

Математичка гимназија

**МАТУРСКИ РАД ИЗ ФИЗИКЕ**

***ИСПИТИВАЊЕ КАРАКТЕРИСТИКА ЛЕБДЕЋЕГ ФЛУИДНОГ  
МОСТА***

Ментор: др Владимир Јовановић

Ученик: Хелена Миљковић

Београд, мај 2016.

## Садржај

<b>1. Увод</b>	<b>3</b>
<b>2. Поставка експеримента</b>	<b>4</b>
<b>2.1.Апаратура</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Процедура мерења</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Коришћене супстанце</b>	<b>6</b>
<b>3. Резултати и дискусија</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Максимална дужина моста</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Промена масе течности у чашама</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Промена пречника</b>	<b>13</b>
<b>4. Закључак</b>	<b>15</b>
<b>5. Литература</b>	<b>17</b>
<b>6. Додатак</b>	<b>18</b>

## 1. УВОД

У последњих десет година појавило се повећано интересовање за феномен који је познат више од сто година. Флуидни мост је структура која се формира између две чаше на растојању реда величине центиметара напуњене одређеним флуидом под утицајем електричног поља. Вилиам Армстронг (Viliam Armstrong) је 1893. приметио ову необичну појаву код дејонизоване воде, приликом постављања памучне траке између две винске чаше напуњене водом. Постављањем електрода у сваку од чаша и укључивањем високог напона формиран је слој воде око памучне траке. После неког времена памучна трака је била повучена од стране воде у једну од две чаше, након чега је на месту памучне траке остала приближно хоризонтална стабилна структура сачињена искључиво од воде [1].

Овај једноставан феномен, који се лако може репродуковати, изазвао је интересовање због неразјашњеног механизма стабилности моста. Развиле су се дискусије о разлогу за настанак флуидног моста [2-8], то јест о степену утицаја различитих микроскопских и макроскопских сила на њега. На основу истраживања спроведеног на флуидном мосту прихваћено је мишљење да се овај феномен може описати микроскопским силама у оквиру електрохидродинамике, без обзира на микроскопску структуру воде. На мост који се формира између две стаклене чаше најизраженије утичу три силе: гравитација, сила површинског напон као и сила која се генерише приликом поларизације диелектрика (течности) у електричном пољу [3, 6]. Сила површинског напона и поларизације течности су конструктивне силе које имају приближно исти удео у супротстављеу сили земљине теже, поларизација повезује течности у чашама док од површинског напона зависи облик моста [5].

Неке занимљиве особине које су посматране на "лебдећем" флуидном мосту од стране других група истраживача су: Раманов спектар воде у мосту [9], геометријски облик моста [8, 10], промене рН вредност воде у мосту и ван њега [4], промена електричног поља у мосту као и однос сила које делују на њега [3, 6]. Раманов спектар представља вибрациону енергију молекула, што је врста кретања са најмањом енергијом.

Особине које су проучаване у овом раду су максимална дужина моста, промена масе течности у чаши, проток течности као и промена пречника моста током времена и у

зависности од примењеног напона. Прво су у оквиру експеримента испитиване су карактеристике моста сачињеног од воде, а затим истраживање проширило и на друге супстанце. Проучавани су "мостови" направљени од метанола, етанола, пропанола, амил алкохол, изопропил алкохола, воде и њихових смеша. Тиме је добијена могућност да се упоређивањем резултата добију информације о понашању различитих флуида у електричном пољу.

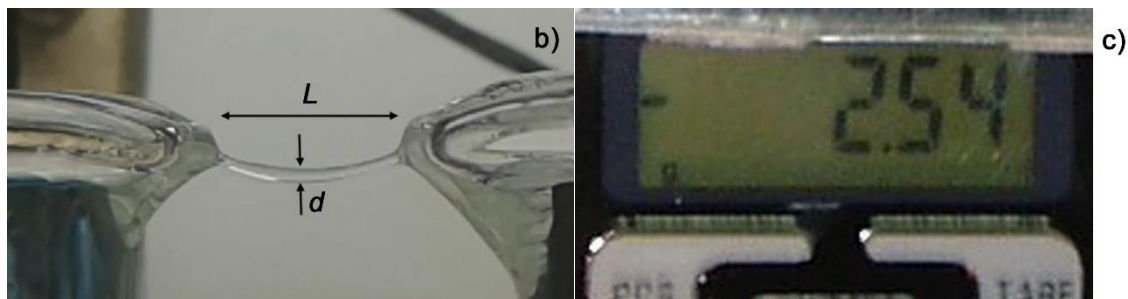
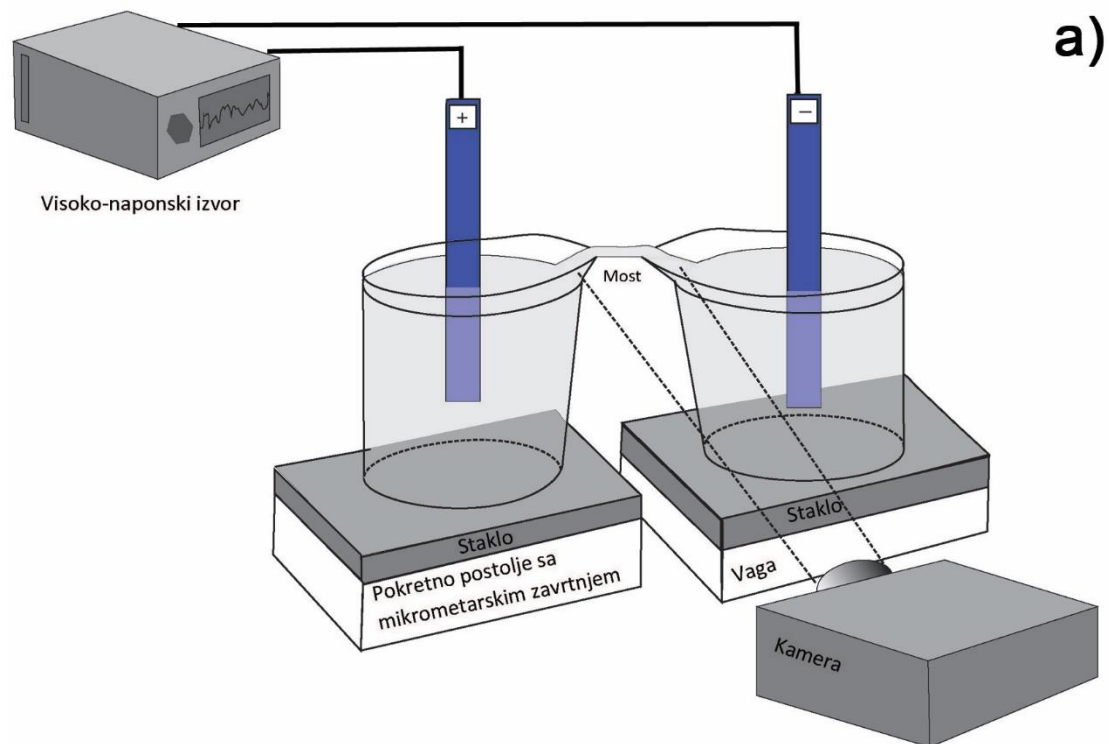
## 2. ПОСТАВКА ЕКСПЕРИМЕНТА

### 2.1. Апаратура

Шема апаратуре коришћене за овај експеримент је приказана на Слици 1а. У стаклене чаше које, који садрже по  $61\text{ ml}$  течности и чији су врхови на истој висини (која се у току експеримента не мења), уроњене су цилиндричне графитне електроде. Стаклене чаше су постављене на стаклене плоче, због сигурност при раду са високим напонем. Испод чаше са анодом се налази вага, тачности  $0.01\text{ g}$ , који мери релативну промену масе флуида који се налази у њој. Такође је вођено рачуна и о утицају електричног поља на вагу, због чега је вага уземљена. Друга чаша, у којој се налази катода, је на постољу које се покреће окретањем микрометарског завртња, прецизности од  $0.01\text{ mm}$ , којим је мерено растојање између чаше. Током експеримента је померана само чаша са катодном док је друга чаша стационарна.

На електроде се доводи једносмерни напон у опсегу од  $6\text{ kV}$  до  $11\text{ kV}$ , добијен помоћу некомерцијалног извора направљеног у лабораторији за ову сврху. Његове карактеристике и опис су дати у Додатку.

У апаратуру коришћену за овај експеримент спадају и две камере. Једна од коришћених камера снима флуидни мост (пречник, дужину и облик моста, Слика 1б), док друга снима екран ваге, тј. промену масе течности у чаши са анодом (Слика 1ц). Видео снимци добијени коришћењем ове две камере су синхронизовани и обрађени помоћу програма написаног у MATLAB програмском језику. Излазне величине су пречник  $d$  моста, промена масе  $\Delta m$  течности у чаши са анодом и време  $t$ . Детаљан опис MATLAB програма дат је у Додатку.



**Слика 1** а) Схема апаратуре коришћене у експерименту. б) Слика воденог моста снимљена са позиције првог фотоапарата. Дужина моста је означена са  $L$  и пречника флуидног моста са  $d$ . в) Слика екрана ваге направљена са позиције друге камере. Снимак, који прати промену масе.

## 2.2.Процедуре мерења

Да би било избегнуто појављивање варница које могу да контаминирају течности сваки експеримент је отпочет условом да се чаше додирују (нулти положај на микрометарском завртњу микрометара) и да су књуноћи часа поквашени течношћу којом су напуњене, да би течности могле лакше да се споје у томе их спречава површински напон између течности и стакла. Такође, вођено је рачуна да се електроде пре експеримента разелектишу кратак спојом на нулу напон.

Мерења се могу поделити на динамичка и стационарна. Код експеримента вршених у динамичком режиму напон је фиксиран а чаша са катодом се удаљава од чаше са анодом, ручно уз помоћ микрометарског завртња. Почетни положај чаша је онај у коме се додирују (дужина моста  $L = 0\text{mm}$ ). Коришћењем ове процедуре измерене су максималне дужине мостова у зависности од напона и флуида. Резултати су добијени читавањем вредности на микрометарском завртњу у тренутку пуцања моста.

Код стационарног мерења чаше су на константном растојању од  $L = 3\text{mm}$  и напон се не мења током експеримента. У овом режиму створени су услови за прецизно прикупљање података на основу слика и њихове обраде, релативна промена масе течности у чашама као и промене пречник моста течности током времена за различите течности и напоне. Да би се дошло до стационарног режима систем прво пролази кроз динамички јер се чаше морају довести на одређено растојање, после чега се не померају. Моменат у којем чаша са анодом престане да се креће представља почетни тренутку  $t = 0$  и тада је  $\Delta m = 0$ .

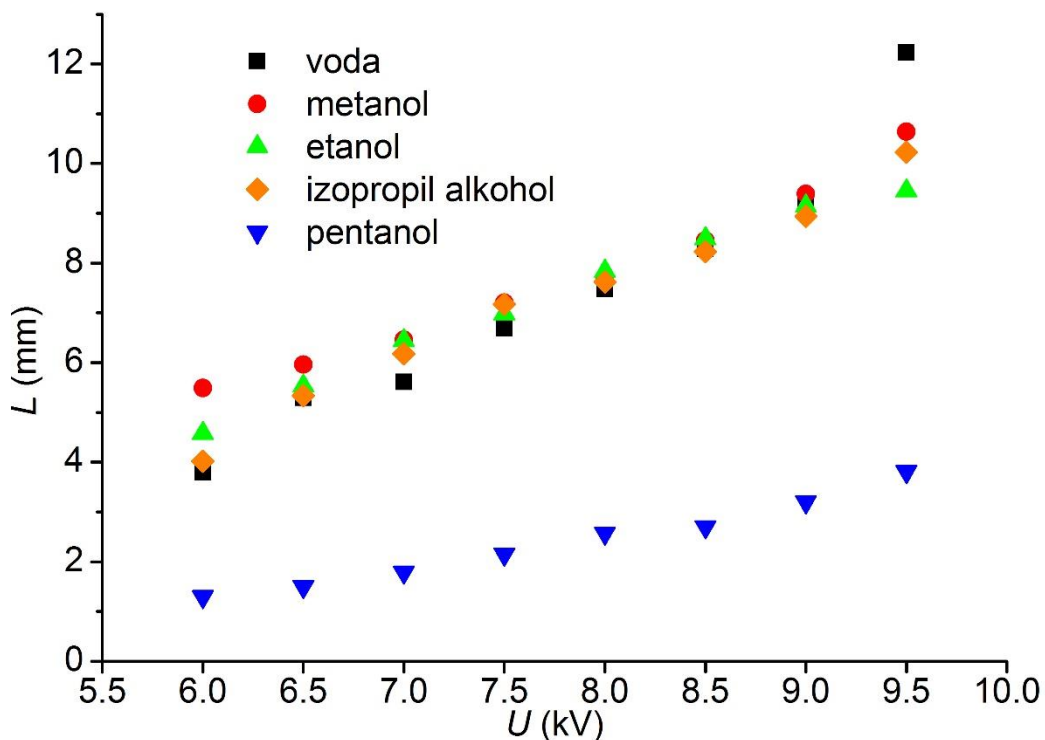
## 2.3.Коришћене супстанце

Формирање моста је изведено за неколико супстанци дејонизоване воде (Milli-Q 18.2 MΩcm на 25°C), етанол (Zorka Pharma, 99.8%), метанол (Centrohем, 99.8%), изопропил алкохол (Nemos, 99.7%) и амил алкохол (Centrohем, 99.7%).

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

#### 3.1.Максимална дужина моста

Мерена је максимална дужина моста  $L$  различитих флуида у динамичком режиму за различите напоне  $U$ , резултати су приказани на Слици 2. Са графика можемо уочити да се дужина моста линеарно повећава са повећањем напона као и да су дужине мостова сличне осим код пентанола који гради значајно краће мостове. Уочавамо благу варијацију у коефицијентима праваца добијених за различите супстанце. Слична мерења дужине моста сачињеног од воде у зависности од напона извршило је неколико истраживачких група и добијени су слични резултати [3, 5]. Особине супстанци, дате у Табели 1, као што су густина, вискозност, површински напон и релативна диелектрична сусцептибилност су основни параметрикоји који утичу на његов нагиб [3, 5].



Слика 2 Максимална дужина моста  $L$ , сачињена од различитих флуида, у зависности од напона  $U$ , доведеног између електрода.

**Табела 1** Особине супстанци.

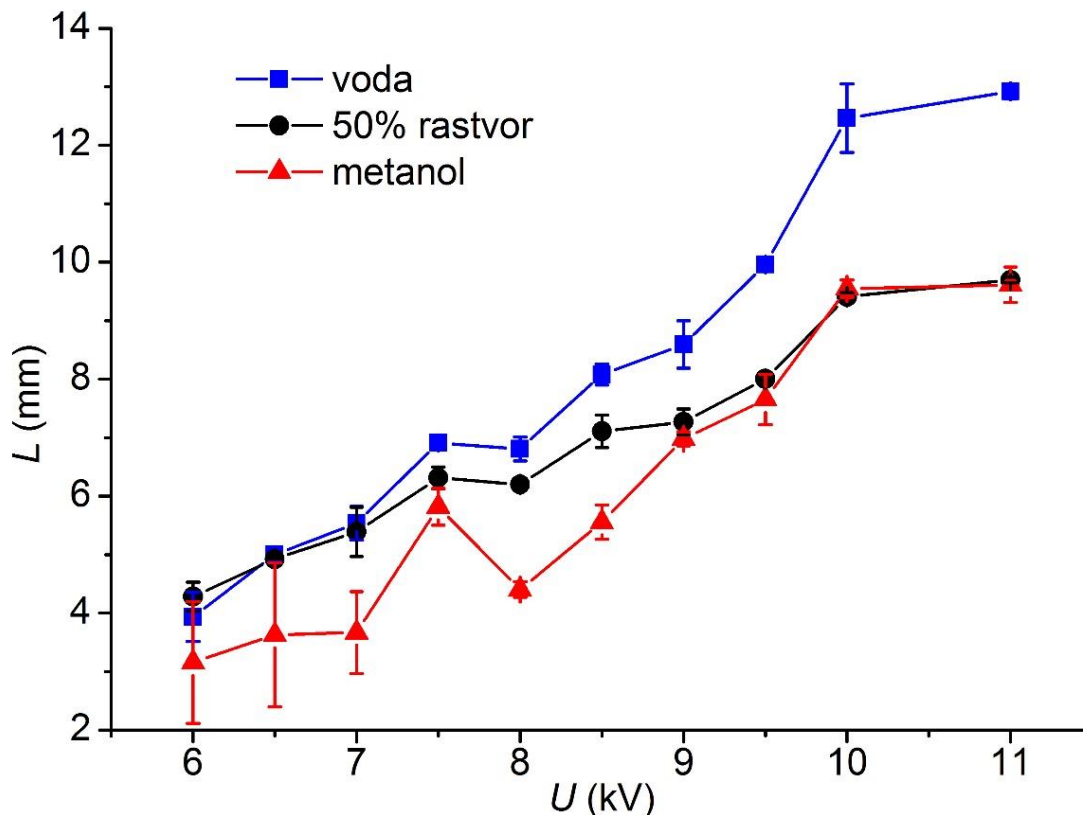
Коришћене супстанце	Диелектрична суцептибилност $\epsilon_r$ (на 25°C)	Густина (g/cm <sup>3</sup> )	Вискозност (на 20°C, mPa s)	Диполни моменти (10 <sup>-29</sup> Cm)	Површински напон (на 20°C, у mN/m)
Вода	79.5	1	1.002	1.87	72.86
Метанол	32.65	0.79	0.593	2.87	22.5
Етанол	24.51	0.79	1.2	1.66	22.39
Амил алкохол	15.09	0.812	4.3	1.7	23.7
Изопропил алкохол	20.51	0.79	2.37	1.66	21.7

Мостови чистих алкохола прекидали су се углавном наглим истањивање (код метанола и етанола је та особина посебно изражена) и / или великим осцилацијама након којих је уследило пуцање. Неколико пута је, код метанола, чак долазило до поновног успостављања моста неколико секунди након његовог нестанка (претпостављамо да је то последица велике концентрације метанола у ваздуху око хоризонталног флуидног моста). Мостови сачињени од воде или од педесетопроцентног раствора метанола или етанола у води су у тренуцима када је достигнута њихова максимална дужина пуцали због велике капљице која се формира на средини моста неколико секунди пре пуцања. Због овако различитог понашања флуидних мостова пре пуцања тешко је упоређивати њихове максималне дужине и дебљине.

Упоређена је максимална дужина моста у динамичком режиму за воду, метанол и њихов педесетопроцентни раствор (Слика 3). Уочавамо да се смеша метанола и воде при напонима између 6kV и 8kV понаша као вода а при напонима између 9kV и 11kV као метанол, то јест да су при нижим напонима доминантније силе које држе водени мост док код виших напона ту улога преузимају међумолекулске силе које држе мост сачињен од метанола. Могуће објашњење за ову особину лежи у релативној диелектричној

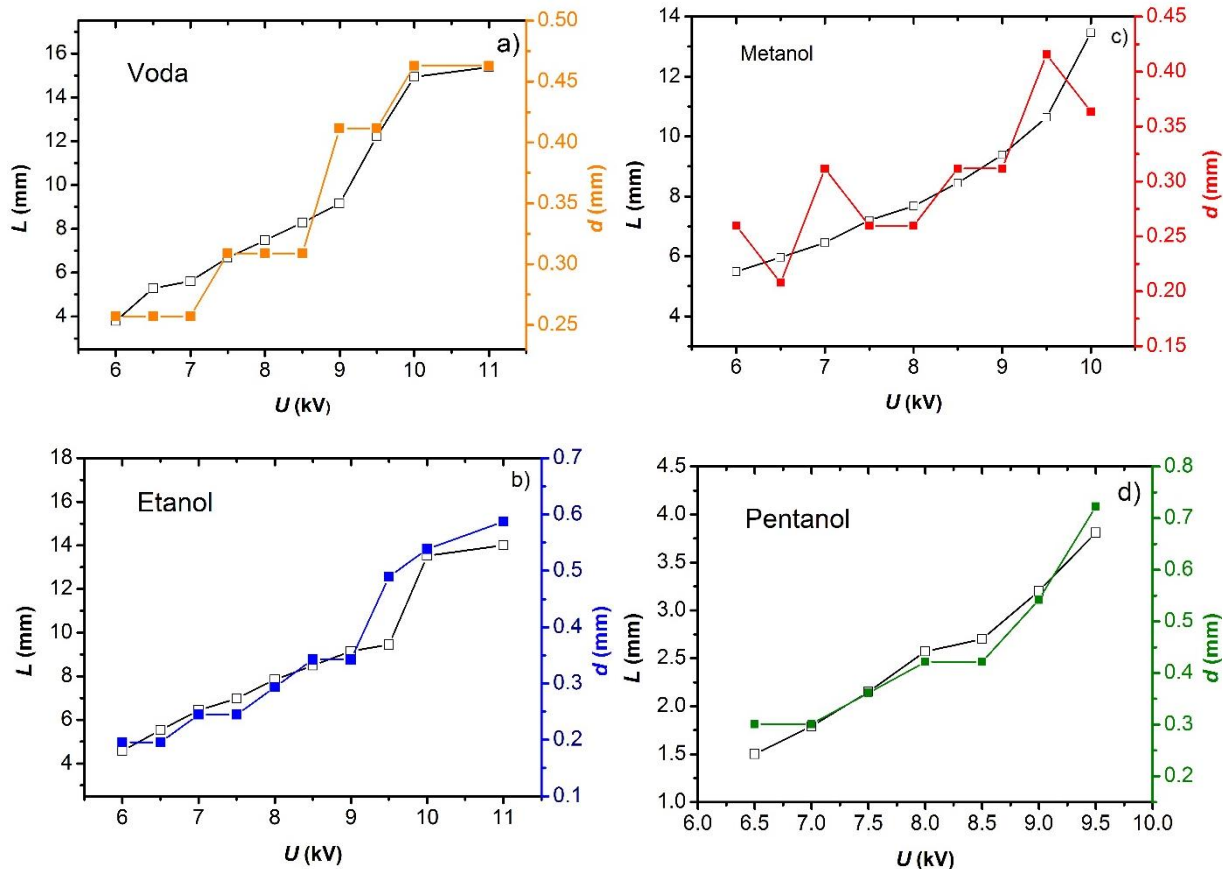


пропустљивости  $\epsilon$ , чија се вредност за смешу налази између оних вредности за воду и метанол [3].



**Слика 3** Максимална дужина моста  $L$  у зависности од напона  $U$  између две чашице напуњене водом, метанолом и 50% раствором метанола у води.

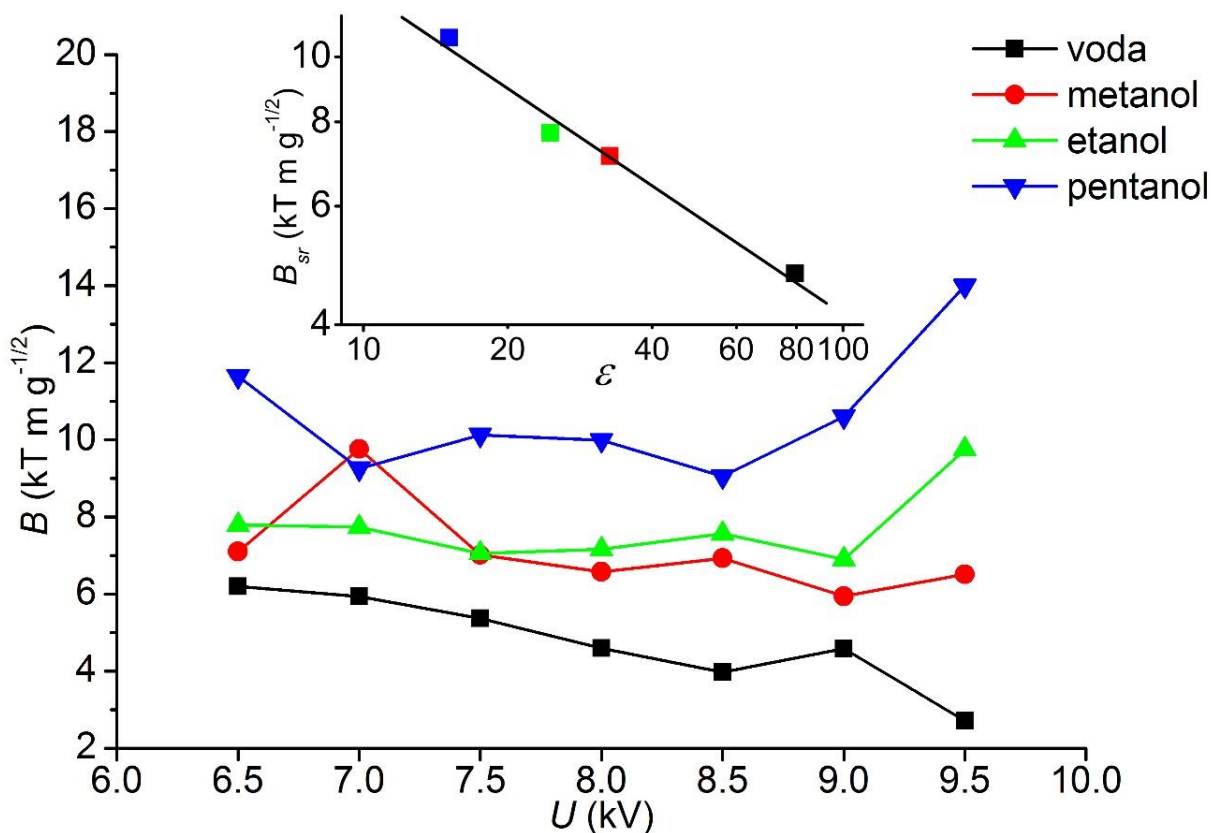
Пречник  $d$  различитих флуидних мостова је мерен при пуцању моста за различите напоне у динамичком режиму. Резултати су упоређени са одговарајућим максималним дужинама  $L$  мостова за воду, метанол, етанол и пентанол на Слици 4. Види се да пречник и дужина моста при пуцању слично варирају са напоном за све супстанце, тј. пречник и дужина се повећавају када се напон повећава. Према томе, ове две величине линеарно зависе једна од друге. Због мале резолуције камере није остварена велика прецизност у мерењу пречника (апсолутна грешка његовог одређивања је једна тачка, тј. пиксел а релативна може достићи и 30%). Код метанола имамо велике осцилације у пречнику (Слика 4с), што је последица начина на који мост "пуца".



Слика 4 График зависности пречника и дужине моста од напона. На графицима видимо упоређене максималне дужине мостова са дебљином истога за: воду (a), етанол (b), метанол (c) и пентанол (d).

У свом раду у којем теоретски разматра стабилност идеализованог воденог моста формираног у условима хомогеног аксиално-симетричног електричног поља, Аеров (Аеров) [3] предлаже критеријум на основу кога је могуће, макар оквирно, добити критично електрично поље потребно да мост буде стабилан. Ово је изражено релацијом  $E_{cr} = B * L * (\gamma/A)^{1/2}$ , где  $\gamma$  је површински напон воде,  $A$  попречни пресек воденог моста а  $B$  параметар пропорционалност. Иако се флуидни мост у овом раду не налази у условима аксијалне-симетрије, поменута формула је примењена на подацима добијеним за максималну дужину моста и његове дебљине у тренутку његовог пуцања у зависности од напона (електричног поља). На Слици 5 приказана је зависност параметра  $B = \left(\frac{U}{L^2}\right) * (d/2) * (\pi/\gamma)^{1/2}$  од примењеног напона  $U$  на електродама. Грешка у одређивању параметра  $B$  долази претежно од мале прецизности у одређивању пречник  $d$  (релативна грешка до 30%). Вредности за површински напон  $\gamma$  различитих супстанци су дате у Табели

1. Види се да је параметар  $B$  константна функција напона за све течности осим воде, која показује благу линеарну зависност. У уметку Сликe 5 показано је да средња вредност  $B_{sr}$  овог параметра прати степени закон зависности релативне диелектричне пропустљивост  $\epsilon$  (чије су вредности узете из Табеле 1), односно,  $B_{sr} \sim \epsilon^{-1/2}$ .

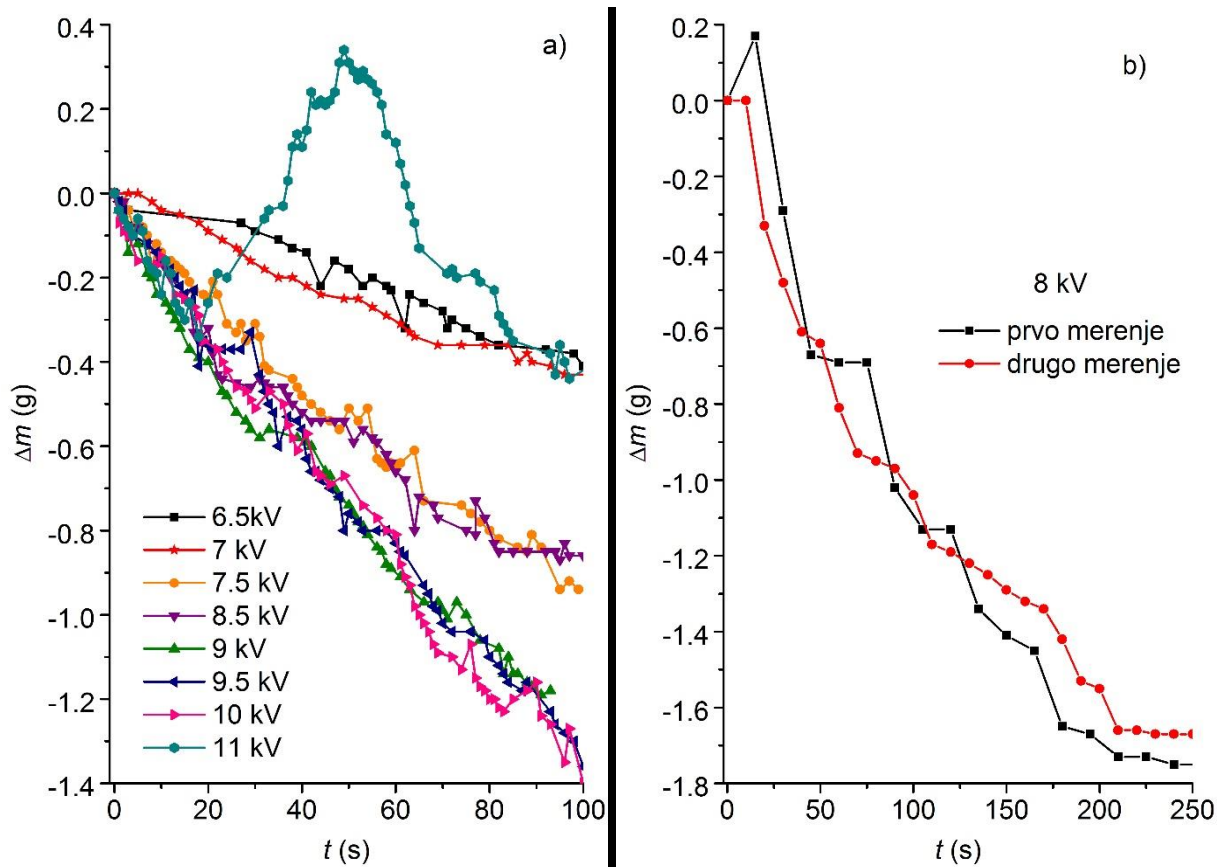


Слика 5 График зависности параметра  $B$  од напона  $U$  и, у уметку њене средње вредности, за једну супстанцу, од диелектричне суцептибилности.

Извршени су покушаји да се успостави мост између чашица напуљених рафинираним уљем, као и смешама воде и различитих индикатора (кумаси, конго црвено, бром-фенол плаво), али ти покушаји нису били успешни. Разлог због којег нису успели је мала релативна диелектрична пропустљивост рафинираног уља [3], док са индикаторима није успело због тога што њихови водени раствори имају значајну проводност, која је деструктивна за мост.

### 3.2.Промена масе течности у чашама

Промена масе  $\Delta m$  дејонизоване воде у чаши са анодом мерена је у стационарном режиму за различите напоне (Слика 6). Општа тенденција је да је течност прелази из чашице са анодом у чашицу са катодном на свим испитиваним напона као и да се проток повећава са повећањем напона (Слика 6а). Не постоји одређена зависност брзине трансфера масе (нагиб криве) од напона који је доведен између електрода. Примећујемо да маса прелази у налетима (таласима). Трансфер масе није монотона функција времена, тј. постоје моменти у којима се вода креће у супротном смеру, што се најбоље може видети на 11kV. Резултати се слажу са мерењима других група [2].



**Слика 6 а)** Промена масе  $\Delta m$  воде у чаши у којој је анода (позитиван потенцијал) у зависности од времена  $\Delta t$  и задатог напона  $U$ . **б)** Промена масе  $\Delta m$  воде у чаши у којој је анода (позитиван потенцијал) у зависности од времена на  $\Delta t$  напон од 8 kV за два различита мерења. Промене времена и масе су израчунати од тренутка када је успостављено константно растојање између чашица ( $L = 3 \text{ mm}$ ). Грешка мерења не прелази величину симбола на слици.

Упоредивањем резултата добијених из два мерења при напону од 8kV (Слика 6б) видимо да, иако је општа зависност слична, проток при промени трансфера није исти.

Претпоставља се да је ова недефинисана промена смера трансфера масе повезана са флукуацијама у површинском наелектрисању [3, 4].

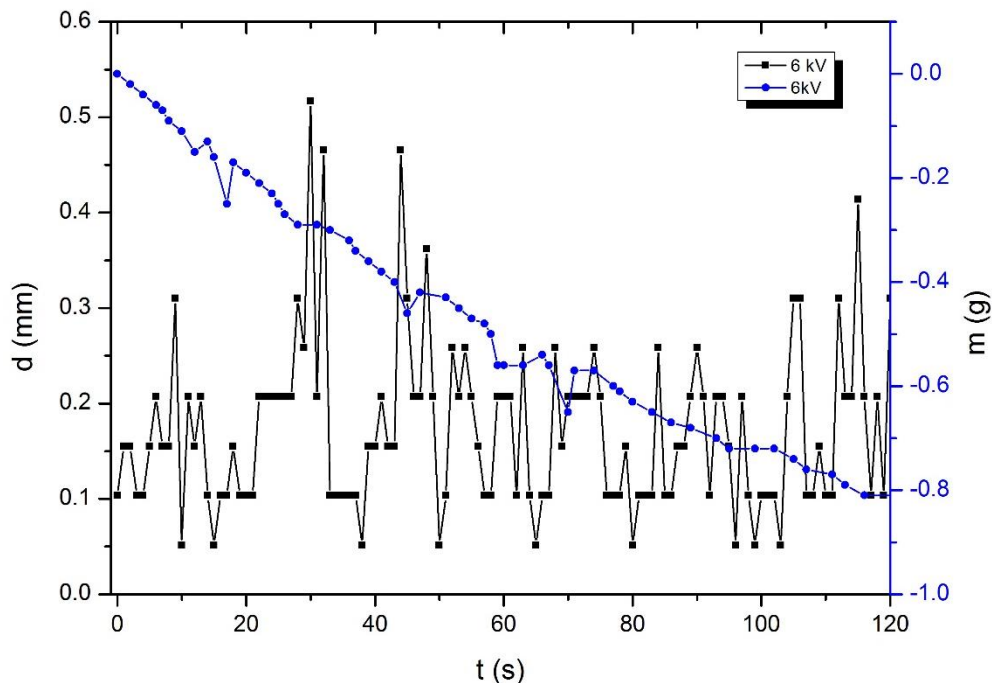
Након периода у којем флуид претежно прелазе из чаше са анодом у чашу са катодом долази до периода када се то стање мења, воде или почне да се креће у супротном смеру или проток почне да сатурира, то јест да тежи некој одређеној вредности. Разлог због којег се вода тако понаша је превише велика разлика у висини воде у чашама, због чега се ствара хидростатичког притисак који у једном тренутку почне да доминира над силом коју генерише електрично поље [2]. Ови резултати се слажу са оним добијеним од стране других група [2, 4].

Приликом ових експеримената није долазило до квашења спољашњих зидова чашица, што овај експеримент чини прецизним. Детаљна мерења овог типа је могуће вршити над водом док мерења над алкохолима као што су метанол, етанол, пропанол, изопропил алкохол, амил алкохол није могуће мерити са довољно великом прецизношћу. Алкохоли имају и до три пута мањи површински напон од воде, што представља главну препреку у прецизно мерење протока, Табела 1. Због ове особине велики проценат алкохола који у неком тренутку уђе у структуру моста изађе из ње спуштајући се низ спољне зидове чашица, чиме се маса течности у чашама брзо смањује. Такође није могуће утврдити да ли ће и колико утицати смањење нивоа течности у чашама на проток течности кроз флуидни моста. Снижавањем нивоа течности у чашама повећавамо потребну енергију за прелазак исте количине течности из једне чаше у другу. Посматрајући проток течности код алкохола на кратком интервалу времена, од око 3мин, уочено је да је маса течности у чаши са анодом заједно са течношћу која се спустила низ исту чашу константна.

### **3.3.Промена пречника**

У стационарном режиму уочене су осцилације у пречнику моста. Промена пречника током времена је снимана помоћу фотоапарата постављеног тако да снима понашање моста из равни која садржи контуре моста, Слика 1 а) и Слика 1 б). Обрада резултата се састоји од два дела. У првом делу је програм рачунао највећи градиент промене интензитета боје, ови резултати су представљени графиком, након чега је програм чекао да се означе две

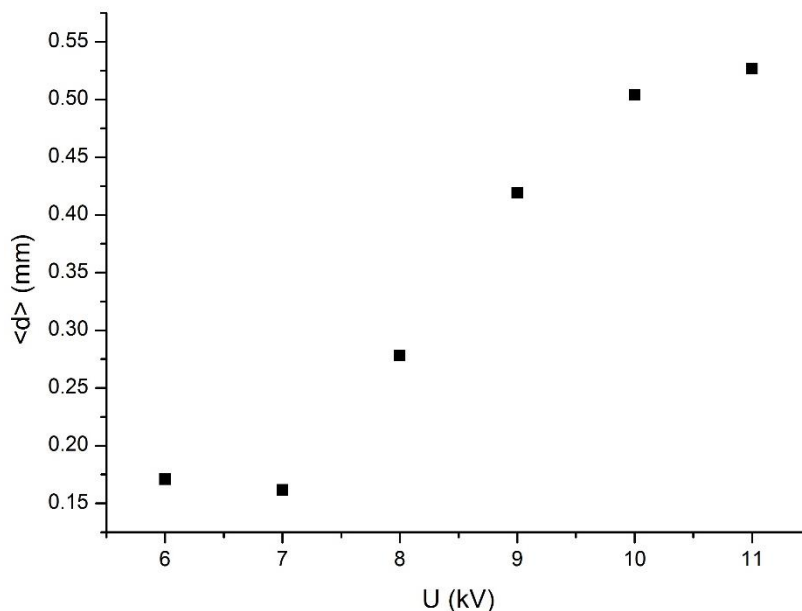
тачке на графику. У другом делу обраде података је одређиван пречник воденог моста издвајањем одговарајућих пикова, који представљају контуре моста, са графика добијеног уз помоћ програма. Након тога програм је израчунањем разлике између растојања одабраних тачка приказао добијене резултате. Видео добијен снимањем бочне стране моста обрађен је програмом написаним у МАТЛАБ (MATLAB) програмском језику, програм је више описан у Прилогу.



**Слика 7** Пречник  $d$  моста изражен у милиметрима у зависности од времена  $t$ . Ово мерење је вршено од тренутка када је успостављено константно растојање  $L = 3$  mm између чашу са водом при напону од 6 kV упоређен са одговарајућом зависношћу масе  $m$  воде у чаши са анодом.

На основу резултата добијених обрадом снимака може се приметити да долази до великих осцилација у дебљини моста током времена. Иако на први поглед овај систем изгледа статично због константних услова при којима је формиран (растојање и напон су константни), резултати показују да је систем динамичан. Покушано је налажење функције по којој се мења полупречник и установљено је да не постоји једноставна функција која може описати овакво понашање. Ови резултати су добијени на свим напонима у опсегу од 6kV до 11kV.

Пажљивим посматрањем може се повезати промена пречника воденог моста са варијацијама у маси воде у чаши са анодом (Слика 7). Углавном постоји поклапање које би потврдило повећање пречника моста у тренуцима када вода брже прелази из једне чаше у другу или до промене смера протока. Такође примећују се мање осцилације у полупречнику приликом приближно константног протока што се види по резултатима добијеним на Слици 7. Примећују се исте особине код резултата добијених за напоне у распону од 6kV до 11kV.



Слика 8 Средња вредност пречника  $\langle d \rangle$  моста изражена у милиметрима у зависности од примењеног напона  $U$  на константној растојању  $L = 3 \text{ m}$  између две чашице са воде.

Упркос великим недефинисаним осцилацијама током времена, средња вредност полупречника  $\langle d \rangle$  моста повећава се са повећањем напона (Слика 8), што је резултат који се квалитативно поклапа са мерењима добијеним од стране других група [6].

#### 4. ЗАКЉУЧАК

У раду је експериментално испитиван проток течности кроз флуидни мост чиме је утврђено да код воде маса тенденцијално прелази из чаше са анодом у чашу са катодом све до тренутка када разлика између течности у левој и у десној чаши постане довољно велика, да би се тада због хидростатичког притиска смер тенденцијалног протока променио. Објашњење протока флуида кроз мост, до којег долази код воде, можемо пронаћи у начину реаговања површинског наелектрисања са електричним пољем.

Иако је лако формира стабилан мост који се неће прекинути и по неколико сати, може се приметити да његов облик лако мења. У оквиру овог експеримента је потврђено да се полупречник моста приликом константних спољашњих услова не мењаја по неком лако уочљивом закон, као и да је његова промена повезана са променом протока флуида кроз мост.

Различите супстанце поседују различите карактеристике које их описују. Због тога је испитивана максимална дужина моста при којој је могуће имати мост између чаша. Добијени резултати показују да дужина моста расте са повећањем релативне диелектричне пропустљивост по експоненцијалног зависности,  $B_{sr} \sim \epsilon^{-1/2}$ , као и да дужина моста линеарно расте са повећањем напона између електрода. Сви добијени резултати експеримента су били у оквирима предвиђених резултата од стране истраживања других научних група [ 7, 8, 9].

**Захвалница.** Захваљујем се ментору др.Владимиру Јовановићу, и лабораторији др. Радомира Жикића као и драгим старијим колегама из те лабораторије др. Радомиру Жикићу, Милану Пејићу, Александру Томовићу, др Ненаду Сакану и други. Миливој Ивковић, као и сарадници са програмом физике Милан Крстајић, Петар Бојовић и јелен Пајовић. Захваљујемо се и др. Ирена Новаковић и СрђануТуфегцићу.



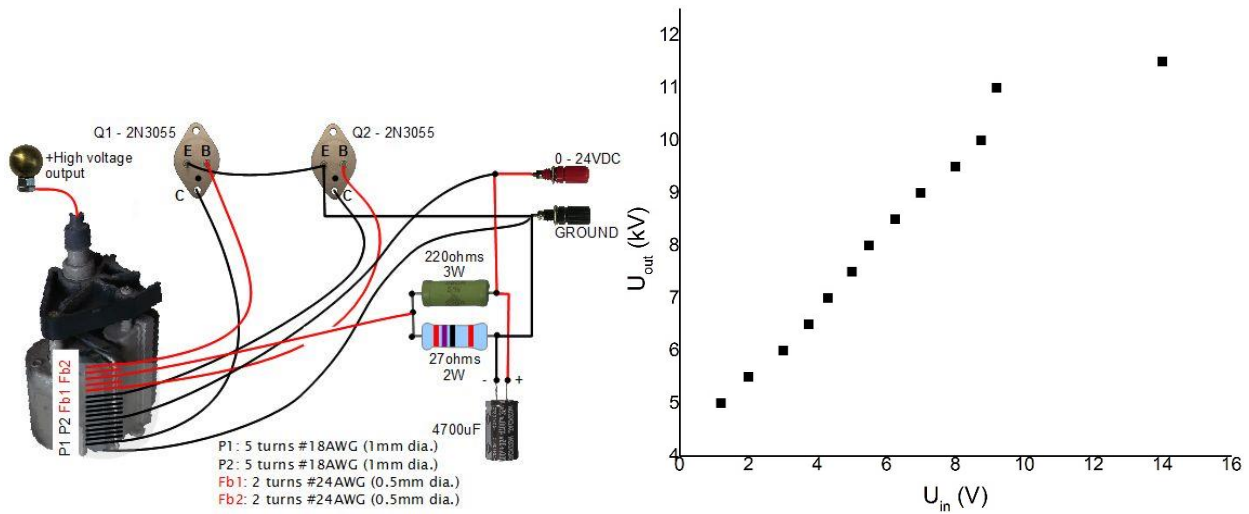
## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Elmar C. Fuchs, Adam D. Wexler, Astrid H. Paulitsch-Fuchs. *The Armstrong experiment revisited*, Eur. Phys. J. Special Topics **223**, 959–977 (2014).
- [2] J. Woisetschläger, K. Gatterer, E. C. Fuchs, *Experiments in a floating water bridge*, Exp. Fluids **48**, 121–131 (2010).
- [3] Á. G. Marín, D. Lohse, *Building water bridges in air: Electrohydrodynamics of the floating water bridge*, PHYSICS OF FLUIDS **22**, 122104 (2010).
- [4] E. C. Fuchs, L. L. F. Agostinho, M. Eisenhut, J. Woisetschläger, *Mass and charge transfer within a floating water bridge*, Proc. SPIE **7376**, 1E1–1E15 (2010).
- [5] J. Woisetschläger, A. D. Wexler, G. Holler, M. Eisenhut, K. Gatterer, E. C. Fuchs, *Horizontal bridges in polar dielectric liquids*, Exp. Fluids **52**, 193–205 (2012).
- [6] R. M. Namin, S. A. Lindi, A. Amjadi, N. Jafari, P. Irajizad, *Experimental investigation of the stability of the floating water bridge*, PHYSICAL REVIEW E **88**, 033019 (2013).
- [7] E. C. Fuchs, J. Woisetschläger, K. Gatterer, E. Maier<sup>1</sup>, R. Pecnik, G. Holler, H. Eisenkölbl, *The floating water bridge*, J. Phys. D: Appl. Phys. **40**, 6112–6114 (2007).
- [8] A. A. Aerov, *Why the water bridge does not collapse*, PHYSICAL REVIEW E **84**, 036314 (2011).
- [9] R. C. Ponterio, M. Pochzlski, F. Aliotta, C. Vasi, M. E. Fontanella, *Raman Scattering measurements on a floating water bridge*, J. Phys. D: Appl. Phys. **43**, 175405(8pp) (2010).
- [10] A. Widom, J. Swain, and J. Silverberg, S. Sivasubramanian, Y. N. Srivastava, *Theory of the Maxwell pressure tensor and the tension in a water bridge*, PHYSICAL REVIEW E **80**, 016301 (2009).

## ДОДАТАК

### Извор високог напона

Извор једносмерног високог напона састоји се од трансформатора линијског израза (енглески: flyback трансформатор), два транзистора (2N3055), два отпорника (220Ω, 3W и 27Ω, 2W), електролитског кондензатора (4.7mF, 35V) и извора једносмерне струје (0- 20В, 0-5А), чија је шема дата на Слици 9а. Овај извор високог напона је конструисан према упутствима датим на сајту: <https://www.youtube.com/watch?v=-KFhBVfpfDw>. Flyback трансформатор је извађен из старог CRT монитора и садржи диоде у себи које претварају наизменични у једносмеран висок напон.



Слика 9 а) Шема према којем је израђен извор високог напона узета је са [website http://rimstar.org/science\\_electronic\\_projects/high\\_voltage\\_power\\_supply\\_w\\_flyback\\_transformer\\_built\\_in\\_diodes.htm](http://rimstar.org/science_electronic_projects/high_voltage_power_supply_w_flyback_transformer_built_in_diodes.htm). б) Зависност напона између електрода из напон на извору.

Слика 9 показује да је јачина напона на електродама расте линеарно са повећањем напона на извору, такође приметити да је напон на извору који производи 11kV излази из оквира добијене линеарног зависности за ниже напоне. Због ове чињенице резултати свих експеримената добијених приликом коришћења напона од 11kV имају већу грешку него мерења спроведена на нижим напонима.

## Програм 1

Овај програм је написан у МАТЛАБ (MATLAB) компјутерском језику, коришћен је за прикупљање информација са видеа који је добијен снимањем екрана ваге. Помоћу овог програма је добијена промена масе течности у чаши са анодом током времена.

### Програм:

```
a=VideoReader('Promena mase vode u casama pri naponu od 6kV 30.7..mp4');
brf= floor(a.Duration*4);
pixcor=[48 55 49 56 56 49 49 56 56 48 45 59 52 46 60 52 50 ; 101 100 122 122 114 115 137 136 128 128 118 118
118 131 135 132 57];
pixon= zeros(1,17);

m=zeros(2,floor(a.Duration*4));

for i=1:brf
    s=read(a,i*a.FrameRate/4);
    m(1,i)=i/4;

    for j=1:17

pixcl=double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j),1))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j),2))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j),3));
    pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j)+1,pixcor(2,j),1))+double(s(pixcor(1,j)+1,pixcor(2,j),2))+double(s(pixcor(1,j)+1,pixcor(2,j),3));
    pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j)-1,pixcor(2,j),1))+double(s(pixcor(1,j)-1,pixcor(2,j),2))+double(s(pixcor(1,j)-1,pixcor(2,j),3));

pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j)+2,pixcor(2,j),1))+double(s(pixcor(1,j)+2,pixcor(2,j),2))+double(s(pixcor(1,j)+2,pixcor(2,j),3));
    pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j)-2,pixcor(2,j),1))+double(s(pixcor(1,j)-2,pixcor(2,j),2))+double(s(pixcor(1,j)-2,pixcor(2,j),3));
    pixcl=pixcl/5;
    if pixcl<300
        pixon(1,j)=1;
    else
        pixon(1,j)=0;
    end;
end;

for j=1:10

pixcl=double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j),1))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j),2))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j),3));

pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)+1,1))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)+1,2))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)+1,3));
    pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)-1,1))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)-1,2))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)-1,3));

pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)+2,1))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)+2,2))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)+2,3));
    pixcl=pixcl+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)-2,1))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)-2,2))+double(s(pixcor(1,j),pixcor(2,j)-2,3));
```

```

    pixcl=pixcl/5;
    if pixcl<300
        pixon(1,j)=1;
    else
        pixon(1,j)=0;
    end;
end;

if pixon(1,17)==1
    minus=-1;
else
    minus=1;
end;

if pixon(1,1)==1
    dig1=0;
elseif pixon(1,2)==1
    dig1=2;
else
    dig1=1;
end;

if pixon(1,11)==1 && pixon(1,3)==1 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==1 && pixon(1,5)==1 &&
pixon(1,6)==1 && pixon(1,13)==0
    dig2=0;
elseif pixon(1,11)==0 && pixon(1,3)==1 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==0 && pixon(1,5)==0 &&
pixon(1,6)==0 && pixon(1,13)==0
    dig2=1;
elseif pixon(1,11)==1 && pixon(1,3)==1 && pixon(1,4)==0 && pixon(1,12)==1 && pixon(1,5)==1 &&
pixon(1,6)==0 && pixon(1,13)==1
    dig2=2;
elseif pixon(1,11)==1 && pixon(1,3)==1 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==1 && pixon(1,5)==0 &&
pixon(1,6)==0 && pixon(1,13)==1
    dig2=3;
elseif pixon(1,11)==0 && pixon(1,3)==1 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==0 && pixon(1,5)==0 &&
pixon(1,6)==1 && pixon(1,13)==1
    dig2=4;
elseif pixon(1,11)==1 && pixon(1,3)==0 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==1 && pixon(1,5)==0 &&
pixon(1,6)==1 && pixon(1,13)==1
    dig2=5;
elseif pixon(1,11)==1 && pixon(1,3)==0 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==1 && pixon(1,5)==1 &&
pixon(1,6)==1 && pixon(1,13)==1
    dig2=6;
elseif pixon(1,11)==1 && pixon(1,3)==1 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==0 && pixon(1,5)==0 &&
pixon(1,6)==0 && pixon(1,13)==0
    dig2=7;
elseif pixon(1,11)==1 && pixon(1,3)==1 && pixon(1,4)==1 && pixon(1,12)==1 && pixon(1,5)==1 &&
pixon(1,6)==1 && pixon(1,13)==1
    dig2=8;
else
    dig2=9;
end;

if pixon(1,14)==1 && pixon(1,7)==1 && pixon(1,8)==1 && pixon(1,14)==1 && pixon(1,15)==1 &&
pixon(1,9)==1 && pixon(1,10)==0

```

```

    dig3=0;
    elseif pixon(1,14)==0 && pixon(1,7)==1 && pixon(1,8)==1 && pixon(1,14)==0 && pixon(1,15)==0 &&
pixon(1,9)==0 && pixon(1,10)==0
    dig3=1;
    elseif pixon(1,14)==1 && pixon(1,7)==1 && pixon(1,8)==0 && pixon(1,14)==1 && pixon(1,15)==1 &&
pixon(1,9)==0 && pixon(1,10)==1
    dig3=2;
    elseif pixon(1,14)==1 && pixon(1,7)==1 && pixon(1,8)==1 && pixon(1,14)==1 && pixon(1,15)==0 &&
pixon(1,9)==0 && pixon(1,10)==1
    dig3=3;
    elseif pixon(1,14)==0 && pixon(1,7)==1 && pixon(1,8)==1 && pixon(1,14)==0 && pixon(1,15)==0 &&
pixon(1,9)==1 && pixon(1,10)==1
    dig3=4;
    elseif pixon(1,14)==1 && pixon(1,7)==0 && pixon(1,8)==1 && pixon(1,14)==1 && pixon(1,15)==0 &&
pixon(1,9)==1 && pixon(1,10)==1
    dig3=5;
    elseif pixon(1,14)==1 && pixon(1,7)==0 && pixon(1,8)==1 && pixon(1,14)==1 && pixon(1,15)==1 &&
pixon(1,9)==1 && pixon(1,10)==1
    dig3=6;
    elseif pixon(1,14)==1 && pixon(1,7)==1 && pixon(1,8)==1 && pixon(1,14)==0 && pixon(1,15)==0 &&
pixon(1,9)==0 && pixon(1,10)==0
    dig3=7;
    else
    dig3=9;
    end;
m(2,i)=(dig1+dig2/10+dig3/100)*minus;
end;
plot(m(1,:),m(2,:),'r-');

```

## Програм 2

Програм је написан у MATLAB програмском језику. Овај програм је коришћен за израчунавање полупречника флуидног моста.

### Програм:

```

import vision.*

videoFileReader = vision.VideoFileReader('Promena mase vode pri naponu 8kV 30.7..mp4');%otvara ?ita? video
klipa

videoPlayer = vision.VideoPlayer('Position', [100, 100, 680, 520]); %otvara plejer

objectFrame = step(videoFileReader); %?ita prvi frejm

a = VideoReader('Promena mase vode pri naponu 8kV 30.7..mp4'); %otvara drugi?ita? koji moze da
pro?ita framerate i trajanje
n = int32(a.Duration*a.FrameRate); %ukupan broj frejmova

figure(); %otvara novi prozor
imshow(objectFrame); %prikazuje prvi frejm
canvas = round(getrect); %traži obeležavanje pravougaonika koji služi za
pra?enje (koristiti linije ugravirane na ?aši)

[x0r,y0r]=ginput(1); %zahteva unos ta?ke dodira ?aša

```

```

x0=round(x0r);
y0=round(y0r);

X = zeros(1,n); %položaj ?aše inicijalizacija

trigsearch=0; %parametri koji određuju režim rada
(trazenje/snimanje)
trigerecord=0;
dataset=0;

nofrsample=30; %broj frejmova koji se koristi za utvr?ivanje
mirovanja
nofrrecord=25; %broj frejmova kojii se koristi za usrednjavanje
noframes=max(nofrsample,nofrrecord);
lastframes=zeros(720,1280,3,noframes);

fieldh=41; %parametri za površinu koja se koristi za merenje
fieldwratio=0.5;
fieldcol=zeros(1,fieldh);

i = 0; %inicijalizacija indexa za petlju
e=1;
aa= zeros(1,n);
w=1;
while ~isDone(videoFileReader)

    i = i + 1;

    frame = step(videoFileReader);
    step(videoPlayer,frame);

    %tracking

    smallFrame = rgb2gray(frame(canvas(2):canvas(2)+canvas(4), canvas(1):canvas(1)+canvas(3), :));
    edgedSmallFrame = edge(smallFrame, 'prewitt');
    [I, J] = ind2sub(size(edgedSmallFrame), find(edgedSmallFrame == 1));
    assert(~isempty(I));
    X(i) = max(J);
    if i==1
        X0=X(i);
    end;
    X(i) = X(i)-X0;

    if(i>noframes)

        difX=X(i)-X(i-nofrsample);

        for j=2:noframes

            lastframes(:, :, j)=lastframes(:, :, j-1);

        end;

        lastframes(:, :, 1)=frame;

        if trigsearch==0

```

```

if difX<-4

    if trigrecord==0
        trigsearch=1;
    end;
end;

else
    if difX>4
        trigsearch=0;
        trigrecord=0;
    end;
end;

if trigsearch==1 && abs(difX)<3
    dist=-X(i);
    trigsearch=0;
    trigrecord=1;
    dataset=dataset+1;
    fieldleft=round(x0-dist*(0.5+fieldwratio/2));
    fieldright=round(x0-dist*(0.5-fieldwratio/2));
    fieldw=fieldright-fieldleft;
end;

else

    lastframes(:, :, :, noframes-i+1)=frame;

end;

if trigrecord==1
    fieldgrad=zeros(1,fieldh-1);
    for k=1:nofrrecord
        for j=0:fieldw
            for m=1:fieldh-1

                fieldgrad(m)=fieldgrad(m)+lastframes(y0-round((fieldh-1)/2)+m-1,fieldleft+j,1,k)-lastframes(y0-
round((field-1)/2)+m,fieldleft+j,1,k)+lastframes(y0-round((fieldh-1)/2)+m-1,fieldleft+j,2,k)-lastframes(y0-
round((fieldh-1)/2)+m,fieldleft+j,2,k)+lastframes(y0-round((fieldh-1)/2)+m-1,fieldleft+j,3,k)-lastframes(y0-
round((fieldh-1)/2)+m,fieldleft+j,3,k);

                end;
            end;
        end;

        absfieldgrad=zeros(1,fieldh-1);
        for m=1:fieldh-1
            absfieldgrad(m)=abs(fieldgrad(m));
        end;

    end;

if w>a.FrameRate

plot(absfieldgrad)
[a01r,b01r]=ginput(1);
%zahteva unos ta?ke dodira ?aša

```

```
a01=a01r;  
[a11r,b11r]=ginput(1);  
a11=a11r;  
aa(e)=abs(a11-a01)  
e=e+1;  
w=1;  
    else w=w+1;  
    end;  
end;  
end;
```

% zahteva unos ta?ke dodira ?asa