



ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
Универзитет у Београду

Ивановић Рада

Мерење протока помоћу  
разблажења соли

Дипломски рад

Ментор: Душан Продановић

Предмет: Мерења у хидротехници

[Семестар]

# Садржај

<b>1</b>	<b>УВОД</b>	<b>1</b>
1.1	Мерење протока	1
1.2	Мерење протока у отвореним токовима	1
<b>2</b>	<b>ТРАСЕРСКЕ МЕТОДЕ РАСТВОРЉИВОСТИ</b>	<b>3</b>
2.1	Теорија трасерских метода растворљивости	3
2.2	Врсте метода	3
2.3	Фактори који утичу на добијену вредност протока код трасерских метода	5
2.4	Метода разблажења соли	5
<b>3</b>	<b>МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ</b>	<b>8</b>
3.1	Појам електропроводности	8
3.2	Сонда као уређај за мерење електропроводности	9
3.3	Проблеми везани за мерење електропроводности	10
3.4	Веза између електропроводности и концентрације	11
3.4.1	<i>Процес калибрације</i>	11
3.4.2	<i>Грешке које утичу на вредност калибрационог фактора</i>	13
<b>4</b>	<b>ПОСТУПАК МЕРЕЊА ПРОТОКА</b>	<b>16</b>
4.1	Припрема у лабораторији	16
4.1.1	<i>Потребна опрема</i>	16
4.1.2	<i>Извори грешака</i>	16
4.2	Припрема за терен и потребна опрема	18
4.3	Припрема на терену	19
4.4	Начин мерења протока	20
4.5	Извори грешака	21
<b>5</b>	<b>РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА</b>	<b>22</b>
5.1	Резултати преузети са реке Студеница	22
5.2	Резултати добијени на Топчидерској реци јануара 2007.	24
5.2.1	<i>Избор мерног места</i>	24
5.2.2	<i>Калибрација</i>	25
5.2.3	<i>Добијени резултати</i>	25
5.3	Резултати добијени на Топчидерској реци марта 2007.	27
5.3.1	<i>Избор мерног места</i>	27
5.3.2	<i>Калибрација</i>	28

5.3.3	<i>Добијени резултати</i>	29
<b>6</b>	<b>ОБРАДА ПОДАТАКА</b>	<b>30</b>
6.1	Израчунавање протока трапезним правилом	30
6.1.1	<i>Река Студеница</i>	30
6.1.2	<i>Топчидерска река 18.01.2007.</i>	31
6.1.3	<i>Топчидерска река 06.03.2007.</i>	33
6.2	Израчунавање протока Симпсоновим правилом	40
6.3	Покушај уклањања шума	41
6.4	Разлика у интеграцији	44
6.5	Поређење са протоком добијеним хидрометријским крилом	44
<b>7</b>	<b>ЗАКЉУЧЦИ</b>	<b>45</b>
	<b>ПРИЛОГ А</b>	<b>46</b>
	<b>ПРИЛОГ Б</b>	<b>47</b>
	<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>48</b>

# 1 Увод

Циљ овог задатка је да опише методу мерења протока помоћу разблажења соли. Стога је неопходно, пре свега, рећи нешто о мерењу протока уопште, трасерским методама и електропроводности која је уско повезана са овом методом, што је учињено у првом делу задатка. Затим је описана сама ова метода као и проблеми који се јављају у вези са њом. Све анализе вршене су на резултатима добијеним на Топчидерској реци, као и на резултатима преузетим са реке Студеница.

## 1.1 Мерење протока

Проток је неопходно мерити како у отвореним, тако и у токовима под притиском. Он се мери из различитих разлога. Неки од њих су мерење протока или протекле запремине због наплате помоћу водомера или код испуштања отпадних вода, затим се мери ради управљања процесима, прављења мешавина, дозирања неких хемијских супстанци као што је хлор у водоводима. Исто тако, његовим мерењем праве се историјски записи у природним водотоцима, а мери се и проток при хидрауличком транспорту материје. За сваку од ових намена користе се другачији уређаји и проток се може одредити на различите начине.

Често се под појмом мерење протока подразумевају следеће врсте мерења:

- мерење брзине у тачки, тј анемометрија;
- мерење средње брзине, при чему треба водити рачуна да ли се мери средња профилска брзина  $V = [Q/A]$  или нека друга средња брзина  $[\bar{V}]$ , па се на основу ње одређује проток као  $Q = [\bar{V}] \cdot A \cdot const$ ;
- волуметријско мерење, што значи да се мери запремина  $\Delta V$  која истекне за одређено време  $\Delta t$ , па је  $Q = [(\Delta V)/(\Delta t)]$ ;
- мерење протока масе  $Q_M$  (или  $Q_\rho$ ) као  $[(\Delta M)/(\Delta t)]$ . Неки уређаји мере проток флуида и густину независно, па је  $Q_M = \rho \cdot Q$ ;
- мерење укупне масе, тако што се мери  $Q_M$ , па се интегралом кроз време.

У овом раду биће више речи о мерењу протока у отвореним токовима.

## 1.2 Мерење протока у отвореним токовима

За разлику од мерења протока у токовима под притиском где је неопходно мерити само брзину флуида, јер је облик попречног пресека непроменљив, у отвореним токовима се мора мерити и једно и друго, што методологију чини знатно компликованијом. Мерење протока у рекама и потоцима, односно отвореним токовима може бити извршено на више начина у зависности од хидрауличких услова.

Постоји низ мерних метода које се могу груписати у:

- методе које се базирају на мерењу непоремећене дубине и уз претпостављене хидрауличке параметре, применом динамичке једначине, рачуна се проток;
- методе које захтевају детаљно мерење брзина у попречном пресеку као и површину попречног пресека, па се интеграцијом брзина по пресеку добија проток;
- методе којима се природни ток ремети, преливима или сужењима, па се успоставља веза између поремећене брзине и протока, обично преко енергетске једначине уз претпостављене коефицијенте протока;
- методе базиране на мерењу једне брзине и дубине, при чему постоји или се претпоставља веза између мерне брзине и средње профилске брзине;

- разне трасерске методе са наглим или континуалним инјектирањем трасера.

Од свих побројаних метода, неке су повољне за континуално мерење протока, а друге за формирање повремених мерних станица или за једнократна мерења. Стална мерења протока на рекама су од велике важности за целу државу, тако да су бројним стандардима регулисани услови избора начина рада, формирања мерне станице и свега осталог што је у вези са тим. Најстандарднији начин код нас у земљи, када за то постоје одговарајући услови, јесте да се проток израчунава на основу мерења брзина у одређеном попречном профилу уз помоћ хидрометријског крила и познате геометрије тог профила. Међутим, у овом раду обрађивана је једна трасерска метода која овде још није у употреби.

# 2 Трасерске методе растворљивости

## 2.1 Теорија трасерских метода растворљивости

Трасерске методе растворљивости користе се на местима где није могуће или је врло тешко користити неки други начин мерења протока. Оне су врло погодне за коришћење у брзим, бујичастим токовима код којих је, углавном, веома тешко оценити површину попречног пресека због неправилне геометрије канала. Такође, ови токови имају велику брзину кретања воде, изражену турбуленцију и седиментни нанос који могу бити опасни по хидролога, а трасерске методе не захтевају да хидролог уђе у најдубље делове тока. Ове методе погодне су за брза мерења која је потребно извршити при наиласку великих вода у планинским водотоцима, на пример. То су методе које се користе повремено за осматрање неког дела тока и нису уобичајне за свакодневна мерења.

Мешање трасера са водом из водотока постиже се захваљујући кретању воде, односно конвенцији и дифузији. У отвореним токовима израженија је конвекција на коју утичу проток и брзина тока. Принцип јесте тај да се одређена количина трасера убацује узводно у ток на неком одређеном месту, а након тога се низводно, на месту на коме се претпоставља да се трасер добро измешао са водом, мери његова концентрација.

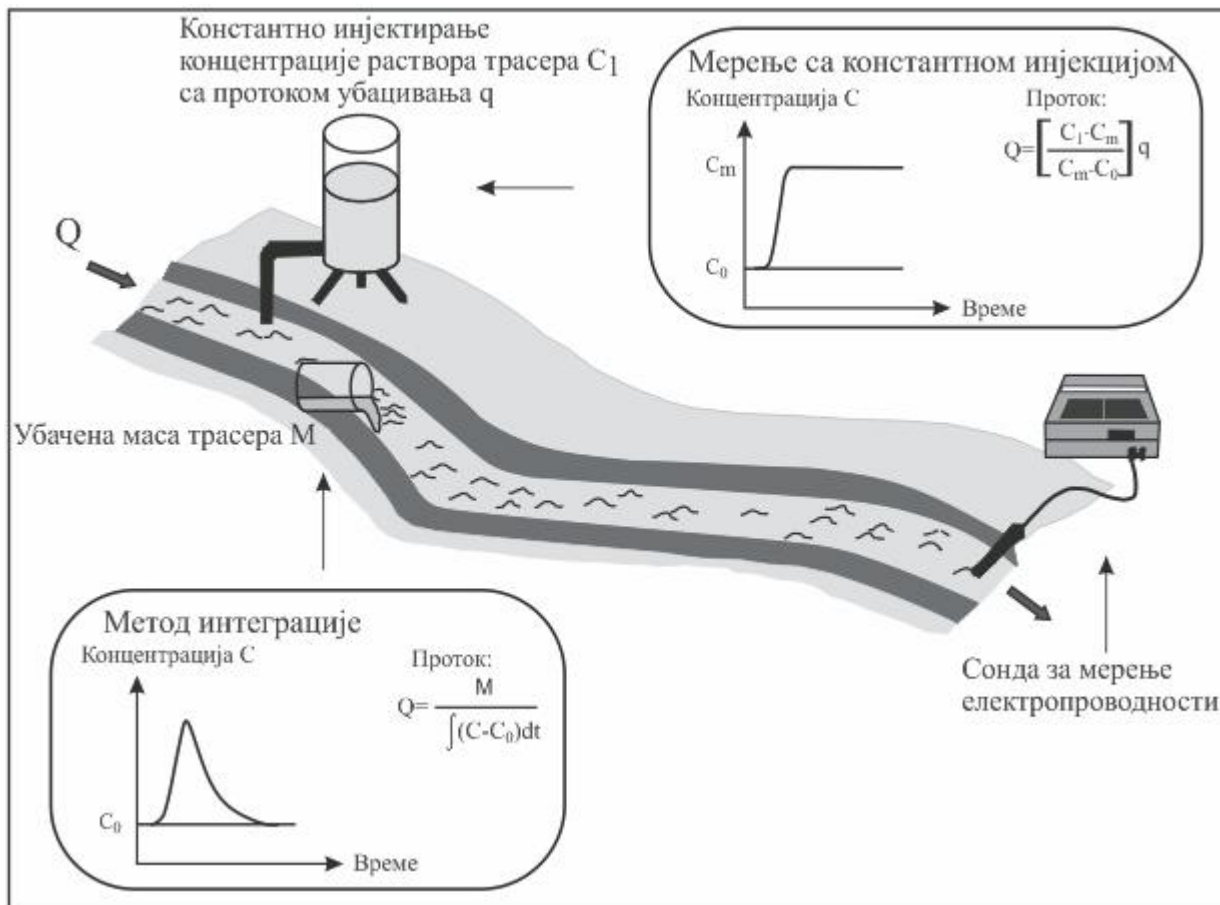
Мерење протока помоћу трасерских метода растворљивости зависи од тога колико су додати трасери измешани у води. Било која супстанца може бити употребљена као трасер уколико испуњава следеће услове:

- раствара се у води на нормалној температури;
- нема је у води или је присутна у малим концентрацијама;
- не разлаже се у води испитиваног тока и нека количина те супстанце се не задржава на седиментима, биљкама или воденим организмима;
- може се детектовати у екстремно ниским концентрацијама помоћу једноставних метода;
- концентрација убачена у водоток безопасна је за човека и животиње.

Трасерске методе растворљивости за мерење протока теже су за коришћење од уобичајних метода и у већини случајева резултати су мање поуздани. Из овог разлога ове методе не би требало користити уколико услови дозвољавају да се користе традиционалне методе.

## 2.2 Врсте метода

Могу се користити две методе за одређивање протока помоћу разблажења трасера. Прва метода је метода константног убацивања трасера која подразумева да се раствор трасера убацује узводно константно и онолико дуго колико је потребно да се на месту узводно на коме се врши мерење концентрације достигне константна концентрација по целом попречном пресеку. Други метод је метод наглог убацивања трасера на неком узводном месту. Обе методе приказане су шематски на слици 2.1.



**Слика 2.1: Шематски приказ два основна принципа мерења протока помоћу трасерских метода растворљивости**

За прву методу важи да уколико се трасер довољно дуго убацује, на низводној деоници добиће се крива време – концентрација приказана на слици изнад. Израз за проток који је написан добија се из једначине:

$$Q \cdot C_0 + q \cdot C_1 = (Q + q) \cdot C_m, \text{ при чему употребљене ознаке значе:}$$

$q$  – проток убацивања трасера;

$Q$  – проток у водотоку који се тражи;

$C_0$  – вредност природне концентрације трасера у току;

$C_1$  – концентрација раствора који се убацује у ток;

$C_m$  – измерена вредност концентрације трасера на низводној деоници.

Док су технике које се заснивају на овој методи погодне за употребу код малих токова код којих су протоци мањи од  $100 \text{ l/s}$ , методе које се заснивају на нагом убацавању трасера могу се користити и за протоке веће од  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , чак и до  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  у зависности од хидрауличких карактеристика водотока. Та метода детаљно ће бити опсана касније, јер је она испитивана у овом раду, а на слици 2.1. је дата само скица.

Као што је већ речено раније, као трасер се може употребити свака супстанца које има особине наведене на почетку овог поглавља. Највише се употребљавају флуоресцентно обојени раствори код којих се за мерење користи посебан уређај флуорометар који, у ствари, мери снагу светлости емитоване од употребљене флуоросцентне супстанце. У употреби су још и радиоактивне супстанце, као и  $\text{NaCl}$ , односно кухињска со која је овде коришћена и разматрана кроз цео рад.

## 2.3 Фактори који утичу на добијену вредност протока код трасерских метода

Основни фактори који могу да утичу на добијену вредност протока код трасерских метода су губитак трасера између места убацивања и низводног мерног места и недовољна измешаност трасера са водом у оквиру попречног пресека.

Пошто је израчунавање протока базирано на једначинама за проток масе, на вредност добијеног протока ће утицати уколико је неки део трасера изгубљен на осматраном делу водотока, односно између места убацивања трасера и мерног места. Најчешћи разлози губитка трасера су хемијске реакције са неким супстанцама у води или задржавање трасера на седиментима, биљкама, воденим организмима... За већину трасера који се користе у пракси, хемијске реакције су занемарљиве, док задржавање трасера може бити од великог значаја. То значи и да не сме бити токова који се уливају или изливају у посматрани водоток на мерној деоници.

Мерења помоћу растворљивости трасера подразумевају да се трасер потпуно измешао и по дубини и по ширини тока. Вертикално мешање (по дубини тока) је обично достигнуто веома брзо у односу на латерално (по ширини тока) и због тога је дужина за латерално мешање од примарног значаја. Уобичајно, велике раздаљине су потребне за потпуно латерално мешање. Дужина мешања зависи од хидрауличких карактеристика деонице на којој се мери. Лед на површини умањује капацитет мешања, на пример.

Код методе константног инјектирања трасера потпуно мешање се постиже када измеримо исту концентрацију у свим тачкама на низвидном мерном месту. Код методе убацивања трасера одједном, потпуно мешање је постигнуто када површина испод криве време-концентрација има исту вредност у свим тачкама осматраног попречног пресека. Дужина мешања је иста за обе методе у једном истом водотоку и да би се постигло потпуно мешање потребне су јако велике раздаљине што је често немогуће постићи.

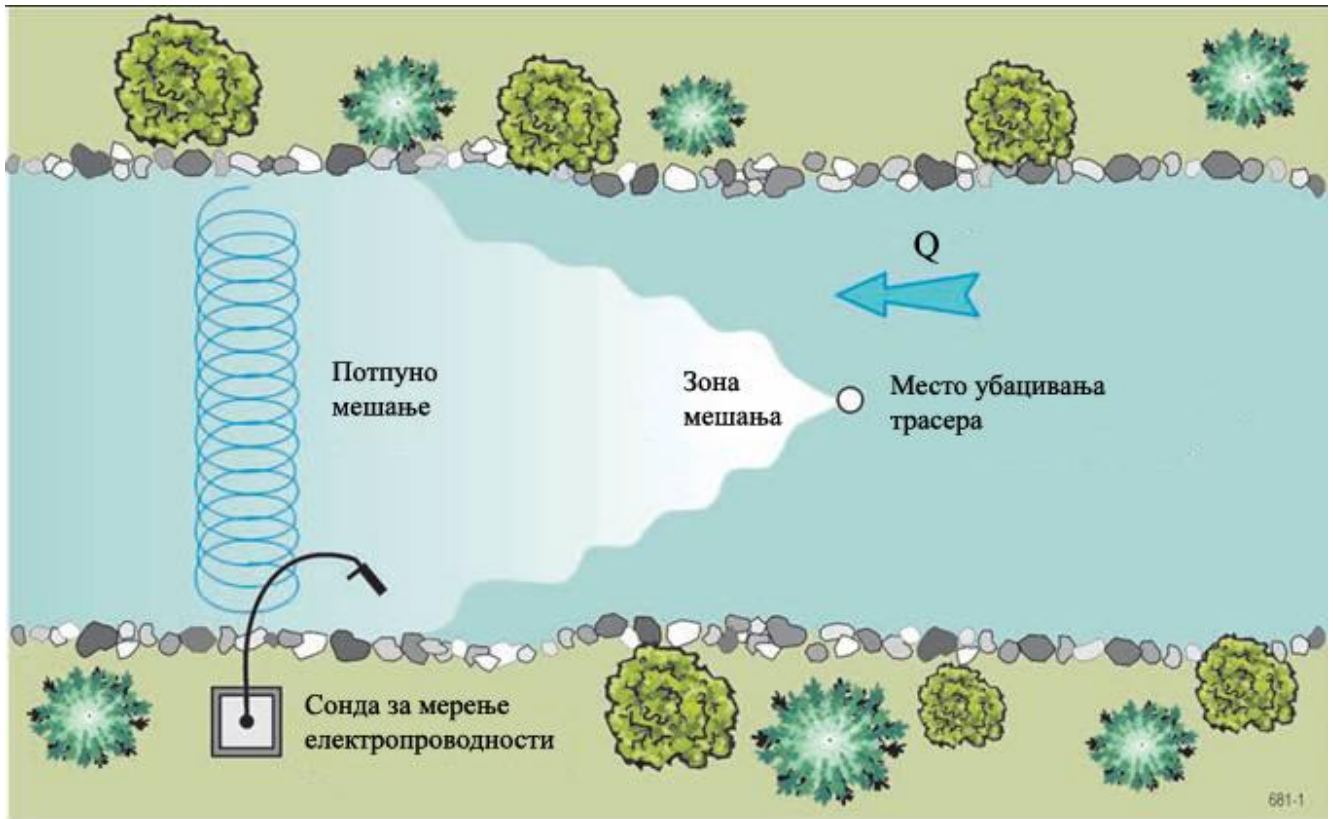
## 2.4 Метода разблажења соли

Ова метода, као што јој и само име говори, као трасер користи со. Она је једноставна и практична техника за мерење протока, нарочито у планинским токовима са великом турбуленцијом. То је и врло јефтина метода, јер се као трасер користи обична кухињска со NaCl.

Код ове методе, прво је потребно одређену количину соли, растворену у води из водотока, нагло убацили на изабраној локацији у току. Одмах након убацивања, раствор соли се брзо меша са током по дубини водотока, а спорије по ширини, јер на тај начин путује заједно са осталом водом. Пошто су неки делови тока бржи од осталих, облак соли се шири у току у процесу званом лонгитудална дисперзија. Ова дисперзија резултира тиме да облак има крајњу ивицу са релативно ниским концентрацијама соли, централну зону са високим концентрацијама, а у осталим тачкама концентрација опада од центра ка спољним ивицама.

Све ово значи да је на почетку облак соли компактан и да је со неравномерно распоређена по попречном пресеку. Са повећањем растојања од тачке убацивања, со постаје равномерније распоређена и најзад достиже оптимални и подједнак степен раствора. То је тачка у којој концентрација треба бити мерена. Ово је приказано на слици 2.2.





**Слика 2.2: Мешање соли, односно произвољног трасера коришћеног за методу наглог убацивања трасера**

Код ове методе мери се електропроводност воде у водотоку, која је, у ствари, показатељ концентрације соли. Уколико је електропроводност снимљена у некој тачки низводно где је трасер у потпуности измешан по ширини тока, пролаз облака соли изазваће да вредност електропроводности достигне свој пик у тренутку када језгро облака прође кроз ту тачку. Након тога, електропроводност поново опада на вредност базне, односно почетну вредност када и последња ивица облака прође кроз тај профил. На тај начин се добија дијаграм време – електропроводност, односно концентрација као што је нацртано на доњем делу слике 2.1. Што се више мерни профил помера низводно у току, лонгитудинална дисперзија ће смањити пик и талас ће бити развученији. Време потребно да пик таласа прође кроз осматрану тачку биће обрнуто сразмерно просечној брзини водотока, док ће трајање проласка соли зависити од тога колико су променљиве брзине у водотоку. Испитивањима је утврђено да време проласка соли варира од два до двадесетак минута. У неким случајевима оно може бити и дуже ако имамо мале водотоке са малим брзинама.

На основу те измерене електропроводности, односно концентрације, познате масе трасера убаченог у водоток и времена проласка таласа мери се проток.

Као што је познато, проток воде кроз неки попречни пресек се дефинише као запремина воде која прође кроз тај пресек у току одређеног времена:

$$Q = \frac{dV}{dt} \rightarrow dV = Q \cdot dt \quad \dots (1)$$

$Q$  – проток,

$dV$  – промена запремине,

$dt$  – промена времена.

Концентрација супстанце растворене у води дефинише се као:

$$C(t) = \frac{dm}{dV} \rightarrow dm = C(t) \cdot dV \quad \dots (2), \text{ где су вредности у изразу (2) дефинисане као:}$$

$C(t)$  – концентрација растворене супстанце у одређеном временском тренутку,

$dm$  – део масе растворене супстанце,

$dV$  – део запремине флуида.

Када се промена запремине у изразу (2) замени изразом (1), добија се следећа једначина:

$$dm = Q \cdot C(t) dt .$$

Сада се овај израз треба интегралити као:

$$\int_0^M dm = \int_0^T Q \cdot C(t) dt , \text{ где } Q \text{ представља проток кроз попречни профил, а } C(t) \text{ просечну}$$

концентрацију у профилу.

Када се овај израз реши, уз претпоставку да је проток константан, тј. течење устаљено, добија се:

$$M = Q \cdot \int_0^T C(t) dt$$

↓

$$Q = \frac{M}{\int_0^T C(t) dt} .$$

На основу ове формуле рачуна се проток код методе која користи со као трасер, као и код свих трасерских метода растворљивости које се заснивају на наглом убацивању трасера.

Неки научници који разматрају употребу методе соли били су забринути због утицаја соли на еколошке услове у речицама, односно потоцима. Теоријски, со може утицати на околну флору и фауну, али, ипак, тај утицај је веома мали, нарочито у условима велике воде када се облак соли помера веома брзо. Потенцијални ударац може бити смањен коришћењем минималне количине соли неопходне за мерење.

# 3 Мерење електропроводности

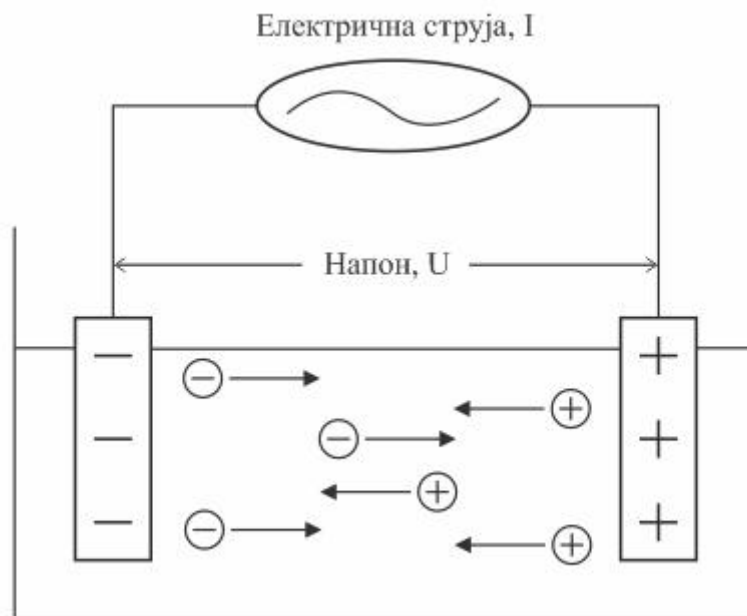
## 3.1 Појам електропроводности

Електропроводност је способност раствора, метала или гаса да проводе електричну струју. У растворима носиоци струје су катјони и анјони, док су у металима то електрони. Фактори који утичу на електропроводност су:

- концентрација
- покретљивост јона
- валенца јона
- температура

Све супстанце поседују неки степен електропроводности. У воденим растворима степен снаге јона мења се од ниске електропроводности у јако сиромашној води, до високе електропроводности у концентрованим хемијским растворима. Проводност се обично мери у воденим растворима преко електролита. Електролити су супстанце које садрже јоне, тј. раствори јонских соли или састојци који јонизују раствор. Као што је већ речено, јони формирану у раствору су ти који су одговорни за провођење електричне струје. Раствори јаких електролита, односно концентровани раствори проводе електрицитет зато што се позитивни и негативни јони могу углавном покретати независно под утицајем електричног поља.

Електропроводност се може мерити употребом наизменичне струје (I) са две електроде убачене у раствор тако што се мери резултујући напон (V). За време овог процеса, катјони се крећу ка негативној, а анјони ка позитивној електроди и раствор се понаша као електрични проводник.



Слика 3.1: Кретање јона у раствору

Проводност очитана на инструменту изражава се као:

$$E_C = G \times k, \text{ где су:}$$

$E_C$  – електропроводност изражена у S/cm;

$G$  - електропроводност? изражена у S;

$k$  – константа галванског елемента ( $\text{cm}^{-1}$ ) која се израчунава као:

$k = \frac{d}{A}$ , у којој употребљене ознаке значе:

$d$  – растојање између електрода ( $\text{cm}$ );

$A$  – ефективна површина електрода ( $\text{cm}^2$ ).

Електропроводност изражена у  $S$  ( $G$ ) представља реципрочну вредност отпора раствора, тј.

$G = \frac{1}{R}$ , док се отпор раствора ( $R$ ) може се израчунати коришћењем Омовог закона:

$U = R \times I \Rightarrow R = \frac{U}{I}$ , где је:

$U$  – напон ( $V$ );

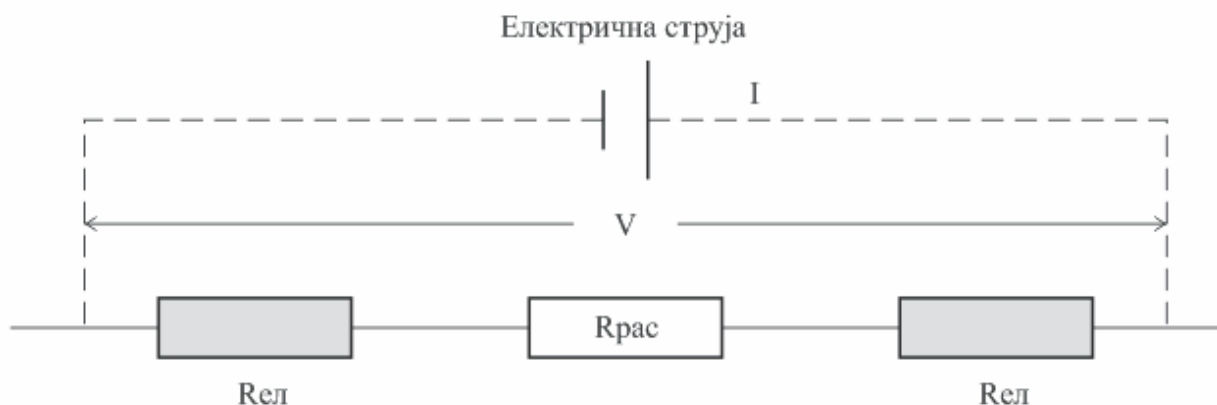
$I$  – јачина струје ( $A$ );

$R$  – отпор раствора ( $\Omega$ ).

## 3.2 Сonda као уређај за мерење електропроводности

Као уређај за мерење електропроводности користи се електропроводна сонда. Постоје различити типови сонди. Оне могу бити двополне, трополне или четворополне. Ово је основна подела и разликују се по томе колико електрода имају. Четворополне су најбоље и коришћењем њих не може доћи до поларизације јона.

Међутим, за ова мерења коришћене су двополне сонде. Код њих се наизменична струја пропушта између два пола и мери се резултујући напон. Циљ је да се мери само отпор раствора ( $R_{\text{рас}}$ ). Али, отпор изазван поларизацијом на електродама ( $R_{\text{ел}}$ ) такође ће утицати на мерење, што значи да ће и  $R_{\text{рас}}$  и  $R_{\text{ел}}$  бити мерени. На слици испод дат је поједностављен цртеж двополне сонде.



Слика 3.4: Шема двополне сонде

За потребе овог рада коришћене су две различите сонде фирме WTW. Једна је WTW LS1/T-1,5 и она је теренска сонда која је стара десетак година и раније је била постављена на постројењу на Миљаковцу. Она је првобитно била прикључена на мерач електропроводности исте фирме са ознаком LF-219. За њега је, затим, био прикључен уређај за логовање података који није могао да бележи електропроводност, већ је давао вредности струјног импулса. Почетна мерења била су вршена са овим инструментом и за овај рад је искоришћен само експеримент са температуром. Кад смо први пут отишли на терен, уређај се покварио, тако да се прибегло алтернативном решењу, употребљена је друга сонда.

Друга сонда је WTW TetraCon 325 и она је лабораторијска сонда. Она је осетљивија од теренске и нема могућност континуалног читања података, односно за њен мерач електропроводности не може се прикључити никакав логер. Ово је велика мана, јер је компликованије обрадити резултате. Наиме, вредности електропроводности са њеног дисплеја снимане су камером. Пошто је уређај такав да бележи резултате на један секунд, вредности са камере су касније преписиване ручно.

За последње мерење употребљене су обе сонде, али је уређај који читава податке код прве сонде замењен DataTaker-ом Dcdpm. Он логује податке у себи и има могућност читавања података на 1 секунд као и мерења и бележења температуре.

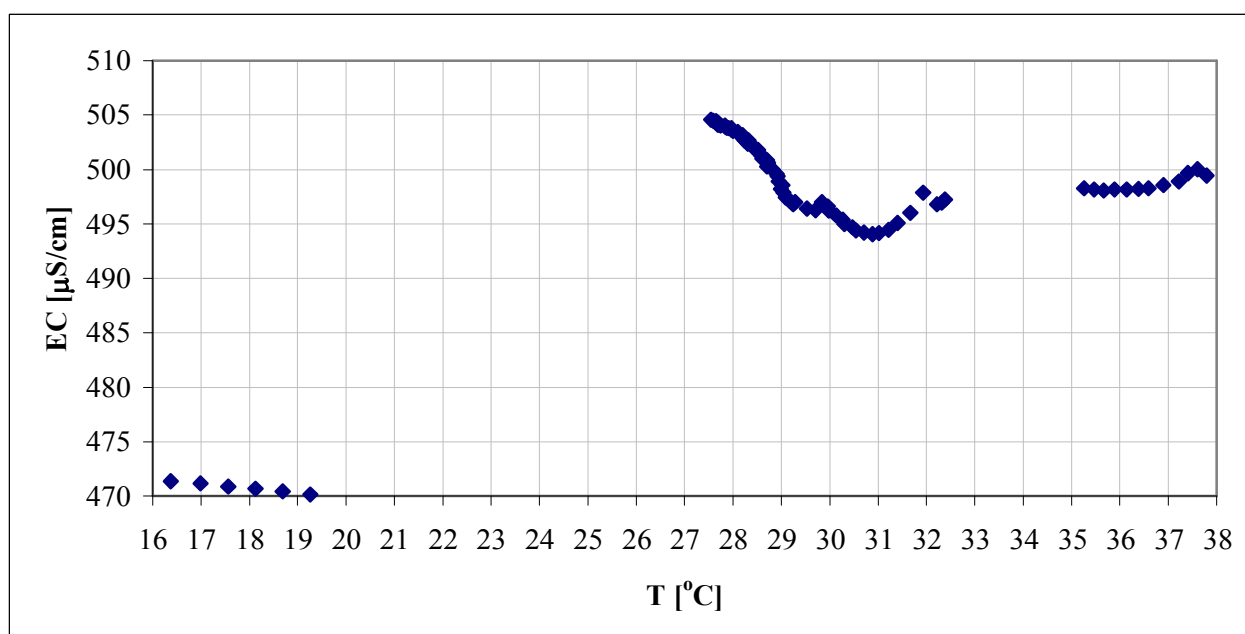
### 3.3 Проблеми везани за мерење електропроводности

Иако је мерење електропроводности брз и не нарочито скуп начин за одређивање снаге јона у раствору, то је ипак техника која није способна да распознаје различите типове јона, тако да она даје читање које је једнако комбинацији свих присутних јона. То је разлог због кога је потребно и за калибрацију и за касније мерење на терену користити исту со.

На тачност мерења електропроводности може утицати поларизација. Наиме, довођење електричне струје до електрода у раствору може проузроковати нагомилавање јонских група близу површина електрода или хемијске реакције на истим површинама. То значи да отпор поларизацији настаје на површини електроде, што може водити погрешним резултатима као што је паразитска компонента у отпору раствора. Један од начина да се смање или уклоне ефекти поларизације може бити да се подеси фреквенција мерења.

Велики утицај на тачност резултата има и врста воде која се користи за испитивање као и тип сонде. Вода би требало да буде релативно чиста, да нема неких великих комада који пливају и који би се могли задржавати на сонди. Од врсте воде зависи и колико ће соли бити употребљено за мерење. Што је вода запрљанија, потребно је убацити више соли, односно потребно је направити јачи раствор соли.

Генерално, електропроводност се мења са променом температуре. Испитивање утицаја температуре рађено је се са сондом WTW LS1/T-1,5 док је она била прикључена на логер који мери струјни импулс. Испитивањима се дошло до закључка да је веза између електропроводности и струјног импулса линеарна и да коефицијент линеарности  $k$  износи  $0.253\text{S}/(\text{cm}\cdot\text{A})$ . Због тога је на графику који следи приказана промена електропроводности у односу на промену температуре.



Слика 3.2: Промена електропроводности са променом температуре

Као што се може видети са приложеног графика, уколико се температура промени за  $1^{\circ}\text{C}$  електропроводност се, у зависности од тога колике су температуре, промени за чак и до  $5\mu\text{S}/\text{cm}$ . Међутим, обе сонде, које су коришћене касније, имају у себи уграђен програм који ту сирову електропроводност преводи у вредност електропроводности раствора која би се добила да је температура била  $25^{\circ}\text{C}$ . То значи да се утицај температуре може занемарити.

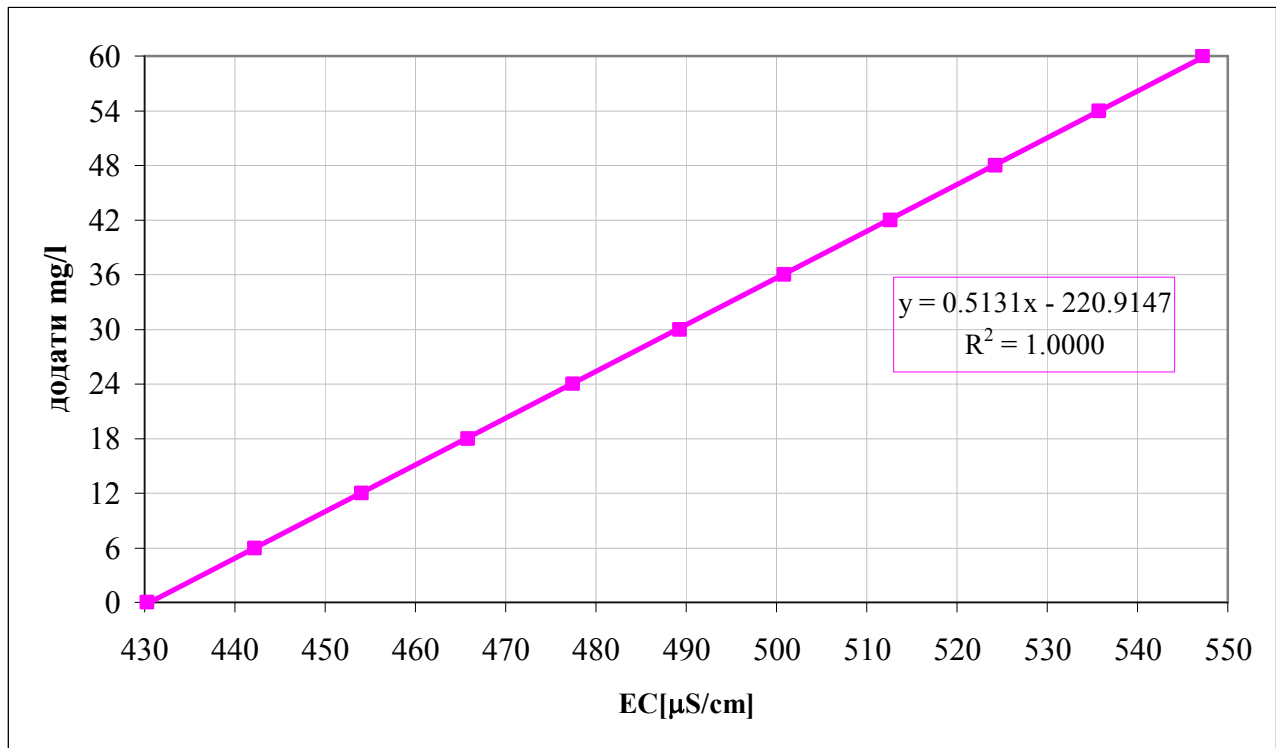
### **3.4 Веза између електропроводности и концентрације**

Код ових мерења, електропроводност није важна сама по себи, већ се преко ње директно може изразити концентрација соли коју је неопходно знати да би се могао израчунати проток. Према томе, однос између ове две величине мора бити познат. Веза између њих је линеарна, што олакшава обраду резултата.

Као што је већ речено, мерење електропроводности не може рећи о којим се јонима ради, и због тога се, у ствари, при прорачуну узима у обзир релативна електропроводност. То се ради на тај начин што се, прво, очита базна електропроводност која се, углавном, узима као константна величина, а затим се мери и бележи промена електропроводности са проласком таласа соли. Релативна електропроводност се добија када се, у сваком временском тренутку за време трајања проласка облака соли, од очитане електропроводности одузме базна електропроводност. Ова релативна електропроводност преко калибрационог фактора  $k$  даје концентрацију убачене соли на изабраном мерном месту у датом временском тренутку. То је разлог због кога је неопходно извршити калибрацију.

#### **3.4.1 Процес калибрације**

Као прво, потребно је припремити изабрани раствор, који је у овим мерењима био раствор соли од  $3\text{g}/\text{l}$  дестиловане воде. После тога се из водотока вади и мери тачно  $500\text{ml}$  воде која се ставља у чисту посуду која мора имати већу запремину од  $500\text{ml}$ , на пример  $1\text{l}$ . Затим се убацује сонда у ту исту посуду и мери се и бележи електропроводност. То је почетна вредност електропроводности када нема додате соли у току. Затим пипетом треба додати  $1\text{ml}$  припремљеног раствора и лепо измешати, па када вредност електропроводности постане константна и непроменљива, онда је треба измерити и записати. Ова процедура се понавља  $10$  пута, односно треба додати укупно  $10\text{ml}$  раствора соли. Када се то заврши, онда се прави крива линеарне зависности и одређује се калибрациони фактор  $k$ . Ово се може урадити у Excel-у коришћењем линеарне регресије као што је приказано на слици која следи.



Слика 3.3: Калибрациона крива

У једначини  $y = k \cdot x + n$ , ознаке су, као што се може видети са слике:

$y$  – концентрација соли у  $\text{mg}/\text{l}$ ;

$x$  – електропроводност у  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;

$k$  – нагиб криве;

$n$  – одсечак на  $y$ -оси када је  $x = 0$ .

До отприлике  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  овај однос је линеаран, са нагибом 0.45-0.6. Овај нагиб се назива калибрациони фактор, односно коефицијент и потребно је знати његову тачну вредност да би се могао израчунати проток. У датом примеру калибрациони коефицијент износи  $0.5131 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ , док вредност од  $R^2$  говори о средњем квадратном одступању. Калибрациони фактор зависи од типа соли, природне електропроводности тока, као и од сонде која се користи. У овом примеру коришћена је вода из хидрауличке лабораторије, па се добијени коефицијент не може користити за каснија мерења.

На слици се може видети да је за овај пример на  $y$ -осу стављена подела на по  $6 \text{mg}/\text{l}$ . Ово је урађено намерно, јер се са једним  $\text{ml}$  раствора у  $500 \text{ml}$  воде убаци, у ствари, концентрација соли од  $6 \text{mg}/\text{l}$ , тако да је са  $10 \text{ml}$  раствора убачена концентрација соли од око  $60 \text{mg}/\text{l}$ . То није баш тачна вредност, јер када се убаци тих  $10 \text{ml}$  раствора, запремина воде више није  $500 \text{ml}$ , већ  $510 \text{ml}$ .

Калибрација се мора урадити јако пажљиво, јер мале грешке у одређивању калибрационог фактора директно утичу на одређивање протока.

Као што се може видети из приложеног, веза између електропроводности и концентрације гласи:

$$EC(t) = EC_b + \frac{1}{k} \cdot C(t) \rightarrow \boxed{C(t) = k \cdot (EC(t) - EC_b)}$$

Формула у којој се изражава проток у зависности од концентрације  $Q = \frac{M}{\int_0^T C(t)dt}$ , на

основу петходне једнакости постаје:

$$Q = \frac{M}{k \cdot \int_0^T (EC(t) - EC_b) dt}$$

интегралити.

Она представља коначан облик једначине која ће се касније

### 3.4.2 Грешке које утичу на вредност калибрационог фактора

Калибрациони фактор може бити одређен погрешно уколико се пипета не користи пажљиво или уколико није одмерено заиста 500ml воде. Пипета може бити механичка и дигитална, али је дигитална сувише скупа, па је за потребе мерења у овом раду коришћена механичка 1ml-ска пипета. Рађена су испитивања да би се видело како и у којој мери могуће грешке утичу на резултат.

Испитивана је прецизност пипете тако што је убациван по 1ml водоводске воде у мали суд том пипетом и на прецизној ваги је мерена тежина течности. Ово је рађено на тај начин што је измерено 5 пута по 10ml воде, што значи укупно 50ml. Затим је израчуната маса сваког ml понаособ и добијени резултати исписани су табеларно у табели 1.

додати ml	маса [g]				
	I мерење	II мерење	III мерење	IV мерење	V мерење
1	0.97	0.98	0.97	0.98	0.97
2	0.98	0.97	0.98	0.96	0.98
3	0.97	0.97	0.98	0.96	0.96
4	0.97	1.00	0.96	0.98	0.97
5	0.98	0.97	0.96	0.97	0.96
6	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97
7	0.97	0.95	0.98	0.97	0.97
8	0.97	0.96	0.96	0.97	0.98
9	0.97	0.97	0.97	0.98	0.97
10	0.98	0.97	0.98	0.97	0.97

Табела 1

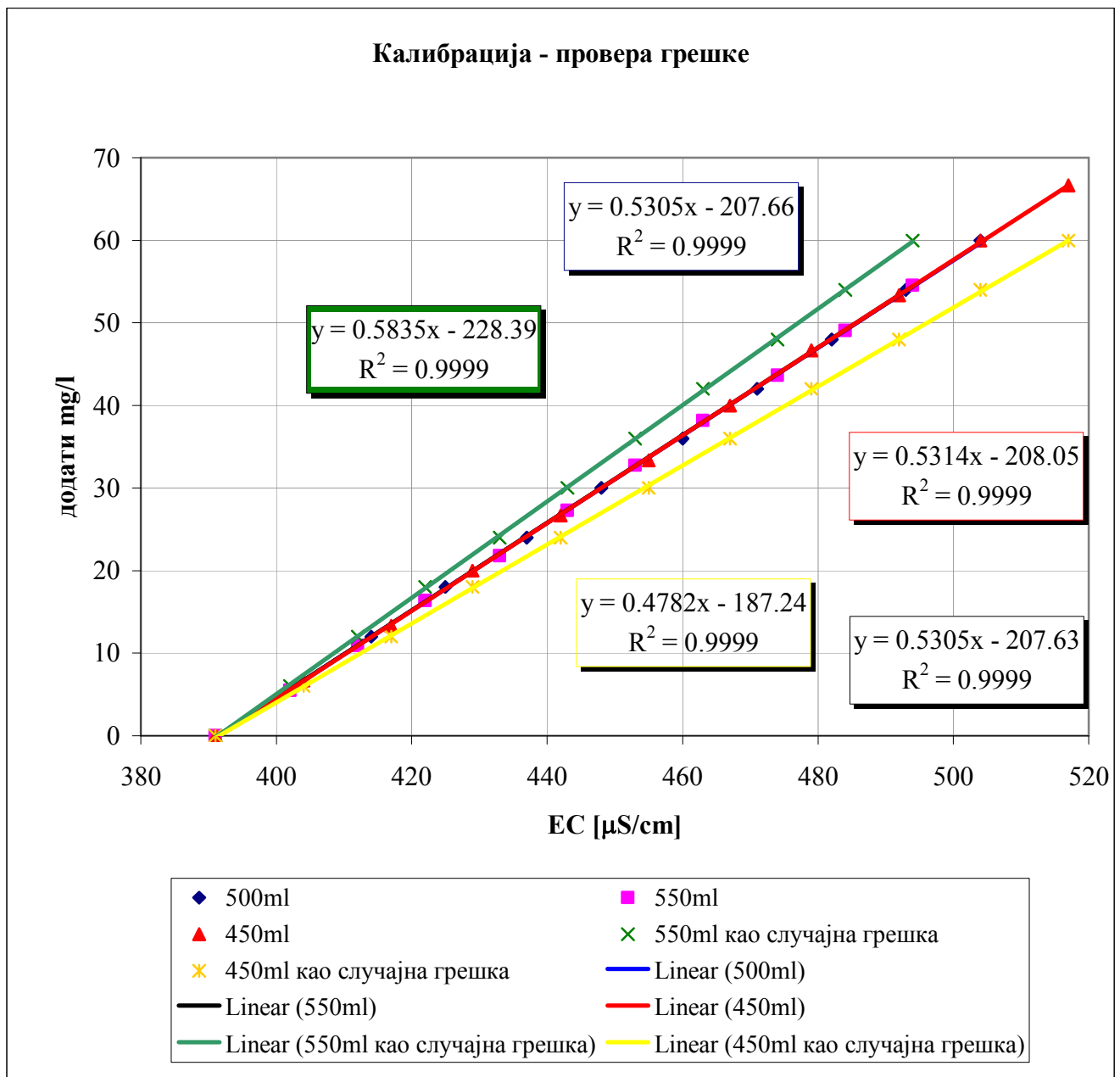
Обрадом резултата добијено је да је средња вредност 0.971g, а стандардна девијација износи  $8,33 \cdot 10^{-3}$ . Из овога следи да је пипета довољно прецизна и да се не треба плашити грешака изазваних њеним коришћењем, ако се иста пажљиво користи.

У наредном експерименту је рађена калибрација 3 пута са водом из лабораторијског канала, али тако што је први пут заиста одмерено 500ml воде, други 550ml, а трећи пут је у суд сипано 450ml воде. Калибрациони фактор је рачунат и на начин да је измерена количина воде случајна грешка, односно да је мишљење да у посуди има 500ml воде у сва три случаја, а израчуната је и његова стварна вредност ради провере. Добијени резултати приказани су у табелама 2 и 3, а калибрационе криве исцртане су на графику, односно слици 3.4.



додати ml	додати mg/l	500ml	550ml		450ml	
		EC [ $\mu\text{S/cm}$ ]	стварни mg/l	EC [ $\mu\text{S/cm}$ ]	стварни mg/l	EC [ $\mu\text{S/cm}$ ]
0	0	391	0.000	391	0.000	391
1	6	403	5.455	402	6.667	404
2	12	414	10.909	412	13.333	417
3	18	425	16.364	422	20.000	429
4	24	437	21.818	433	26.667	442
5	30	448	27.273	443	33.333	455
6	36	460	32.727	453	40.000	467
7	42	471	38.182	463	46.667	479
8	48	482	43.636	474	53.333	492
9	54	493	49.091	484	60.000	504
10	60	504	54.545	494	66.667	517

Табела 2



Слика 3.4: Провера грешке при калибрацији

израчунато k				
500ml	550ml као случајна грешка	450ml као случајна грешка	550ml	450ml
0.5305	0.5835	0.4782	0.5305	0.5314
релативна грешка протока у односу на I мерење у %				
0.00	9.08	10.94	0.00	0.17

**Табела 3**

Из табеле 3 се види да уколико се у одмереној количини воде погреша за 10%, а онај ко је мерио није свестан грешке, онда ће се и у израчунатом протоку погрешити за око 10%. Толика грешка се може врло лако избећи ако се пажљиво мери, јер је свим мерењима утврђено да њена максимална вредност износи око 0.5%.

## 4 Поступак мерења протока

Иако целокупно мерење може да се обавља директно на терену, ипак је нека мерења боље обавити у лабораторији пре изласка на терен.

### 4.1 Припрема у лабораторији

У лабораторији је, пре свега, потребно направити раствор који ће бити коришћен приликом калибрације. Овај раствор се може правити и директно на терену, али није препоручљиво, јер су прецизне вагице углавном скупочене, а на терену увек постоји већа могућност да се неки делови изгубе или оштете. На поменутој ваги потребно је одмерити јако мале количине соли, па је то разлог због кога је неопходна прецизност ваге од  $\pm 0.1\text{g}$  (овде је за прављење раствора коришћена вага тачности  $\pm 0.01\text{g}$ ). Пошто је за процес калибрације неопходно направити раствор соли од  $3\text{g/l}$  дестиловане воде, највећа прецизност (која има смисла) ће се постићи уколико  $3\text{g}$  соли додамо у  $1\text{l}$  дестиловане воде. У суштини, за терен је потребно свега  $10\text{ml}$  овог раствора, тако да се може правити и мања количина истога, али није препоручљиво, јер се са јако малим грешкама у одређивању потребне количине соли или потребне запремине дестиловане воде може много више погрешити у одређивању раствора.

За потребе овог рада, у лабораторији су прављени различити раствори, јер неки аутори препоручују коришћење раствора соли од  $1\text{g/l}$  дестиловане воде. Овде је, ипак, одлучено да се користи раствор од  $3\text{g/l}$  дестиловане воде, јер су каснија мерења рађена на јако запрљаној води Топчидерске реке.

Битна ствар, на коју се мора обратити пажња у лабораторији, јесте да се за прављење раствора мора користити иста со која ће касније бити коришћена на терену.

#### 4.1.1 Потребна опрема

Опрема која је потребна за рад у лабораторији је:

- прецизна вага;
- обична кухињска со  $\text{NaCl}$ , која ће бити коришћена и на терену;
- нормални суд запремине од  $1\text{l}$ ;
- $1\text{l}$  дестиловане воде;
- мала посуда у којој се може одмерити  $3\text{g}$  соли;
- сонда за мерење електропроводности.

Сонда није неопходна, али је добро проверити да ли је дестилована вода заиста дестилована, односно да ли њена електропроводност износи  $0\mu\text{S/cm}$ . Такође, добро је измерити и електропроводност раствора да би се касније могли упоредити резултати уколико се поново буде користила иста врста соли.

Слика 4.1: Нормални суд и прецизна вага

#### 4.1.2 Извори грешака

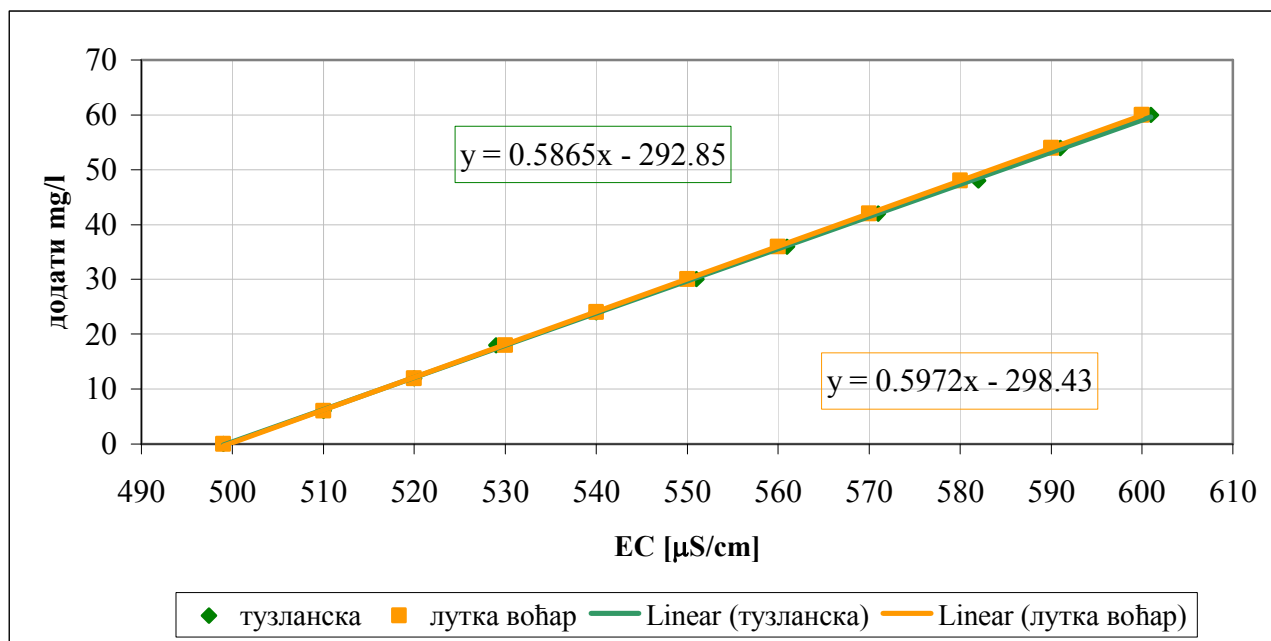
Уколико су људи који обављају мерења пажљиви, грешке у лабораторији је могуће у потпуности избећи. Оне се могу јавити због непрецизног мерења потребне количине соли, запремине дестиловане воде, или уколико је употребљена вода која није заиста дестилована. Као што је већ речено раније, потенцијалне грешке ће се јавити приликом одређивања калибрационог фактора, а оне директно утичу на проток.

Урађен је експеримент са две различите врсте кухињске соли да би се видело у којој мери ове разлике могу да утичу на добијене вредности. Једна је тузланска, а другу производи "лутка

воћар". Обе употребљене врсте соли су јодиране, с' тим да прва садржи 99-99.5% чистог натријум-хлорида, а друга 96-97% NaCl-а. Експеримент је рађен са водом из водовода. Добијени резултати приказани су прво у табели 4, а потом на графику 4.2.

додати ml	додати mg/l	тузланска EC [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	лутка воћар EC [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]
0	0	499	499
1	6	510	510
2	12	520	520
3	18	529	530
4	24	540	540
5	30	551	550
6	36	561	560
7	42	571	570
8	48	582	580
9	54	591	590
10	60	601	600

Табела 4



Слика 4.2: Калибрација са две различите врсте соли

Из табеле се може видети да се очитане вредности електропроводности врло мало разликују, па се због тога калибрационе криве практично поклапају. Без обзира на то, јавиле су се мале разлике у калибрационим факторима. За употребљену тузланску со, тај фактор износи  $0.5865 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ , а за со фабрике "лутка воћар" његова вредност је  $0.5972 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ . Грешка једног у односу на друго мерење износи 1.8%. Ово нам говори да је та грешка практично занемарљива у односу на све друге које се могу јавити.

Пошто су све соли које се производе у овој земљи сличног хемијског састава, не постоји могућност да се направе неке веће грешке због употребљене врсте соли. Међутим, увек треба избегавати направити намерну грешку уколико је то могуће, чак иако је мала, јер се оне на тај

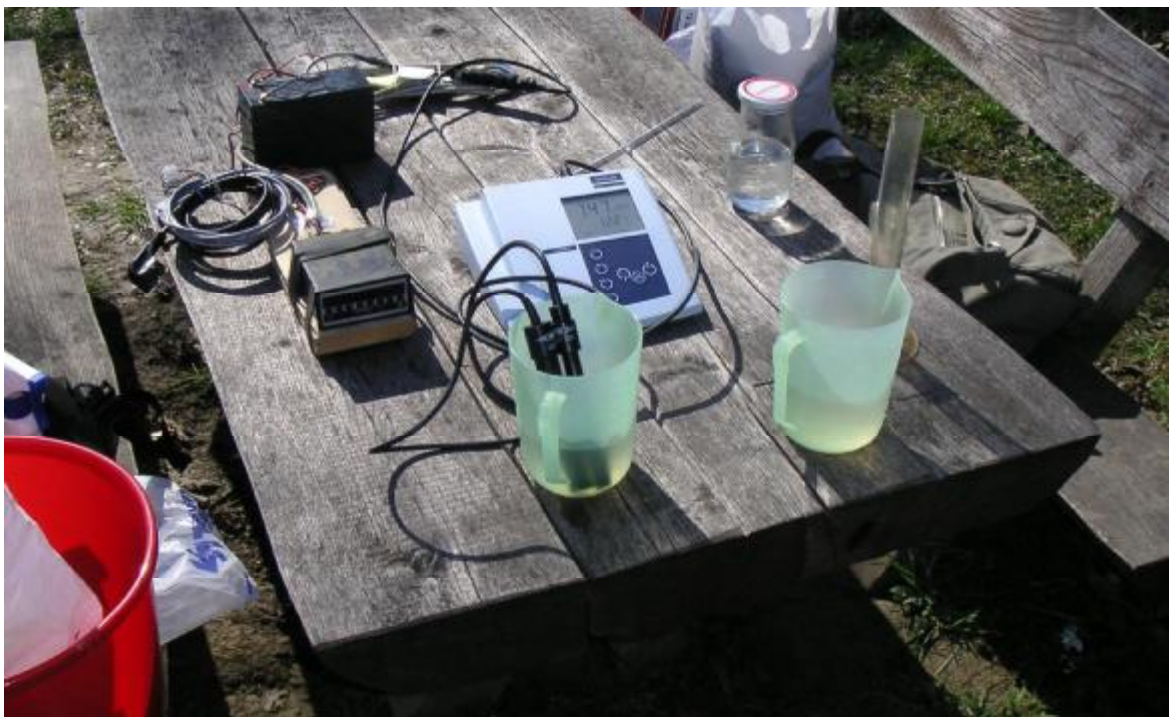
начин нагомилавају и збирно могу направити велику грешку, тако да би било препоручљиво да се у току једног мерења користи со истог произвођача.

## 4.2 Припрема за терен и потребна опрема

Пре одласка на терен треба припремити одређену количину соли која ће бити употребљена за мерење протока. Треба, опет, водити рачуна да се употребљава иста со као и за прављење раствора. Уколико се не поседује нека мала вага која је најмање тачности  $\pm 10\text{g}$ , онда се одмеравање потребне количине соли може извршити пре одласка на терен. То се може урадити тако што се, у зависности од очекиваног протока, измери по 100g, 200g, 500g и 1kg соли неколико пута и стави у пластичне кесе. На свакој кеси треба написати измерену масу водоотпорном оловком. Мерења потребне количине соли још је боље урадити директно на терену, уколико за то постоји могућност.

Пре одласка на терен, потребно је припремити и сву мерну опрему. Мерна опрема садржи:

- за одређивање калибрационог фактора:
  - посуда (мензура) од 500ml;
  - 1ml-ска пипета;
  - раствор соли од 3g/l дестиловане воде;
  - сонда за мерење електропроводности;
- за мерење протока:
  - сонда за мерење електропроводности;
  - држач за сонду (штап, односно шипка);
  - кофа од 10l или 20l;
  - вага за мерење соли, уколико она већ раније није измерена;
  - кухињска со;
  - инструмент за снимање података (data-taker или камерица);
  - метар;
  - варјача или нешто слично за мешање воде у кофи;
  - кашичица за сипање соли.

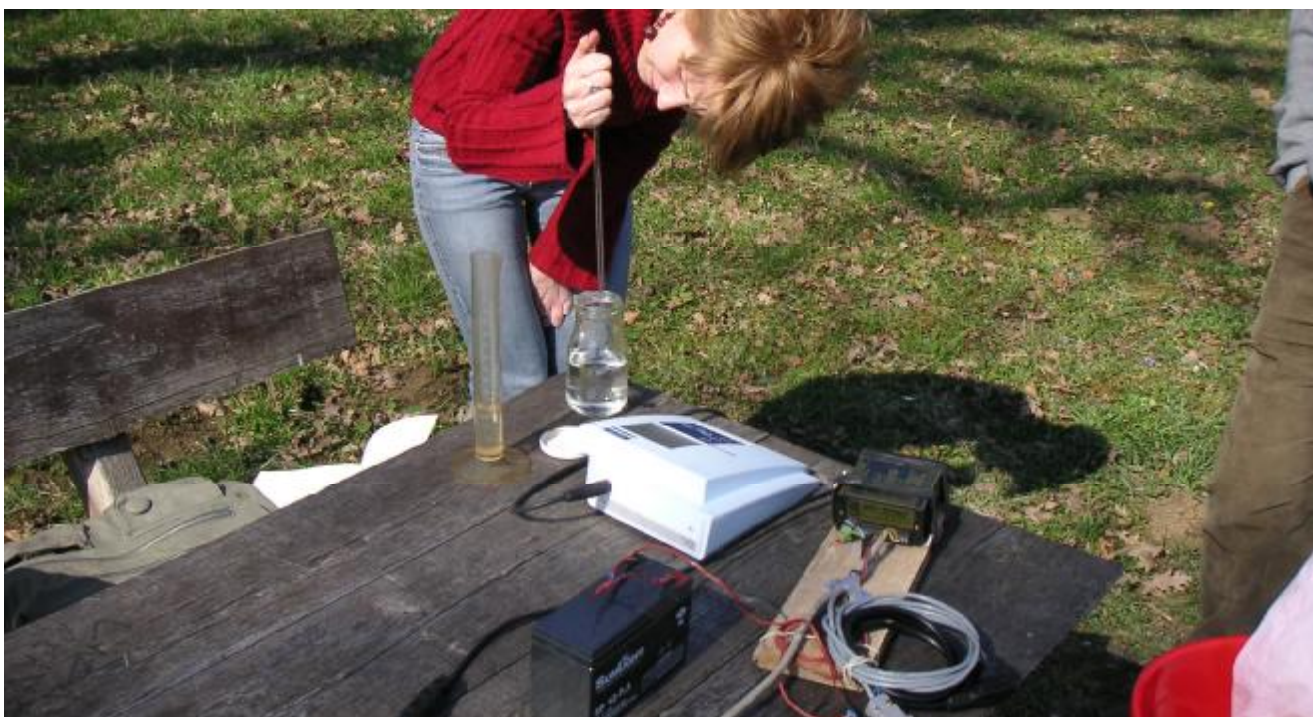


Слика 4.3: Мерна опрема

## 4.3 Припрема на терену

На терену је неопходно, прво, одредити вредност калибрационог фактора тако што се мери електропроводност десет различитих раствора соли на начин на који је описано раније. Важно је знати да за време великих вода обично нема времена за одређивање калибрационог фактора зато што талас који је потребно мерити пролази веома брзо кроз посматрани попречни пресек. У овом случају као калибрациони фактор треба узети последњи одређени или вредност од 0,5. Када се калибрациони фактор одреди на неком делу тока (стално се врше мерења на истом месту) више пута и ако се његова вредност не мења, она се може узети као константна и сваки следећи пут се мора извршити само основна провера. То значи да вредност базне електропроводности мора остати непромењена, као и да се мора користити иста мерна опрема и иста со.

На слици 4.4. приказан је део процеса калибрације када је пипетом на терену одмераван 1ml раствора соли.



Слика 4.4: Процес калибрације на терену

Следећа ствар коју треба урадити јесте одређивање мерне даљине, односно треба одредити део водотока дуж кога ће бити мерен проток. Дужина тока од тачке убацивања соли до тачке у којој со постаје потпуно измешана кроз профил тока назива се дужина мешања. Дужина водотока на којој се мери треба да буде једнака дужини мешања и на том делу не сме бити вртлога са повратним током, нити делова са стајаћом водом, такође, не сме бити ни уливања ни изливања воде, као ни висеће вегетације. Треба се трудити да буде што је могућа мања раздаљина (једнака дужини мешања). Једноставно правило је да се узме дужина која износи 20-50 средњих ширина водотока или 100 ширина најужег дела тока.

Дужина мешања варира са променом протока, односно она расте са повећањем протока. Људи који врше испитивања требало би да донекле познају хидраулику тог водотока или да на неки начин могу да процене очекивани проток, да не би много погрешили у количини соли коју треба бацити у водоток. Начин на који се може проверити да ли је изабрана дужина једнака дужини мешања јесте мерењем са две сонде истовремено које су постављене на различитим местима у кориту. Сонде могу бити распоређене на различитим местима у истом попречном пресеку уколико је водоток шири од 2m или на различитим местима по дужини тока. Вредност



протока израчуната у две мерне тачке требало би да буде иста, иако се облик криве разликује. Ако се резултати разликују, то је знак да је изабрана дужина мања од дужине мешања.

## 4.4 Начин мерења протока

Када су почетне припреме извршене, онда је потребно поставити мерну опрему на изабрана места, то јест транспортовати со и све што је потребно за бацање соли на изабрано место на обали и на одговарајућем месту низводно поставити сонду. Сонду треба поставити на делу изабраног попречног пресека на коме се очекују највеће брзине тока. То је углавном на средини тока, али, у суштини, може бити било где у зависности од облика попречног пресека. Сонда мора имати држач, јер је неопходно да буде добро фиксирана, непомерљива и константно у води за време мерења. Не сме се дозволити да ваздух или водени балончићи доспеју до ње. За потребе ових мерења направљени су држачи за обе сонде који су приказани на слици 4.5.



Слика 4.5: Сонде постављене на држаче

Пре убацивања соли треба неко време снимати базну електропроводност и бележити њену вредност, а уколико се уочи да се она прилично мења за кратко време, онда ова метода није препоручљива. Да би мерења била поновљива потребно је забележити и ниво воде као и локацију на којој се мери.

Потребна количина соли варира у зависности од дужине на којој се постиже мешање, вегетације и наравно, протока. Због тога је неопходно грубо проценити проток пре почетка мерења. Као генерално правило, између 1 и 2.5kg соли требало би убацити за проток од око  $1\text{m}^3/\text{s}$ . Да ли је употребљена количина била довољна може се видети по израчунавању протока. Измерену со треба потпуно растворити у кофи са водом из водотока и полако садржај кофе исипати у водоток на одговарајућем месту полако и без околног прскања.



**Слика 4.6: Место убацивања соли у водоток**

Даље се поступак мерења обавља као што је раније описано у поглављу о методи соли.

## **4.5 Извори грешака**

Као што се може видети из претходног текста овде су могућности за прављење грешака небројене и сваки корак је јако битан, што значи да је ова метода изузетно осетљива и проток који се добије као резултат није, вероватно, баш најтачнија вредност, већ нека приближна. Све грешке које се могу јавити због начина мерења протока биће анализирани касније када буду обрађивани резултати мерења.

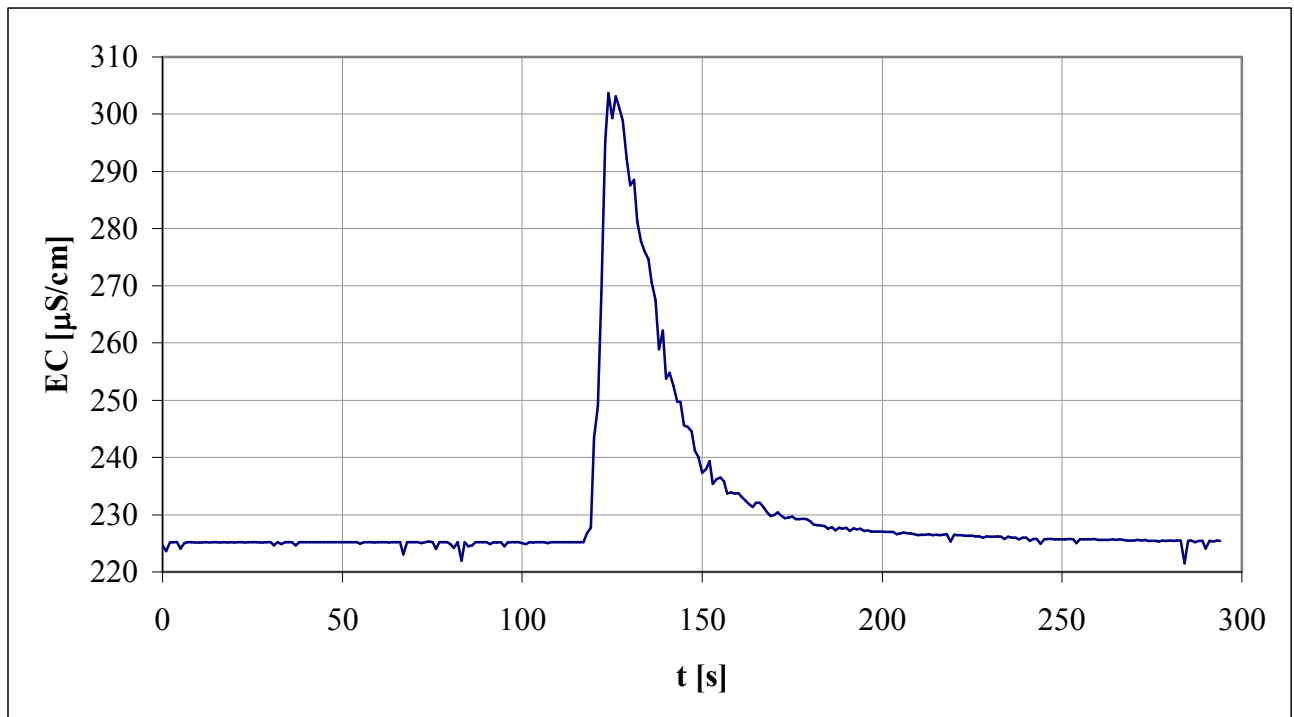


# 5 Резултати мерења

У овом одељку биће више речи о самим резултатима мерења. Постоје мерења која су преузета са реке Студеница и добијени су резултати када су та мерења обрађивана софтвером који за њих користе Норвежани који су у Врњачкој Бањи претходне године учествовали на семинару и демонстрирали методу мерења протока помоћу разблажења соли. Затим ће бити приказани резултати мерења која смо ми два пута вршили на Топчидерској реци у јануару и марту, ове, 2007. године.

## 5.1 Резултати преузети са реке Студеница

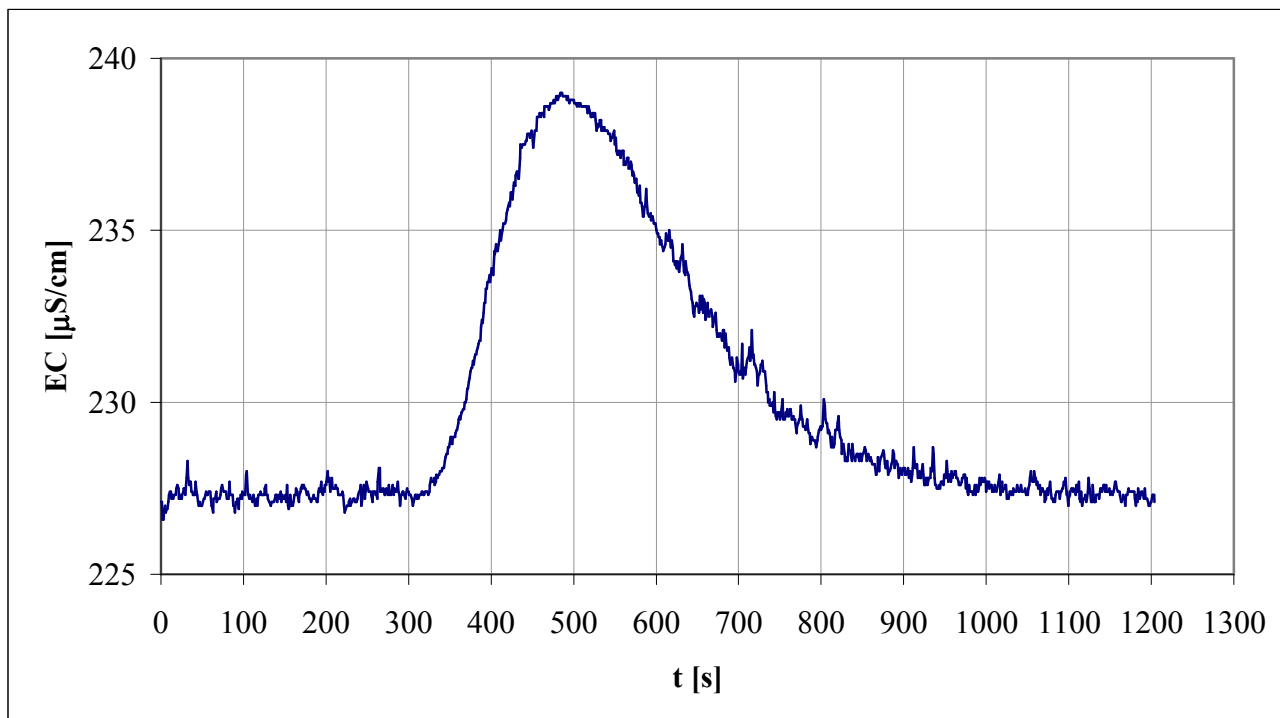
Доступна су била 3 различита мерења са ове реке, једно од 10.09.2006., и два од 12.09.2006., с' тим да је једно од ова два мерења рађено узводније од оног другог. На слици 5.1. графички је приказан резултат првог мерења у оквиру криве време – електропроводност.



Слика 5.1: Студеница 10.09.2006.

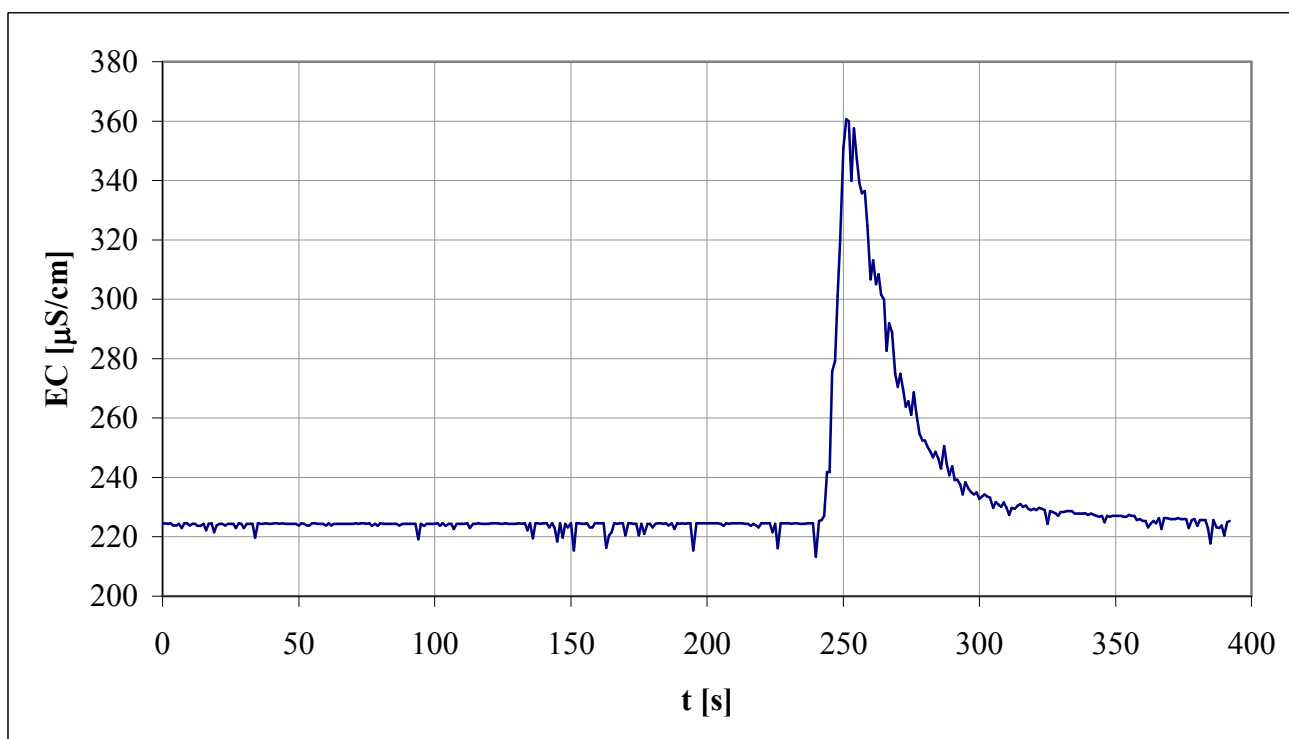
Калибрациони фактор у овом случају износи  $0.413 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ , убачено је 2kg соли, а не постоји податак о вредности електропроводности која је узета за базу, као ни проток добијен на крају.

На наредној слици 5.2. графички је приказан резултат другог мерења. Недостају исти елементи као и код предходног мерења, с' тим да калибрациони фактор износи  $0.5563 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ , а убачена количина соли је 4kg.



Слика 5.2: Студеница – низводно 12.09.2007.

За последње мерење постоје сви подаци и на основу њега се дошло до важних закључака и рађене су даље анализе. Вредност коефицијента калибрације је  $0.5642 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ , убачена количина соли износи 4kg, вредност базне електропроводности је  $223.99 \mu\text{S}/\text{cm}$ , док проток добијен њиховим софтвером износи  $2141.30 \text{l/s}$ . Дијаграм зависности време – електропроводност дат је на слици 5.3.



Слика 5.3: Студеница – узводно 12.09.2007.

## 5.2 Резултати добијени на Топчидерској реци јануара 2007.

Ова мерења рађена су 18.01.2007. близу касарне на Топчидерској реци са једном сондом типа WTW TetraCon 325, јер је само она била на располагању. Та сонда нема могућност прикључења неког уређаја који би податке континуално бележио, па је за снимање истих коришћена обична камерица. Касније су они читавани ручно на сваки секунд и записивани у Excel ради даље обраде. То није био толики проблем пошто је уређај за бележење резултата подешен тако да се на његовом екрану испишују промене на 1 секунд. Тог дана ниво воде износио је 46cm.

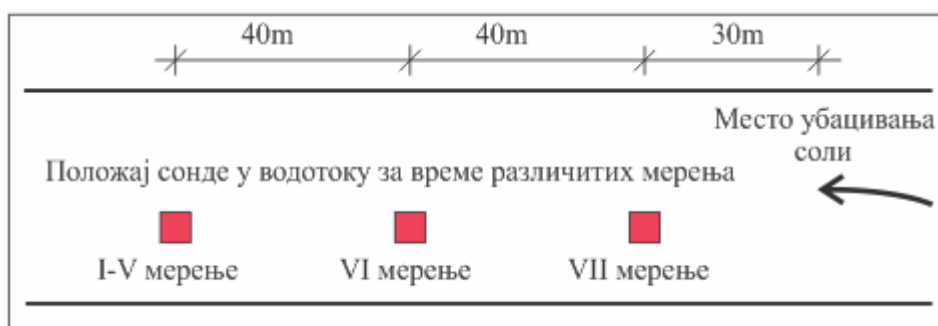
### 5.2.1 Избор мерног места

Деоница на којој се мерило налази се преко пута касарне на Кошутњаку. Овај део тока је изабран, јер се налази у узводнијем делу тока Топчидерске реке и чистији је него други делови. Међутим, ни он није довољно чист, тако да постоји могућност да се со задржавала на пливајућим предметима и вероватно су они спречили сонду да у одређеним тренуцима показује праве резултате. У којој мери се прљавштина скупљала на сонди може се уочити на слици 5.4.



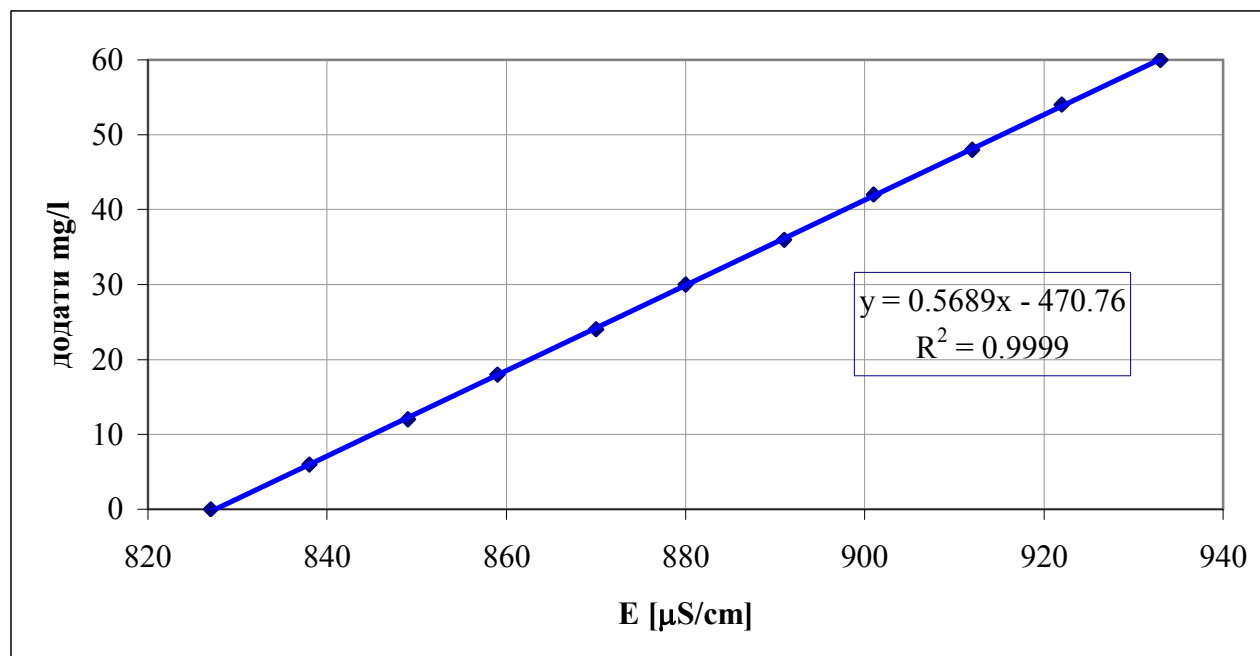
Слика 5.4: Запрљаност сонде

У једном делу тока налазила се мала препрека од које се непосредно узводно формирао благи успор, а низводно се ток знатно убрзао, због чега је уследила претпоставка да ће се на тој деоници со брзо и добро помешати са водом и да није потребна већа дужина мешања. Зато се со убацивала двадесетак метара узводно од почетка успора, а за прво мерно место изабран је део на коме се завршавало изразитије бурно кретање воде. Диспозиција свих мерења приказана је на слици 5.5.



## 5.2.2 Калибрација

Калибрација је урађена пре почетка мерења на начин на који је описано у одељку 3.3.1. Добијена крива нацртана је на слици 5.6.

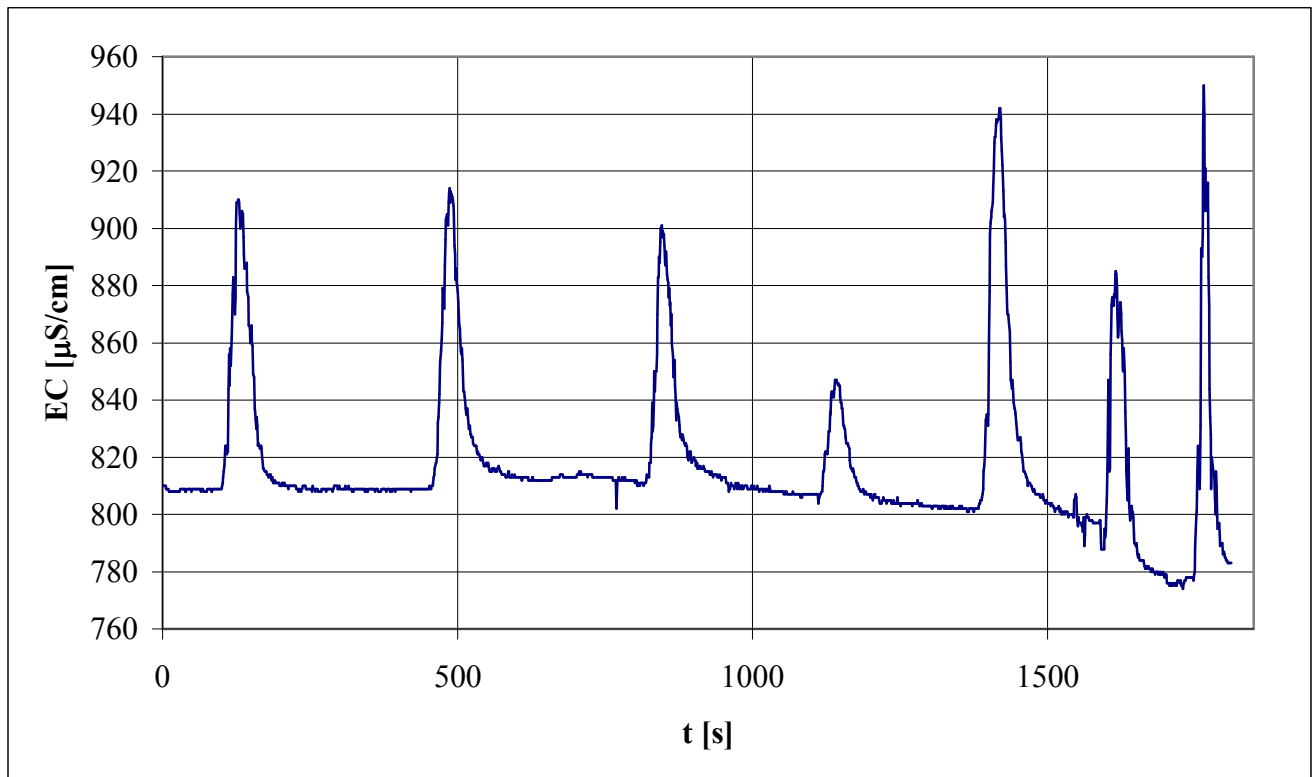


Слика 5.6: Калибрациона крива

Добијени калибрациони фактор износи  $0.5689 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$  и он је коришћен при израчунавању протока за сва мерења изведена тог дана.

## 5.2.3 Добијени резултати

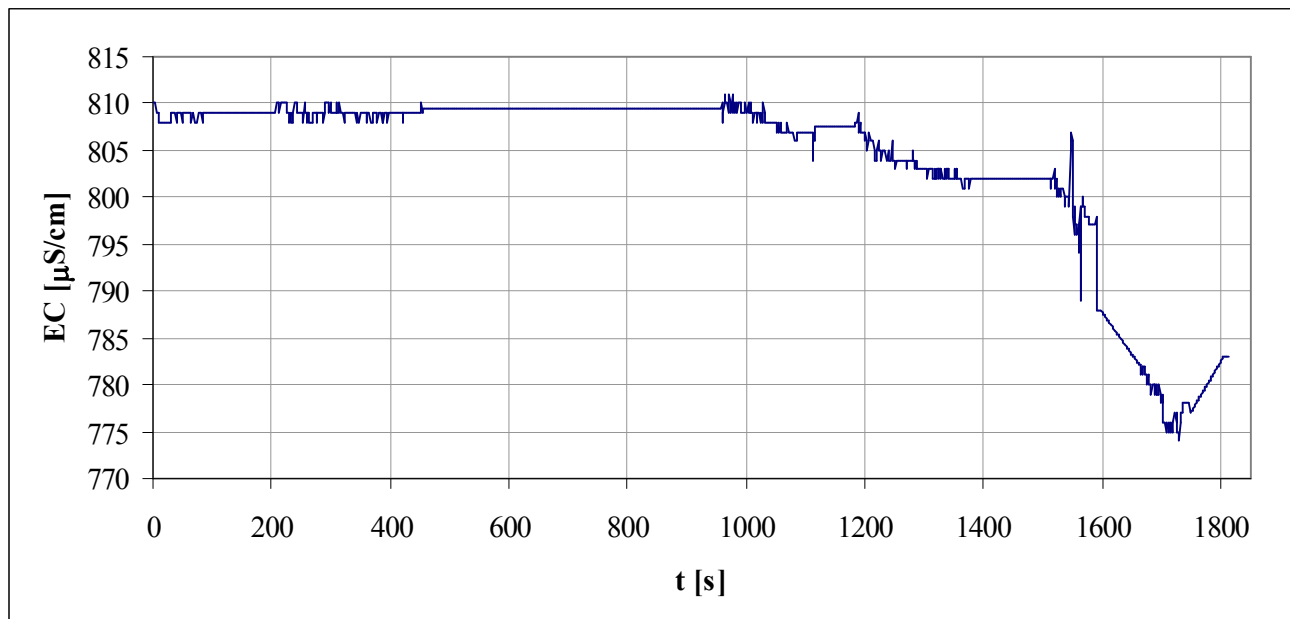
На наредном графику, односно слици 5.7. дат је приказ свих 7 мерења обављених тог дана који су остали забележени на камери.



**Слика 5.7: Приказ целокупног мерења обављеног тог дана**

Сваки талас који се види је једно мерење. Није искључивана камерица између засебних мерења, тако да је оно било континуално, без прекида. При различитим мерењима била је бацана неједнака количина соли. Она је увек сипана на истом месту, али је сонда повремено померана. То су могући разлози због којих се облици таласа разликују. Свако посебно мерење биће обрађено у наредном поглављу, као и поређење добијених резултата.

Са слике 5.7. се види да се базна електропроводност драстично мењала током ових мерења, а то никако није смело да се деси зато што је немогуће касније реконструисати шта се заиста догађало, односно, уколико је заиста дошло до тих промена, када се то десило. Јер, уопштено, као вредност базне електропроводности при прорачуну се користи средња вредност од резултата добијених од тренутка бацања соли до наиласка таласа. Мерење се завршава када се та иста вредност добије након проласка таласа. На графику који следи дата је претпостављена промена базне електропроводности која се користила при прорачуну код последњих мерења, јер никако није могла да се усвоји нека њена вредност.



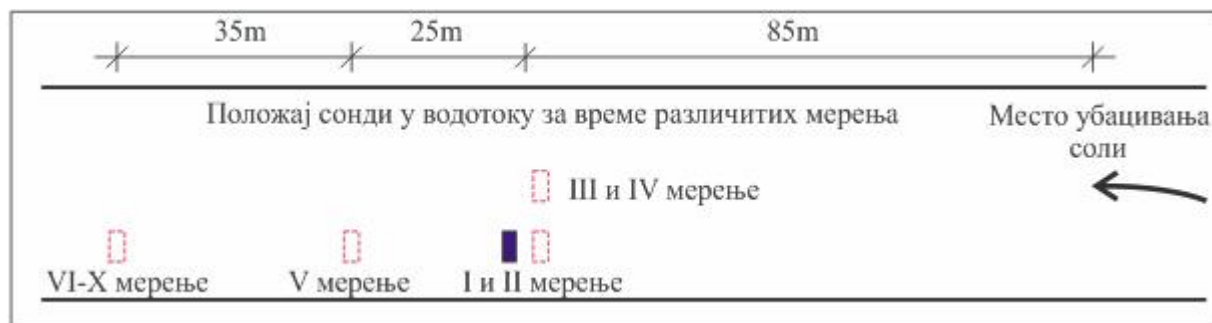
Слика 5.8: Промена базне електропроводности

## 5.3 Резултати добијени на Топчидерској реци марта 2007.

Ова мерења рађена су 06.03.2007. на истом месту као и претходна. Разлика је у томе што су, уместо једне сонде, коришћене две различитих типова. Једна је иста као и претходна, а друга је типа WTW LS1/T-1,5. Та друга сонда служи за теренска мерења, има већу површину електрода и за њу је био прикачен уређај који аутоматски логује податке на 1 секунд. Ниво воде овога пута био је за 5cm виши него предходног, што значи да је износио 51cm.

### 5.3.1 Избор мерног места

Деоница на којој се радило мерење идентична је деоници од јануара 2007. То значи да је со убацивана на истом месту, а места на којима су постављане сонде мало су измењена. Диспозиција ових мерења приказана је на слици 5.9. Лабораторијска сонда, која је представљена плавим правоугаоником на слици, све време је стајала на истом месту, док је теренска померана. Редни бројеви мерења исписани на слици односе се на њу и она је обележена розе испрекиданим правоугаонцима.

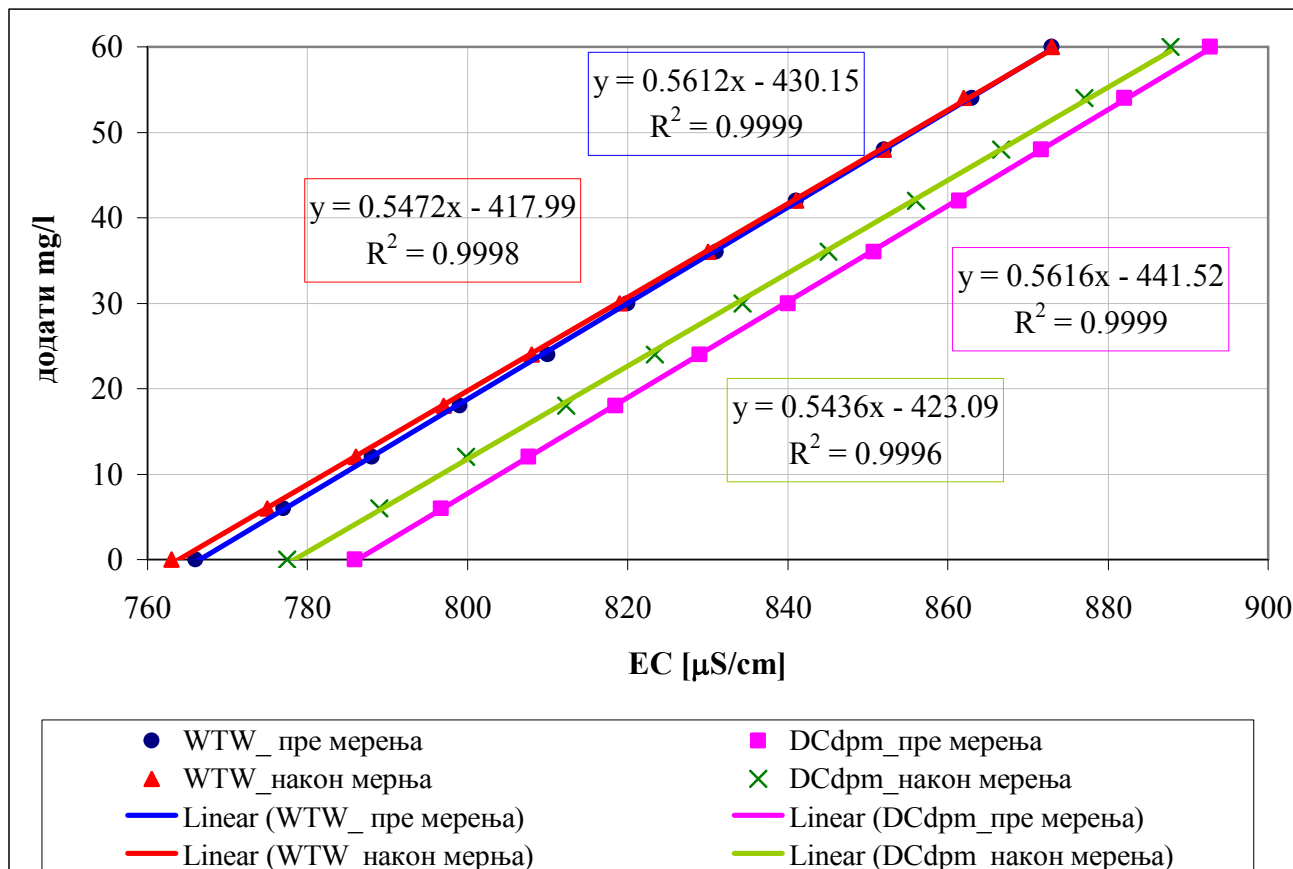


Слика 5.9: Диспозиција мерног места марта 2007. године

Овог пута, поново се на мерној деоници налазила препрека која је низводно јако узбуркала ток. Само је она, вероватно, била другачије природе него предходног пута, што ће се одразити на резултате мерења. О овоме ће бити више речи у поглављу у коме су обрађивани резултати мерења.

### 5.3.2 Калибрација

Калибрација је урађена са обе сонде и пре и после мерења промене електропроводности због додавања соли у водоток. Резултати калибрације дати су на слици 5.10.



Слика 5.10: Калибрационе криве

Са слике се види да је калибрација пре почетка мерења дала скоро исти калибрациони фактор са обе сонде, односно калибрационе криве су паралелне, и тај фактор износи  $0.5612 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$  мерено лабораторијском сондом и  $0.5616 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$  мерено теренском сондом.

После извршених мерења резултати се разликују и очигледно је да су се услови у току мало изменили, а можда и теренска сонда није била довољно стабилна, па калибрациони фактор измерен лабораторијском сондом износи  $0.5472 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ , а теренском  $0.5436 \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\mu\text{S} \cdot \text{l}}$ .

Грешка која се добије у протоку, уколико се усвоји да је прва вредност калибрационог фактора тачна, приказана је у табели 5.

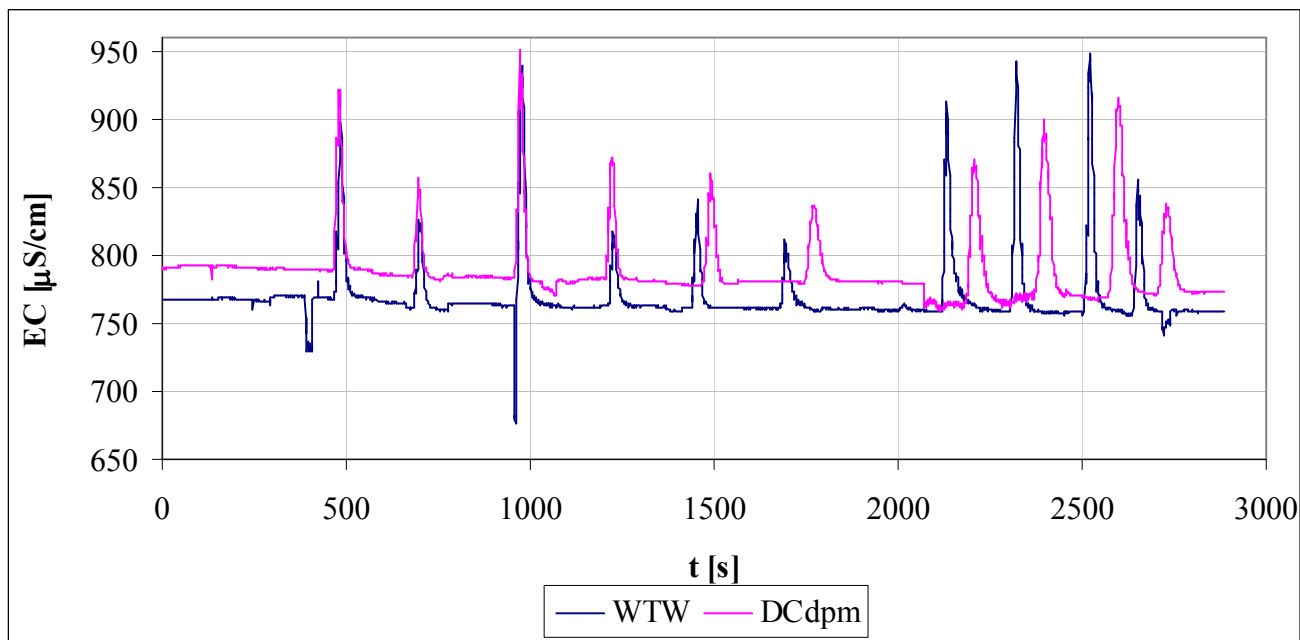
k=	0.5612	0.5616	0.5472	0.5436
%	0	0.07	2.49	3.14

Табела 5: Релативна грешка у односу на I мерење

Из табеле се види да је могућа грешка која се добија у протоку око 3%, уколико се усвоје различити калибрациони фактори, што је задовољавајуће у односу на друге грешке које ће бити анализирани касније.

### 5.3.3 Добијени резултати

На слици 5.11. дати су графици добијени мерењем са обе сонде. Ова мерења нису вршена континуално, тј. и камера и уређај за логовање података били су повремено искључивани да би се теренска сонда померила са једног места на друго, али су мерења стављена у исти временски тренутак и нацртана је упоредна крива. Исто као и у претходним мерењима, количина соли која је убацивана се мењала.



Слика 5.11: Промена електропроводности са две различите сонде

Са графика се види да се базна електропроводност разликује на ове две сонде и разлог лежи у томе што оне нису калибрисане на исти начин. То није од важности за ова испитивања, јер је за рачунање протока битна само разлика између измерене и базне електропроводности. Види се да се у неким деловима њена вредност нагло спустила, али пошто је на другој сонди и даље показивана иста вредност, дошли смо до закључка, да када се нешто крупније закачи за сонду, вредност очитане електропроводности нагло опада. На такве ствари је осетљивија лабораторијска сонда, јер има мању површину електрода, али смо се трудили да реагујемо када год се то догоди, па није било већих проблема, највероватније. Са слике би се могло приметити да се исто то вероватно десило и другој сонди пре VII мерења, али није било уочено, па самим тим ни исправљено. Због тога се може поставити питање о тачности протока добијеног интеграљењем тих кривих.

На слици 5.11. исто тако се може приметити да у неким мерењима талас снимљен једном сондом касни за таласом који је снимљен другом сондом и развученији је у односу на њега, тј. дуже времена му треба да прође цео кроз мерно место. Разлог томе је што је лабораторијска сонда све време стајала на истом месту, на удаљености од око 85m од места убацивања соли, а теренска сонда је померана низводно, и то прво на удаљеност од око 110m, а касније 145m у односу на место убацивања соли. У сваком случају, уколико најкраћа деоница задовољава потребну дужину мешања, очекује се да се израчунавањем протока увек добије иста вредност, без обзира о којој сонди и о ком мерењу је реч.



## 6 Обрада података

Обрадом резултата са реке Студенице дошло се до закључка да је, у софтверу који су користили Норвежани за израчунавање протока, коришћено трапезно правило. У свој другој литератури такође је коришћено ово правило. То можда и јесте најбоље, јер се читавање резултата врши на 1 секунд, а углавном се не може претпоставити каквог је облика промена између два читања. Међутим, овде се још радило и Симпсоновим правилом, а такође је извршен и покушај да се добијене криве апроксимирају полиномима, а затим да се површине испод добијених кривих израчунају аналитички решавањем интеграла.

### 6.1 Израчунавање протока трапезним правилом

За свако изведено мерење, интеграл који сугерише у једначини за проток решаван је трапезним правилом. Уколико се тај интеграл означи са  $I$ , може се написати да је:

$$I = \int_0^T (EC(t) - EC_b) dt = \int_0^T EC(t) dt - \int_0^T EC_b dt. \quad \text{Сада се може написати да је } I = I_1 - I_2.$$

Временски корак износи 1 секунд, а укупно протекло време, односно временски интервал  $T$  одговара броју мерења  $N$ . Део  $I_1 = \int_0^T EC(t) dt$  потребно је интегралити неком нумеричком методом или наћи једначину криве која одговара добијеним резултатима, па је решавати аналитички, док се део  $I_2 = \int_0^T EC_b dt$  може једноставно решити аналитички, јер је  $EC_b$  константа и не зависи од  $t$ .

Најједноставнија нумеричка метода је трапезно правило. Оно каже да се површина испод криве може поделити на трапезе и приближна вредност интеграла ће се добити тако што се израчунају површине свих тих трапеза и саберу. Из тога следи да се вредност интеграла  $I_1$  може добити на следећи начин:

$$I_1 = \frac{EC_0 + EC_1}{2} + \frac{EC_1 + EC_2}{2} + \dots + \frac{EC_{n-2} + EC_{n-1}}{2} + \frac{EC_{n-1} + EC_n}{2} = \sum_{i=1}^{n-1} EC_i + \frac{EC_0 + EC_n}{2}, \quad \text{док се}$$

вредност интеграла  $I_2$  израчунава као:

$$I_2 = EC_b \int_0^T dt = EC_b \cdot t \Big|_0^T = EC_b \cdot T, \quad \text{односно } I_2 = n \cdot EC_b. \quad \text{Сада се вредност протока може}$$

изразити као:

$$Q = \frac{M}{k \times I}, \quad \text{при чему је } I = \sum_{i=1}^{n-1} EC_i + \frac{EC_0 + EC_n}{2} - n \cdot EC_b.$$

У наредним поглављима дат је опис сваког појединачног мерења, као и вредности протока које су добијене трапезним правилом.

#### 6.1.1 Река Студеница

Код мерења од 10.09.2006. вредност од  $225.05 \mu\text{S/cm}$  усвојена је за вредност базне електропроводности, јер она представља средњу вредност од очитаних вредности до тренутка када је електропроводност нагло почела да расте. Из овог податка и већ раније написаних резултата коришћењем трапезног правила добијен је проток од  $2884 \text{l/s}$ .

На исти начин је за мерење од 12.09.2006. – низводно израчуната вредност базне електропроводности која износи  $227.32 \mu\text{S/cm}$  и добијен је проток од  $2231 \text{l/s}$ . Ова вредност се

разликује за свега 4.2% у односу на вредност која је добијена истог дана на деоници узводно. То је знак да се ова метода може примењивати уколико постоје адекватни услови за то.

## 6.1.2 Топчидерска река 18.01.2007.

У наредној табели дате су вредности убачене количине соли, удаљености мерног места од места убацивања соли, вредност базне електропроводности са којом је рачунат проток, као и вредности протока које су добијене за свако појединачно мерење обављено тог дана. Исто тако, биће написано да ли је убацивна со претходно била растворена у води или не, јер смо код ових мерења хтели да видимо да ли то има утицај на проток.

редни број мерења	I	II	III	IV	V	VI	VII
m [kg]	1.0	1.0	1.0	0.5	2.0	1.0	1.0
L [m]	110	110	110	110	110	70	30
EC <sub>b</sub> [μS/cm]	808.75	808.89	809.8	808.19	803.06	мењала се	мењала се
Q [l/s]	482.5	356.6	530.9	722.8	707.7	644.6	бесмислено
начин убацивања соли	раствор	сирова со	сирова со	сирова со	сирова со	сирова со	сирова со

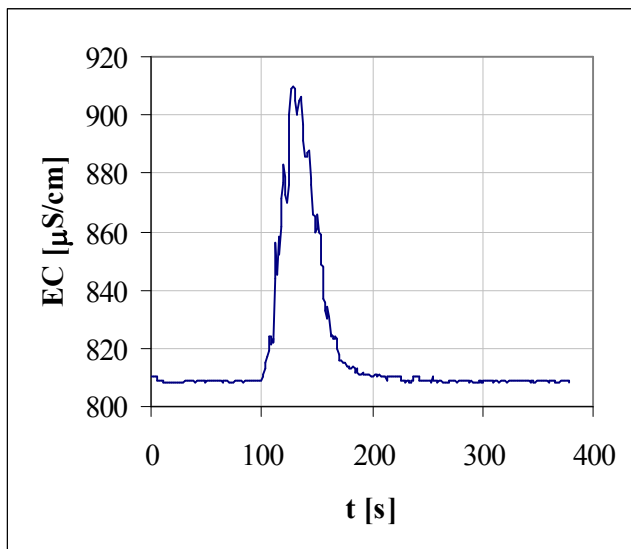
Табела 6: Резултати мерења 18.01.2007.

Као што се види из табеле, читава база електропроводност се мењала током времена. Код првих пет мерења разлика и није тако велика, међутим, касније се она много спустила, па се поставља питање да ли се она заиста толико променила или су само неки пливајући предмети били закачени за сонду.

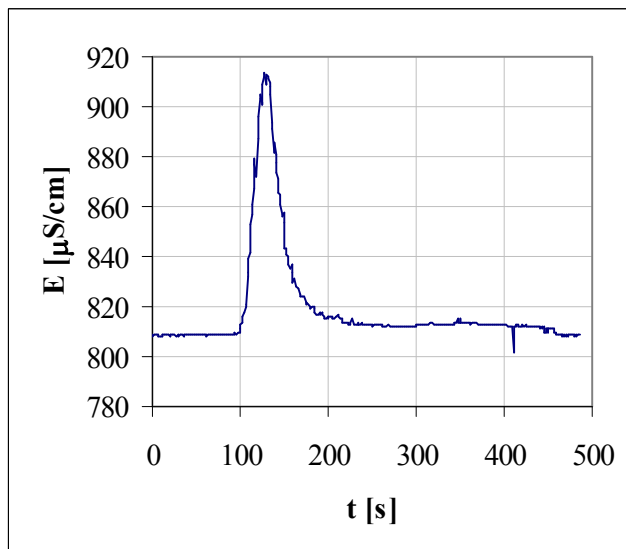
Вредности протока се, такође, јако разликују. Прва вредност је најближа протоку добијеном хидрометријским крилом, али је и она за око 5% већа од ње. Један од могућих разлога је тај што је једино ту со била растворена у води, али је, ипак, нека количина остала на дну кофе. Зна се да за колико се процената погреша у убаченој количини соли за исто толико процената се греша у вредности добијеног протока, односно да је стварна маса убачене соли за 5% мања од написане, добио би се и проток за око 5% мањи, а то би била тражена вредност.

Разлог због кога су вредности у осталим мерењима толико лоше лежи, можда, у томе што со претходно није растворена у води и потребано је много веће растојање да би се она добро измешала са водотоком и у свим тачкама посматраног попречног пресека показивала исте вредности електропроводности, тако да претпоставка о довољној дужини мешања због убрзаног дела тока није била тачна. Тако да се највероватније десило да је сонда била постављена у делу тока у коме су биле веће концентрације соли него у неким другим деловима. Други разлог је тај што је дувао ветар, па је нека количина соли одлетела на обалу. Код последња два мерења сонда је свесно била постављена преблизу да би се видело како у том случају изгледају графици и добило се оно што је било очекивано.

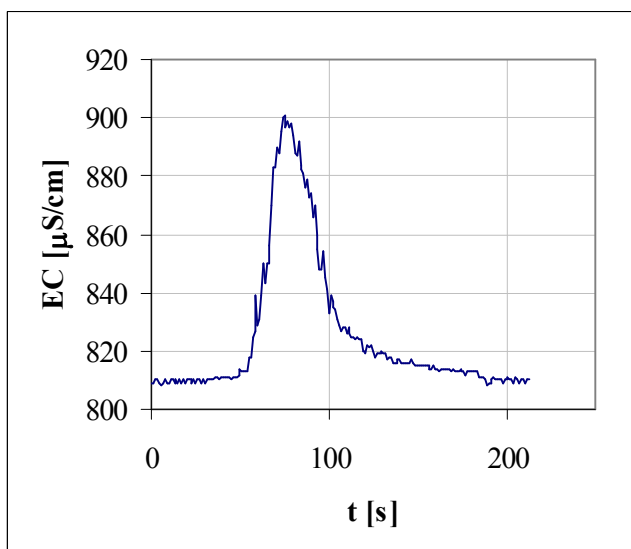
На сликама испод дати су графици сваког мерења понаособ, са вредностима које су узете при прорачуну да би се добила иста вредност базне електропроводности пре и после мерења, изузев за последња два графика која ионако имају превише осцилација између узастопних читаних вредности. На тим графицима се види да со није успела да се довољно измеша, јер је мерно место било превише близу месту на коме се убацивала со.



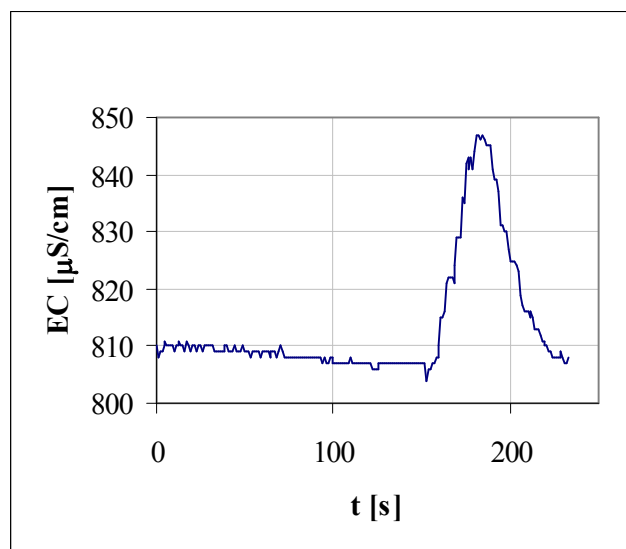
Слика 6.1: I мерење



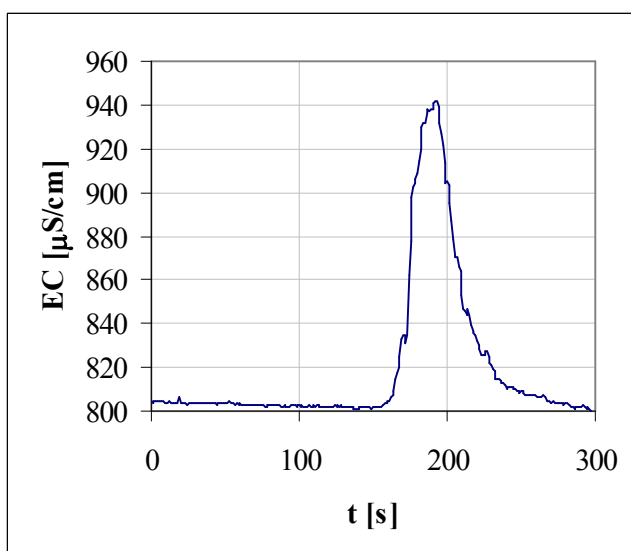
Слика 6.2: II мерење



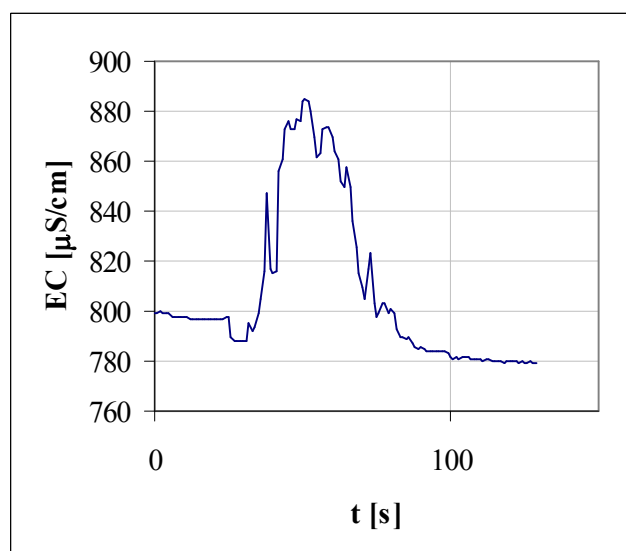
Слика 6.3: III мерење



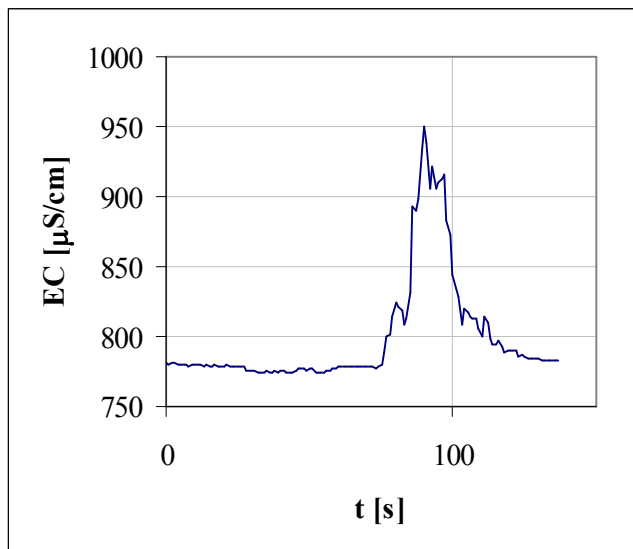
Слика 6.4: IV мерење



Слика 6.5: V мерење



Слика 6.6: VI мерење



Слика 6.7: VII мерење

Подаци који су овде приказани графички, у прилогу 1 дати су табеларно на начин на који су обрађивани у Excel-у.

### 6.1.3 Топчидерска река 06.03.2007.

Пошто је уочено да су се добијали лоши резултати када со предходно није растворана у води, онда су се сва ова мерења радила са раствореном сољу. Као што је речено раније, лабораторијска сонда типа WTW TetraCon 325 све време је стајала на истом месту, на удаљености од око 85m од места убацивања соли и ближе левој обали Топчидерске реке, док је теренска сонда померана с' времена на време. У табели 7, дати су резултати прорачуна за свих 10 мерења која су обављена тог дана. Како су мерења обављена са две различите сонде, дати су и резултати за сваку понаособ, с' тим што су они добијени лабораторијском сондом означени са WTW, а теренском са DCdpm, што је, у ствари, ознака Data Taker-а који је коришћен. Ово је учињено ради лакшег сналажења. Дужина L односи се на растојање теренске сонде од места убацивања соли.

редни број		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X
мерења											
m [kg]		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	0.994
L [m]		85	85	85	85	110	145	145	145	145	145
EC <sub>b</sub> [μS/cm]	WTW	768.76	760.86	763.07	762.77	761.38	760.61	758.86	758.98	760.50	759.51
	DCdpm	789.00	784.64	783.13	783.03	778.43	780.32	764.27	769.62	769.41	772.74
Q [l/s]	WTW	785.5	1524.0	562.2	1939.4	1421.7	1633.0	757.1	828.3	1069.1	1159.4
	DCdpm	767.6	1558.4	650.7	1057.1	952.7	1013.0	808.4	731.1	775.1	913.4

Табела 7: Резултати мерења 06.03.2007.

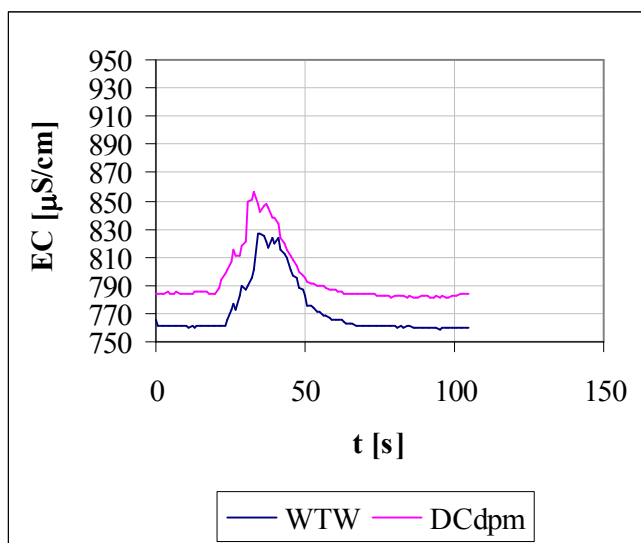
Код прва два мерења теренска сонда је била постављена нешто узводније у односу на лабораторијску, али поред ње, тако да се може приметити благо кашњење таласа чији је

пролазак снимљен лабораторијском сондом. Код трећег и четвртог мерења, теренска сонда је померена у средину тока, а пошто се протоци добијени тим мерењима знатно међусобно разликују, може се извући закључак да је то мерно место недовољно удаљено од места убацивања соли, што значи да се со још увек није добро распоредила по попречном пресеку.

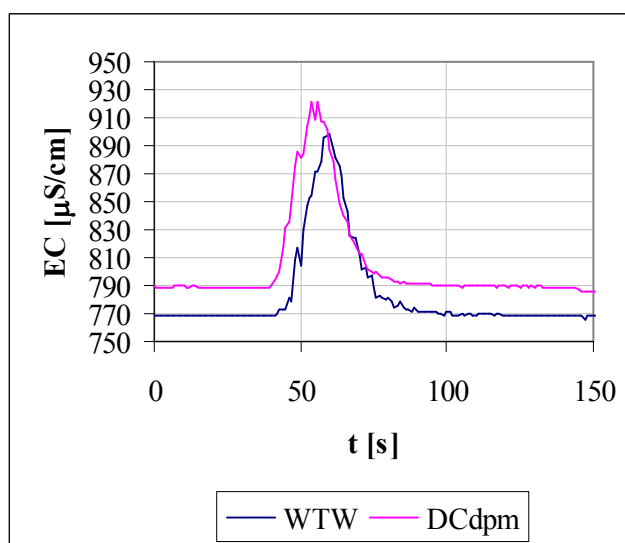
Касније је теренска сонда померена низводно, и добијани су скроз различити протоци као резултат мерења на ове две сонде, што потврђује да првобитно мерно место није било добро изабрано. Али, и протоци добијени теренском сондом се јако разликују, што, такође, може значити да је и то растојање мање од дужине мешања. Међутим, можда се заиста десило да су се протоци разликовали у различитим тренуцима, јер Топчидерска река великим делом има улогу канализационог колектора и у њу се излива вода из многих канализационих испуста. Нешто узводније од места убацивања соли налази се канализациони испуст од касарне, који је скоро све време радио. Метода соли захтева да проток за време мерења буде константан, а тај услов у овом случају вероватно није био задовољен.

Могући разлог је и тај што су мерене вредности базне електропроводности код теренске сонде приликом последњих мерења биле мање од предходно измерених и не може се утврдити у ком тренутку се неправилност исправила, али о овоме је било речи раније.

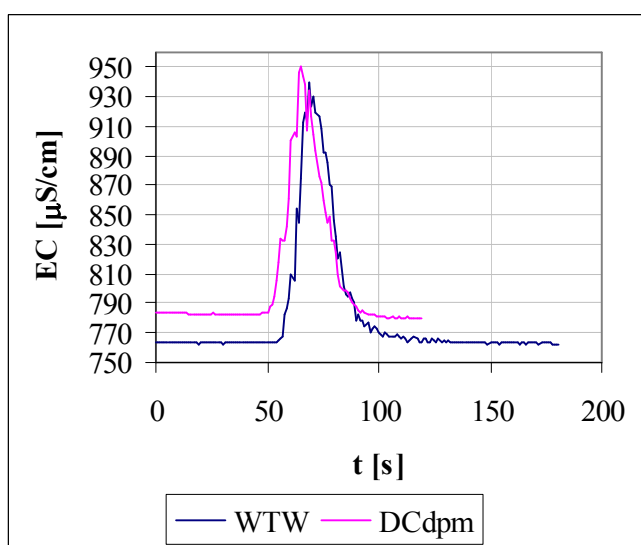
На графицима који следе приказане су криве време – електропроводност за свако појединачно мерење са само оним њиховим деловима који су коришћени при прорачуну протока. Ознаке су исте као и у табели.



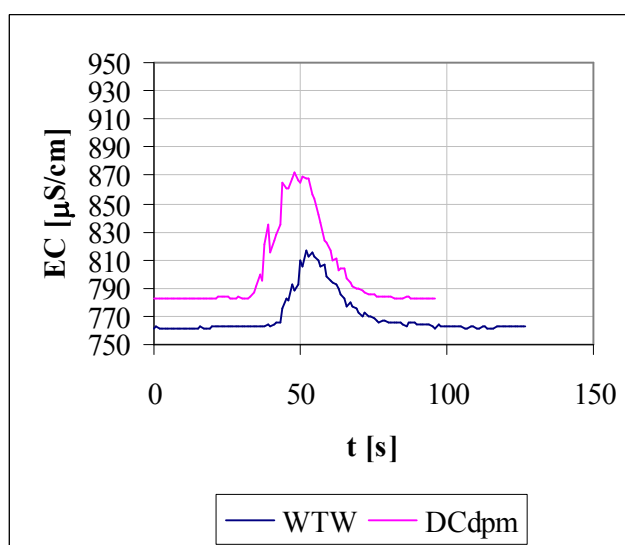
Слика 6.8: I мерење



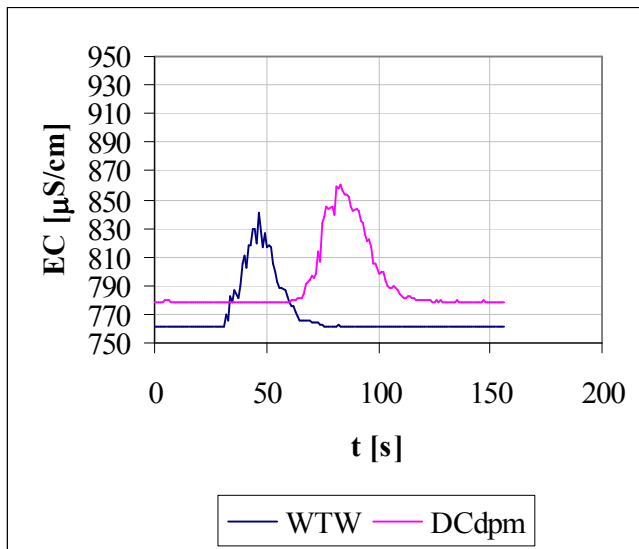
Слика 6.9: II мерење



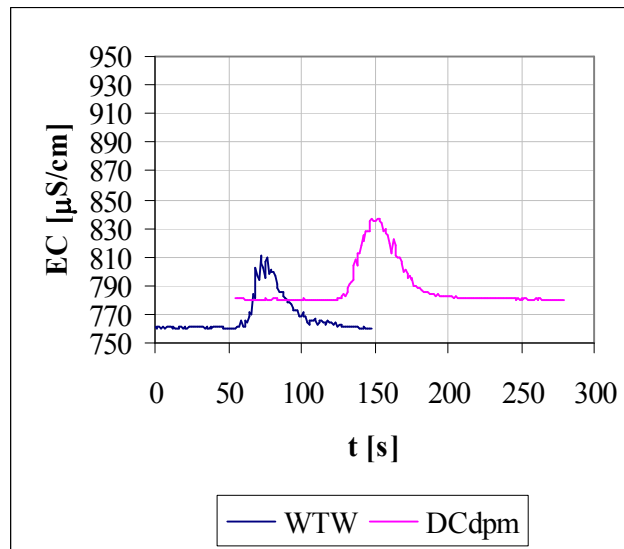
Слика 6.10: III мерење



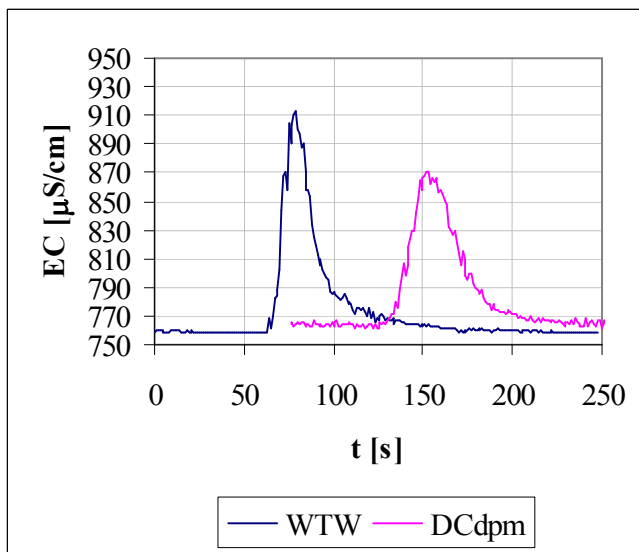
Слика 6.11: IV мерење



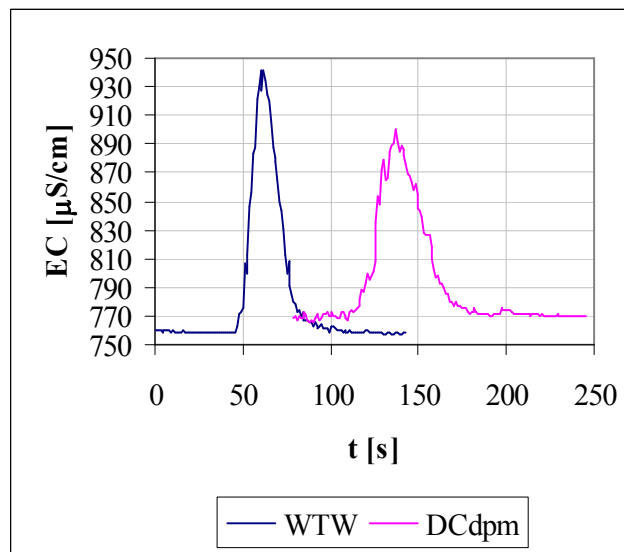
Слика 6.12: V мерење



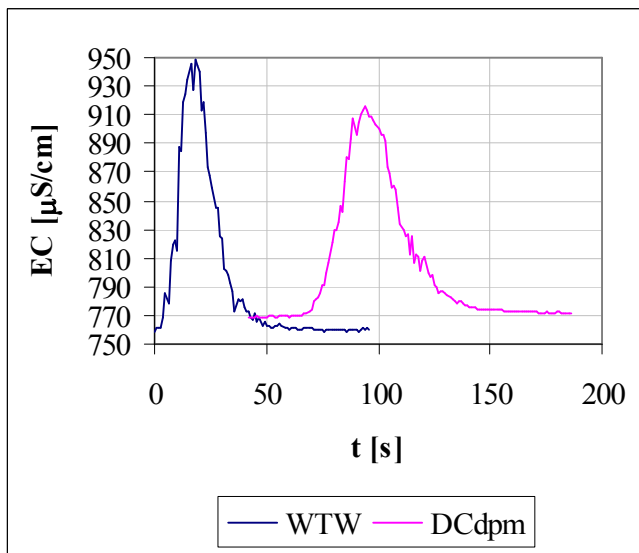
Слика 6.13: VI мерење



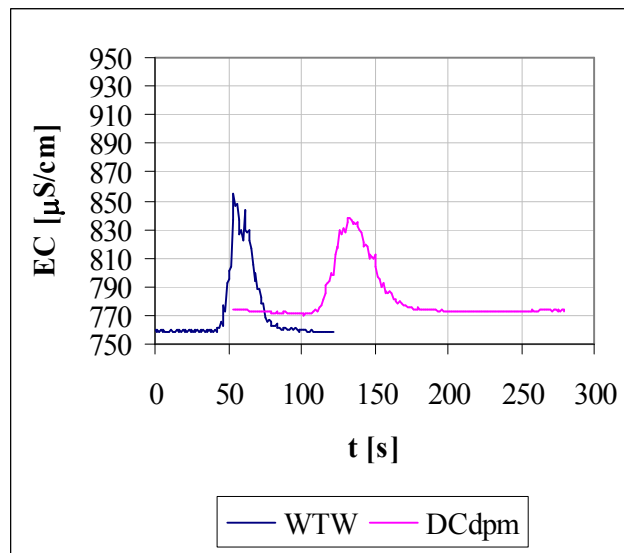
Слика 6.14: VII мерење



Слика 6.15: VIII мерење



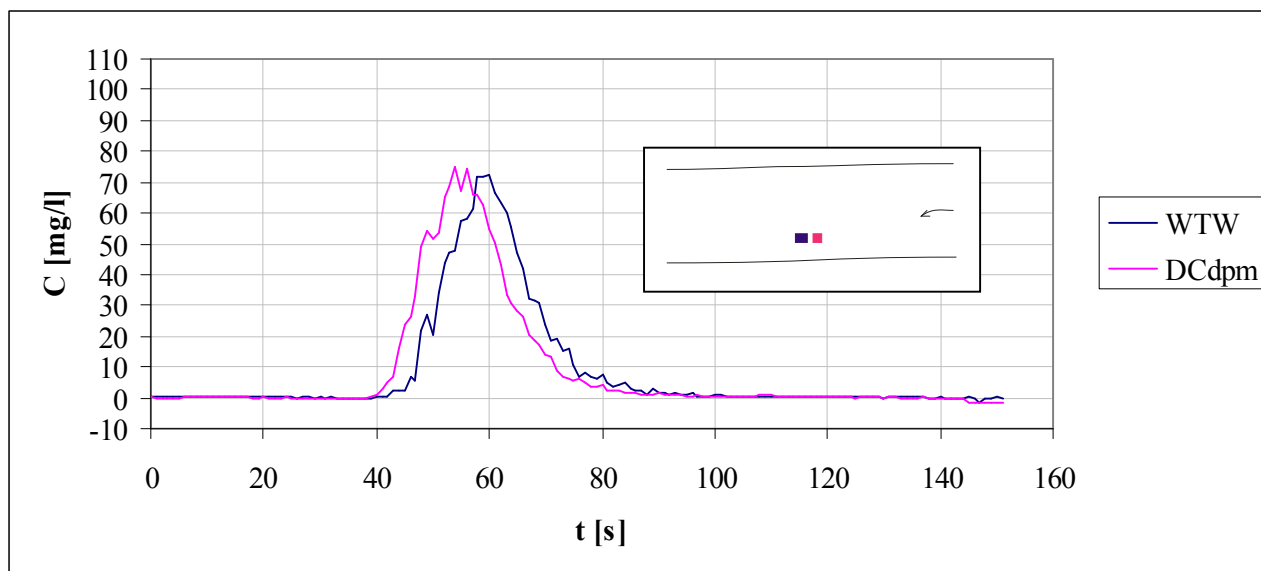
Слика 6.16: IX мерење



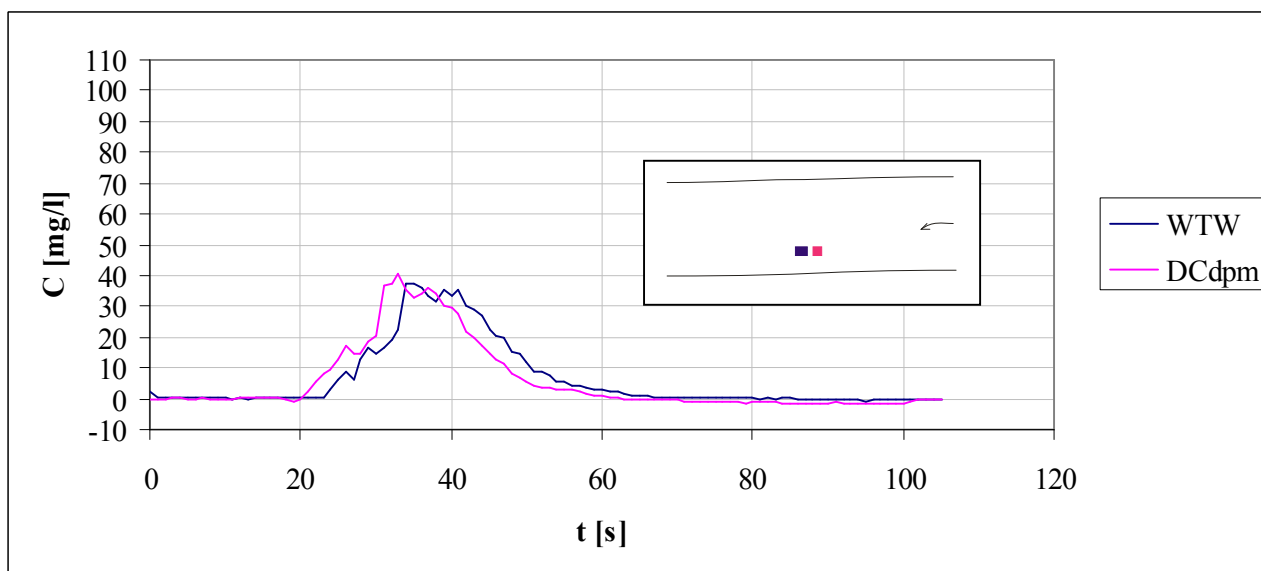
Слика 6.17: X мерење

И ови подаци који су овде приказани графички, у прилогу 2 приказани су у виду табела на начин на који су обрађивани у Excel-у.

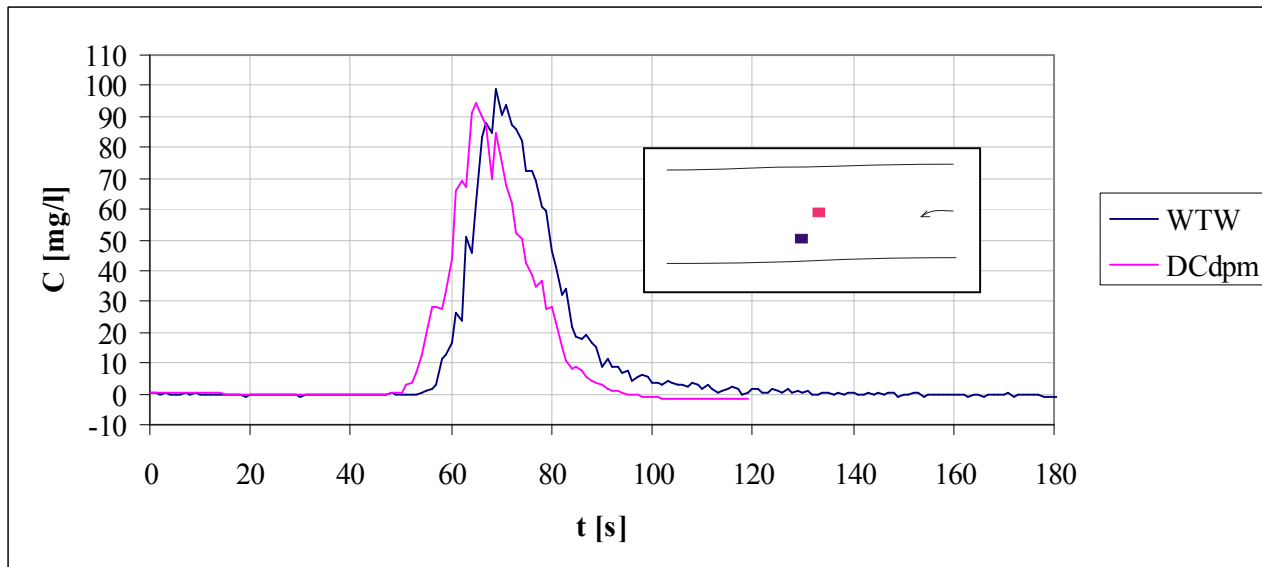
Пошто је тешко упоређивати резултате према вредностима електропроводности које не крећу од исте вредности, на наредним графицима дате су криве време – концентрација, тако што је електропроводност пребачена у додатну концентрацију соли. Такође, на сличицама унутар графика дата је диспозиција мерног места, односно распореда сонди чије боје одговарају бојама кривих на графицима. Стрелица показује место убацивања соли, као и смер кретања воде.



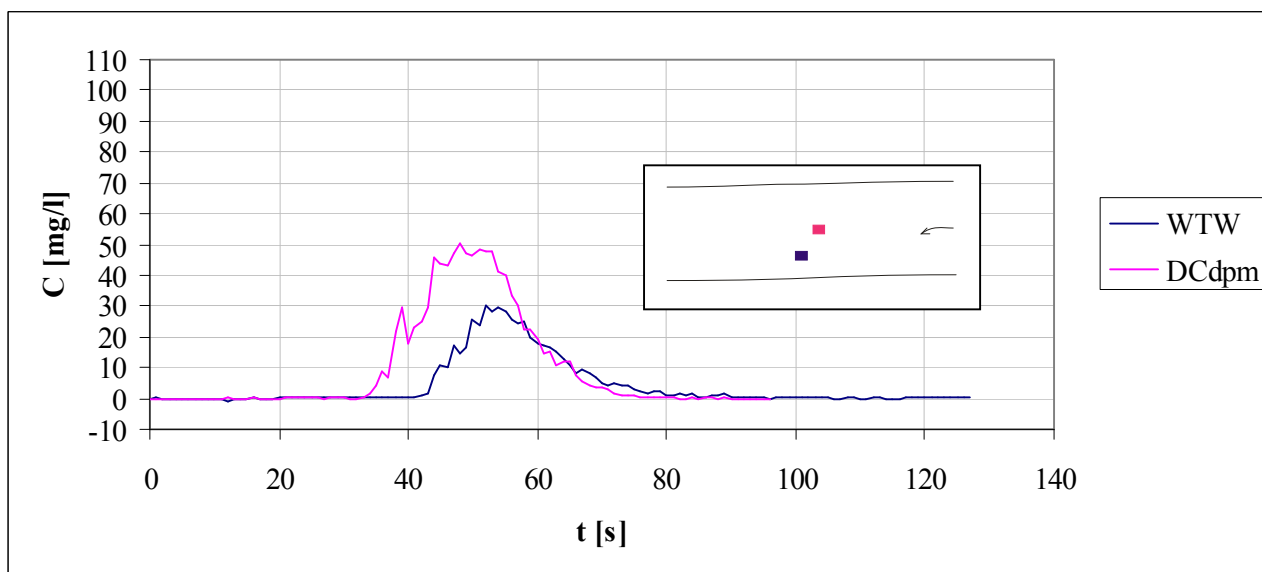
Слика 6.18: I мерење



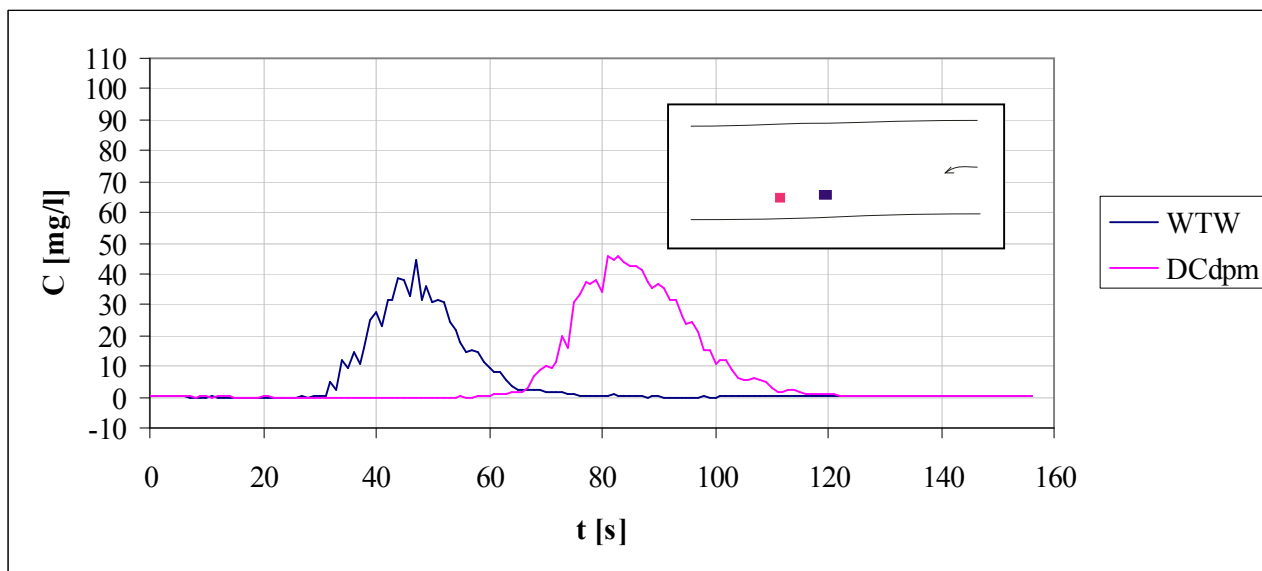
Слика 6.19: II мерење



Слика 6.20: III мерење

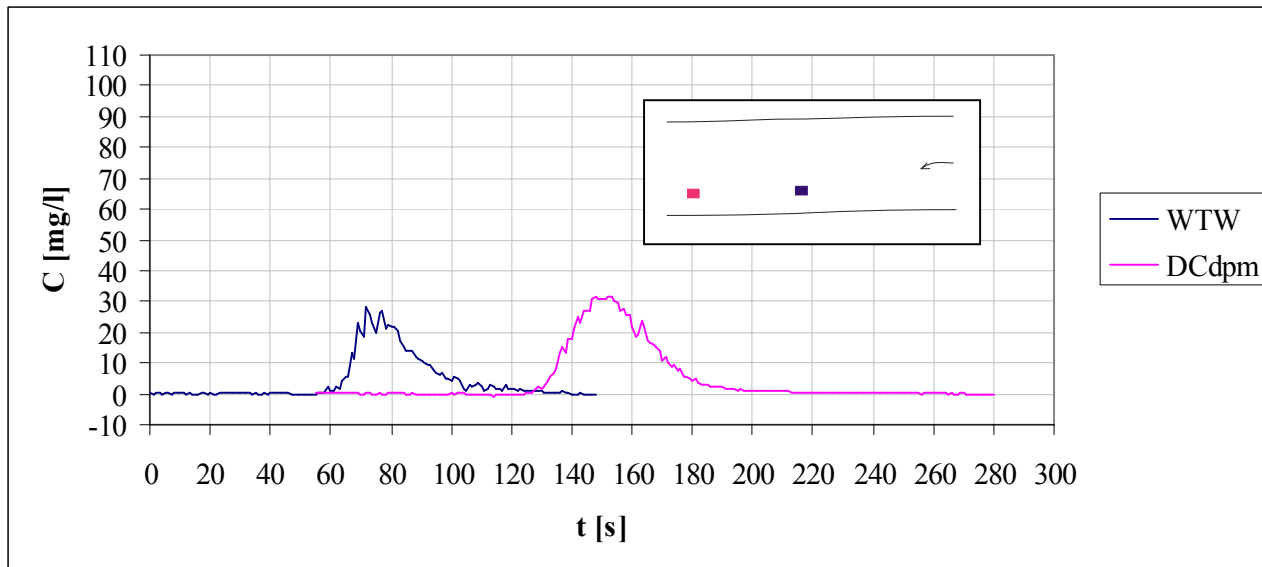


Слика 6.21: IV мерење

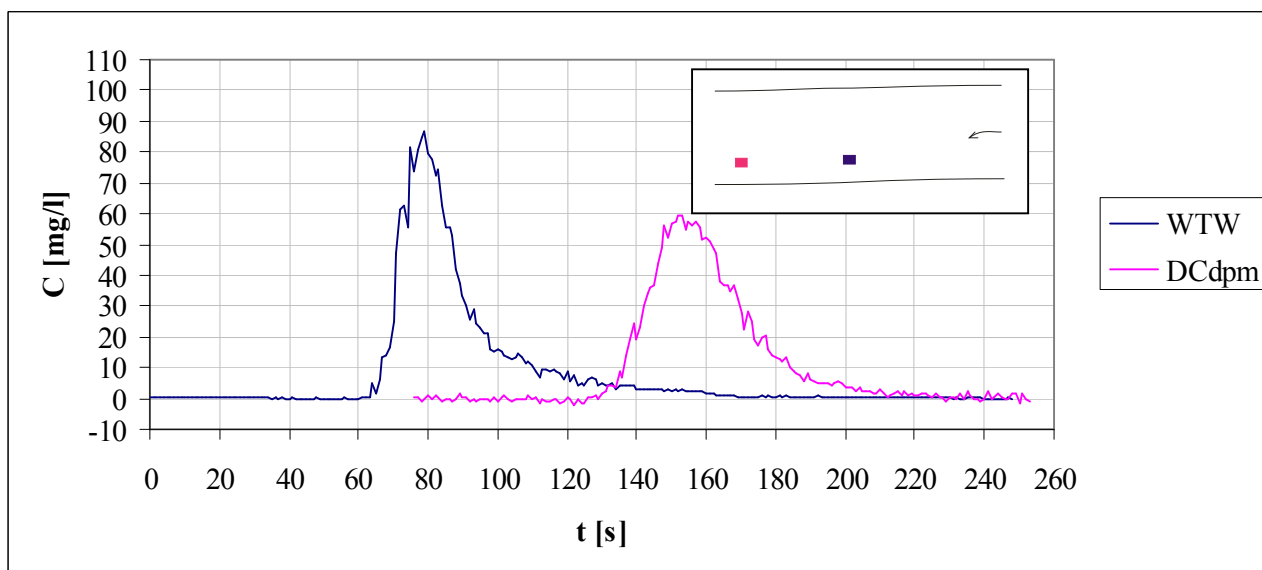


Слика 6.22: V мерење

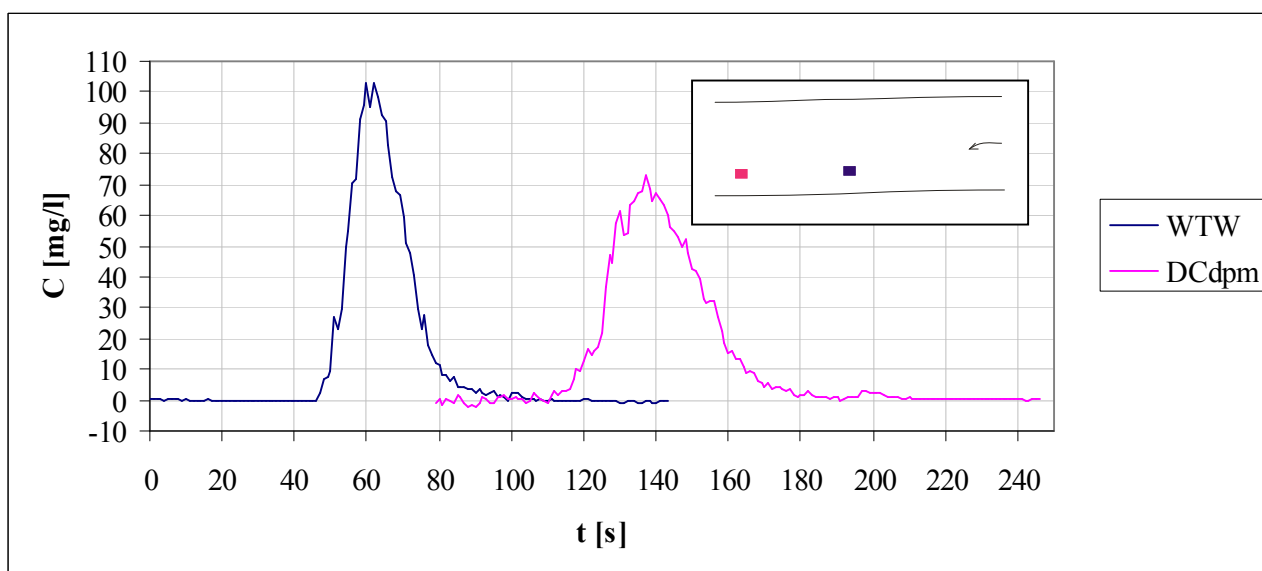




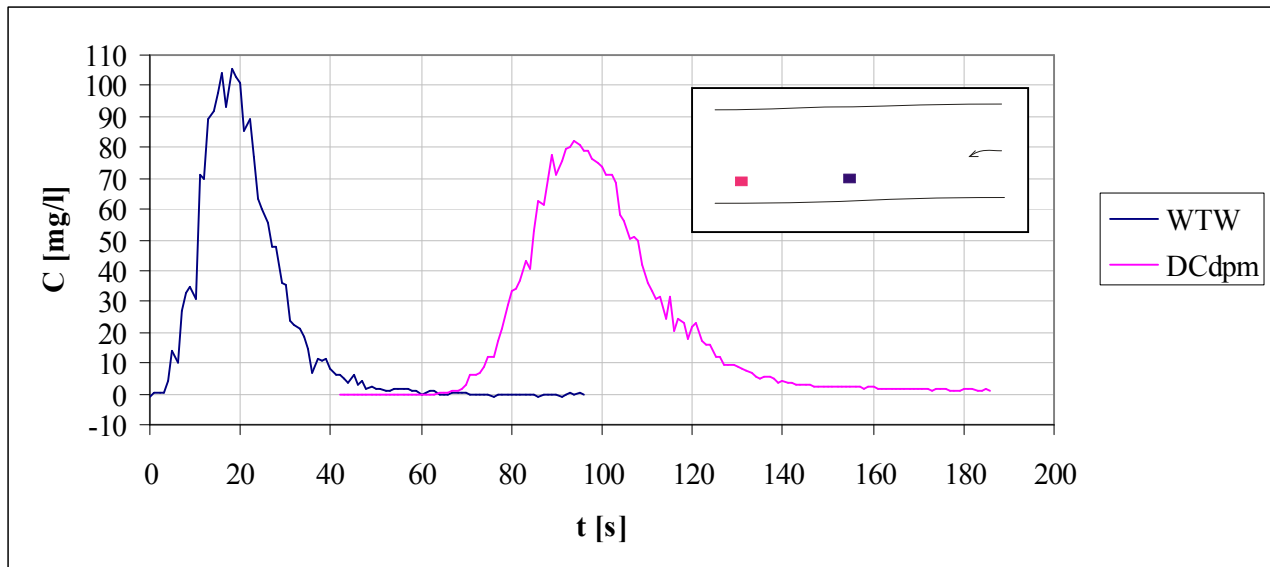
Слика 6.23: VI мерење



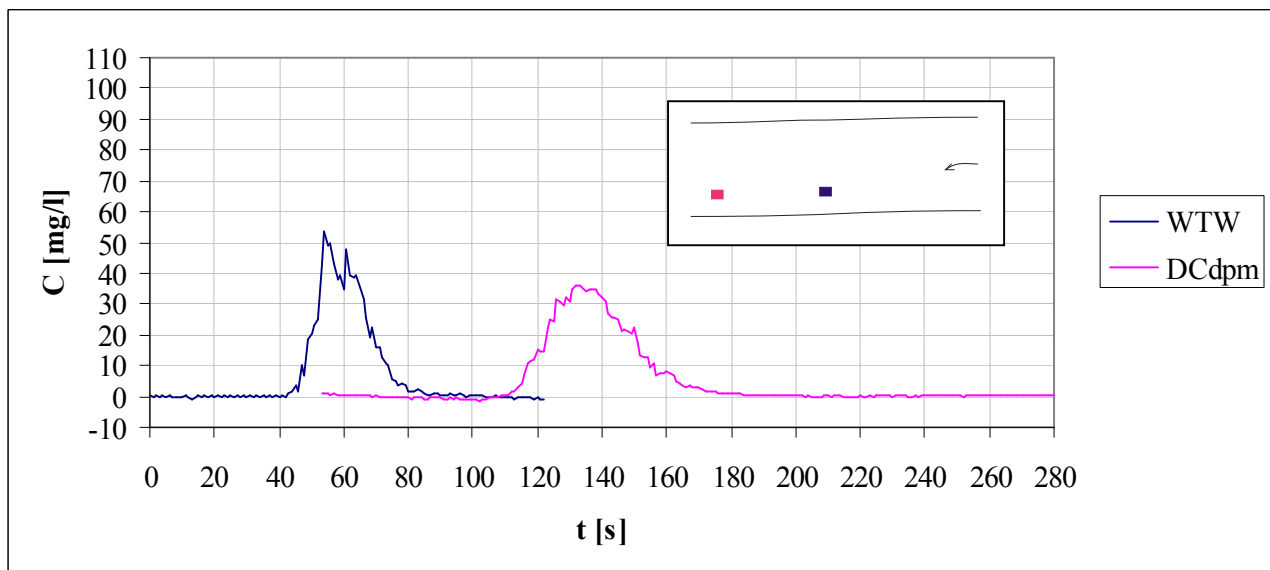
Слика 6.24: VII мерење



Слика 6.25: VIII мерење



Слика 6.26: IX мерење



Слика 6.27: X мерење

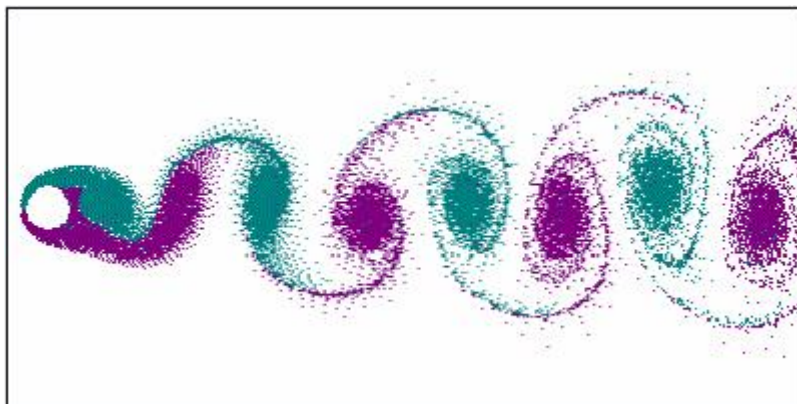
Као што се може видети са слика, у неким временским тренуцима додата концентрација соли пада испод нуле. То није реална ситуација, већ је резултат прорачуна, јер се од сваке добијене вредности електропроводности одузима базна и множи се са калибрационим фактором. То значи да такве вредности проистичу из начина одређивања базне електропроводности, о чему је било речи у ранијем тексту.

Исто тако, може се приметити да ови графици изгледају много горе него они који су добијени 19.01.2007, а било је очекивано да се добије нешто боље, што је и био разлог поновљених испитивања. Једини логичан закључак може бити да је хидраулика овог пута била много неповољнија за коришћење методе соли. Анализом добијених протока и посматрањем слика са мерног места, уочило се да постоји велика могућност да је дошло до формирања тзв. "Карманових вртлога". То значи да се вода рачва на две велике струје које се раздвајају и имају различите брзине кретања. У једном тренутку је једна струја израженија, а у наредном је друга. На слици 6.28. може се видети као се ток делио на два дела за време трајања ових мерења.



Слика 6.28: Изглед узбурканог дела водотока

Оно што је написано пре слике 6.28. најбоље се уочава када је једна сонда померена у средину тока, јер су тада разлике у добијеним протоцима огромне. Исто тако, у прва два мерења где су сонде постављене једна поред друге, добијене вредности у току једног мерења су приближно једнаке, али се у два различита мерења знатно разликују. На следећој слици дата је илустрација овог феномена.



Слика 6.29: "Карманови вртлози"

На слици 6.29, оно што је обојено зеленом бојом представља кретање једног вртлога, а оно што је обојено љубичастом другог. Они се непрестано смењују великом брзином.

Из свега овога се може закључити да је претпоставка о бољем мешању воде због препреке и вртлога који су се јавили била потпуно погрешна и да је изабрана лоша локација за примену ове методе.

## 6.2 Израчунавање протока Симпсоновим правилом

У овом делу биће анализирани само подаци са реке Студенице и то они који су добијени 12.09.2006. на два различита мерна места, од којих је једно знатно низводније од другог. За сва остала мерења то нема сврхе радити, јер се са дијаграма види да она нису поновљива и да су разлике у облицима "кривих" толико велике да се резултати неће много побољшати ако се употреби нека друга метода интегралнења кривих.

Метода интегралнења која је мало компликованија од трапезног правила, је Симпсоново правило. За разлику од трапезног правила које подразумева да се функција апроксимира линеарном кривом, Симпсоново правило ту исту функцију интерполује полиномом другог степена. Нека је на интервалу  $(a, b)$  функције  $f(x)$  дата равномерна подела на  $N$  подинтервала, при чему је  $N$  паран број. Посматрају се три узастопне тачке поделе  $x_i, x_{i+1}$  и  $x_{i+2}$ , односно два узастопна подинтервала. У овим тачкама функција има вредности  $y_i, y_{i+1}$  и  $y_{i+2}$ , Квадратна функција  $g(x)$  која пролази кроз ове три тачке функције  $f(x)$  гласи:

$$g(x) = y_i \frac{(x-x_{i+1})(x-x_{i+2})}{(x_i-x_{i+1})(x_i-x_{i+2})} + y_{i+1} \frac{(x-x_i)(x-x_{i+2})}{(x_{i+1}-x_i)(x_{i+1}-x_{i+2})} + y_{i+2} \frac{(x-x_i)(x-x_{i+1})}{(x_{i+2}-x_i)(x_{i+2}-x_{i+1})}.$$

Уколико се искористи чињеница да је подела равномерна, односно да је  $x_i - x_{i+1} = -\Delta x$ ,  $x_{i+1} - x_{i+2} = -\Delta x$  и  $x_i - x_{i+2} = -2\Delta x$ , добија се:

$$g(x) = \frac{1}{2\Delta x^2} (y_i(x^2 - x(x_{i+1} + x_{i+2}) + x_{i+1} \cdot x_{i+2}) - 2y_{i+1}(x^2x(x_i + x_{i+2}) + x_i \cdot x_{i+2}) + y_{i+2}(x^2 - x(x_i + x_{i+1}) + x_i \cdot x_{i+1}))$$

Интеграцијом ове функције у границама од  $x_i$  до  $x_{i+2}$  добија се да је:

$$\int_{x_i}^{x_{i+2}} g(x) dx = \frac{\Delta x}{6} (y_i + 4y_{i+1} + y_{i+2}).$$

Интеграл у границама од  $a$  до  $b$  функције  $f(x)$  може се добити сабирањем  $N/2$  интеграла облика функције  $g(x)$  (за сваки пар интервала по један интеграл). На тај начин добија се апроксимација функције  $f(x)$  општим Симпсоновим правилом:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{\Delta x}{3} (y_1 + 4y_2 + y_3 + y_3 + 4y_4 + y_5 + \dots + y_{N-2} + 4y_{N-1} + y_N), \text{ односно}$$

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{\Delta x}{3} (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + \dots + 2y_{N-2} + 4y_{N-1} + y_N).$$

Уколико се, сада, као вредности функције уместо  $y_i$  убаце добијене вредности електропроводности и у формули за проток се интеграл  $I_1$  решава Симпсоновим правилом, тако да  $n$  представља половину целокупног временског интервала добија се:

$$I_1 = \frac{1}{3} (EC_0 + 4(EC_1 + EC_3 + \dots + EC_{2n-1}) + 2(EC_2 + EC_4 + \dots + EC_{2n-2}) + EC_{2n}), \text{ односно}$$

$$I_1 = \frac{1}{3} (EC_0 + 4 \sum_{i=1}^n EC_{2i-1} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} EC_{2i} + EC_{2n}).$$

Користећи ово правило, проток се израчунава као:

$$Q = \frac{M}{k \times \left( \frac{1}{3} (EC_0 + 4 \sum_{i=1}^n EC_{2i-1} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} EC_{2i} + EC_{2n}) - N \times EC_b \right)}.$$

Када је Симпсоново правило примењено на резултате који су добијени на реци Студеници, на узводнијем мерном месту добијен је проток од 2150.05l/s, а на низводнијој деоници 2232.09l/s. Све величине које су неопходне за израчунавање протока коришћене су на исти начин као и раније. Међутим, ово правило дало је мало већи проток на узводнијој деоници, а нешто мању вредност на низводнијој него што је било израчунато трапезним правилом. То значи да су се вредности протока приближиле једна другој и релативна грешка добијеног протока на низводнијој деоници у односу на узводнију се смањила и сада износи 3.81%. Ово није неко значајно смањење грешке, али се може закључити да је апроксимација интеграла Симпсоновим правилом мало боље решење од оног које је употребљено у софтверу који су понудили Норвежани који су и радили та испитивања.

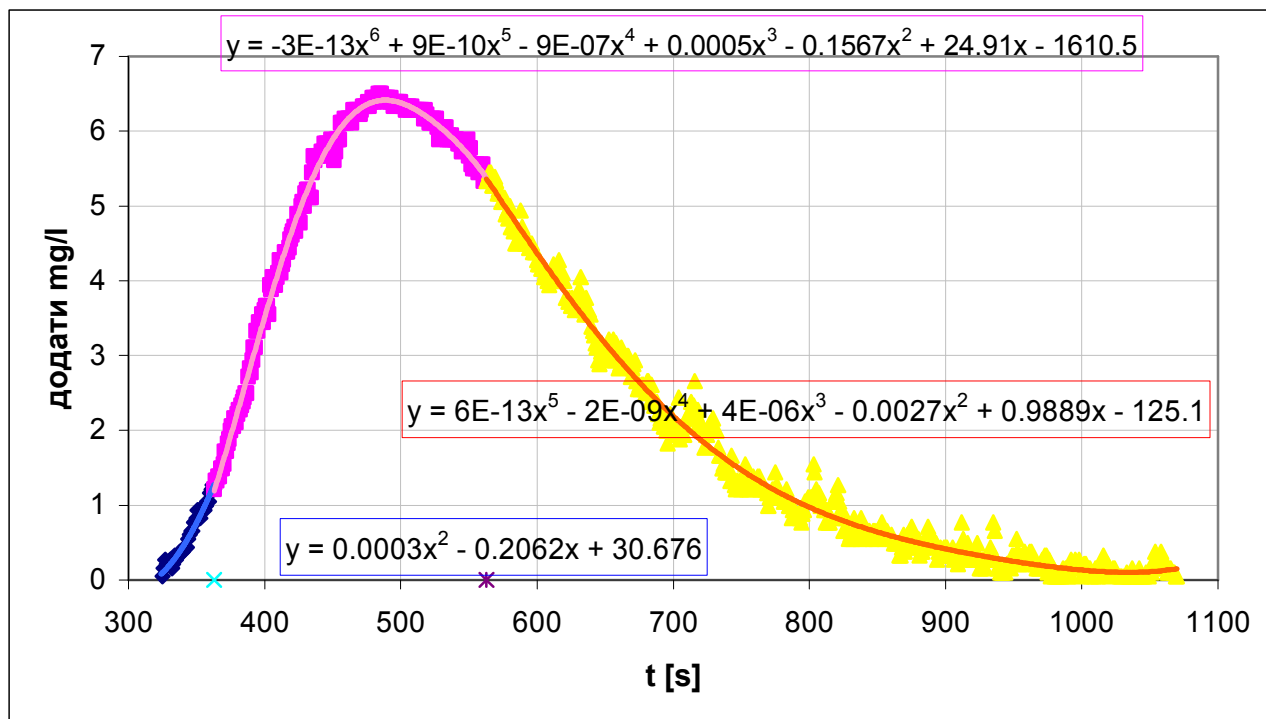
## 6.3 Покушај уклањања шума

Посматрајући резултате са Топчидерске реке види се да су осцилације између појединих мерења јако велике, тако да се оне не могу назвати шумом и неће бити обрађиване у овом поглављу. Зато је и овде рађена анализа података са реке Студеница добијених 12.09.2006. године.

Питање које се поставља јесте, из ког разлога се уопште јавља шум. Највероватнији разлог је немогућност инструмента да аутоматски изврши читање, па добијене вредности варирају око тачне. Исто тако, вредност електропроводности увек мало варира око неке вредности што се може видети при снимању базе. Из овога следи да се све очитане вредности

заједно могу апроксимирати неком глатком кривом. Овде је то урађено тако што је глатка крива формирана од неколико полинома који се касније могу интегралити у одређеним границама и на тај начин се површина испод кривих аналитички израчунава.

Да би било лакше решити интеграле, очитане вредности електропроводности пребачене су у додату концентрацију соли. На слици 6.30. приказана је апроксимација полиномима добијених резултата на низводнијој деоници.



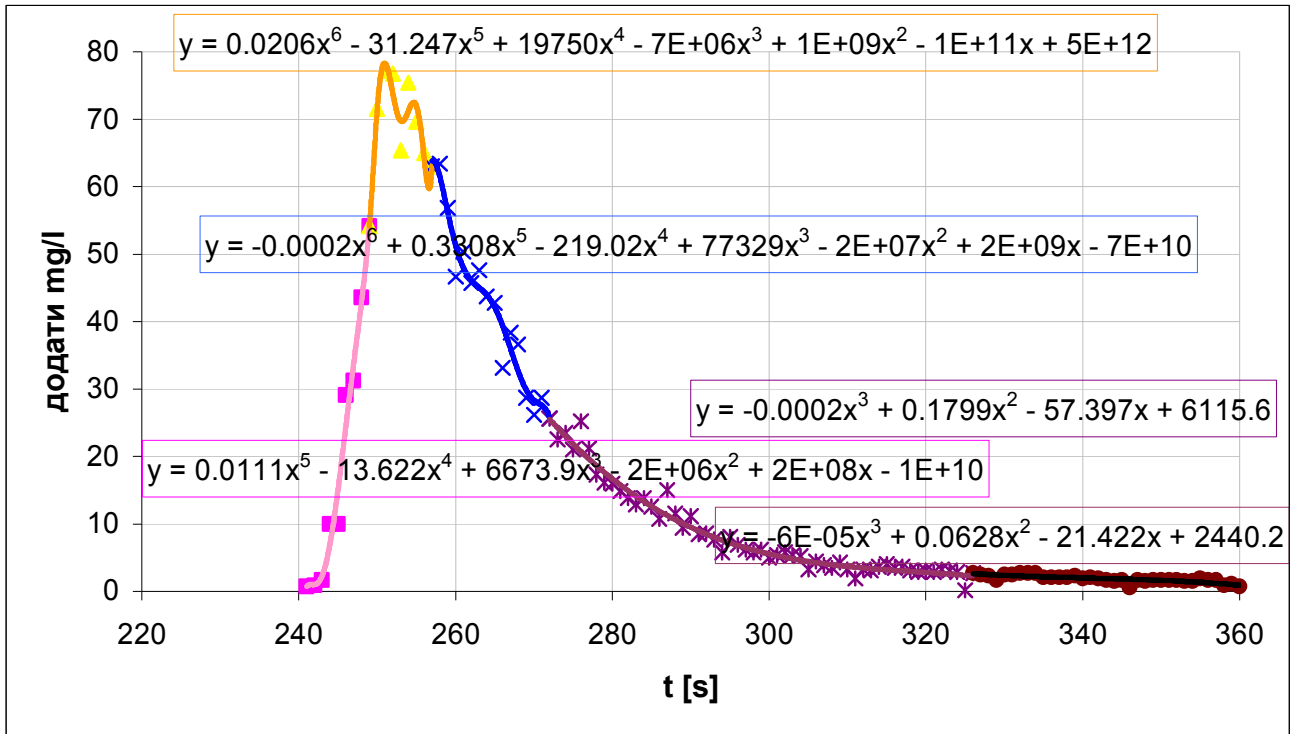
Слика 6.30: Низводна деоница – апроксимација полиномима

Границе важења сваког полинома понаособ обележене су различитим бојама и њихове формуле исписане су на слици. Као што се може видети, резултати са ове деонице апроксимирани су са три полинома, од којих први представља квадратну једначину, други је полином шестог степена, а трећи полином петог степена. Ови полиноми ће бити означени са  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  респективно. Површина испод графика израчуната је на следећи начин:

$$P = \int_{324}^{363} I_1 dx + \int_{363}^{563} I_2 dx + \int_{563}^{1070} I_3 dx, \text{ а вредност добијеног протока у овом случају износи } 2231.11/s.$$

Познато је да би се добиле мало другачије вредности уколико би се границе одредиле на други начин или би се апроксимација извршила полиномима другачијег степена од употребљених. Међутим, те разлике нису велике уколико се постигне добро слагање са задатим подацима.

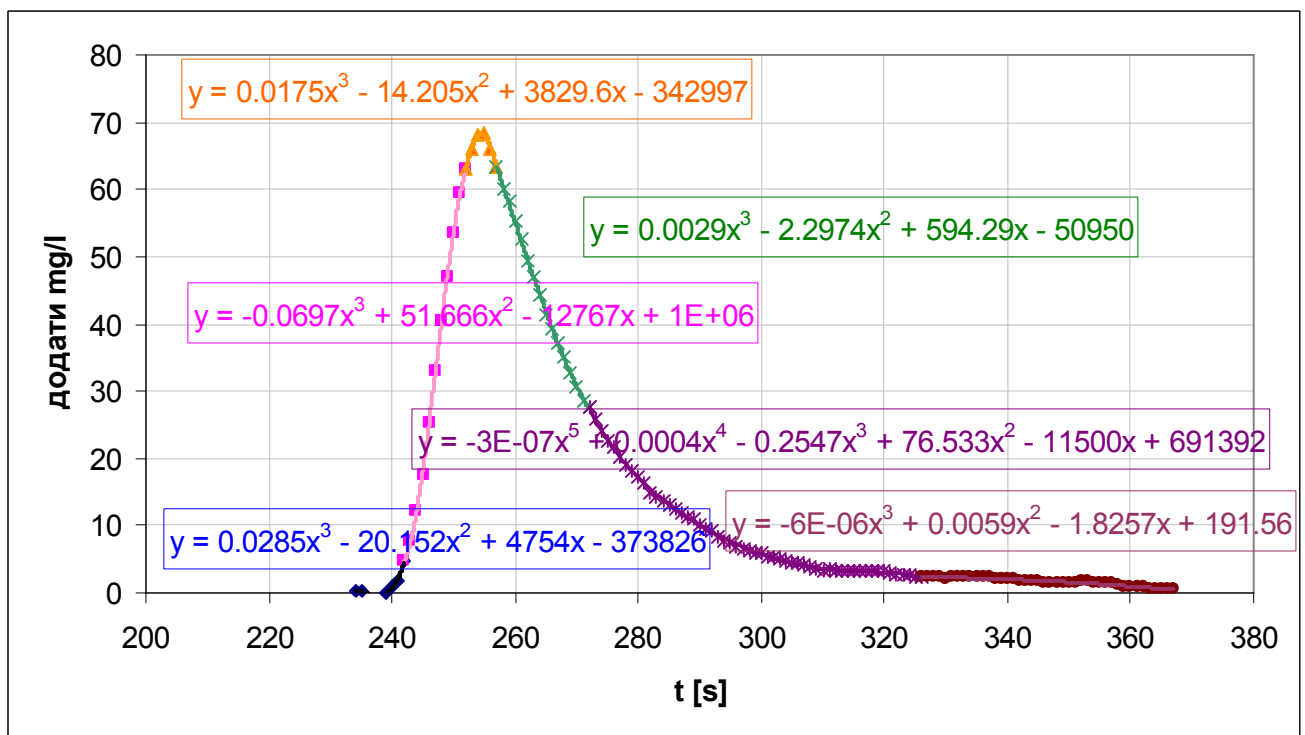
Код узводније деонице ситуација је доста компликованија. Добијени талас је шпицестији и "шум" је много израженији. Када су добијене вредности само апроксимиране полиномима који их најбоље описују, добијене су следеће криве:



Слика 6.31: узводна деоница – апроксимација полиномима

Објашњења су иста као и за претходни график, а полиноми ће поново бити обележени са  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  и  $I_5$  респективно. Површина се сада добија као:

$$P = \int_{241}^{249} I_1 dx + \int_{249}^{257} I_2 dx + \int_{257}^{272} I_3 dx + \int_{272}^{326} I_4 dx + \int_{326}^{367} I_5 dx$$
, а вредност добијеног протока је 2140.2l/s. Као што се види на слици 6.31. шум и даље постоји у гоњем делу графика. Због тога су добијене вредности прво померене за средњу вредност од 10 очитаних, а затим је таква крива апроксимирана полиномима. Ово је приказано на слици 6.32.



Слика 6.32: Узводна деоница – осредњавање

Изражена на исти начин као и раније, површина се израчунава као:

$$P = \int_{234}^{242} I_1 dx + \int_{242}^{252} I_2 dx + \int_{252}^{257} I_3 dx + \int_{257}^{272} I_4 dx + \int_{272}^{326} I_5 dx + \int_{326}^{367} I_6 dx$$

и проток добијен на овај начин износи 2139.7l/s. Овде се може приметити да није добијено никакво побољшање у односу на предходни поступак.

Разлика између вредности протока добијених на узводнијој и низводнијој чак је нешто већа него када је било употребљено Симпсоново правило нумеричке интеграције, али генерално, те вредности су врло сличне онима раније добијеним.

## 6.4 Разлика у интеграцији

Из свега што је обрађивано у овом поглављу, може се закључити да које год правило интеграције да се искористи за израчунање површине испод криве, добијају се сличне вредности протока. Из тога следи да је неважно која ће метода бити употребљена, па је с' тога најбоље користити трапезно правило, јер је оно најједноставније за употребу. Уколико се обаве добра мерења на терену, онда су грешке у интеграцији занемарљиве, а и велико је питање шта је уопште тачна вредност. Ако су резултати лоши, онда нема нема помоћи ни са једним правилом интеграције.

## 6.5 Поређење са протоком добијеним хидрометријским крилом

Када су у јануару вршена мерења, дана када нам се покварила скоро сва апаратура, на терену су били људи из РХМЗ-а и помоћу хидрометријског крила мерили брзине у току, на основу којих је израчунат проток. Добијени проток износио је 449l/s при водостају од 47cm. Њима је, наравно, био потребан и облик попречног пресека канала, тако да смо и тај податак добили.

Када су након два дана вршена мерења, која су и приказана у овом раду, ниво воде био је смањен за 1cm. Уз претпоставку да су хидрауличке карактеристике водотока остале непромењене, а нова површина попречног пресека добијена је смањењем нивоа на цртежу у AutoCAD-у, коришћењем Шези-Манингове једначине добијен је проток од 430l/s. Прво велико питање јесте да ли је пресек заиста добро нацртан, а друга ствар која је сигурно погрешна јесте да се нагиб линије енергије разликовао.

На овај начин, за мерења извршена у марту, добијен је проток од 535l/s. На основу површинских брзина, тада је процењен проток од око минимум 800l/s. Мерењима која су извршена, иако су веома лоша, добијене вредности су, ипак, много ближе овој другој.

## 7 Закључци

По мом мишљењу, метода соли би могла бити јако корисна уколико би се употребљавала у, за њу, одговарајућим условима. Пре свега, није компликована нити скупа, а добијени подаци се лако и брзо обрађују. Основни закључци који се могу извести из свега претходно приказаног јесу:

- \* Ову методу треба користити у брзим планинским токовима где је могуће потпуно мешање соли са водом из водотока по целој ширини попречног пресека на релативно краткој деоници.
- \* Базна електропроводност се не сме мењати за време мерења, она мора остати константна.
- \* Посебна пажња се мора обратити на избор мерног места и одређивање мерне даљине, односно треба бити веома пажљив при процени дужине мешања. На страни сигурности смо уколико се померимо што је низводније могуће.
- \* Ова метода није нарочито употребљива у јако задрљаним водотоцима, као што је Топчидерска река. Пливајући предмети ремете рад сонде, а и велика количина соли се може задржати на њима. У зависности од тога које супстанце "доплове" до мерног места у одређеном тренутку, може се променити вредност базне електропроводности.
- \* Треба бити изузетно обазрив са употребом све мерне опреме, као и код сваког дела мерења, почевши од прављења раствора до бацања соли, јер свака грешка у великој мери утиче на израчунате вредности протока.
- \* Треба проверити, да уколико постоји нека препрека која ремети ток и прави вртложно кретање низводно, какве су природе ти вртлози, тј. да ли помажу или одмажу мерења. Уколико постоји опасност да је њихов утицај негативан, треба избећи тај део тока.
- \* Најлакше је и сасвим довољно површину испод криве, коју формирају очитане вредности електропроводности израчунати трапезним правилом, јер се не добијају нека нарочита побољшања уколико се користе друге методе.

Све у свему, методом соли се могу направити јако грубе грешке, тако да она, у суштини, служи за процену протока, а не за одређивање његове апсолутно тачне вредности. То је углавном и довољно на водотоцима на којима би се она могла користити. Међутим, требало би урадити још мерења на локацијама одговарајућим за њу, па донети потпуније закључке.



# Прилог А

< Текст >

# Прилог Б

< Текст >

# Литература

< Автор >

< Название, год, итд. >