

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ



# СЕМИНАРСКИ РАД

ПРЕДМЕТ: МЕРЕЊА У ХИДРОТЕХНИЦИ

***МЕРЕЊЕ ПРОТОКА КИШНИЦЕ СА  
ДЕЛА КРОВА ИНСТИТУТА ЗА  
ХИДРОТЕХНИКУ (СИМУЛАЦИЈА У  
ЛАБОРАТОРИЈСКИМ УСЛОВИМА)***

Студенти:

Милошевић Марко

Мухић Филип

Стојиновић Петар

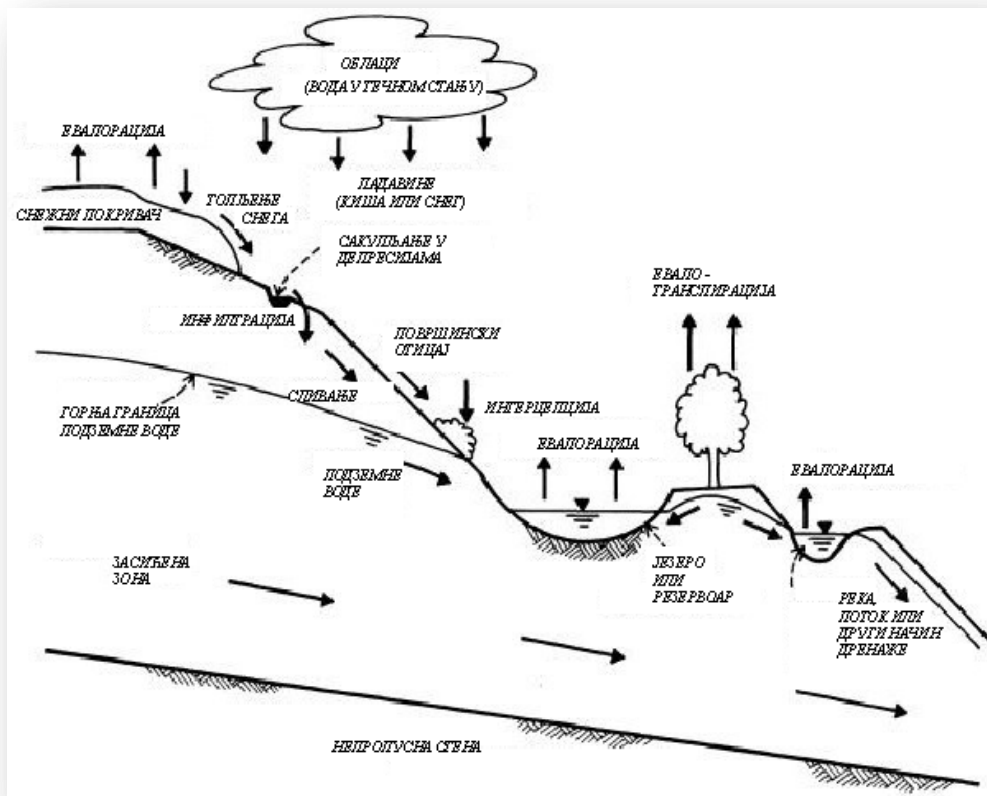
Младеновић Александра

## Садржај

1. УВОД.....	2
2. ОПИС ДИСПОЗИЦИЈЕ СИСТЕМА .....	4
3. ПЛАН РАДА.....	6
4. ИЗБОР МЕРНЕ КУТИЈЕ И ДИСПОЗИЦИЈЕ.....	7
.....	11
5. ДИСПОЗИЦИЈА АПАРАТУРЕ ПРИРОДА – ЛАБОРАТОРИЈА.....	13
6. КАЛИБРАЦИЈА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ МЕРИЛА ПРОТОКА Ø50mm (ДОЊЕ МЕРИЛО) .....	14
6.1 ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ .....	14
7. КАЛИБРАЦИЈА ЕМ – МЕРИЛА ПРОТОКА Ø38mm (ГОРЊЕ МЕРИЛО).....	19
8. КАЛИБРАЦИЈА ТОМСОНОВОГ ПРЕЛИВА.....	22
9. ПРОВЕРА ЈЕДНАЧИНЕ КОНТИНУИТЕТА.....	26
10. ЗАКЉУЧАК СА ПРЕДЛОГОМ РЕШЕЊА .....	28
11. ЛИТЕРАТУРА .....	29

# 1. УВОД

Кружење воде у природи је основни процес који регулише промене унутар животне средине од кога зависи целокупан живот на Земљи. Познавање овог комплексног процеса захтева и познавање његових појединачних делова, као и механизме путем којих промене унутар једног дела утичу на промене осталих делова и целог процеса. Последњих деценија расте потреба за познавањем и контролом утицаја који људско друштво има на животну средину и на кружење воде као његов интегрални сегмент .

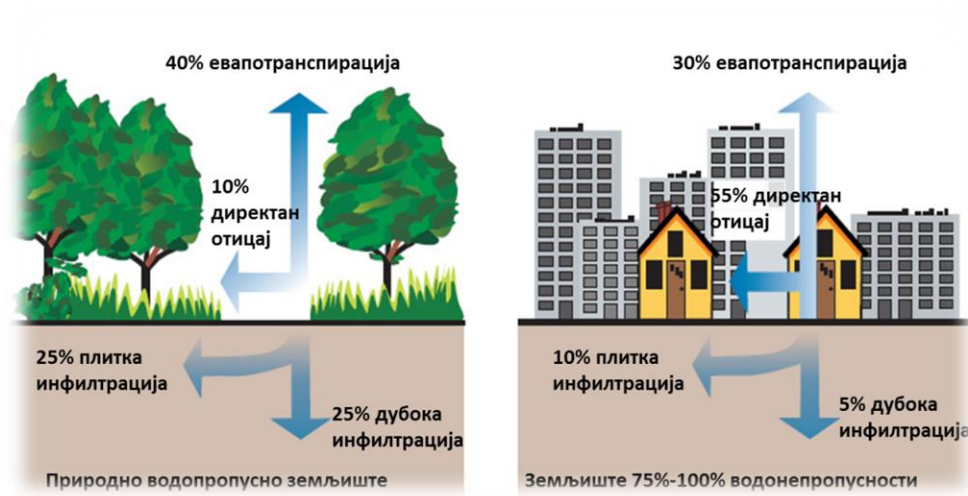


Слика 1. Приказ појединих елемената хидролошког циклуса

Битан део овог процеса чини кишни отицај, пре свега отицај са урбаних површина, које су место живота највећег броја људи на планети. Студије прављене за потребе Организације УН, показују да се проценат урбане популације попео на 50%, а да он у развијеним земљама достиже цифру и од 80%.

У урбаним срединама, због повећаног учешћа непропусних површина, долази до великих промена у хидролошком циклусу, које се првенствено огледају у повећању површинског отицаја, док се количина инфилтриране и воде изложене испаравању смањује. Као што је приказано на слици 2., мења се и процентуални удео појединих компоненти биланса урбаних зона у односу на неко природно стање. Најдрастичнија је, при томе, промена површинског отицаја (повећана са 10% на 55%), што изискује

посебну пажњу при мерењу те величине, јер њена адекватна квантификација смањује могућност



Слика 2 . Утицај урбанизације на количину кишног отицаја

грешке при димензинисању дренажних и канализационих система.

Отицај у урбаним зонама чине отицаји са саобраћајница, са кровова и са зелених површина, и они се одвојено посматрају због различитих врста загађења која се у њима налазе, односно параметара квалитета који се мере.

Квалитет воде која отиче, директан је показатељ човековог утицаја, при чему се он увек сагледава у односу на квантитет, јер се као параметар утицаја дефинише концентрација одређене материје (загађења). Због тога је потребно познавање квантитета кишнице, а основни показатељ квантитета је проток.

Овај рад се бави пројектовањем и испитивањем система за мерење протока кишнице и то оног дела урбаног кишног отицаја који се односи на отицај са кровова, где се као репрезентативан узорак користи део крова Института за хидротехнику.

## 2. ОПИС ДИСПОЗИЦИЈЕ СИСТЕМА

Локација: Булевар Краља Александра 73, Београд, Србија

Део крова Института за Хидротехнику површине  $100 \text{ m}^2$



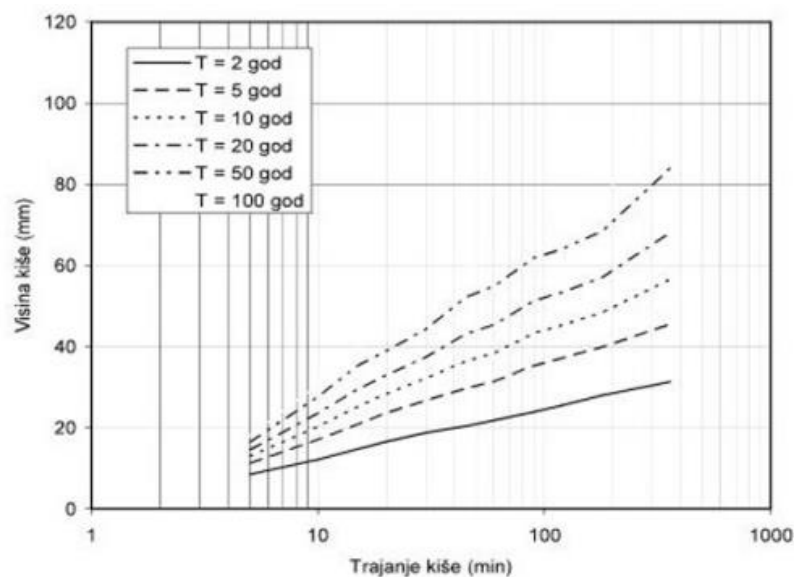
Слика 3. Део крова Института за хидротехнику површине  $100 \text{ m}^2$  који служи као репрезентативан узорак за анализу протока кишнице са кровова

Прорачун отицаја са крова урађен је применом рационалне методе и коришћењем постојећих крива зависности интензитет – падавине – трајање. Повратни период кише који је коришћен у прорачуну је 2 године, јер то одговара правилима пројектовања канализације за атмосферску воду у подручјима малог ризика.

Претпостављено је да је коефицијент отицаја  $c = 1$  (тј. да се сва количина кишнице претвара у отицај).

За одређивање граница у којима ће се дефинисати протоци за димензионисање мерне кутије коришћено је неколико критеријума.

Одређивање максималних протока обављено је коришћењем података са криве зависности висина кише - трајање кише - повратни период за плувиографску станицу Београд-Врачар, која је дата на слици 4.



Zavisnost HTP za pluviografsku stanicu Beograd-Vračar (period obrade 1925-1989); izvor: Institut za hidrotehniku (1990)

Слика 4. Криве зависности висина кише - трајање кише - повратни период за pluviografsku stanicu Beograd-Vračar

За претпостављена времена трајања кишеповратног периода  $T = 2$  године, са дијаграма на слици 4, одређена је вредност укупних падавина  $P$  [mm], а из њих и вредности интензитета кише  $i$  [mm/min], коришћењем формуле

$$i = \frac{P}{t}$$

За вредности површине крова  $A=100\text{m}^2$  и коефицијента отицаја  $\approx 1$ , коришћењем формуле за укупан отицај

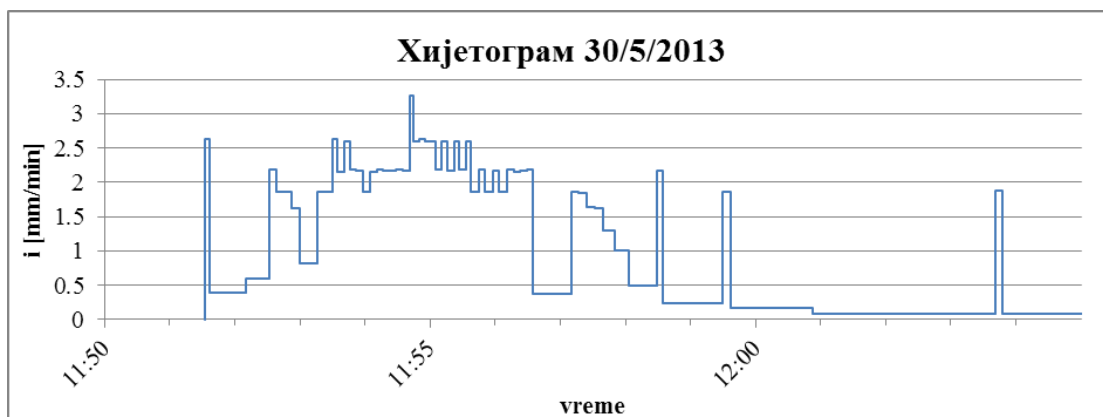
$$Q = i \cdot c \cdot A$$

добијене су вредности укупног отицаја  $Q$  [l/s]. Резултати прорачуна приказани су у табели 1.

Трајање кише	$t$ [min]	5	10	15	20
Укупне падавине	$P$ [mm]	9	13	15	18
Интензитет кише	$i$ [mm/min]	1.8	1.3	1.0	0.9
Укупанотицај	$Q$ [l/s]	3.00	2.17	1.67	1.50

Табела 1.Прорачун отицаја са дела крова ИХ од киша различитог трајања, повратног периода  $T = 2$  године

Као што је приказано у табели 1, на основу анализа просечних киша за Београд, повратног периода  $T=2$  године, одређен је максимални проток од 3 l/s. Међутим, анализа је спроведена и за кишну епизоду дана 30.5.2013., која је установљена као изузетан догађај, и мерена је кишомером постављеним на самој локацији (двориште Института за хидротехнику). Резултат осматрања дат је хијетограмом на слици 5.



Слика 5. Хијетограм интензитета падавина током једне кишне епизоде дана 30/5/2013 (осмотрено на експерименталном полигону Грађевинског факултета, А. Годоровић)

На основу читавања у 11:55 (слика 5.), одређен је изузетан интензитет од 3.25 mm/min, који би на површини крова изазвао отицај од 5.4 l/s. Проток од 5.4 l/s ће послужити као гранични, да би се испитало како се мерни систем понаша у изузетним околностима.

Обзиром да минимални мерни проток није био прецизно дефинисан, нити постоје претходне анализе квалитета кишнице, а на основу феномена првог отицаја (“firstflush”) који уједно и носи највећу концентрацију и масу загађења, усвојен је критеријум за минимални проток и захтевано је да мерни систем са довољном тачношћу мери проток од 0.02 l/s. Дакле, опсег протока који ће се испитати је од 0.02 до 3.5 l/s уз проверу понашања система при већим протоцима, до 5 l/s.

### 3. ПЛАН РАДА

- Израда мерне кутије према усвојеном решењу и њено постављање
- Калибрација ЕМ мерила (доњег)
- Калибрација ЕМ мерила (горњег)
- Калибрација Томсоновог прелива
- Провера једначине континуитета
- Праћење промена и меморисање података
- Обрада резултата мерења

#### 4. ИЗБОР МЕРНЕ КУТИЈЕ И ДИСПОЗИЦИЈЕ

Пошто стандардизована мерна опрема за овај тип мерења не постоји, дата је препорука како ће бити повезани мерни уређаји и урађено је претходно испитивање варијанти мерне кутије. Предвиђено је да ће бити усвојена она варијанта која ће у дефинисаном опсегу протока обезбедити у хидрауличком смислу стабилну струјну слику, мерење без флукуација и вртлога и упоређивањем резултата мерења дати најмању релативну грешку.

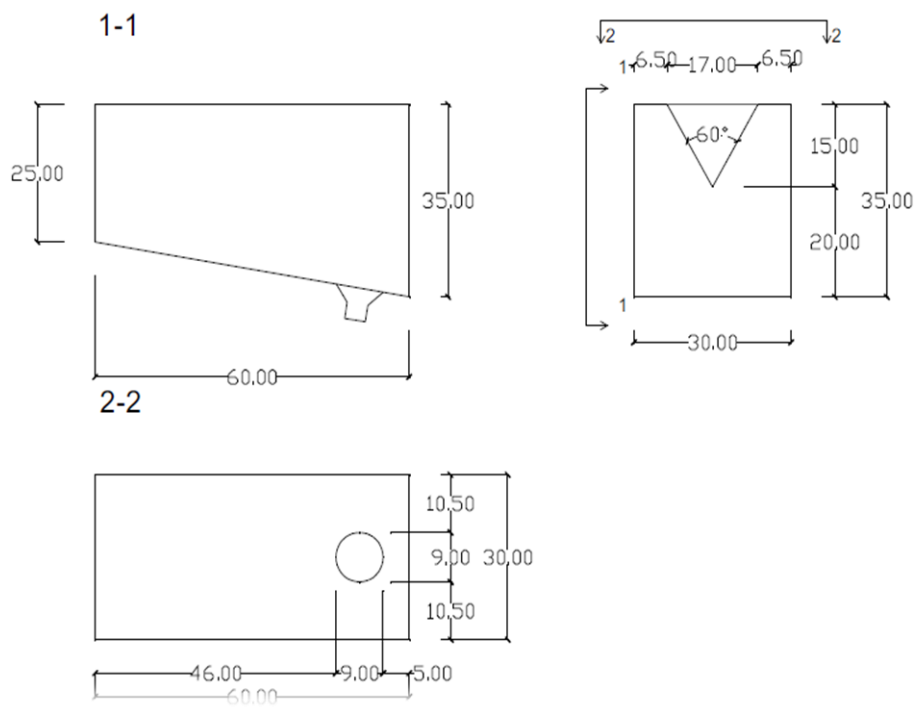
Сва испитивања су моделирана у лабораторијским условима и следећа фаза израде (која тек предстоји) је постављање целе опреме на позицију испуста олука поменутог дела зграде Института за хидротехнику.

Идејним решењем предвиђено је постојање мерне кутије са закошеним дном, кроз коју би при малим протоцима вода отицала кроз отвор на дну, при чему би протицај био мерен електромагнетним мерилом протока, док би при већим протоцима постојало комбиновано отицање кроз отвор на дну и преко Томпсоновог прелива. Другим елетромагнетним мерилом био би мерен проток пре уласка у кутију.

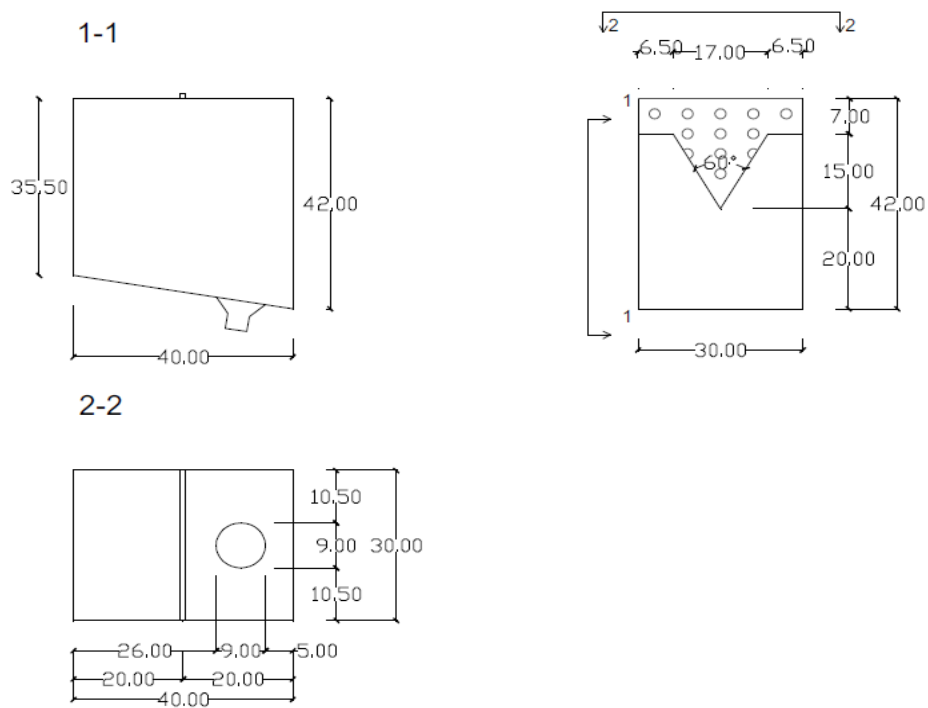
Мерна кутија је претходним испитивањима имала три варијанте:

1. Са закошеним дном, димензија 60 x 30 x 35 (25) cm и троугаоним преливом(слика 6.)
2. Са закошеним дном, димензија 40x 30 x 42 (35,5) cm, троугаоним преливом и умиривачем енергије (слика 7.)
3. Са закошеним дном, димензија 40x 30 x 42 (35,5) cm, троугаоним преливом, умиривачем енергије и бочним крилима којима је смањена расположива запремина кутије (слика 8.)

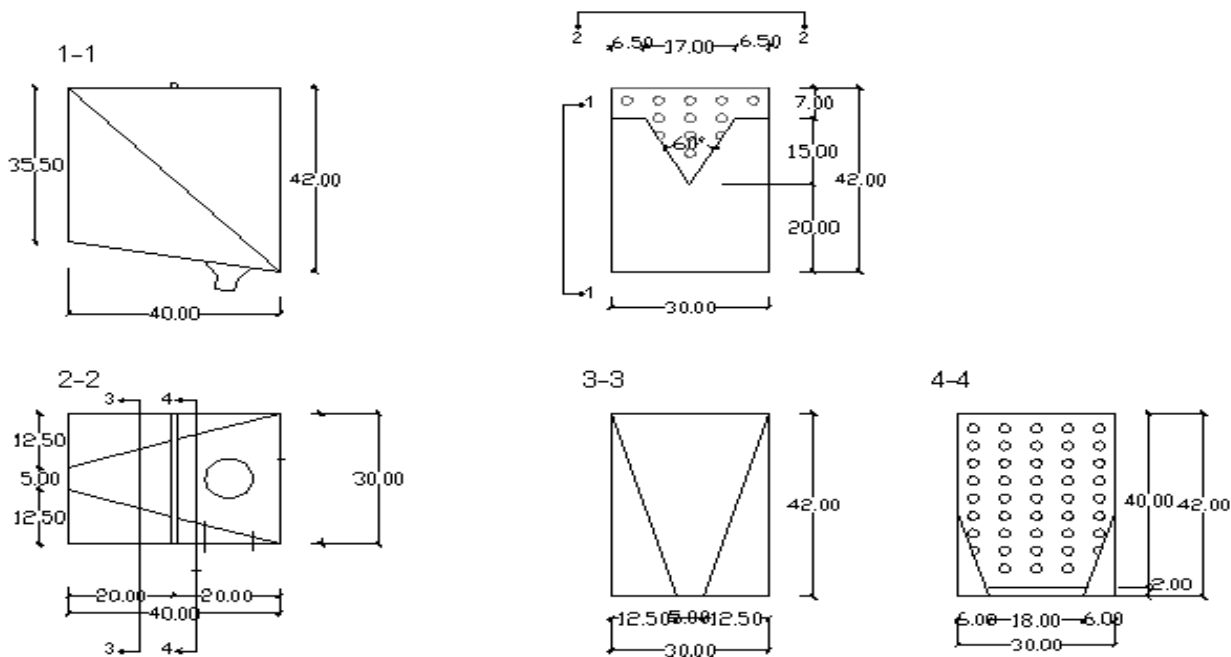




Слика 6. Варијанта 1

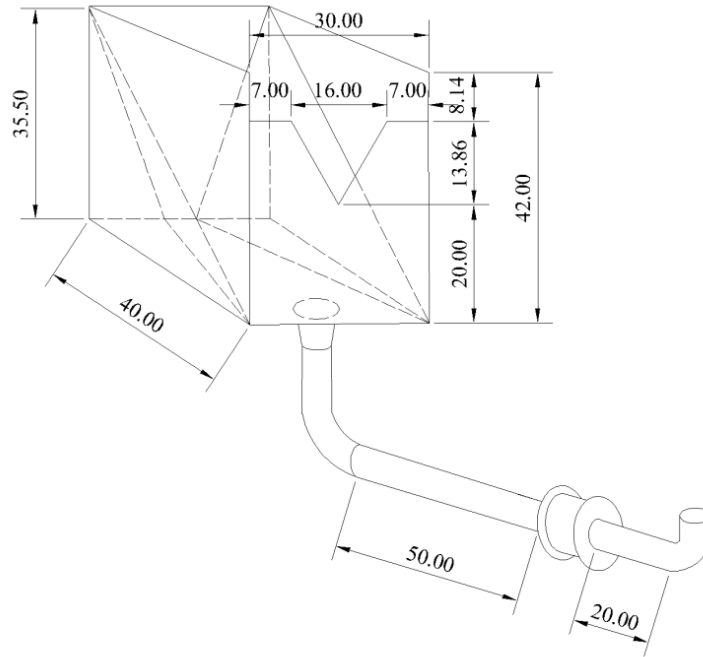


Слика 7. Варијанта 2

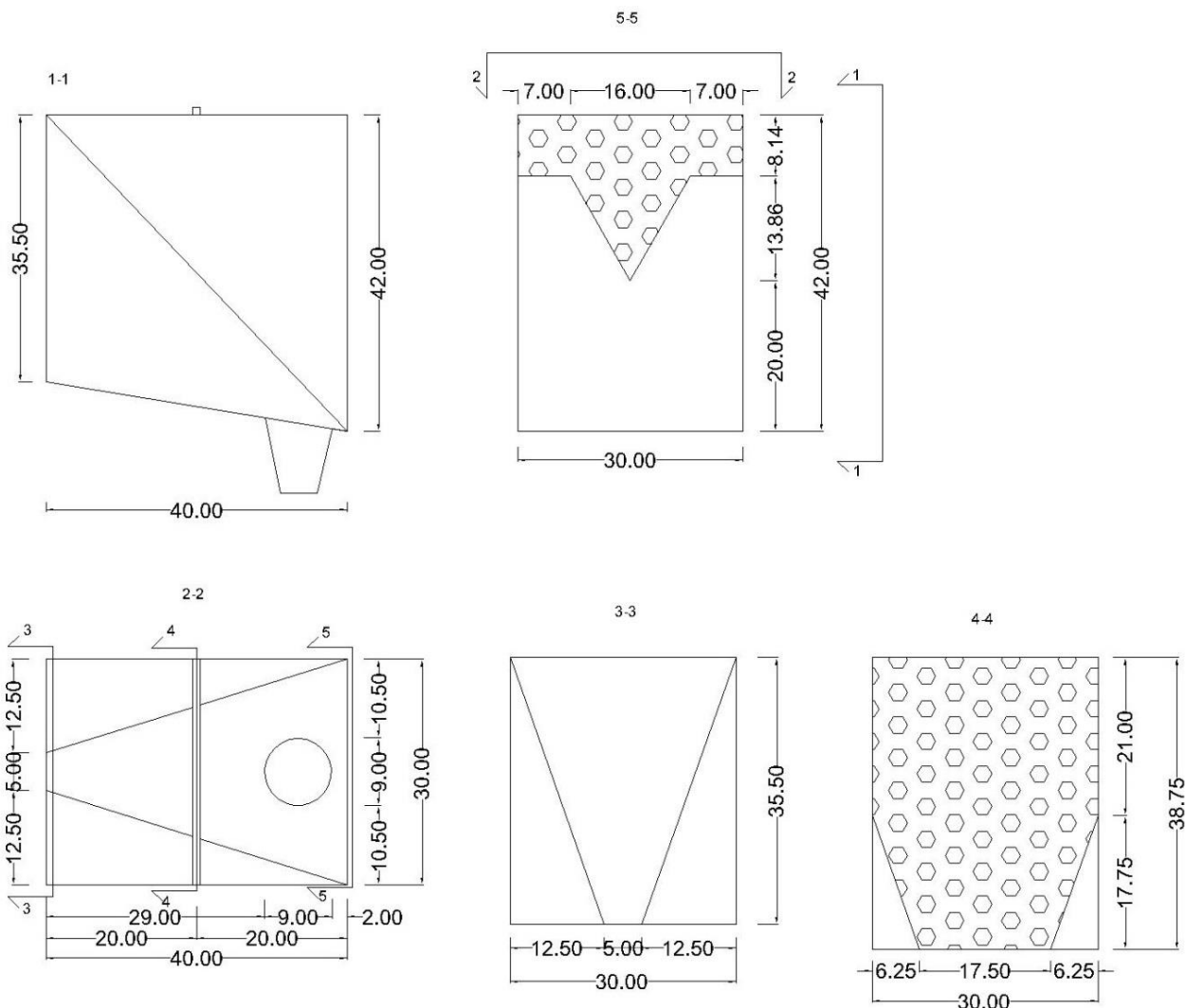


Слика 8. Варијанта 3

Коначним усвојеним решењем предвиђена је израда мерне кутије која ће на једном свом крају имати троугаони прелив са углом  $\alpha=60^0$ , а на дну кутије ће бити кружни отвор пречника 90 mm и конусно сужење на 50 mm на које се качи црево пречника 50 mm којим се вода спроводи ка ЕМ мерилу протока. Течење под притиском било би обезбеђено издизањем излива на одређеном растојању иза ЕМ мерила протока. (Слика 9).



Слика 9. Приказ мерне кутије (делова од метала) у изведеном стању  
На наредној слици дата је **усвојена диспозиција** мерне кутије са свим пресецима и димензијама. Овај цртеж је коришћен у консултацијама са мајсторима и мерна кутија је израђена.



Слика 10: Усвојена диспозиција мерне кутије која је коришћена у даљем раду

Такође превиђено је да усвојена варијанта кутије буде изведена са умиривачем енергије који је у претходним испитивањима био израђен од плексигласа отворима величине  $\varnothing 8\text{mm}$ . Умиривач је требао да обезбеди да преливање преко Томпсоновог прелива буде што мирније, мерење висине преливног млаза прецизније и тиме мерење протока тачније. Конструисана су и „бочна крила“. Све је то омогућило смањење почетних димензија мерне кутије и смањење њене запремине, што је био циљ пројектовања. Умиривач је требао да буде фиксиран на половини дужине мерне кутије како је то приказано сликом 10 на пресеку 2-2.

Планирано је да вода у кутију буде доведена вертикалном цеви која симулира олуку, а цев је цревом прикачена на хидрант са затварачем. Затварачем се на хидранту регулишу протоци који иду кроз систем.

Изrada кутије извршена је у радионици Института за хидротехнику од челичног лима у задатим димензијама. Једина модификација учињена на њој је ширина отвора у круни

Томпсоновог прелива, што је незнатно променило (смањило) геометрију самог прелива без промене геометрије саме кутије. Разлог је био искоришћење већ постојећег месинганог В профила. Извене димензије металног дела кутије дате су на слици 11.

Такође није прављен нови умиривач енергије, већ је искоришћен постојећи од плексигласа, који је само фиксиран у металну кутију.



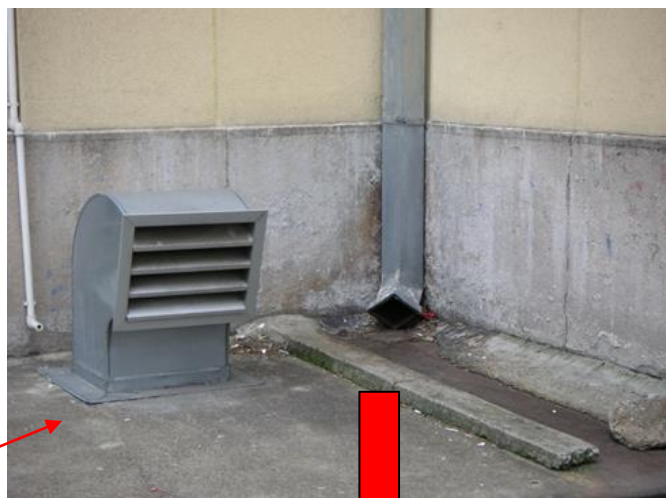
Слика 11. Првобитна и финална верзија кутије са фазонским елементима



Слика 12. Изглед кутије пред почетак мерења



## 5. ДИСПОЗИЦИЈА АПАРАТУРЕ ПРИРОДА – ЛАБОРАТОРИЈА



Слика 13: Диспозиција апаратуре: 1 – у природи; 2 – у лабораторијским условима

## 6. КАЛИБРАЦИЈА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНОГ МЕРИЛА ПРОТОКА Ø50mm(ДОЊЕ МЕРИЛО)

Да би се мерење протока тачно извело, врши се калибрација електромагнетног давача протока (мерила) типа EM-DN50 NP10, коју врши продавац мерне опреме процедуром сагласном стандардима. То мерило је предвиђено да буде повезано на испусту мерне кутије, па се отуда за њега користи термин „доње“. Посебном се процедуром, у односу на њега, потом калибрише електромагнетно мерило протока Ø38mm које ће бити постављено на довод из хидранта којим се симулира доток воде из олука са крова зграде. Оно ће у наредном излагању бити означено као „горње“. (Слика 24)

### 6.1 ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Мерење електромагнетним мерилом протока заснивано је на особини електропроводљивости воде, јер у реалним ситуацијама увек постоји довољна количина суспендованих супстанци које могу бити носиоци електричне струје. Треба напоменути да би ЕМ мерилом протока, било потпуно онемогућено мерење у дестилованој води.

Физичка релација на основу које добијамо везу брзине тока и електричног напона (индуковане електромоторне силе) која се читава на мерном уређају (логеру), изведена је из Фарадејевог закона електромагнетне индукције за случај кретања праволинијског проводника у магнетном пољу и дата је формулом:

$$\varepsilon = B \cdot v \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$l$  – дужина проводника који се креће

$v$  - брзина којом се креће

$B$  – ЕМ индукција

$\alpha$  – угао који заклапају вектори  $B$  и  $v$ , у нашем случају  $\alpha = 90^\circ$

$\varepsilon$  – индукована електромоторна сила (напон)

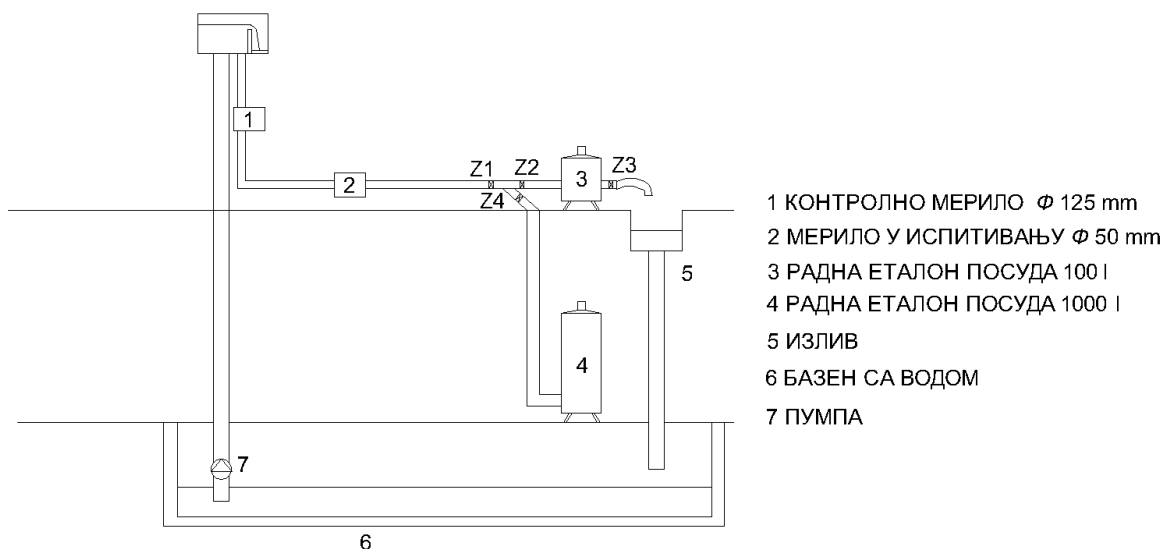
Проблем који калибрацијом треба да решимо је пронажење осредњене брзине на профилу цевовода на коме постављамо мерни уређај да би се преко ње одредио проток. Брзина тока у попречном пресеку цевовода под притиском, у појединим тачкама, није једнака. Код ламинарног течења однос средње и максималне брзине је 1:2, брзина у центру цеви је 2 пута већа него средња. Код турбулентног зависи од Рејнолдсовог броја, иде од 1,12 до 1,15 или 1,17 у односу на средњу брзину. При испитивању апаратуре претпоставља се (циљ је) да је развијено турбулентно течење, тј. да је Рејнолдсов број велики (већи од 2500). Пошто се проток дефинише као интеграл брзине управно на попречни пресек, ни један уређај не може да уради то интегралчење,

па се калибрацијом „штелује“ дауређај да тачан напон за ламинарно течење, као и за турбулентно и да са добром тачношћу ради у прелазном режиму.

Потребна опрема за калибрацију је:

- ЕМ мерило протока које се испитује
- Радна еталон посуда запремине 100 л
- Радна еталон посуда запремине 1000 л
- Рачунар повезан са логером
- Контролно мерило на коме је већ извршена калибрација
- Пратећа опрема и инсталације (цеви, затварачи, пумпа, преливи, изливни базен)

Шема повезивања опреме за калибрацију дата је на слици 14.



Слика 14. Шема апаратуре повезане за калибрацију мерила у испитивању  $\Phi$ 50mm

Метода којом се врши калибрација помоћу радних еталон посуда спада у волуметријске методе. Њима се мери запремина воде која протекне кроз мерило и напуни еталонску посуду. Еталон посуде су велике мензуре специјалне конструкције (сужења на врату посуде), на коме се прецизно одређује полазна и крајња тачка мерења, и тиме постиже мала мерна неизвесност која се креће у границама од  $[(dV)/(V)] = 0.05 \%$ . Вентилима Z1, Z2, Z3 и Z4 се задат је радни проток и отворан/затворан систем. Испред и иза испитиваног мерила (2) обезбеђено је постојање деонице правога цевовода истог пречника као и мерило (дужине обично  $20 D$  и  $5 D$ ). На контролном мерилу (1) се проверава тренутни проток. Цео систем мора бити повезан тако да вода после пумпања из резервоара иде прво до специјално конструисаног прелива на коме се одржава константна  $\Pi$  кота, при чему довољна висина надслоја воде на преливу онемогућава увлачење ваздуха у систем. Такође, се због могућих грешака мора водити рачуна о оријентацији ЕМ мерила протока и постављању његових електрода у правилан положај



да би се избегле системске грешке настале због лоше оријентације и евентуалне појаве ваздуха у цеви истовремено.

Пуњење еталон посуде траје обично 2-4 min, а прописано време пражњења од тренутка када престане да тече млаз воде на изливу. Упореди се очитана и протекла запремина на испитиваном мерилу (не проток) са запремином у еталон посуду. Мерење се обично спроводи за три вредности тренутних протока који би требало да одговарају вредностима од  $0.1Q_{MAX}$ ,  $0.5Q_{MAX}$  и  $Q_{MAX}$ .

Калибрацијом се параметри доводе у корелацијску зависност онога што покаже радна еталон посуда са оним што покаже логер. Она би, следећи образац за везу између  $v_{ис}$ , требала да буде линеарна без обзира на вредност протока и да покаже добру запремину, међутим те везе нису увек идеално линеарне. Постоје мала одступања, па је калибрација рађена на више протока и поновљена више пута, да би се установило одступање чак и у случајевима када је обезбеђено поклапање у појединим зонама. То одређује декларисање мерила на одређену тачност. За магнетно индуктивна мерила нека стандардна мера тачности је 0,5 % за брзине од 0,5 m/s.

Подаци унешени у логер, обрађени софтвером приказани су на сликама 15 и 16.

	A	B
1213	222. IF DRDY == 0 GOTO 231.	
1214	223. IF C2 < 0 GOTO 226.	
1215	224. IF NAME > 48 GOTO 226.	
1216	225. LPRINT -3	
1217	226. IF P5 > 0 GOTO 231.	
1218	227. Y2 = 0	
1219	229. C2 = -30	
1220	230. Y4 = 0	
1221	231. IF D0 == 1 GOTO 240.	
1222	232. IF NEXT > 16 GOTO 239.	
1223	233. IF D8 == 1 GOTO 240.	
1224	234. IF NEXT == 11 GOTO 240.	
1225	235. IF NEXT == 6 GOTO 240.	
1226	236. IF NEXT == 15 GOTO 239.	
1227	237. IF IN0 == 0 GOTO 240.	
1228	239. NEXT = 0	
1229	247. PAGE = 0	
1230	248. IF Y5 == P21 GOTO 251.	
1231	249. IF Y5 == P19 GOTO 251.	
1232	250. Y5 = P20	
1233	}	
1234		
1235	Q= 7.6 L/s Ve=1000.7L Vm = 1001.1L	
1236	Q= 1.02 L/s Ve = 99.9 Vm = 99.9 L	
1237	Q= 0.12 L/s ve = 99.98 Vm = 99.8	
1238		

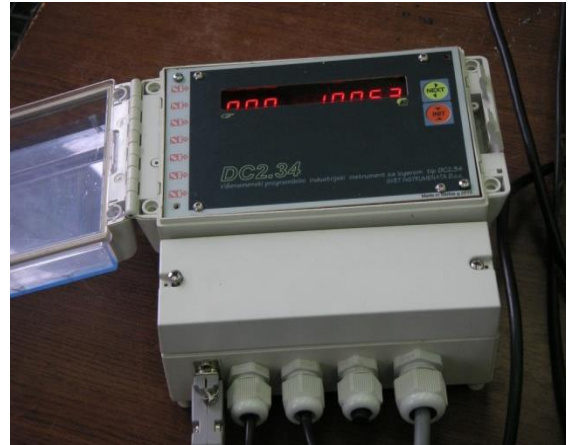
Слика 15. Приказ софтвера коришћеног за обраду података



Слика 16. Калибрациони дијаграм зависности осредњене брзине тока од електродног напона

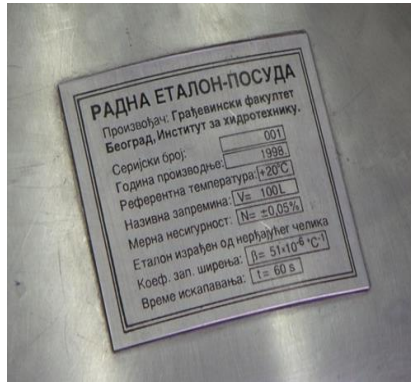


Сл.17. Електромагнетни давач протока  
Тип: EM-DN50 NP10



Сл. 18 Вишенаменски програмабилни  
индустрijски инструмент са логером  
Тип: DC 2.34

Изглед еталон посуда дат је на следећим сликама.



Слика 19. Мала еталон посуда са спецификацијом и детаљима



Слика 20. Велика еталон посуда

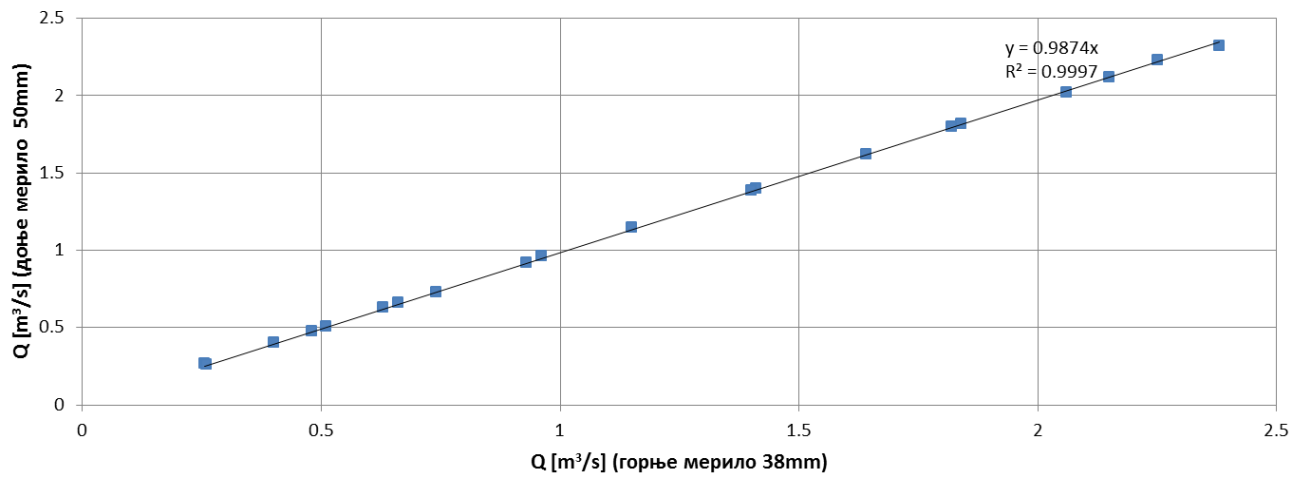
## 7. КАЛИБРАЦИЈА ЕМ – МЕРИЛА ПРОТОКА Ø38mm (ГОРЊЕ МЕРИЛО)

На основу већ калибрисаног доњег мерила протока (мерило низводно од кутије, обележено бројем 4 на слици 24) извршена је калибрација горњег мерила (низводно од хидранта, обележено бројем 2 на слици 24). Сама калибрација је вршена тако што је се преко хидранта упуштао одређени проток у систем и вршило се читавање на овом и већ калибрисаном мерилу протока (доњемерило). Измерени протоци на мерилима приказани су у табели.

Калибрација горњег ЕМ-мерила 38mm		
мерење	горње мерило Q[l/s]	доње мерило Q[l/s]
1	2.38	2.32
2	2.15	2.12
3	2.06	2.02
4	1.82	1.8
5	1.64	1.62
6	1.41	1.4
7	1.15	1.15
8	0.93	0.92
9	0.66	0.66
10	0.51	0.51
11	0.4	0.405
12	0.255	0.27
13	2.25	2.23
14	1.84	1.82
15	1.4	1.39
16	0.96	0.96
17	0.74	0.73
18	0.63	0.63
19	0.48	0.48
20	0.26	0.26

Након забележених очитаних вредности урађена је графичка интерпретација зависности протока на мерилима и тако добијен коначан резултат, тачније циљ калибрације где је одређена зависност протока на доњем од протока на горњем мерилу. Уз све је важно напоменути да су вредности очитаване након што се проток устали. Такође, подразумева се да је сав проток ишао кроз доњи мерач и да није било „дељења протока“, где би део истог ишао преко Томпсоновог прелива.

### Калибрација горњег ЕМ-мерица 38mm



Слика 21: Графички приказ зависности протока на мерилима

На основу цртања графика, добијена је и коначна зависност:

$$\text{график: } Q_{\text{ДОЊЕ МЕРИЛО}} = 0.9874 * Q_{\text{ГОРЊЕ МЕРИЛО}}$$

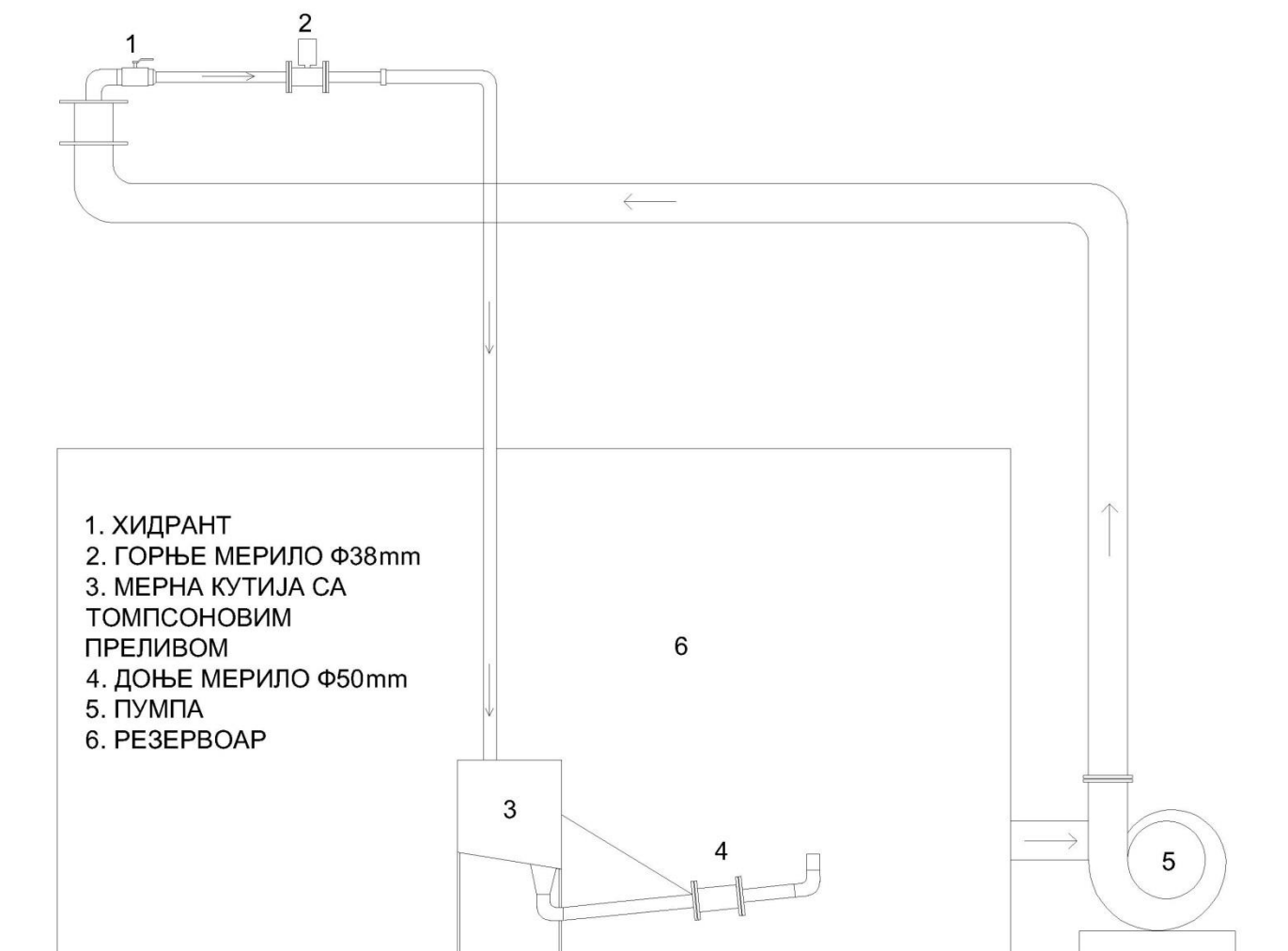


Слика 22: Хидрант којим се упушта проток



Слика 23: Горње мерило низводно од хидранта

На слици испод је приказана скица повезивања апаратуре за калибрацију Томсоновог прелива са системом одакле је довођена вода у саму кутију.



Слика 24: Скица повезивања апаратуре за калибрацију Томсоновог прелива и мерење



## 8. КАЛИБРАЦИЈА ТОМСОНОВОГ ПРЕЛИВА

Алгоритам рада се своди на то да се прво затвори део апаратуре, под којим се подразумева да је проток кроз доњи мерач једнак нули. Наредни корак је упуштање протока у систем преко хидранта. Након тога мери се висина преливног млаза помоћу мерне игле. Када се све ово заврши, приступа се поступку обраде резултата, која подразумева: бележење протока пуштених у систем, одређивање протока преко Томсоновог прелива користећи USBR-ов критеријум, упоређивање измерених и израчунатих вредности протока и цртање дијаграма њихових зависности и на крају одређивање зависности поменутих протока.



Слика25: Затварање дела апаратуре (проток кроз доњи мерач једнак је нули)



Слика26: Мерње висине преливног млаза помоћу мерне игле

Проток се преко поменутог USBR-овог критеријума одређује на следећи начин:

$$USBR : Q_{RA\check{C}} = 4.28 * Ce * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) * h_{1e}^{5/2}, Ce = 0.709$$

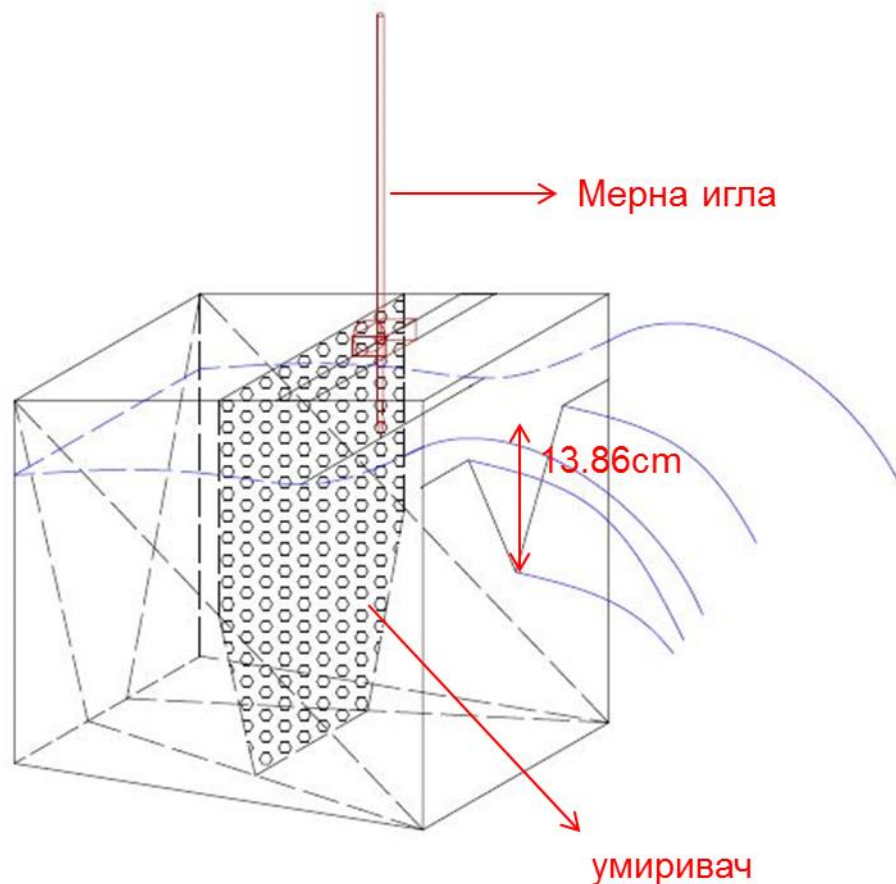
$$h_{1e} = h + k_h, \theta = 60^\circ, k_h = 0.0036$$

$$график : Q_{RA\check{C}} = 0.8982 * Q_{MER} - 0.1648$$

$$Q_{MER} = \frac{Q_{RA\check{C}} + 0.1648}{0.8982}$$

Неопходно је напоменути и навести услове под којима важи усвојена апаратура. До тог закључка се дошло многобројним мерењима и упоређивањима резултата. Наиме, дошло се до следећег закључка:

1. Код одређивања одступања нису узимани у обзир протоци већи од 3 l/s (усвојена апаратура није предвиђена за протоке изнад те вредности)
2. Нису разматрани услови када је течење у сложеном пресеку (прелив преливен, због неадекватног умиривача и стварања поремећаја у току)



Слика 27: Изглед мерне кутије са мерном иглом и назначеном висином Томсоновог прелива изнад кога се примећује стварање поремећаја у току





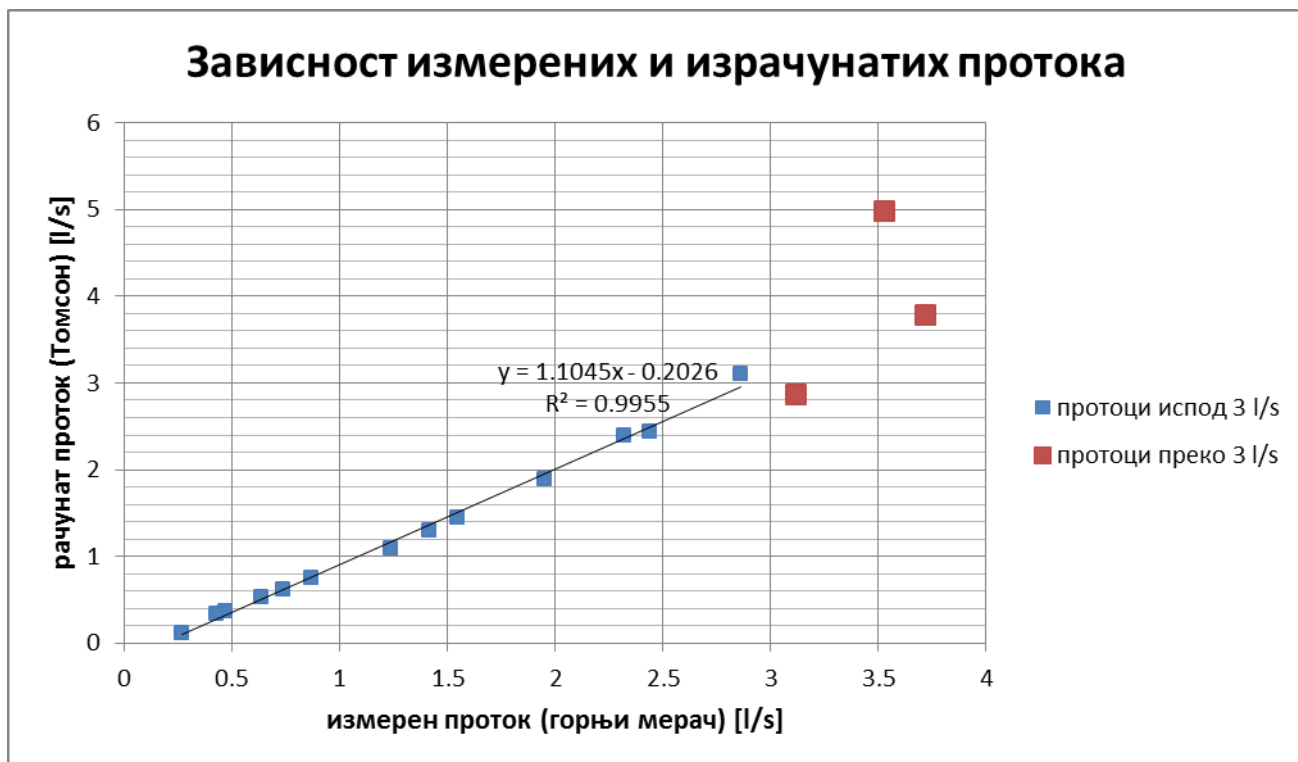
"нула" Томсона	30.65
Ce [-]	0.709
kh [ft]	0.0036

### КАЛИБРАЦИЈА ТОМСОНОВОГ ПРЕЛИВА

ЗАДАТАК: МЕРЕЊЕ И РАЧУНАЊЕ ПРОТОКА ПРЕКО ТОМСОНОВОГ ПРЕЛИВА И ОДРЕЂИВАЊЕ ОДСТУПАЊА ( <i>ПРЕЛИВ</i> )								
	измерен проток				рачунат проток			разлика квадрата одступања
	измерен проток [l/s]	h [cm]	hp [cm]	hp [ft]	Q [ft <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [l/s]	
	<b>3.53</b>	42.69	12.04	0.395013124	0.175784	0.004978	<b>4.977654</b>	
	<b>2.86</b>	40.59	9.94	0.326115486	0.109383	0.003097	<b>3.097377</b>	0.056347861
	<b>2.32</b>	39.6	8.95	0.293635171	0.084402	0.00239	<b>2.389991</b>	0.004898693
	<b>1.95</b>	38.78	8.13	0.266732284	0.06658	0.001885	<b>1.885344</b>	0.004180459
	<b>1.42</b>	37.65	7	0.229658793	0.046046	0.001304	<b>1.303889</b>	0.01348166
	<b>0.74</b>	35.79	5.14	0.168635171	0.021573	0.000611	<b>0.610872</b>	0.016674007
	<b>0.47</b>	34.79	4.14	0.135826772	0.012719	0.00036	<b>0.360173</b>	0.012061972
	<b>0.27</b>	33.25	2.6	0.085301837	0.004129	0.000117	<b>0.116929</b>	0.023430705
	<b>3.72</b>	41.42	10.77	0.353346457	0.133385	0.003777	<b>3.777056</b>	/
	<b>3.12</b>	40.29	9.64	0.316272966	0.101402	0.002871	<b>2.871373</b>	/
	<b>2.44</b>	39.67	9.02	0.295931759	0.086042	0.002436	<b>2.436424</b>	1.27864E-05
	<b>1.55</b>	37.96	7.31	0.239829397	0.051231	0.001451	<b>1.450702</b>	0.009860054
	<b>1.24</b>	37.17	6.52	0.213910761	0.038664	0.001095	<b>1.094832</b>	0.021073674
	<b>0.87</b>	36.22	5.57	0.182742782	0.026265	0.000744	<b>0.74375</b>	0.015938988
	<b>0.64</b>	35.52	4.87	0.159776903	0.018905	0.000535	<b>0.535331</b>	0.010955608
	<b>0.43</b>	34.68	4.03	0.132217848	0.011912	0.000337	<b>0.337317</b>	0.008590197
сложен пресек	<b>5.07</b>	42.8	12.15	0.398622048	0.17979	0.005091	<b>5.091086</b>	sum 0.197507
	<b>4.73</b>	42.63	11.98	0.39304462	0.173622	0.004916	<b>4.916427</b>	
	<b>5.57</b>	43.24	12.59	0.413057743	0.196358	0.00556	<b>5.56025</b>	
	<b>4.83</b>	42.53	11.88	0.38976378	0.170054	0.004815	<b>4.815392</b>	
	<b>5.37</b>	43.06	12.41	0.407152232	0.189474	0.005365	<b>5.365319</b>	

Слика 28: Приказ резултата калибрације Томсоновог прелива са измереним и израчунатим вредностима протока

\*Напомена: Црвеном бојом су означени протоци за које се не може користити усвојена апаратурс (велика одступања), а зеленом протоци који су условили протицање кроз сложен пресек



Слика 29: Резултати калибрације прелива, где је добијена зависност израчунатих и измерених протока

## 9. ПРОВЕРА ЈЕДНАЧИНЕ КОНТИНУИТЕТА

Под једначином континуитета подразумева се следеће:

*Једначина континуитета* – проток на горњем мерилу умањен за проток на доњем мерилу мора приближно бити једнак протоку који прелива преко Томсоновог прелива.

Поступак рада:

1. Пре упуштања протока преко хидранта потребно је на апаратури обезбедити проток преко прелива и проток кроз цев преко доњег мерила
2. Очитавање и забележавање протока на горњем и доњем мерилу
3. Очитавање висине преливног млаза на Томсону помоћу мерне игле
4. Обрада резултата и одређивање одступања од једначине одржања масе

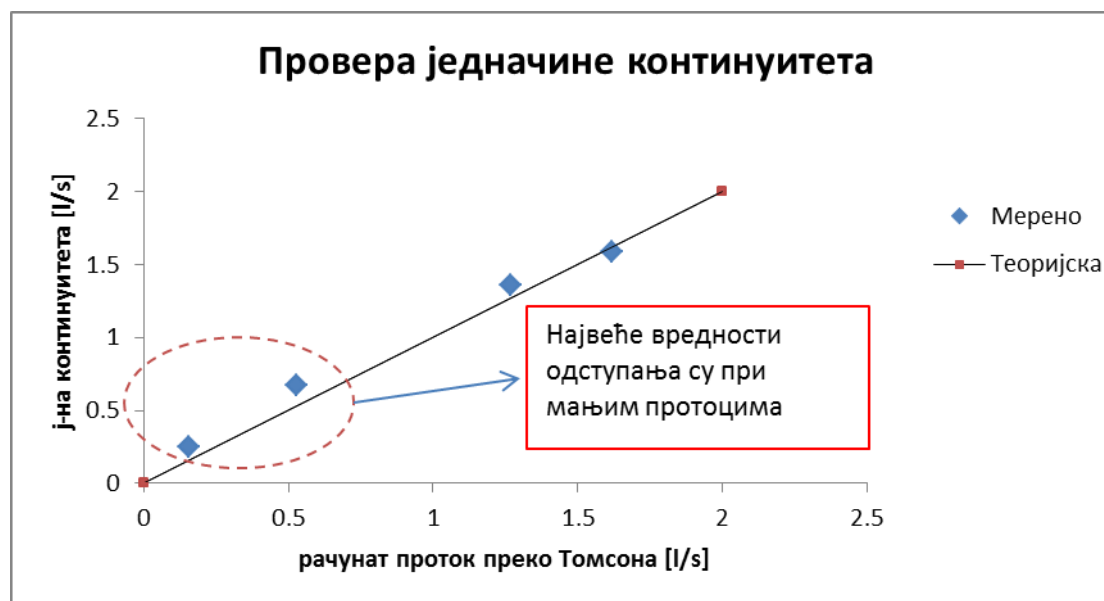


Слика30: Обезбеђен проток кроз цев преко доњег мерила

ЗАДАТАК: ПРОВЕРА ЈЕДНАЧИНЕ КОНТИНУИТЕТА И ОДРЕЂИВАЊЕ ОДСТУПАЊА (ПРЕЛИВ + ПРОТИЦАЈ КРОЗ ДОЊИ МЕРАЧ)									
1		3	Томсон						
доње мерило	горње мерило	горње мерило претворено у проток доњег	hp [cm]	hp [ft]	Qt [ft <sup>3</sup> /s]	Qt [m <sup>3</sup> /s]	Q [l/s]	3--1	разлика квадр. одступања
3.57	3.87	3.821238	2.93	0.09612	0.00550	0.0001558	<b>0.15584</b>	<b>0.25123</b>	0.009099671
3.71	4.44	4.384056	4.85	0.15912	0.01871	0.0005299	<b>0.52997</b>	<b>0.67405</b>	0.020760188
3.85	5.27	5.203598	6.92	0.22703	0.04476	0.0012675	<b>1.26751</b>	<b>1.35359</b>	0.007409528
3.88	5.54	5.470196	7.64	0.25065	0.05711	0.0016174	<b>1.61742</b>	<b>1.59019</b>	0.00074148

\*Напомена: У овом случају смо били приморани мало променити коефицијент Се у једначини не би ли смањили суму квадрата одступања, Се=0.711

Слика31: Табеларни приказ поступка провере једначине континуитета са очитаним и израчунатим вредностима протока



Слика32: Графички приказ резултата провере једначине континуитета

## 10. ЗАКЉУЧАК СА ПРЕДЛОГОМ РЕШЕЊА

1. Усвојена кутија је меродавна за протоке до 3 l/s, за веће протоке неопходно је другачије димензионисати кутију и умиривач. Сматра се да би другачије изпројектована апаратура задовољила анализу течења у сложеном пресеку, самим тим и течења при већим протоцима.
2. Претпоставља се да ће апаратура моћи да прихвати и измери 90% протока, тачније протока испод 3 l/s.

Након опсежних мерења и закључка који је дат изнад дошло је се до предлога решења. Генерално, закључено је да је мерна кутија мала не би ли прихватила нешто веће протоке, као и да је умиривач нешто лошије изпројектован и да га је требало поставити још даље од прелива не би ли изостали поремећаји у току који стварају проблем код мерења висине преливног млаза, нарочито код већих протока.

Приликом мерења наишло је се на следеће проблеме:

- Само црево којим је довођена вода са хидранта и које је симулирало олук је било јако флексибилно, тако да је при већим протоцима било нестабилно и стварало је поремећаје услед свог померања у самој мерној кутији. Услед тога мерење је било потпуно онемогућено јер је логер учестало мењао вредности измереног протока, па смо били приморани да црево фиксирамо помоћном дашчицом. Након фиксирања на овај начин, проток се усталио и наставили смо мерења.
- Лош положај мерне игле условљен малом величином мерне кутије изазвао је потпуно физички несагласне резултате приликом мерења, што је узроковало стварање вртлога на доњем испусту мерне кутије и струјна слика је била поремећена. Лош положај мерне игле је био условљен малом дужином кутије и недовољним растојањем које позиција мерне игле мора имати не би ли мерење било стабилно.

## 11. ЛИТЕРАТУРА

- Дипломски рад „Пројектовање и испитивање система за мерење протока кишнице са дела крова института за хидротехнику“, Милош Којић 121/07, октобар 2013.
- Urban Surface Water Management, Stuart G. Walesh, издање 1989.
- Продановић Д. Скрипта са предавања, Мерења у хидротехници, Грађевински факултет, Београд, 2002 (<http://hikom.grf.bg.ac.rs>)
- Тодоровић А. Анализа једне кишне епизоде дана 30/5/2013 (осмотрено на експерименталном полигону Грађевинског факултета), Грађевински факултет, Београд, 2013.