

Ispitivanje karakteristika lebdećeg fluidnog mosta

U ovom radu proučavane su karakteristike fluidnog mosta. Fluidni most je struktura koja se formira između dve čaše napunjene fluidom kada se u svaku od njih postavi po jedna elektroda i dovede napon reda veličine kilovolta između njih. Karakteristike koje su ispitivane za razne setove parametara su maksimalna dužina mosta, promena poluprečnika mosta, kao i protok fluida kroz most tokom vremena. Razlika napona između elektroda koja je varirana tokom eksperimenata je u opsegu od 6 do 11 kV. Fluidi koji su korišćeni za ispitivanje su metanol, etanol, propanol, amil-alkohol, izopropil-alkohol, voda, rafinirano ulje, kao i smeše vode sa alkoholima. Rezultati pokazuju da prilikom korišćenja vode, kao fluida u eksperimentu, postoji tendencijalni protok fluida koji je linearno zavisn od vremena. Na fluidnom mostu tendencijalni protok predstavlja kretanje fluida u smeru čaše sa katodom, ali dolazi i do povremenih prelazaka fluida ka čaši sa anodom. Zapaženo je da se nehomogene smeše vode i alkohola u domenima visokih i niskih napona ponašaju slično alkoholima i vodi, respektivno. Takođe, određujući promenu poluprečnika fluidnog mosta tokom vremena uočeno je da njegova zavisnost nije povezana samo sa protokom, nego i sa karakteristikama fluida.

Uvod

U poslednjih deset godina povećalo se interesovanje za fenomen koji je poznat više od sto godina. Fluidni most je struktura koja se formira između dve čaše napunjene određenim fluidom pod uticajem električnog polja na rastojanju reda

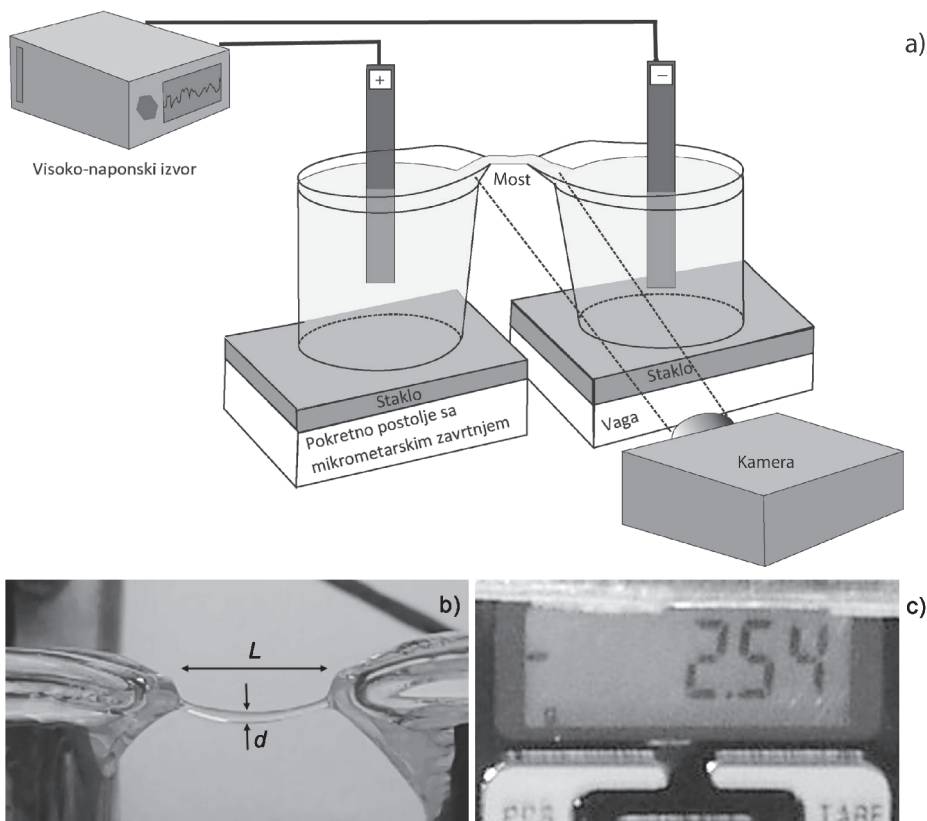
veličine centimetra. Vilijam Armstrong je 1893. godine primetio ovu neobičnu pojavu kod dejonizovane vode, prilikom postavljanja pamučne trake između dve vinske čaše napunjene vodom. Postavljanjem elektroda u svaku od čaša i uključivanjem visokog napona formiran je sloj vode oko pamučne trake. Posle nekog vremena pamučna traka je bila povučena od strane vode u jednu od dve čaše, nakon čega je na mestu pamučne trake ostala približno horizontalna stabilna struktura sačinjena isključivo od vode (Fuchs *et al.* 2014).

Ovaj jednostavan fenomen, koji je lako reprodukovati, izazvao je interesovanje zbog nerazjašnjenog mehanizma stabilnosti mosta. Razvile su se diskusije o razlogu nastanka fluidnog mosta (Woisetschläger *et al.* 2010; Marín *et al.* 2010; Fuchs *et al.* 2010; Woisetschläger *et al.* 2012; Namin *et al.* 2013; Fuchs *et al.* 2007; Aerov *et al.* 2011), to jest o stepenu uticaja različitih mikroskopskih i makroskopskih sila. Na osnovu istraživanja vršenih na fluidnom mostu prihvaćeno je mišljenje da se fenomen može opisati makroskopskim silama u okvirima elektrohidrodinamike, bez obzira na mikroskopsku strukturu vode. Na most koji se formira između dve staklene čaše najizraženije utiču tri sile: gravitacija, sila površinskog napona, kao i sila koja se stvara prilikom polarizacije dielektrika (fluida) u prisustvu električnog polja (Marín *et al.* 2010; Namin *et al.* 2013). Sila površinskog napona i polarizacija fluida su konstruktivne sile koje imaju približno jednak udeo u suprotstavljanju sili zemljine teže (Woisetschläger *et al.* 2012).

Neke od zanimljivih osobina koje su posmatrane na „lebdećem” fluidnom mostu od strane grupa istraživača su: Ramanov spektar vode u mostu (Ponterio *et al.* 2010), geometrijski oblik mosta (Aerov *et al.* 2011; Widom *et al.* 2009),

Helena Miljković (1998), Beograd, Mileve Marić Ajnštajn 21/54, učenica 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu

MENTOR: Vladimir Jovanović, naučni saradnik, Institut za fiziku, Beograd



Slika 1. a) Šema aparature korišćene u eksperimentu. b) Slika fluidnog mosta snimljena sa pozicije prve kamere. Dužina mosta je označena sa L i prečnik fluidnog mosta sa d . c) Slika ekrana vage napravljena sa pozicije druge kamere. Snimak prati promenu mase.

Figure 1. a) Scheme of the apparatus used in the experiment. b) Image of the fluid bridge taken by the first camera. The length of the bridge is marked L and the diameter of the fluid bridge is d . c) Image of the scale monitor taken by the second camera. The recording monitors the change in mass.

promena pH vrednosti vode u mostu i van njega (Fuchs *et al.* 2010), promena električnog polja u mostu kao i odnos sila koje deluju na njega (Marín *et al.* 2010; Namin *et al.* 2013). Ramanov spektar predstavlja vibracionu energiju molekula, koji predstavlja tip kretanja sa najmanjom energijom.

Osobine proučavane u ovom radu su maksimalna dužina mosta, promena mase tečnosti u čaši, protok tečnosti, kao i promena prečnika mosta tokom vremena u zavisnosti od primenjenog napona. Prvo su u okviru eksperimenta ispitivane karakteristike mosta sačinjenog od vode, a zatim se istraživanje proširilo i na druge supstance. Proučavani su mostovi sačinjeni od

metanola, etanola, propanola, amil-alkohola, izopropil-alkohola, vode, kao i njihovih smeša. Time je dobijena mogućnost da se upoređivanjem rezultata dobiju informacije o ponašanju različitih fluida u električnom polju.

Postavka eksperimenta

Aparatura. Šema aparature korišćene za eksperiment data je na slici 1a. U staklene čaše, koje sadrže po 61 mL tečnosti i čiji su vrhovi na istoj visini (koja se ne menja tokom eksperimenta), uronjene su cilindrične grafitne elektrode. Staklene čaše su postavljene na staklene

ploče, zbog sigurnosti pri radu sa visokim naponom. Ispod čaše sa anodom se nalazi vaga, tačnosti 0.01 g, koja meri relativnu promenu mase fluida koji se nalazi u njoj. Takođe je vođeno računa o uticaju električnog polja na vagu, zbog čega je vaga uzemljena. Druga je čaša, u kojoj se nalazi katoda, na postolju koje se pokreće okretanjem mikrometarskog zavrtnja, tačnosti 0.01 mm, pomoću koga je mereno rastojanje između čaša. Tokom eksperimenta je pomerana samo čaša sa katodom, dok je druga čaša stacionarna.

Na elektrode se dovodi jednosmerni napon u opsegu od 6 do 11 kV, dobijen pomoću nekomercijalnog izvora napravljenog u laboratoriji za ovu svrhu.

U aparaturu korišćenu za eksperiment spadaju i dve kamere. Jedna kamera snima fluidni most (prečnik, dužinu i oblik mosta, slika 1b), dok druga snima ekran vage, tj. promenu mase u čaši sa anodom (slika 1c). Video-zapisi koji su dobijeni pomoću ove dve kamere su sinhronizovani i obrađeni pomoću programa napisanog u MATLAB-u. Izlazne veličine su prečnik d mosta, promena mase Δm tečnosti u čaši sa anodom i vreme t .

Procedure merenja. Da bi bilo izbegnuto pojavljivanje varnica koje mogu da kontaminiraju fluid, svaki eksperiment je otpočet uslovom da se čaše dodiruju (nulti položaj na mikrometarskom zavrtnju) i da su kljunići čaša pokvašeni tečnošću kojom su napunjene. Takođe, vođeno je računa da se elektrode pre eksperimenta razelektrišu kratkim spojem na nultom naponu.

Merenja se mogu podeliti na dinamička i stacionarna. Kod eksperimenata vršenih u dinamičkom režimu napon je fiksiran a čaša sa katodom se udaljava od čaše sa anodom, ručno uz pomoć mikrometarskog zavrtnja. Početni položaj čaša je onaj u kome se one dodiruju (dužina mosta $L = 0$ mm). Korišćenjem ove procedure izmerene su maksimalne dužine mosta u zavisnosti od napona i fluida. Maksimalne dužine su dobijene očitavanjem vrednosti na mikrometarskom zavrtnju u trenutku pucanja mosta.

Kod stacionarnih merenja čaše sa konstantnom rastojanju od $L = 3$ mm i napon se ne menja tokom eksperimenta. U ovom režimu stvoreni su uslovi za precizno prikupljanje podataka na osnovu snimaka i njihove obrade o rela-

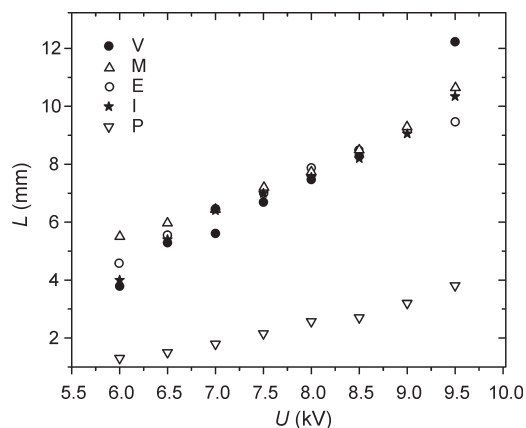
tivnoj promeni mase tečnosti u čašama, kao i promeni prečnika fluidnog mosta tokom vremena za različite fluide i napone. Da bi se došlo do stacionarnog režima, sistem prvo prolazi kroz dinamički, jer se čaše moraju dovesti na zadato rastojanje, posle čega se ne pomeraju. Momenat od koga se čaša sa anodom više ne kreće predstavlja početno vreme $t = 0$ i tada je $\Delta m = 0$.

Korišćene supstance. Formiranje mosta je izvedeno za nekoliko tečnih supstanci: dejonizovanu vodu (Milli-Q 18.2 M Ω cm na 25°C), etanol (Zorka Pharma, 99.8%), metanol (Centrohema, 99.8%), izopropil-alkohol (Hemos, 99.7%) i amil-alkohol (Centrohema, 99.7%).

Rezultati i diskusija

Maksimalna dužina mosta

Merena je maksimalna dužina L mosta različitih fluida u dinamičkom režimu za različite napone U , a rezultati su prikazani na slici 2. Vidi se da dužina mosta linearno zavisi od napona za sve supstance i da su njihove dužine slične, osim za pentanol, koji gradi značajno kraće mostove. Uočavamo blagu varijaciju u koeficijentima pra-

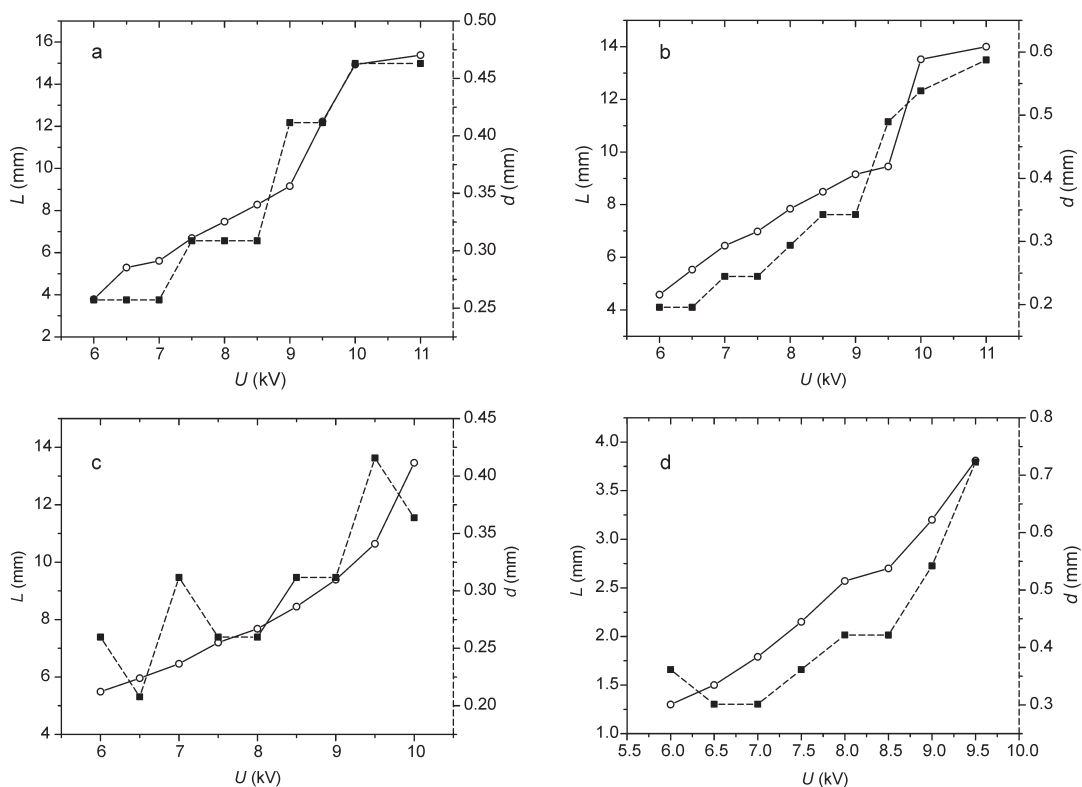


Slika 2. Maksimalna dužina L mosta za različite fluide u zavisnosti od napona U dovedenog između elektroda. V – voda, M – metanol, E – etanol, I – izopropil alkohol, P – pentanol.

Figure 2. Maximum length L of the bridge, composed of different fluids, depending on the voltage U , applied between the electrode. V – water, M – methanol, E – ethanol, I – isopropyl alcohol, P – pentanol.

Tabela 1. Osobine supstanci

Korišćene supstance	Dielektrična susceptibilnost ϵ_r na 25°C	Gustina (g/cm^3)	Viskoznost na 20°C ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	Dipolni moment ($10^{-29} \text{C} \cdot \text{m}$)	Površinski napon na 20°C (mN/m)
Voda	79.5	1	1.002	1.87	72.86
Metanol	32.65	0.79	0.593	2.87	22.5
Etanol	24.51	0.79	1.2	1.66	22.39
Amil alkohol	15.09	0.812	4.3	1.7	23.7



Slika 3. Grafik zavisnosti prečnika i dužine mosta od napona. Na graficima vidimo upoređene maksimalne dužine mostova sa debljinom istog za vodu (a), etanol (b), metanol (c) i pentanol (d).

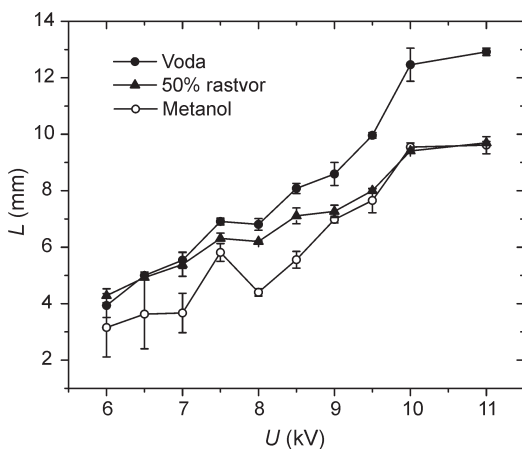
Figure 3. Graph of the diameter and length of the bridge voltage. In the graphs, we see the maximum length compared with the thickness of the bridges of water (a), ethanol (b), methanol (b) and pentanol (d).

vaca dobijenih za različite supstance. Slična merenja dužine mosta sačinjenog od vode u zavisnosti od napona izvršilo je nekoliko istraživačkih grupa i dobijeni su kvalitativno slični rezultati (Marín *et al.* 2010; Woisetschlager *et al.*

2012). Osobine supstanci, kao što su gustina, viskoznost, površinski napon i relativna dielektrična susceptibilnost, date u tabeli 1, osnovni su parametri koji utiču na njen nagib (Marín *et al.* 2010; Woisetschlager *et al.* 2012).

Mostovi čistih alkohola prekidali su se uglavnom naglim istanjivanjem (kod metanola i etanola je ta osobina posebno izražena) i/ili velikim oscilacijama nakon kojih je usledilo pucanje. Nekoliko puta je kod metanola čak dolazilo do ponovnog uspostavljanja mosta nekoliko sekundi nakon njegovog nestanka (pretpostavljamo da je to posledica velike koncentracije metanola u vazduhu oko horizontalnog fluidnog mosta). Mostovi sačinjeni od vode ili od pedesetoprocentnog rastvora metanola ili etanola u vodi su, u trenucima kada je dostignuta njihova maksimalna dužina, pucali zbog velike kapljice koja se formira na sredini mosta nekoliko sekundi pre pucanja. Zbog ovako različitog ponašanja fluidnih mostova pre pucanja teško je upoređivati njihove maksimalne dužine i debljine.

Upoređena je maksimalna dužina mosta u dinamičkom režimu za vodu, metanol i njihov pedesetoprocentni rastvor (slika 4). Uočavamo da se smeša metanola i vode pri naponima između 6 i 8 kV ponaša kao voda, a pri naponima između 9 i 11 kV kao metanol, tj. da su pri nižim naponima dominantnije sile koje drže vodeni most, dok kod viših napona ta uloga prelazi na međumolekulske sile koje drže most sačinjen od



Slika 4. Maksimalna dužina L mosta u zavisnosti od napona U između dve čašice napunjene vodom, metanolom i 50% rastvorom metanola u vodi

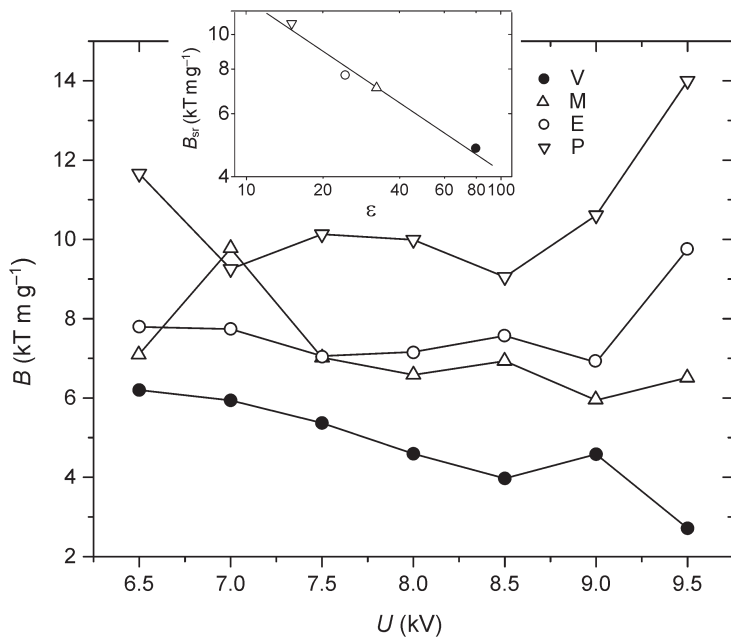
Figure 4. Maximum length L of the bridges depending on the voltage U between two cups filled with water, methanol and 50% solution of methanol in water

metanola. Moguće objašnjenje za ovu osobinu leži u relativnoj dielektričnoj propustljivosti ϵ , čija se vrednost za smešu nalazi između onih vrednosti za vodu i metanol (Marín *et al.* 2010).

Prečnik d različitih fluidnih mostova je meren pri pucanju mosta za različite napone u dinamičkom režimu. Rezultati su upoređeni sa odgovarajućim maksimalnim dužinama L mostova za vodu, metanol, etanol i pentanol na slici 3. Vidi se da prečnik i dužina mosta pri pucanju slično variraju sa naponom za sve supstance, tj. i prečnik i dužina se povećavaju kada se napon povećava. Prema tome, ove dve veličine linearno zavise jedna od druge. Zbog male rezolucije kamere nije ostvarena velika preciznost u merenju prečnika (apsolutna greška njegovog određivanja je jedna tačka, tj. piksel, a relativna može dostići i 30%). Kod metanola imamo velike oscilacije u prečniku (slika 3c), što je posledica načina na koji most „puca“.

U svom radu u kome teorijski razmatra stabilnost idealizovanog vodenog mosta formiranog u uslovima homogenog aksijalno-simetričnog električnog polja, Aerov (2010) predlaže kriterijum na osnovu kojeg je moguće, makar okvirno, dobiti kritično električno polje neophodno da most bude stabilan. Ovo je izraženo relacijom $E_{cr} = B \cdot L(\gamma/A)^{1/2}$, gde je γ površinski napon vode, A poprečni presek vodenog mosta, a B parametar proporcionalnosti. Iako se fluidni most u ovom radu ne nalazi u uslovima aksijalne simetrije, pomenuta formula je primenjena na podatke dobijene za maksimalnu dužinu mosta i njegovu debljinu u trenutku pucanja u zavisnosti od napona (električnog polja). Na slici 5 data je zavisnost parametra $B = (U/L^2) \cdot (d/2) \cdot (\pi\gamma)^{1/2}$ od primenjenog napona U na elektrodama. Greška u određivanju parametra B dolazi pretežno od male preciznosti u određivanju prečnika d (relativna greška i do 30%). Vrednosti za površinski napon γ različitih supstanci date su u tabeli 1. Vidi se da je parametar B konstantna funkcija napona za sve tečnosti sem vode, koja pokazuje blagu linearnu zavisnost. U umetku slike 5 pokazano je da srednja vrednost B_{sr} ovog parametra prati stepeni zakon zavisnosti od relativne dielektrične propustljivosti ϵ (čije su vrednosti uzete iz tabele 1), odnosno $B_{sr} \sim \epsilon^{-1/2}$.

Izvršeni su pokušaji da se uspostavi most između čašica napunjenih rafiniranim uljem, kao i



Slika 5. Zavisnosti parametra B od napona U . Grafik u umetku pokazuje zavisnost srednje vrednosti parametra B od relativne dielektrične susceptibilnosti. V – voda, M – metanol, E – etanol, P – pentanol.

Figure 5. Graph of the parameter B depending on the voltage U and. In insert of graph is mean value of parameter B depending on the dielectric susceptibility. V – water, M – methanol, E – ethanol, P – pentanol.

smešama vode i različitih indikatora (kumaši, kongo crveno, brom-fenol plavo), ali ti pokušaji nisu urodili plodom. Razlog zbog kojeg nije uspeo pokušaj uspostavljanja mosta korišćenjem rafiniranog ulja je njegova mala relativna dielektrična propustljivost (Marín *et al.* 2010), dok sa indikatorima nije uspeo zbog toga što njihovi vodeni rastvori imaju značajnu provodnost, koja je destruktivna za most.

Promena mase

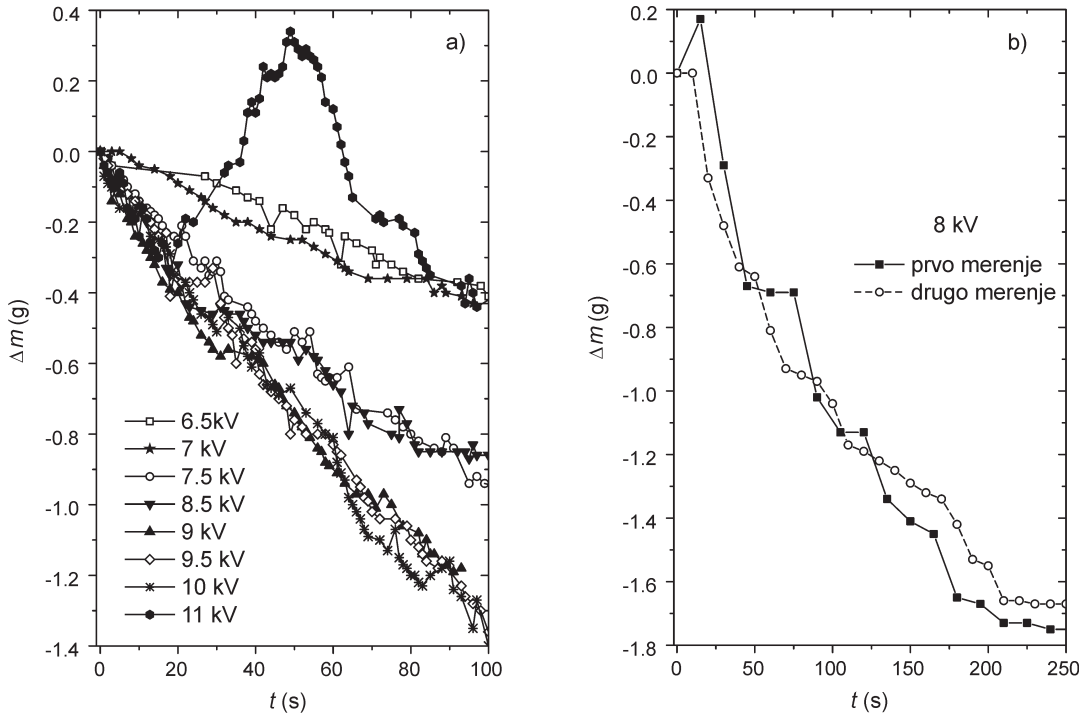
Promena mase Δm deionizovane vode u čaši sa anodom praćena je u stacionarnom režimu za različite napone (slika 6). Opšta tendencija je da je smer transfera vode onaj iz čašice sa anodom ka čašici sa katodom na svim ispitivanim naponima i da se protok povećava sa povećanjem napona (slika 6a). Ne postoji određena zavisnost brzine transfera mase (nagib krive) od napona koji je primenjen. Primećujemo da masa prelazi u naletima (talasima). Transfer mase nije monotona funkcija vremena, tj. postoje momenti u kojima se voda kreće u suprotnom smeru, što se najbolje može videti na naponu od 11 kV. Dobijeni rezultati se slažu sa merenjima drugih grupa (Woissetschläger *et al.* 2010).

Upoređivanjem rezultata dobijenih iz dva merenja na naponu od 8 kV (slika 6b) vidimo da,

iako je opšta zavisnost slična, protok pri promeni smera transfera mase nije isti. Pretpostavlja se da je ova nedefinisana promena smera transfera mase povezana sa fluktuacijama u površinskom naelektrisanju (Marín *et al.* 2010; Fuchs *et al.* 2010).

Nakon perioda u kojem fluid pretežno prelazi iz čaše sa anodom u čašu sa katodom dolazi period kada se to stanje menja, voda ili počne da se kreće u suprotnom smeru ili protok počne da saturira, tj. da teži nekoj određenoj vrednosti. Ovaj efekat se najbolje vidi na rezultatu dobijenom za 11 kV (slika 6a), gde oko dvadesete sekunde tečnost naglo počne da prelazi iz čaše sa katodom u čašu sa anodom. Razlog zbog kojeg se voda tako ponaša je previše velika razlika u visini vode u čašama, zbog čega se stvara hidrostatički pritisak, koji u jednom trenutku počne da dominirati nad silom koju stvara električno polje (Woissetschläger *et al.* 2010). Dobijeni rezultati se slažu sa rezultatima dobijenim od strane drugih istraživača (Woissetschläger *et al.* 2010; Fuchs *et al.* 2010).

Prilikom ovih eksperimenata nije dolazilo do kvašenja spoljašnjih zidova čašica, što ovaj eksperiment čini preciznim. Detaljna merenja ovog tipa je moguće vršiti nad vodom, dok merenja nad alkoholima kao što su metanol, etanol,



Slika 6. a) Promena mase Δm vode u čaši u kojoj je anoda (pozitivan potencijal) u zavisnosti od vremena t i zadatog napona U . b) Promena mase Δm vode u čaši u kojoj je anoda (pozitivan potencijal) u zavisnosti od vremena t pri naponu od 8 kV za dva različita merenja. Promene mase su računane od trenutka kada je uspostavljeno konstantno rastojanje između čašica ($L = 3$ mm). Greška merenja ne prelazi veličinu simbola na slici.

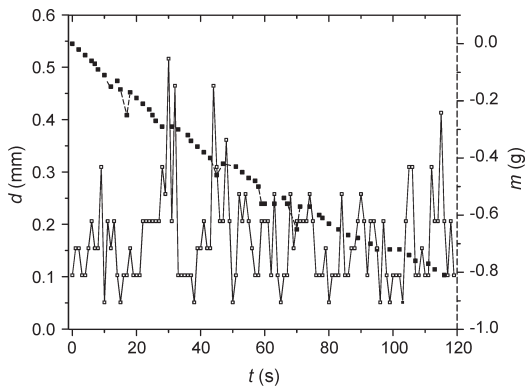
Figure 6. a) Change in mass Δm of a glass of water containing the anode (positive potential) based on the time t and given voltage U . b) Change in mass Δm in a glass of water containing the anode (positive potential) based on the time t at a voltage of 8 kV for two different measurements. Changes of mass are calculated from the moment in which distance between the cups are constant ($L = 3$ mm). Measurement uncertainty does not exceed the size of the symbols on the graph..

propanol, izopropil-alkohol, amil-alkohol nije moguće dovoljno precizno vršiti. Alkoholi imaju i do tri puta manji površinski napon od vode, što predstavlja glavnu prepreku u preciznom merenju protoka (v. tabelu 1). Zbog ove osobine veliki procenat alkohola koji u nekom trenutku uđe u strukturu mosta izađe iz nje spuštajući se niz spoljašnje zidove čašica, čime se masa tečnosti u čašama brzo smanjuje. Takođe, nije moguće utvrditi da li će i koliko uticati smanjeni nivo tečnosti na brzinu protoka fluida kroz most. Snižavanjem nivoa tečnosti u čašama povećavamo potrebnu energiju za prelazak iste

količine tečnosti iz jedne čaše u drugu. Posmatrajući protok tečnosti kod alkohola na kratkom intervalu vremena, od oko 3 minuta, primećeno je da je masa u čaši sa anodom zajedno sa tečnošću koja se spustila niz istu čašu konstantna.

Promena prečnika

U stacionarnom režimu uočene su oscilacije u prečniku mosta. Promena prečnika tokom vremena je snimana pomoću fotoaparata postavljenog tako da snima ponašanje mosta iz ravni

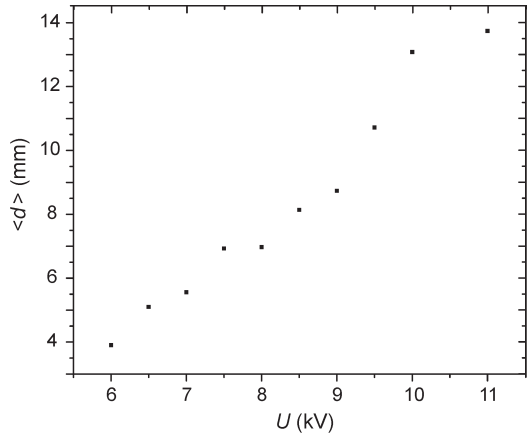


Slika 7. Prečnik d mosta (bele tačke) izražen u milimetrima u zavisnosti od vremena t . Ovo merenje je vršeno od trenutka kada je uspostavljeno konstantno rastojanje $L = 3$ mm između čašica sa vodom na naponu od 6 kV upoređen sa odgovarajućom zavisnošću mase m vode (crne tačke) u čaši sa anodom.

Figure 7. Diameter d (white dots) of the bridge expressed in millimeters based on time t . This measurement is carried out from the moment when a constant distance $L = 3$ mm is established between the cups of water with a voltage of 6 kV compared with the corresponding dependence of mass m of water (black dots) in the glass with the anode.

koja sadrži konture mosta (slike 1a i 1b). Obrada rezultata se sastoji iz dva dela. U prvom delu je program računao najveći gradijent promene intenziteta boje, preko grafika u Matlabu. U drugom delu obrade podataka je određivan prečnik vodenog mosta izdvajanjem odgovarajućih pikova, koji predstavljaju konture mosta, sa grafika dobijenog uz pomoć programa. Nakon toga program je izračunavanjem razlike između rastojanja izabranih tačaka prikazao dobijene rezultate.

Na osnovu rezultata dobijenih obradom snimaka može se primetiti da dolazi do velikih oscilacija u debljini mosta tokom vremena. Iako na prvi pogled ovaj sistem izgleda statično zbog konstantnih uslova pri kojima je formiran (rastojanje i napon su konstantni), rezultati pokazuju da je sistem dinamičan. Pokušajem da se nađe funkcija po kojoj se menja poluprečnik ustanovljeno je da ne postoji jednostavna funkcija koja može opisati ovakvo ponašanje. Ovakvi



Slika 8. Srednja vrednost prečnika mosta izražena u milimetrima u zavisnosti od primenjenog napona U na konstantnom rastojanju $L = 3$ mm između dve čašice sa vodom

Figure 8. Mean diameter of the bridge in millimeters depending on the applied voltage U at a constant distance $L = 3$ mm between two glasses of water

rezultati su dobijeni na svim naponima u opsegu od 6 do 11 kV.

Pažljivim posmatranjem može se povezati promena prečnika vodenog mosta sa varijacijama u masi vode u čaši sa anodom (slika 7). Uglavnom postoji poklapanje koje bi potvrdilo povećanje prečnika mosta u trenucima kada voda brže prelazi iz jedne čaše u drugu ili dolazi do promene smera protoka. Takođe se primećuju manje oscilacije u poluprečniku prilikom približno konstantnog protoka, što vidimo na slici 7. Iste osobine se primećuju kod rezultata dobijenih za napone u rasponu od 6 do 11 kV.

Uprkos velikim nedefinisanim oscilacijama tokom vremena, srednja vrednost poluprečnika mosta povećava se sa povećanjem napona (slika 8), što je rezultat koji se kvalitativno poklapa sa merenjima dobijenim od strane drugih istraživača (Namin *et al.* 2013).

Zaključak

U radu je eksperimentalno ispitivan protok tečnosti kroz fluidni most, čime je utvrđeno da kod vode masa tendencijalno prelazi iz čaše sa anodom u čašu sa katodom sve do trenutka kada

razlika između nivoa tečnosti u levoj i u desnoj čaši postane dovoljno velika, da bi se tada zbog hidrostatičkog pritiska smer tendencijalnog protoka promenio. Razlog zbog kojeg dolazi do protoka vode kroz most je površinsko naelektrisanje. Ono interaguje sa električnim poljem, zbog čega molekuli vode počinju da se usmereno kreću.

Iako je lako formirati stabilan most koji se neće prekinuti i po nekoliko sati, može se zapažati da se njegov oblik lako menja. U okviru ovog eksperimenta je potvrđeno da se poluprečnik mosta prilikom konstantnih spoljašnjih uslova ne menja po nekom lako uočljivom zakonu, kao i da je njegova promena povezana sa promenom protoka fluida kroz most.

Različite supstance poseduju različite karakteristike koje ih opisuju. Zbog toga je ispitivana maksimalna dužina pri kojoj je moguće imati most između čaša. Dobijeni rezultati pokazuju da dužina mosta raste sa povećanjem relativne dielektrične propustljivosti po eksponencijalnoj zavisnosti, $B_{sr} \sim \epsilon^{-1/2}$, kao i da dužina mosta linearno raste sa povećanjem napona između elektroda. Svi dobijeni rezultati eksperimenta su bili u okvirima predviđenih rezultata od strane istraživanja drugih naučnih grupa (Fuchs *et al.* 2007; Aerov *et al.* 2011; Ponterio *et al.* 2010).

Zahvalnica. Zahvaljujem se mentoru dr Vladimiru Jovanoviću, laboratoriji dr Radomira Žikića i dragim starijim kolegama iz te laboratorije (Milanu Pejiću, Aleksandru Tomoviću, dr Nenadu Sakanu i dr Milivoju Ivkoviću), kao i saradnicima sa programu fizike Milanu Krstajiću, Petru Bojoviću i Jeleni Pajović. Zahvaljum se i dr Ireni Novaković i Srđanu Tufegdžiću.

Literatura

Aerov A. A. 2011. Why the water bridge does not collapse. *Physical Review E*, **84**: 036314.

Fuchs E. C., Woisetschläger J., Gatterer K., Maierl E., Pecnik R., Holler G., Eisenkölbl H. 2007. The floating water bridge. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **40**: 6112.

Fuchs E. C., Agostinho L. L. F., Eisenhut M., Woisetschläger J. 2010. Mass and charge

transfer within a floating water bridge. *Proceedings SPIE (Society of Photographic Instrumentation Engineers)*, **7376**: 1E1.

Fuchs E. C., Wexler A. D., Paulitsch-Fuchs A. H. 2014. The Armstrong experiment revisited. *The European Physical Journal Special Topics*, **223**: 959.

Marín Á. G., Lohse D. 2010. Building water bridges in air: Electrohydrodynamics of the floating water bridge. *Physics of Fluids*, **22**: 122104.

Namin R. M., Lindi S. A., Amjadi A., Jafari N., Irajizad P. 2013. Experimental investigation of the stability of the floating water bridge. *Physical Review E*, **88**: 033019.

Ponterio R. C., Pochzlski M., Aliotta F., Vasi C., Fontanella M. E. 2010. Raman Scattering measurements on a floating water bridge. *Journal of Physics D: Applied Physics*, **43**: 175405.

Widom A., Swain J., Silverberg J., Sivasubramanian S., Srivastava Y. N. 2009. Theory of the Maxwell pressure tensor and the tension in a water bridge. *Physical Review E*, **80**: 016301.

Woisetschläger J., Gatterer K., Fuchs E. C. 2010. Experiments in a floating water bridge. *Experiments in Fluids*, **48**: 121.

Woisetschläger J., Wexler A. D., Holler G., Eisenhut M., Gatterer K., Fuchs E. C. 2012. Horizontal bridges in polar dielectric liquids. *Experiments in Fluids*, **52**: 193.

Helena Miljković

Examination of the Characteristics of the Floating Fluid Bridge

In this paper the characteristics of a fluid bridge are analyzed. A fluid bridge is a structure formed between two containers filled with liquid in which electrodes are placed and electric potential of the order of magnitude of a few kilovolts is induced. The length and fluid flux are measured

and put in relation with various sets of parameters. The voltage varies in the range from 6 to 11kV. The fluids used are ethanol, isopropyl alcohol, methanol, propanol, amyl alcohol, water, refined oil, as well as various mixtures of the listed fluids. The results show that while using water as the fluid in the experiment, there is a tangential fluid flow which linearly depends on time. Tangential flow is fluid flow in the direction of the cup with the cathode, but fluid occasionally crosses to the cup with the anode. It was detected that non-homogenous mixtures of alcohol and water in the domain of high and low voltages behave similarly to alcohol and water, respectively. Furthermore, it was noticed that the variations of the radius of the bridge in time are not only related to its flux but also to the characteristics of the fluid. 