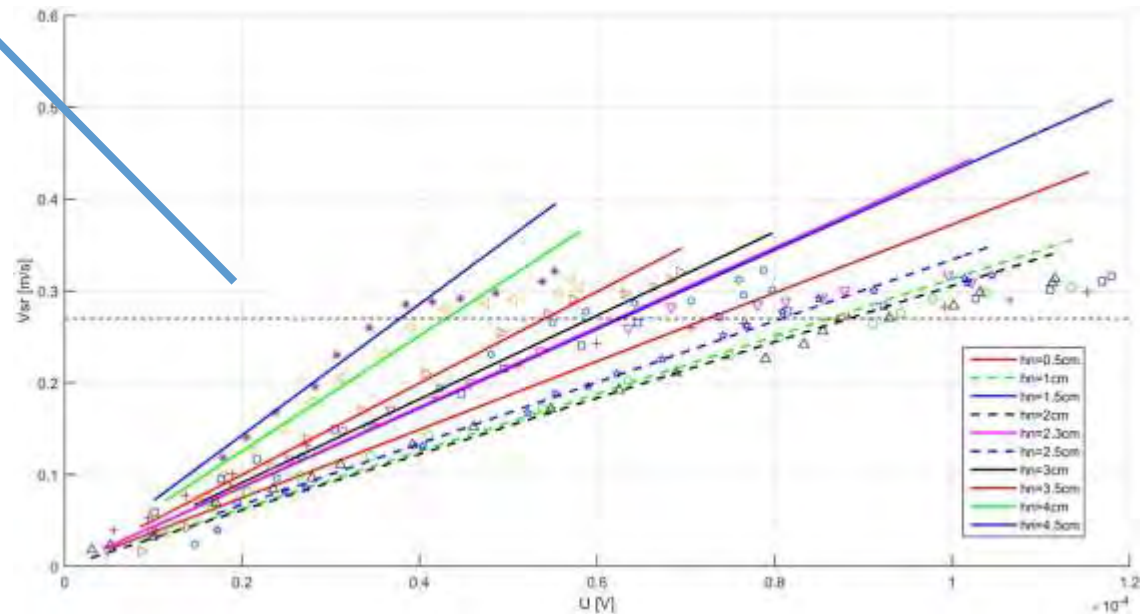
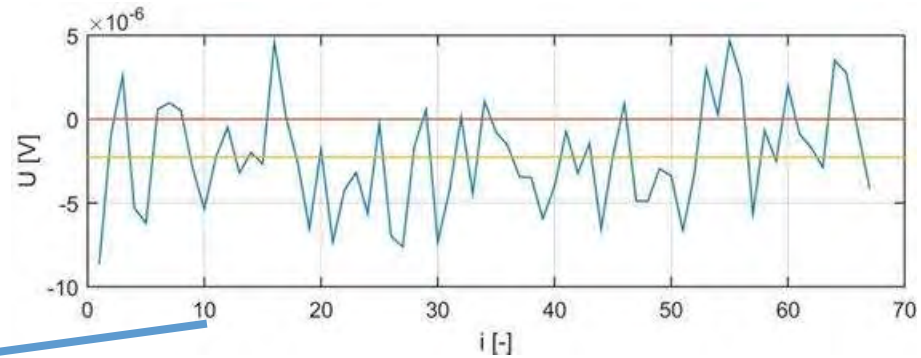
Пре покретања наноса
криве су линеарне



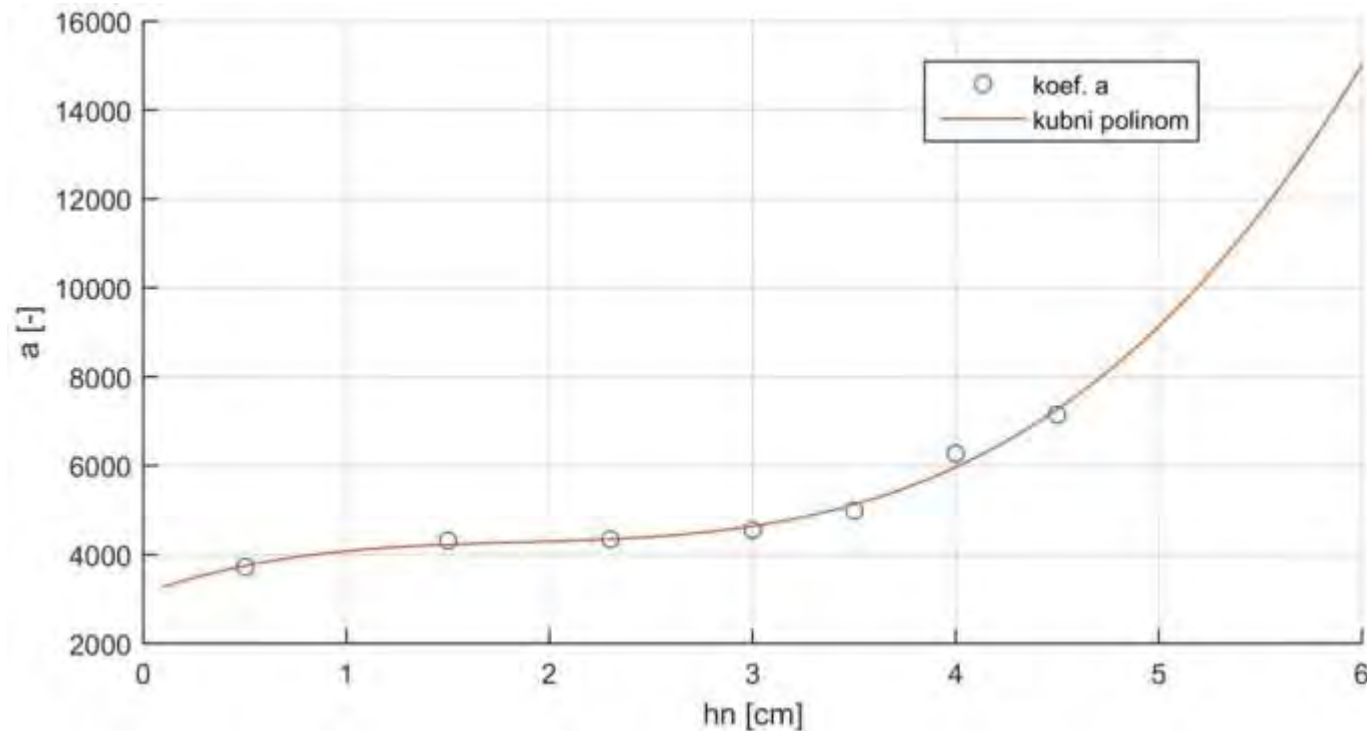
Резултати мерења са наносом

Средња профилска брзина је у линеарној зависности од напона?

$$V_{SR} = f(U) = a \cdot U + b$$



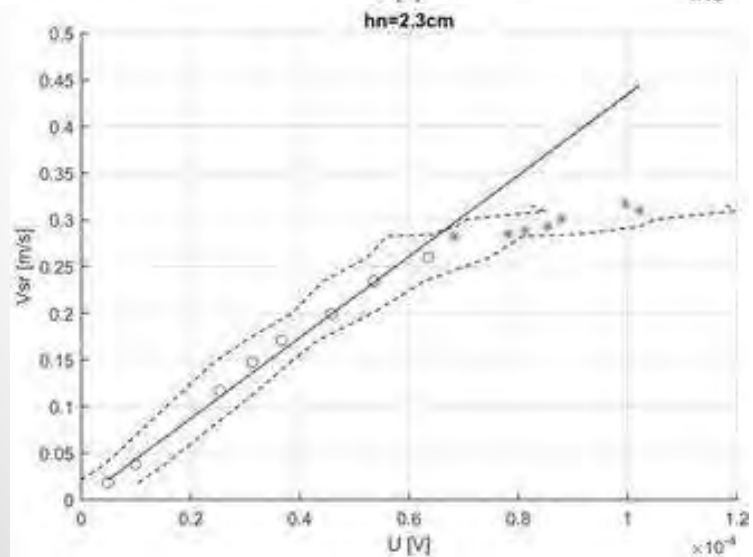
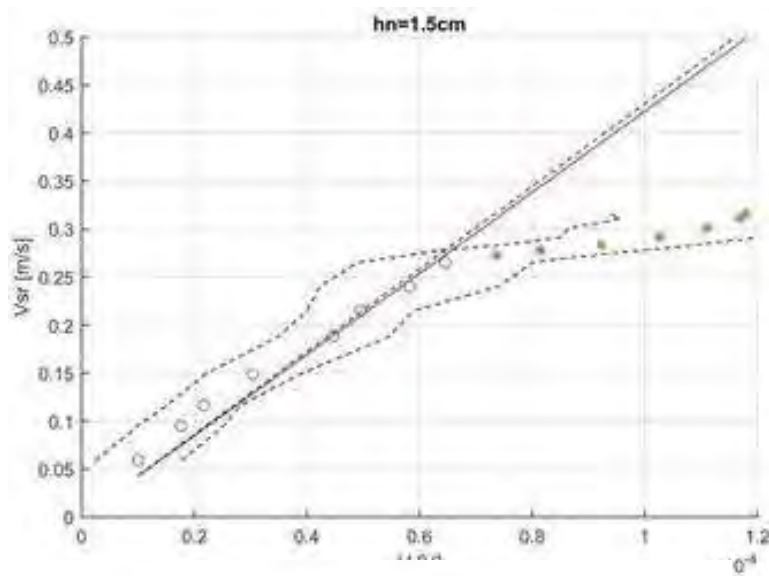
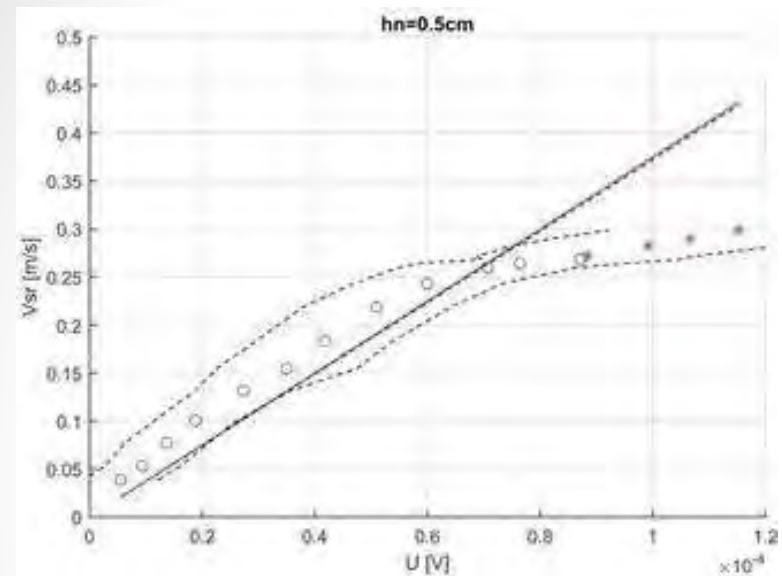
Резултати



$$V_{SR}(h_N, U) = (141.3 \cdot h_N^3 - 797.5 \cdot h_N^2 + 1607 \cdot h_N + 3126) \cdot U + 2.26 \cdot 10^{-6}$$

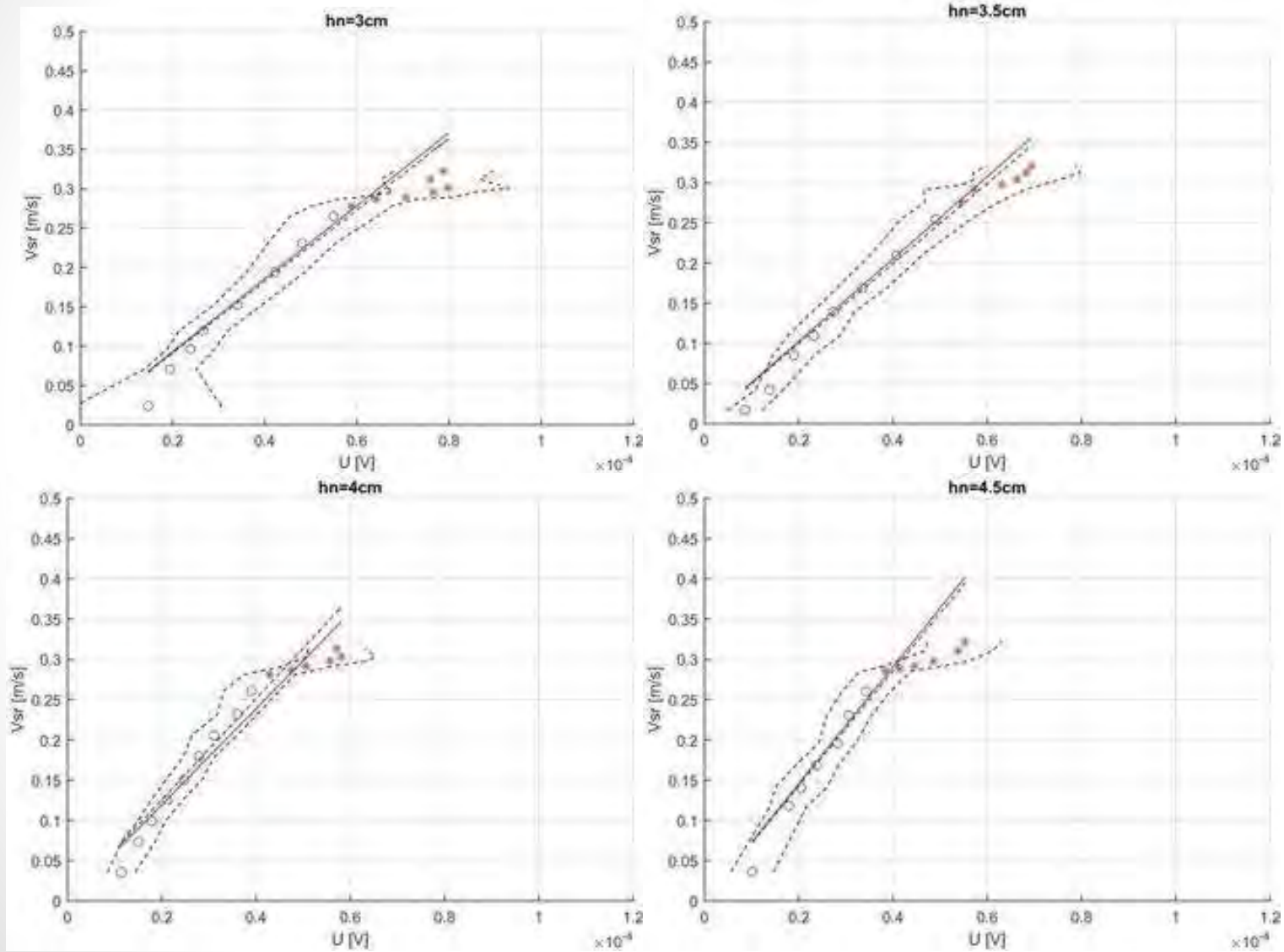
$V_{SR} - [m/s] \quad h_N - [cm]$

Резултати



- Калибрација по кубној зависности
- - - - - Интервал поверења 95%
- Мерење вредности за које је вршена линеарна регресија
- * Мерење вредности које су искључене из анализе
- - - - - Поčetна линеарна калибрација

Резултати



Закључци

- **Уз помоћ магнетометра и неуралних мрежа могуће је измерити ЕМ поље**
- **Зависност средње брзине и напона је линеарна у разматраном опсегу**
- **Мерења су могућа са сензором који је прекривен наносом, уз корекцију нагиба по кубном полиному**



Универзитет у Београду, Грађевински факултет
Катедра за хидротехнику и водно-еколошко
инжењерство



МАСТЕР РАД

Анализа рада равних електромагнетних сензора брзине

Кандидат:

Лука Стојадиновић

Ментор:

Проф. др Душан Продановић

Децембар, 2017