

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА ЗА ХИДРОТЕХНИКУ И ВОДНО ЕКОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО



Мерења у хидротехници  
**ЛЕТЊА ШКОЛА ХИДРОМЕТРИЈЕ У БАЈИ**

**Група:**

Анђела Столић 520/23  
Катарина Ђуричић 550/23  
Љиљана Матић 565/23

**Ментор:**

Доц. др Дамјан Иветић

Београд 2024.

## Садржај

1. Увод .....	3
2. Мерне локације и избор одговарајуће мерне опреме .....	4
2.1. Мерење суспендованог наноса .....	4
2.2. Узимање непоремећеног узорка тла .....	5
2.3. Мерење брзине воде у ограђеном кориту .....	6
2.4. Прорачун протока помоћу Томсоновог прелива и волуметријске методе .....	7
2.5. Мерење инфилтрације и површинског отицаја .....	8
2.6. Теренско мерење протока Varvolgy потока .....	9
2.7. Мерење брзина хидрометријским крилом на ушћу потока Varvolgy .....	10
2.8. Мерење ADCP уређајем .....	11
3. Резултати извршених мерења .....	12
3.1. Резултати мерења суспендованог наноса .....	12
3.2. Резултати просејавања непоремећеног узорка тла .....	12
3.3. Резултати мерења брзине воде у ограђеном кориту .....	13
3.4. Резултати прорачуна протока помоћу Томсоновог прелива и волуметријске методе .....	13
3.5. Резултати мерења инфилтрације и површинског отицаја .....	14
3.6. Резултати теренског мерења протока Varvolgy потока и брзина на ушћу .....	14
3.7. Резултати мерења ADCP уређајем .....	19
4. Мерна несигурност .....	19
4.1. Несигурности у одређивању дубине .....	19
4.2. Несигурности у одређивању средње брзине .....	19

## 1. Увод

У периоду од 15.-21.октобра 2023.године учествовали смо у Летњој школи хидрометрије у Баји која се одржава под покровитељством пројекта „Life Logos 4 waters“ који финансира Министарство унутрашњих послова Мађарске. Нешто више о пројекту и партнерима: <https://lifelogos4waters.bm.hu/en/partners/> .

Потреба за издржљивошћу на климатске промене изазвала је новине у политици управљања водама у Европи.

Пројекат „Life Logos 4 waters“ има за циљ да допринесе враћању река у природно стање.

Ова летња школа је креирана да би се задовољила потреба за унапређењем образовања о води.

У летњој школи су коришћене најсавременије технологије, примењене су новие технике мерења, као и нова методологија теренских истраживања у хидрогеодезији и хидрометрији.

Прикупљене скупове података током трајања летње школа је било потребно обрадити и приказати их на одговарајући начин.

Летња школа хидрометрије се одвијала на две локације. Прва је Универзитет у Баји „Nemzeti Kozsolgalati Egyetem Viztudomany Kar“ где смо слушали предавања која су нас припремила за мерења у кампу у Мађарегрегу(мађ. Magyaregregy).

## 2. Мерне локације и избор одговарајуће мерне опреме

У наставку су представљене мерне локације својим географским координатама са описом одговарајућих мерења и објашњењем коришћених критеријума приликом одабира мерне опреме.

### Локација 1а:

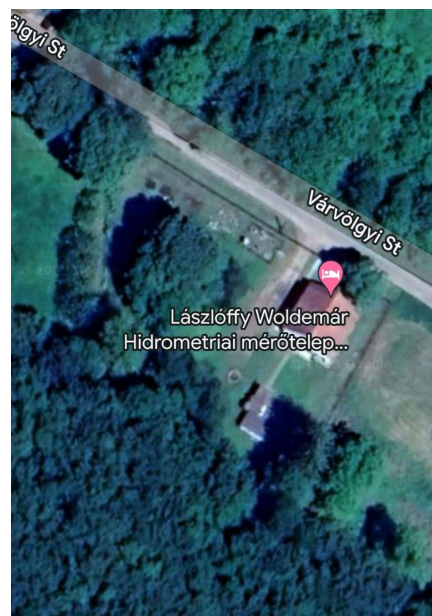
Magyaregregy, камп

Географска дужина: 18°18'34"

Географска ширина: 46°13'58"



Слика 1. Камп у Magyaregregy



Слика 2. Сателитски снимак кампа

### 2.1. Мерење суспендованог наноса

Мерење суспендованих чврстих материја је важно у хидротехници и екологији. Проток масе се односи на седимент и честице суспендоване у воденом телу које тече, као што је река или поток. Прецизно мерење суспендованог оптерећења помаже у разумевању динамике транспорта наноса, процени процеса ерозије и седиментације. За одређивање концентрације суспендованог наноса, захватани су узорци воде. Уређај који се састоји од боце запремине 0,5L се ставља у воду да сакупља седимент у временском интервалу довољном да се боца напуни. Сакупљен узорак је сачуван и понет на даљу анализу у лабораторију. Након доласка у лабораторију узорак је пребачен у лабораторијску чашу и стављен у пећ на сушење на температури од 105°C на један дан.



Слика 3. Захваћен узорак у пећи



Слика 4. Подешена пећ

Коришћена је верзија Карољијевог хватача. Овај уређај је погодан за мерење проноса како ситног, тако и крупног наноса. Присуство хватача на дну локално ремети струјну слику, повећава отпор и мења брзину тока, тако да се ефективно захвати свега око 50% наноса у покрету. Захватна корпа има мрежу отвора 0,3mm, недостатак је што отвори мреже не смеју бити јако мали јер је онда отежано струјање воде кроз уређај, а отвори се лако запуше.



Слика 5. Карољијев хватач

## 2.2. Узимање непо ремећеног узорка тла

Побијањем узоркивача за вађење непо ремећеног узорка тла у потоку, до одређене дубине корита потока захватили смо одређену количину материјала (Нешто више о узоркивачу: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.megra.rs/images/megra/download/eijkelkamp/077%2520Neporemeceno%252>



Летња школа хидрометрије у Баји

[Ouzorkovanje%2520zemljista.pdf&ved=2ahUKEwip5OeLjtiDAxVw-gIHHe8lCD0QFnoECBEQAQ&usg=AOvVaw1QmOyS6TNEP34Kv-hBShVw](https://www.researchgate.net/publication/352025202/figure/fig/50eLjtiDAxVw-gIHHe8lCD0QFnoECBEQAQ&usg=AOvVaw1QmOyS6TNEP34Kv-hBShVw) ).

Након тога материјал је однет на анализу у лабораторију. Узорак је сушен 24h на температури од 105°C. Након сушења вршено је просејавање узорка да би се одредила гранулометријска крива узорка. Пречници сита који су се користили су: 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1 и 0.063mm.



Слика 6. Узимање узорка



Слика 7. Захваћен узорак

### 2.3. Мерење брзине воде у ограђеном кориту

У преграђеном кориту потока мерили смо брзину уз помоћ електромагнетног уређаја (Valeport 801(<https://www.uniquegroup.com/product/valeport-801-electromagnetic-flow-meters/>)). Изабран је баш овај уређај због очекиваних малих брзина. Постављена је летва и на по 10cm од једне стране до друге мерена је брзина, на дубини од 0,4h. Мерење брзине потока помоћу електромагнетног уређаја укључује коришћење електромагнетних сензора за детекцију брзине воде. Унутар сензора се налазе намотаји жице око гвозденог језгра. Величина индукованог напона на електродама(или електромоторне силе) је пропорционална брзини воде. Дата логер може континуирано прикупљати податке са електромагнетног сензора. По стандарду у свакој тачки брзина се мерила 40s. На тачност мерења брзине могу утицати различити фактори укључујући дизајн сензора, присуство суспендованих честица или препрека узводно од мерног места.



Слика 8. Мерење брзине елетромагнетом

#### 2.4. Прорачун протока помоћу Томсоновог прелива и волуметријске методе

Томсонова метода- састоји се у мерењу преливног млаза који пролази кроз отвор троугаоног облика. Преграда се састоји од металног лима са једнокраким троуглом исеченим на врху, познатих димензија. Први корак је постављање преграде у потоку и модификовање облика потока како се вода преусмерила кроз троугао. Други корак се састоји у мерењу дубине воде са леве и десне стране троугла више пута док се ниво воде не стабилизује. Када се ниво воде стабилизује последњи резултати се бележе као меродавни.



Слика 9. Постављање Томсоновог прелива



Летња школа хидрометрије у Баји

Волуметријска метода- метода се ослања на формулу  $Q=V/t$ . Уз помоћ кофe и штоперице сакупља се вода која прође кроз прелив и бележи се време. Након захвата помоћу мензуре запремине 1000ml одређује се запремина захваћене воде.



Слика 10. Мерење запремине

### Локација 1б:

Magyaregregy, непосредна близина кампа

Географска дужина: 18°18'48"

Географска ширина: 46°13'52"

### 2.5. Мерење инфилтрације и површинског отицаја

На вештачки ограђеној парцели познатих димезија постављено је 5 прскача, који су вршили симулацију кише довођењем воде помоћу пумпе из оближњег потока. Такође је постављено и 6 кишомера који су мерили количину пале кише. Уграђена је и капацитивна сонда која мери влажност тла уз помоћ сензора. Капацитивне сонде се састоје од две електроде раздвојене диелектриком (материјал који не спроводи лако електрицитет). Обично су цилиндричног облика и имају мултисензорне могућности. Што је већи садржај влаге у земљишту то је мања фреквенција резонанције. На сваких 5 минута у трајању од 3h читаване су вредности за сваки кишомер понаособ.





Слика 11. Вештачка симулација кише



Слика 12. Сензор за мерење влажности тла

### Локација 1ц:

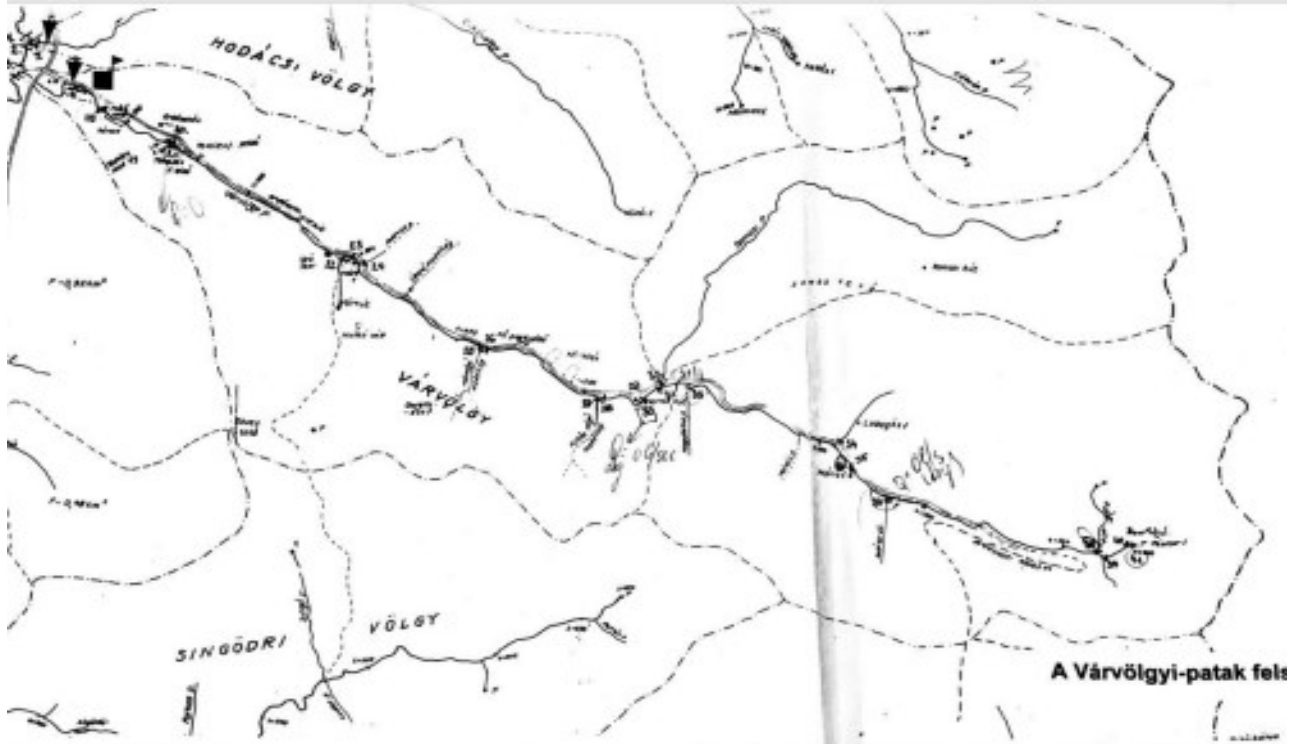
Магуагегрегу, извор потока Varvolgy

Географска дужина: 18°29' 40"

Географска ширина: 46°13' 15"

### 2.6. Теренско мерење протока Varvolgy потока

Дата нам је мапа слива Varvolgy потока. Кренули смо са мерењем од извора и кретали смо се низводно до ушћа. У одређеним профилима извршено је постављање Томсоновог прелива, а затим претходно поменутом волуметријском методом су одређени протоци.



Слика 13. Мапа слива

### Локација 1д:

Magyaregregy, ушће потока Varvolgy у реку Volgyseg

Географска дужина: 18°18' 20"

Географска ширина: 46°14' 02"

### 2.7. Мерење брзина хидрометријским крилом на ушћу потока Varvolgy

Помоћу хидрометријског крила извршено је мерење брзина пре и после ушћа. Уређај(ОТТ Z400) за мерење се састоји од дата логера који читава брзину воде у трајању од 40s. Због мале брзине изабран је најмањи пречник пропелера од 5cm. Пропелер - Rotor ID: 383717. Помоћу ових мерења извршен је прорачун протока.





Слика 14. Проперел и пратећа опрема



Слика 15. Процес мерења

## Локација 2:

Баја, рукавац Шуговица

Географска дужина:  $18^{\circ}56'20''$

Географска ширина:  $46^{\circ}10'47''$

### 2.8. Мерење ADCP уређајем

Јединствена способност ADCP уређаја се састоји у томе да има могућност континуираног мерења и регистровања како података о брзинама струјања воде преко читавог протицајног пресека водотока тако и података о брзини кретања чамца мерено релативно према фиксним тачкама терена. Програмом се одмах рачунају најпре парцијални протоци за сваку мерену вертикалу, а потом и укупни проток на водотоку интеграцијом ових парцијалних протока преко ширине водотока.



Слика 16. ADCP уређај

### 3. Резултати извршених мерења

#### 3.1. Резултати мерења суспендованог наноса

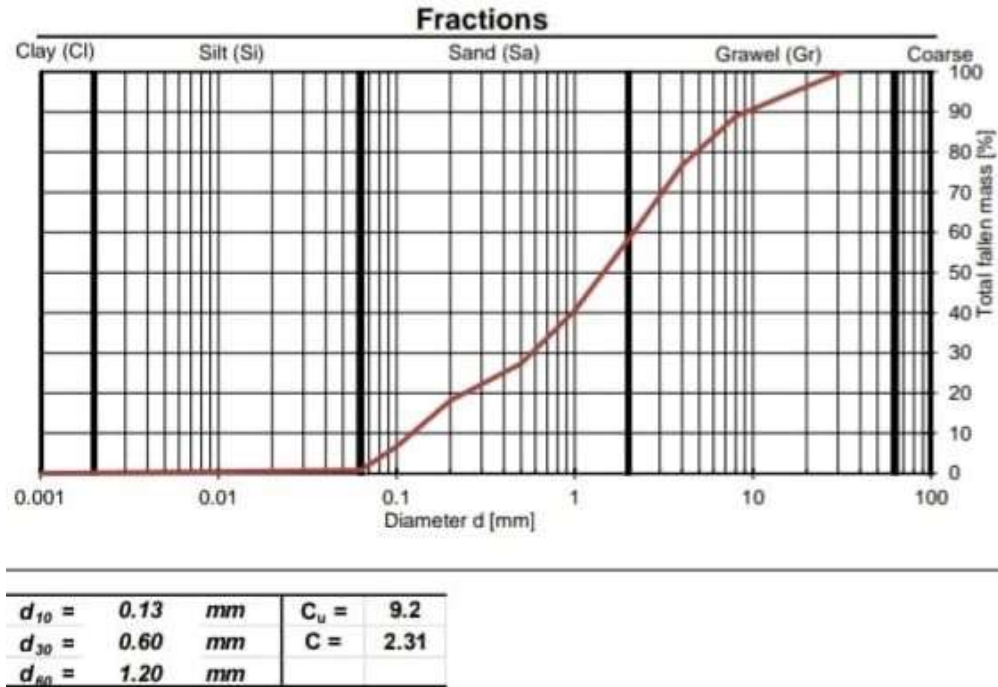
Након доношења узорка у лабораторију било је потребно пребацити узорак у чисту чашу (маса празне чаше = 152,22 g), док је запремина узорка износила 420ml. Због одласка из школе није било времена за обраду резултата.

#### 3.2. Резултати просејавања непоремећеног узорка тла

Мерење маса остатака на ситима раније наведених пречника нацртана је гранулометријска крива. Укупна маса узорка је 173,74g. Време просејавања је 15 минута. У питању је суво просејавање.

Добијени резултати након просејавања:





Слика 17. Резултати просејавања

### 3.3. Резултати мерења брзине воде у ограђеном кориту

Услед различитих фактора мерење није успело због добијених нелогичних резултата брзина.

вертикала 1	0,002	m/s
вертикала 2	-0,122	m/s
вертикала 3	-0,003	m/s
вертикала 4	0,083	m/s
вертикала 5	0,016	m/s

Као што се може приметити проблем се јавио у вертикали 2. Добијена је брзина која не одговара очекиваним вредностима, па није било смисла даље наставити прорачун протока.

### 3.4. Резултати прорачуна протока помоћу Томсоновог прелива и волуметријске методе

Након постављања Томсоновог прелива било је потребно сачекати да дође до стабилизације нивоа.

Летња школа хидрометрије у Баји

релативно време (s)	лева страна Hl (cm)	десна страна Hd (cm)	1/2(Hl+Hd) (cm)
0	8.5	8.7	8.6
60	8.3	8.5	8.4
120	7.7	7.9	7.8
180	7.6	7.8	7.7
240	6.5	6.7	6.6
300	6.1	6.4	6.25
360	5.4	5.4	5.4
420	5.4	5.4	5.4
480	5.4	5.4	5.4

Резултати добијени волуметријском методом:

$$Q = V/t$$

време (s)	запремина V(l)	проток Q (l/s)
0,69	2,96	4,829
0,65	2,845	4,376
0,80	4,000	5,000

$$Q_{sr} = 4,555 \text{ l/s}$$

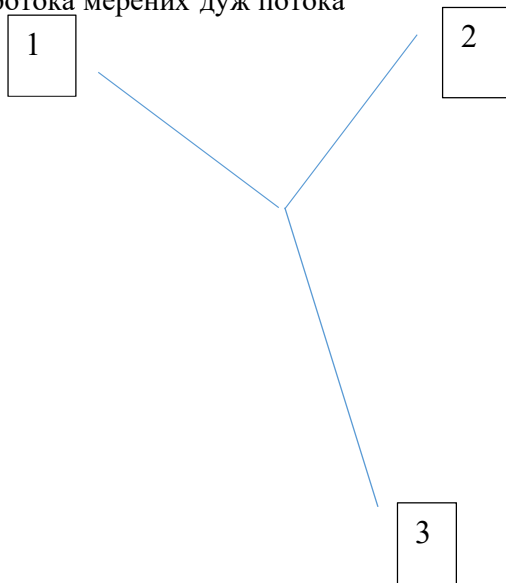
### 3.5. Резултати мерења инфилтрације и површинског отицаја

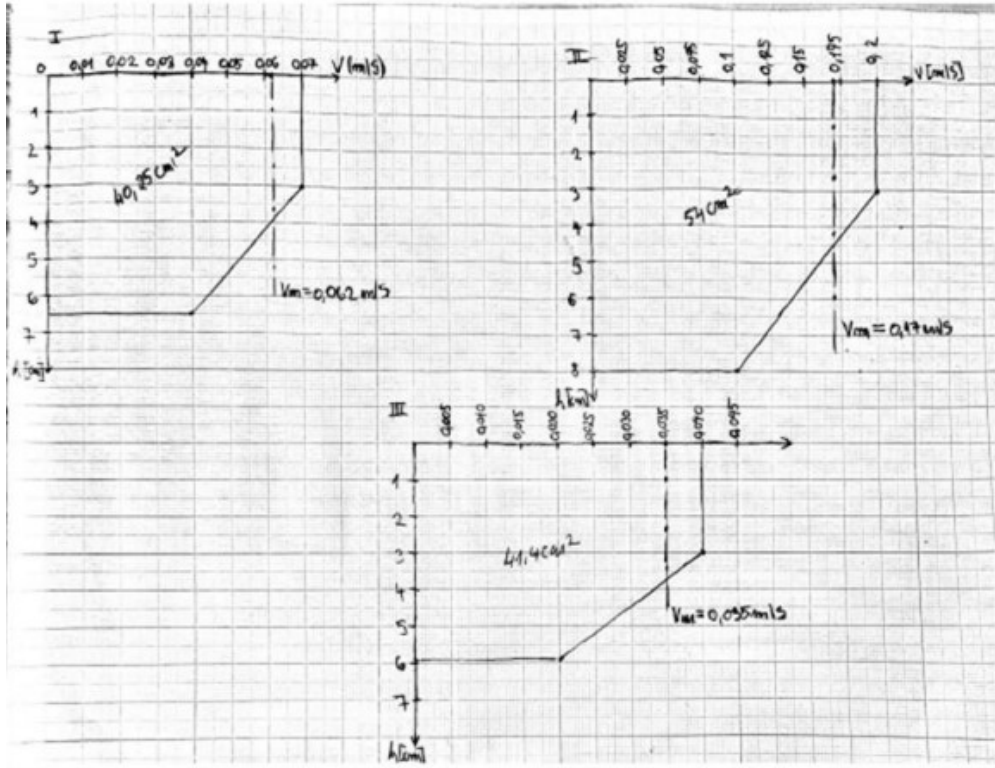
Сваких 5 минута читавали смо вредности које дају сензори кишомера. Након 3h и даље се није појавио површински отицај због веома сувог тла које је упило сву кишу. Због тога је даље мерење обустављено

### 3.6. Резултати теренског мерење протока Varvolgy потока и брзина на ушћу

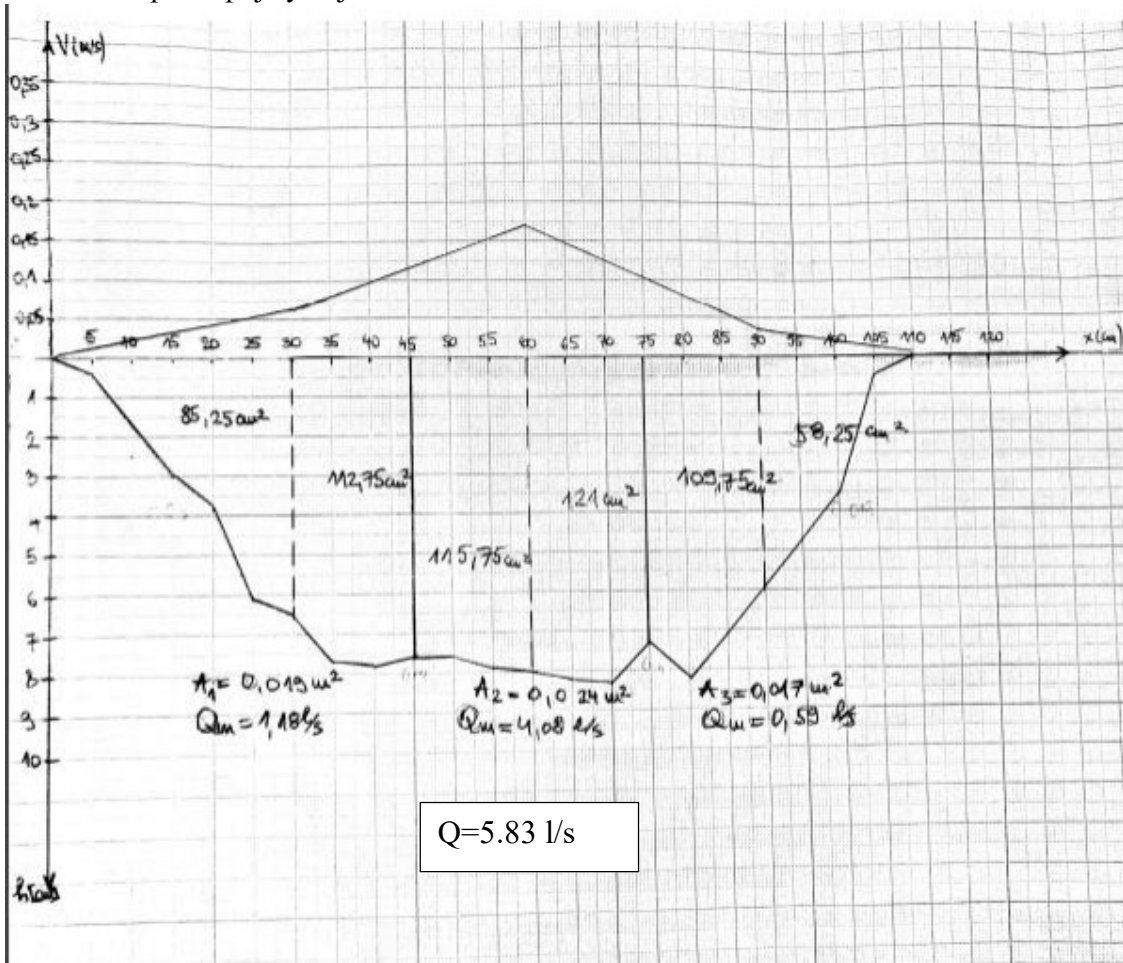
Мерни профил	Q[l/s]
41	0.37
40	0.42
39	0
38	0.39
37	0
36	0.86
35	1.06
34	1.457
33	0.82
32	0
23	4.64
19	5.35

Резултати протока мерених дуж потока

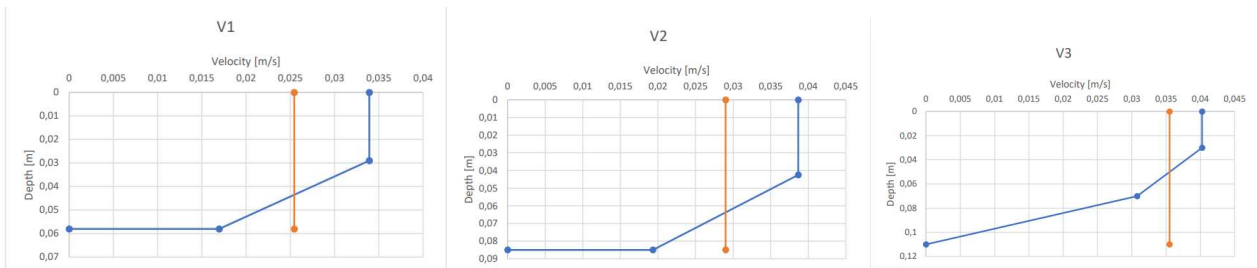




Слика 18. Просечне брзине у профилу 1 по вертикалама

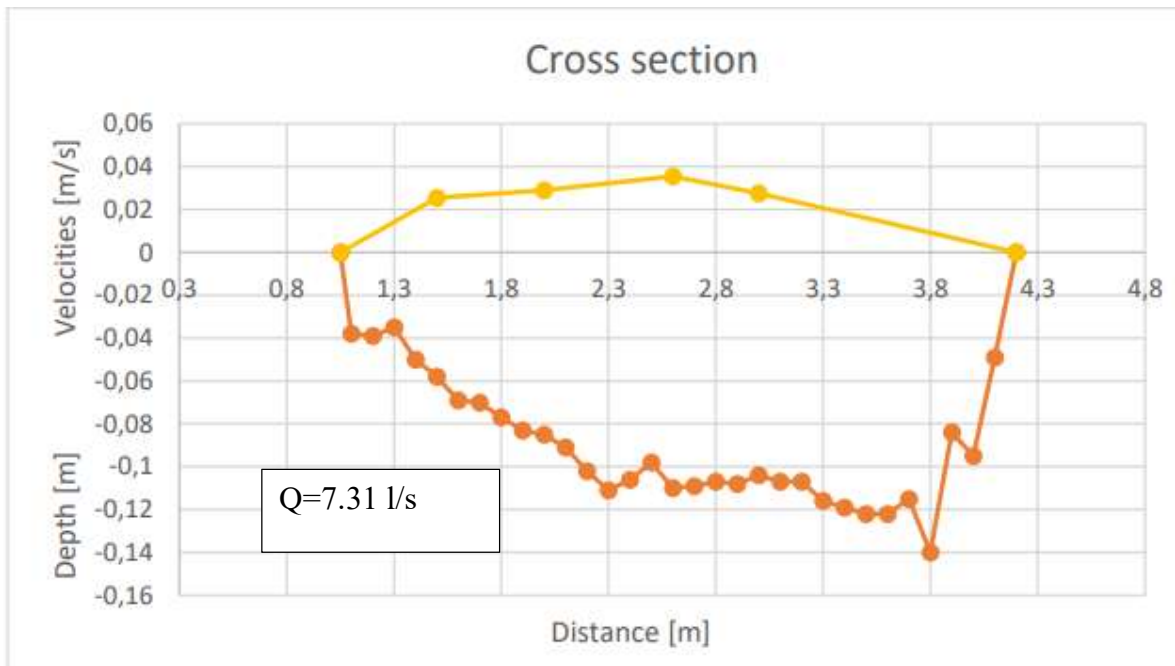


Слика 19. Проток у профилу 1

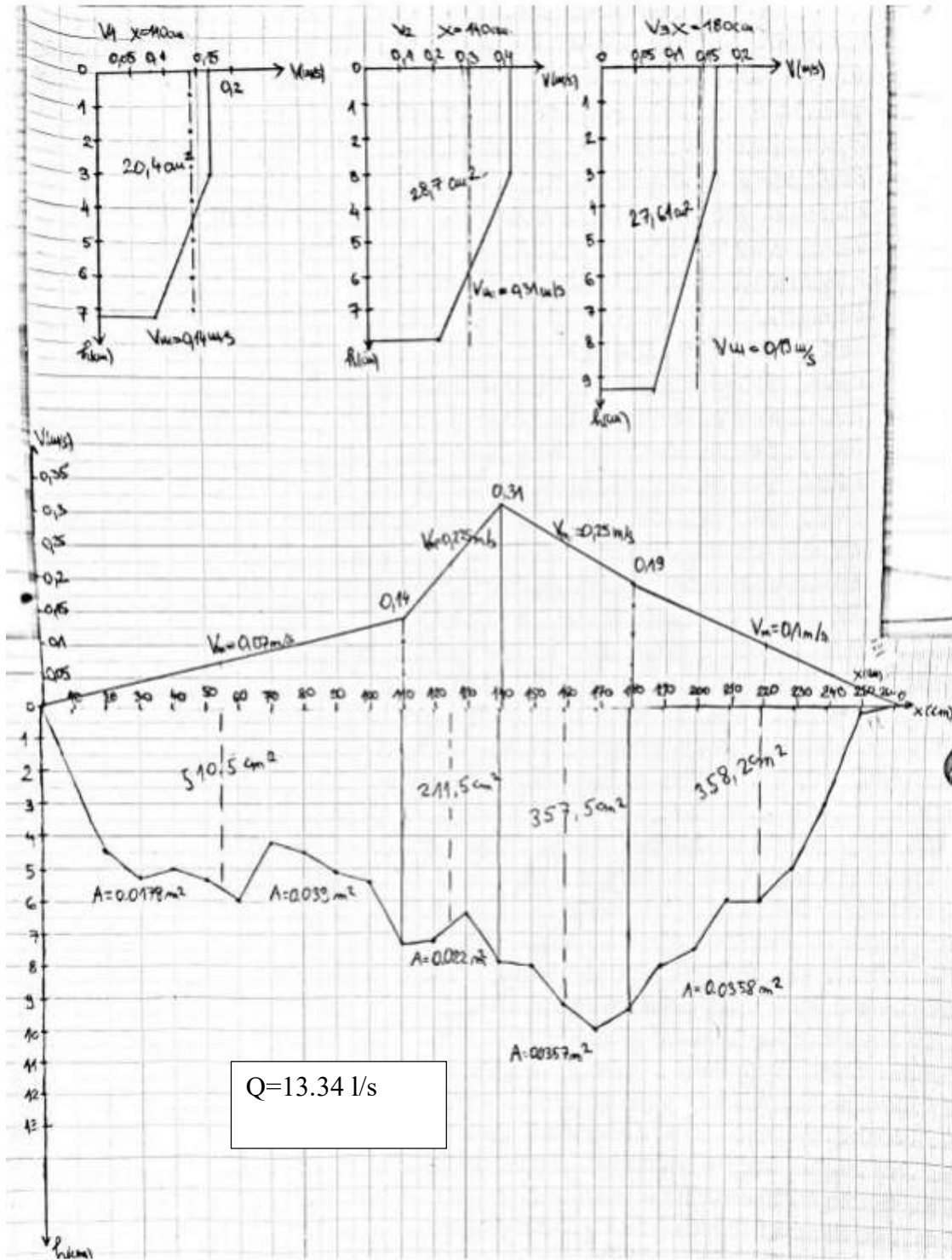


Слика 20. Просечне брзине у профилу 2 по вертикалама



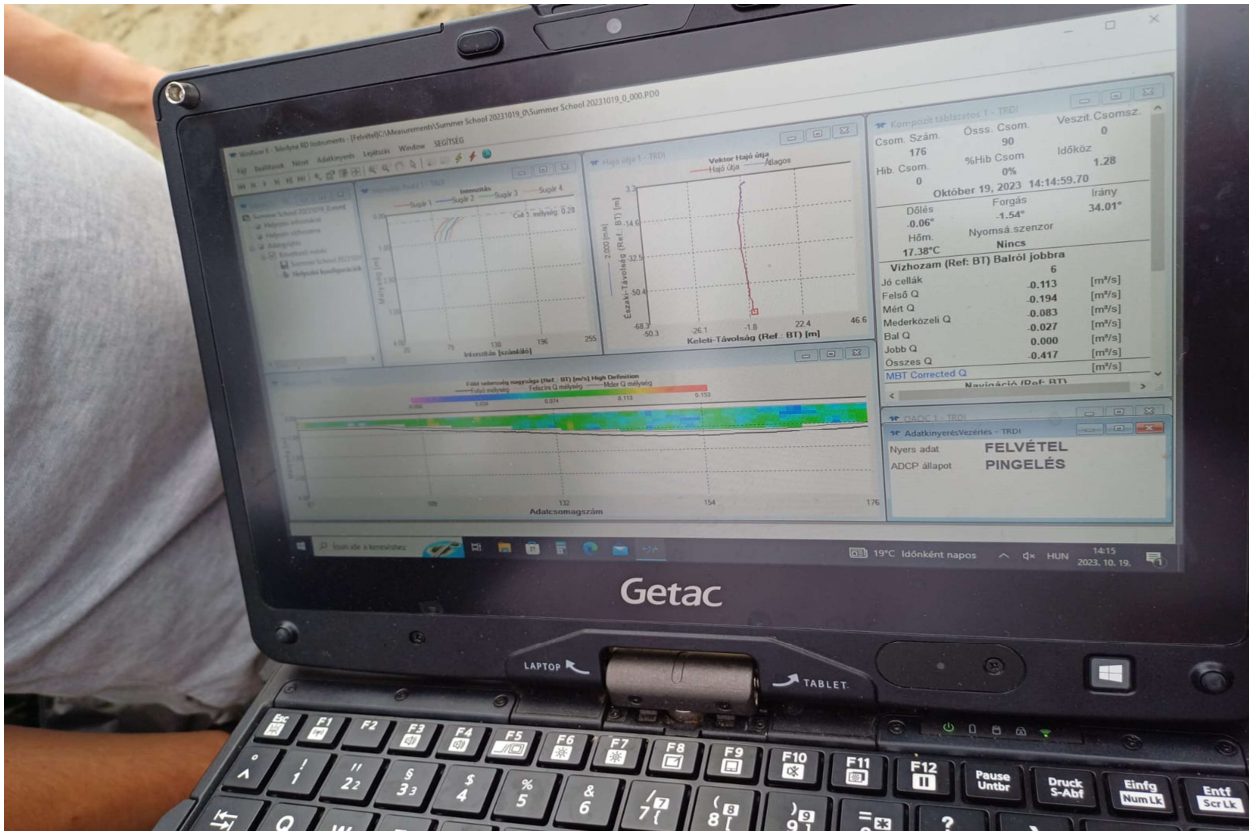


Слика 19.Проток у профилу 2



Слика 20. Просечне брзине и проток у профилу 3.

Услед ниског водостаја у Шуговици нисмо били у могућности да чамцем пређемо у Дунав због постојања прага на ушћу у Дунав. Само је извршена проба уређаја у профилу Шуговица.



Слика 21. Приказ софтвера ADCP уређаја

## 4. Мерна несигурност

### 4.1. Несигурности у одређивању дубине

Неке несигурности зависе од типа и начина употребе одабраног уређаја. Такве несигурности нису укључене у овај интернационални стандард. Несигурности такође расту услед интерполације дубине између вертикала у којима су дубине меродавне.

### 4.2. Несигурности у одређивању средње брзине

Поред грешака калибрације инструмента, грешка при одређивању средње брзине састоји се од три независне врсте грешака:

а) Грешка тип I - Пулзације: Јавља се несигурност услед ограниченог времена мерења брзине у тачкама по вертикалама. Због турбуленције долази до флукуације брзине дуж попречног пресека.

Летња школа хидрометрије у Баји

б) Грешка тип II – Број тачака у вертикали: То је мерна несигурност која произилази из употребе ограниченог броја тачака у вертикали. Даље до несигурности долази услед коришћења средње брзине као апроксимације стварне брзине у разматраној вертикали

в) Грешка тип III- Број вертикала: То је мерна несигурност због ограниченог броја вертикала у којима се мере брзине.

У летњој школи хидрометрије мерења нису вршена више пута у једној вертикали и због тога не можемо применити анекс Б и Ф из ISO стандарда за одређивање мерне несигурности.