Nina Jakovljević i Stefan Bukorović

Ispitivanje Vajsenbergovog efekta u njutnovskim fluidima

Vajsenbergov efekat nastaje pri rotaciji uskog vertikalnog štapa u posudi sa dve njutnovske tečnosti koje se međusobno ne mešaju. U takvom toku fluida se javlja niz nestabilnosti koje dovode do podizanja površinskog sloja donje tečnosti uz štap. U ovom radu su ispitivani oblik i visina podignutog stuba tečnosti, a varirani su prečnik i ugaona brzina štapa. Razlika prečnika posude i prečnika štapa bila je u opsegu od 18 mm do 63 mm, a maksimalna brzina štapa iznosila je 2500 obrtaja u minuti. Korišćene tečnosti su destilovana voda u kombinaciji sa različitim vrstama ulja. Pokazuje se da prečnik štapa značajno utiče na pojavu efekta: ugaona brzina na kojoj se efekat javlja je veća za manji prečnik. Kada je razlika prečnika posude i štapa manja od 43 mm, tj. 65% prečnika posude, tečnosti se mešaju na malim brzinama i efekat nije uočljiv. Rezultati potvrđuju da visina stuba tečnosti linearno zavisi od ugaone brzine rotacije štapa; Zapaženo je da ovo važi ispod kritične ugaone brzine, na kojoj stub tečnosti naglo menja oblik i prečnik. Brzina na kojoj se efekat javlja zavisi od vrste gornje tečnosti.

Uvod

Za vreme Drugog svetskog rata, prilikom pravljenja goriva za bacače plamena, često se dešavalo da se određene smeše u procesu mešanja penju uz osovine miksera, a ponekad i izlaze van zidova suda. Ovo je stvaralo poteškoće tokom proizvodnje, pa je britanska vlada, u periodu od 1942. do 1947. godine, finansirala istraživanja koja su imala za cilj da ispitaju uzrok te pojave. Ispitivano je ponašanje mnogih materijala u različitim uslovima, time su nastala brojna otvorena pitanja u vezi posmatranih pojava. Nakon završetka rata, objavljeno je više radova u kojima je, između ostalog, tumačen i prethodno pomenut fenomen (Lander 1945, Garner *et al*. 1950; prema Tanner i Walters 1998). Najveći doprinos je dao austrijski naučnik Karl Vajsenberg (Karl Weissenberg), po kome efekat nosi naziv Vajsenbergov efekat (engl. Weissenberg effect ili još i rod-climbing effect). On je povezao neobično ponašanje određenih materijala, tj. fluida sa postojanjem normalnog napona koji nastaje istezanjem dugačkih molekulskih struktura. Pomenuti napon dovodi do opiranja fluida centrifugalnoj i gravitacionoj sili, povlačeći se uz i ka rotirajućem cilindru (Tanner i Walters 1998; Weissenberg 1947). Nakon Vajsenberga, efekat se primenjuje u raznim industrijskim oblastima, a čak i danas nalazi nove primene u oblastima poput elektronike. Naime, na osnovu Vajsenbergovog efekta, na mikroskopskoj skali se može dizajnirati efikasan uređaj za direktno pisanje (engl. direct-writing). Rotacija osovine bi omogućila neprekidni dotok materijala, čime bi se mogli rešiti problemi velikog otpora tečnosti pri transportu kroz uske cevi, blokade u mlaznicama itd. Smatra se da će efekat u budućnosti imati potencijalnu primenu u mikroelektromehaničkim sistemima, fleksibilnoj elektronici i bio-uređajima (Mei *et al*. 2017).

Nina Jakovljević (2001), Kruševac, Tekija bb, učenica 2. razreda Gimnazije u Kruševcu

Stefan Bukorović (2002), Šabac, Janka Veselinovića 67, učenik 2. razreda Gimnazije u Šapcu

MENTORI:

Marija Milutinović, student Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Petar Bojović, Ludvig Maksimilijan Univerzitet u Minhenu

Marija Šindik, student Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Vajsenberg u svom radu govori i o drugačijem efektu, tj. spuštanju nivoa tečnosti uz osovinu mešalice, ističući da su različite pojave posledica vrste fluida. Ukoliko je vertikalni rotirajući cilindar delimično potopljen u posudu sa nenjutnovskim fluidom, površinski sloj tog fluida tj. meniskus se penje uz cilindar. U drugom slučaju, kada je u posudi njutnovski fluid, meniskus će se prilikom rotacije cilindra povući ka ivicama posude pod dejstvom centrifugalne sile (Weissenberg 1947).

Razlika između nenjutnovskih fluida (npr. kukuruzni sirup, smeša skroba i vode, med) i njutnovskih (voda, alkohol, određena ulja i glicerol) objašnjava se Njutnovim zakonom viskoznosti, koji kaže da se pri proticanju fluida javljaju slojevi između kojih deluju tangencijalne sile. Kako se približavamo graničnom sloju, brzine između slojeva linearno opadaju, odnosno nisu međusobno jednake. Kod njutnovskih fluida tangencijalna sila viskoznosti je srazmerna brzini i površini sloja, a obrnuto srazmerna debljini sloja, i zavisi od prirode fluida koja će odrediti koeficijent navedene proporcionalnosti. Nenjutnovski fluidi pokazuju nelinearnu zavisnost između sile viskoznosti i gradijenta brzine, tj. ne povinuju se ovom zakonu (Petrović 2008).

Kod njutnovskih fluida, pored pojave da se meniskus tečnosti spušta niz rotirajući cilindar, primećena je i pojava uzdizanja tečnosti, ali samo u posebnom slučaju. Podizanje meniskusa njutnovskog fluida, nalik Vajsenbergovom efektu kod nenjutnovskih fluida, nastaje kada se u sudu, u kojem rotira uzak vertikalni cilindar, nađu dve njutnovske tečnosti koje se ne mešaju. Jedan od uslova za pojavu efekta je da donja (gušća) tečnost bude manje viskozna od gornje.

Određenim merenjima utvrđeno je da ne postoji značajan i merljiv uticaj normalnog napona pri nastajanju Vajsenbergovog efekta u njutnovskim fluidima, već se on može objasniti kao posledica pojave nestabilnosti u Tejlor--Kuetovom toku (eng. Taylor-Couette flow; Bonn *et al*. 2004;). U pitanju je tok fluida između dva koncentrična cilindra, od kojih jedan ili oba rotiraju, i čije ponašanje se menja u zavisnosti od toga koji od cilindara rotira i kojom brzinom.

Kada spoljašnji cilindar tj. posuda miruje, a ugaona brzina unutrašnjeg cilindra ima malu vrednost, tok oba fluida je stabilan i laminaran. Povećanjem ugaone brzine cilindra preko određenog praga, tok donjeg fluida postaje nestabilan, i javlja se sledeće stacionarno stanje koje se naziva Tejlorov vrtlog (eng. Taylor vortex; Bonn *et al*. 2004; Russell 1991; Dou *et al*. 2008).

Nestabilnost se javlja u manje viskoznoj, donjoj tečnosti, na određenoj vrednosti Tejlorovog broja, koji predstavlja bezdimenzionalnu veličinu dobijenu kombinacijom različitih parametara. Efekat će se javiti na određenoj ugaonoj brzini, na kojoj je prethodno već došlo do nestabilnosti. Razlog zbog kojeg se kritična brzina na kojoj se efekat javlja i početak nestabilnosti neće poklopiti jeste kapilarni pritisak, koji teži da sloj između tečnosti održi ravnim. Ranija pojava efekta je sprečena time što je za savladavanje kapilarnog pritiska potrebna veća ugaona brzina od one na kojoj dolazi do nestabilnosti; vrednost ove brzine zavisi od gustine fluida (Bonn *et al*. 2004).

Ukoliko je kapilarni pritisak zanemarljiv, moguće je izvesti formulu koja određuje visinu h do koje se meniskus donjeg fluida popeo:

$$h \approx \frac{100\rho\eta^2}{2\varepsilon g d^2 \rho^2 \Delta\rho}$$

gde je $\Delta\rho$ je razlika u gustinama dva njutnovska fluida, g je gravitaciono ubrzanje, d je razlika prečnika spoljašnjeg i unutrašnjeg cilindra, ρ je gustina donjeg fluida i η koeficijent viskoznosti donjeg fluida u kome dolazi do nestabilnosti; ε opisuje na kojoj se kombinaciji ugaonih brzina cilindra javlja Tejlorov vrtložni tok i formula za njegovo izračunavanje je:

$$\varepsilon = \frac{\Omega - \Omega_{TC}}{\Omega_{TC}}$$

gde je Ω je ugaona brzina unutrašnjeg cilindra, Ω_{TC} kritična vrednost ugaone brzine na kojoj se javlja nestabilnost u toku (Bonn *et al*. 2004).

Vajsenbergov efekat u njutnovskim fluidima je pronašao primenu u procesima dobijanja emulzija, tj. smeša dve tečnosti koje se međusobno ne mešaju, pri čemu je jedna od njih raspoređena u obliku kapi u drugoj. Takođe, rotiranjem štapa u posudi u kojoj se nalazi emulzija moguće je grupisati kapi uz sam štap, što se može iskoristiti kada je potrebno razdvojiti dve tečnosti, npr. pri prečišćavanju vode (Fujimoto i Takeda 2009).

Cilj ovog rada je ispitivanje Vajsenbergovog efekta u različitim parovima njutnovskih tečnosti i to u vodi u pojedinačnoj kombinaciji sa sili-

konskim, suncokretovim, maslinovim i parafinskim uljem. Posmatrana je vrednost ugaone brzine na kojoj se efekat javlja u zavisnosti od preènika rotirajuæeg cilindra. Ispitivano je u kojim je granicama moguæe posmatrati efekat, tj. •ta se de•ava sa visinom i oblikom podignutog stuba teènosti na veæem opsegu ugaone brzine.

Aparatura i metod

U posudi cilindriènog oblika, kojoj odgovara laboratorijska èa•a zapremine 250 mL, preènika 68 mm, nalaze se dve njutnovske teènosti koje se meðusobno ne me•aju. Odnos njihovih zapremina je 1 : 1. Prva, donja teènost je u svakoj postavci destilovana voda koja je obojena kako bi se jasno uoèila razlika izmeðu slojeva dveju teènosti. Viskoznost vode je 1 mPa s, a njena gustina je 1000 kg/m^3. Druga, gornja teènost je silikonsko, suncokretovo, parafinsko ili maslinovo ulje. U laboratorijsku èa•u se sipa 125 mL obojene vode, a potom 125 mL odgovarajuæeg ulja.

Kao vertikalni rotirajuæi uski cilindar, kori•æena je kori•æena je laboratorijska stubna mehanièka me•alica u èiju se steznu glavu ubacuje •tap. Me•alica ima kontinualno podesivu brzinu sa maksimalnim brojem obrataja od 2500 RPM i displej koji prikazuje trenutan broj obrataja. Gre•ka displeja iznosi ±0.1% od prikazane vrednosti. U steznu glavu me•alice se mogu ubaciti cilindri preènika do 13 mm. Svaki •tap je du ine 25 mm, pri èemu je 15 mm du ine namenjeno dastane u me•alicu i preènika je 8 mm, a preostalih 10 mm je preènika 4, 5, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 i 50 milimetara. Cilindri su napravljeni od nerðajuæeg èelika.

Me•alica je prièvr•æena za stativ, a njeno pomeranje je spreèeno pomoæu trakaste kleme. Nakon postavljanja •tapa unutar me•alice, isti se potapa u posudu sa odgovarajuæim teènostima (slika 2).

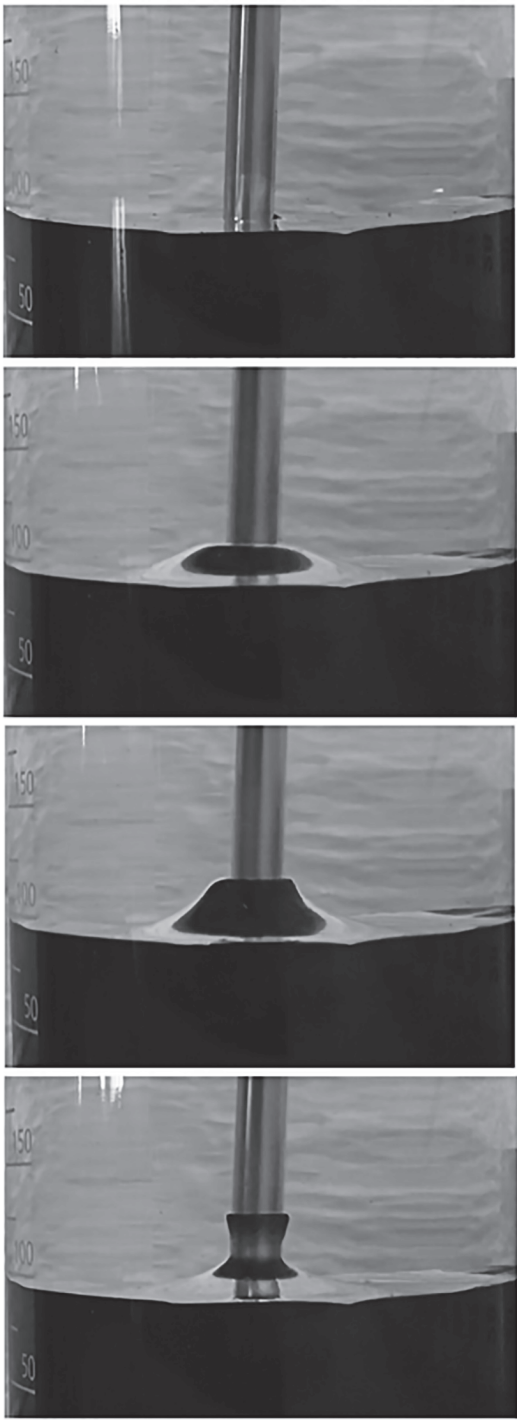
Jedna kamera snima podizanje nivoa teènosti. Postavljena je u ravni sa granicom izmeðu dve teènosti, efekat se snima pod uglom od devedeset stepeni. Druga kamera snima displej sa brojem obrtaja (slika 1).

Obrada snimaka

Dobijeni snimci su obraðeni u Matlabu. U prvom delu programa se obraðuje snimak sa prve kamere (slika 2). Sa crno-belog snimka je izdvojena samo gornja teènost u blizini cilindra. Kako se donja teènost penjala uz cilindar, pojavljivali su se tamni pikseli, pa je visina vodenog stuba bila jednaka broju tamnih piksela. Pikseli su prevedeni u milimetre, na osnovu odnosa broja piksela i du ine dobijenog pomoæu lenjira postavljenog pored suda. Drugi deo programa prepoznaje cifre sa digitalnog sedmo-segmentnog displeja. Kamere su sinhronizovane, pa se simultano sa oèitavanjem visine teènosti bele i broj obrtaja me•alice. Pri merenju se me•alica bar pet sekundi nalazi na jednom broju obrtaja, a visina se meri sa frejmova neposredno pre promene ugaone brzine. Gre•ka visine je dobijena na osnovu dvadeset uzastopnih frejmova.

Slika 1. —ema aparuture:
1 … prva kamera, 2 … druga kamera,
3 … laboratorijska èa•a sa teènostima, 4 … lenjir,
5 … laboratorijska stubna me•alica sa oèitavanjem broja obrtaja na displeju, 6 … rotirajuæi uski cilindar,
7 … stativ za kamere, 8 … stativ za me•alicu.

Figure 1. Instrumental setup:
1 … lower camera, 2 … upper camera, 3 … beaker with two immiscible fluids, 4 … ruler,
5 … laboratory overhead stirrer with digital speed display, 6 … rotating rod, 7 … tripod stand for camera,
8 … overhead stirrer stand.

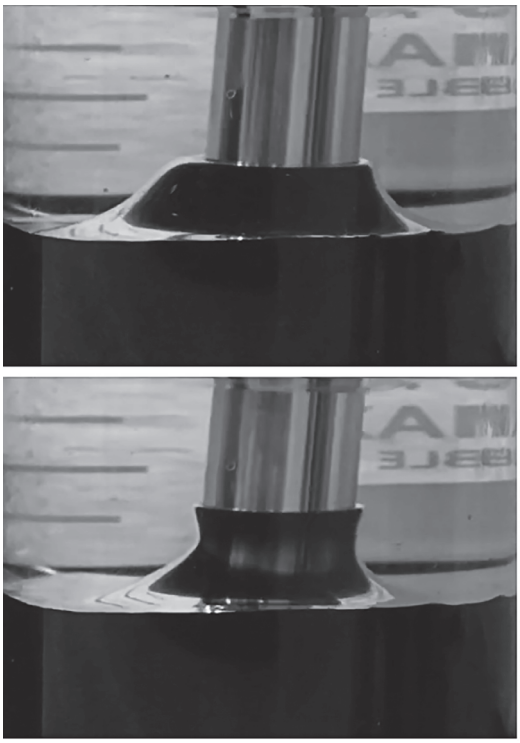


Slika 3 (levo). Fotografije efekta zabeležene sa prve kamere; promena visine i oblika tečnosti sa povećanjem ugaone brzine unutrašnjeg cilindra.

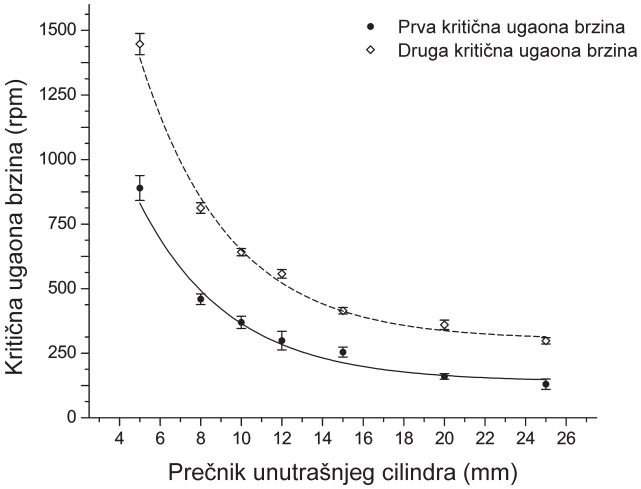
Figure 3 (left). Photographs of the effect recorded with the lower camera; change of height and shape of the interface between fluids with increasing rod velocity.

Slika 4 (dole). Promena oblika podignute tečnosti na drugoj kritičnoj brzini.

Figure 4 (below). Picture of flow becoming unstable at the second critical rotation rate.

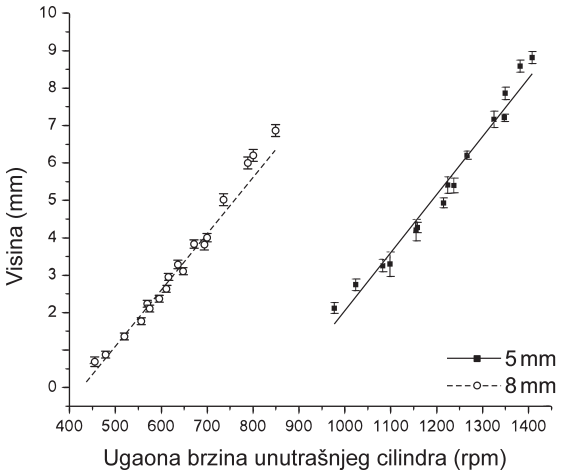


oblika trapeza u oblik koji podseća na mašnu (slike 4 i 9). U tom slučaju se na konstantnoj ugaonoj brzini ne dobija konstantna visina: visina stuba tečnosti polako raste i vremenom se iz donje u gornju tečnost odvajaju kapljice u obliku prstenova ili mehurića (slika 3). Ugaona brzina na kojoj se to dešava, druga kritična brzina, zavisi od razlike prečnika (slika 5). Promena oblika stuba tečnosti je zapažena u uljima u kojima je efekat stabilan.



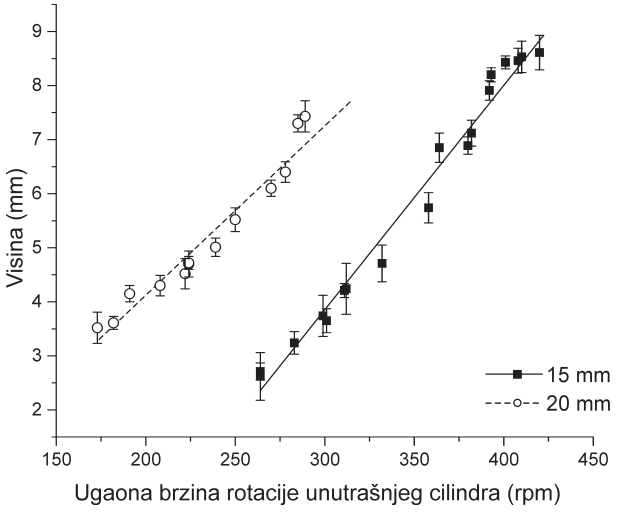
Slika 5. Zavisnost kritične ugaone brzine na kojoj se efekat javlja i zavisnost kritične ugaone brzine na kojoj tečnost menja oblik od prečnika unutrašnjeg cilindra.

Figure 5. Dependence of the first (black circle) and second (white rhombus) critical angular velocity versus rod diameter in silicon oil.



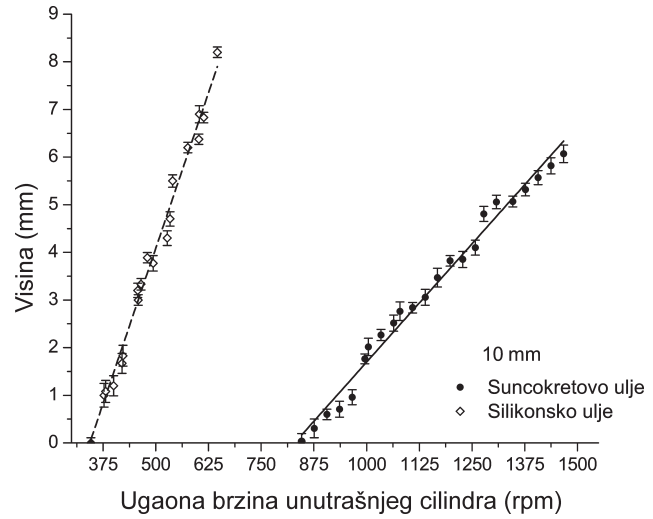
Slika 6. Grafik zavisnosti visine od ugaone brzine rotacije. Gornji fluid: silikonsko ulje 1; prečnici unutrašnjeg cilindra: 5 i 8 mm.

Figure 6. Dependence of height versus angular velocity of the rod diameter with silicone oil as the upper fluid. Diameters of the rod are 5 mm and 8 mm.



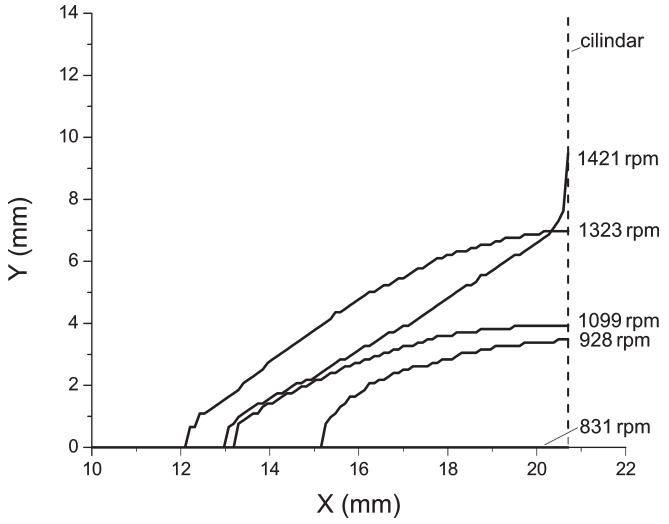
Slika 7. Grafik zavisnosti visine od ugaone brzine rotacije. Gornji fluid: silikonsko ulje 1; prečnici unutrašnjeg cilindra: 15 i 20 mm.

Figure 7. Dependence of height versus angular velocity of the rod diameter with silicone oil as upper fluid. Diameters of the rod are 15 mm and 20 mm.



Slika 8. Grafik zavisnosti visine od ugaone brzine rotacije. Gornji fluid: suncokretovo ulje, silikonsko ulje; prečnik unutrašnjeg cilindra: 10 mm.

Figure 8. Dependence of height versus angular velocity of the rod diameter with sunflower oil (black circle) and silicone oil (white rhombus) as the upper fluid. Diameter of the rod is 10 mm.



Slika 9. Prikaz oblika površinskog sloja tečnosti sa promenom brzine rotacije štapa.

Figure 9. Changes in shape of fluid meniscus with increasing velocity of the rod.

Posmatrana je promena visine stuba tečnosti u odnosu na ugaonu brzinu rotacije unutrašnjeg cilindra u silikonskom i suncokretovom ulju, koristeći štap prečnika 10 mm (slika 8). Efekat se u silkonskom ulju javlja na manjim brzinama nego što je to slučaj sa suncokretovim uljem i dostiže visinu od 7 mm na manjem interval brzine u odnosu na drugo ulje.

Ispitano je kako se menja visina stuba podignute tečnosti zavisno ugaone brzine rotacije unutrašnjeg cilindra koristeći različite prečnike i to 5 mm i 8 mm, 15 mm i 20 mm u silikonskom ulju (slike 6 i 7). Efekat se javlja na manjim brzinama ukoliko je prečnik unutrašnjeg štapa manji, što se zapaža na slici 5.

Diskusija

Promena visine stuba podignute tečnosti u zavisnosti od ugaone brzine rotirajućeg cilindra je posmatrana u ranijim radovima. U ovom radu je promena visine posmatrana u više eksperimenata u kojima su se koristili različiti prečnici unutrašnjeg cilindra. Rezultati pokazuju da prečnik unutrašnjeg cilindra znatno utiče na ugaonu brzinu na kojoj će se efekat javiti. Promena prečnika cilindra od samo nekoliko milimetara pravi uočljivu razliku između brzina na kojima će se efekat javiti – što je prečnik manji, to je potrebna veća brzina za nastanak efekta.

U cilju opisivanja na koji način viskoznost i gustina doprinose pojavi, vršeni su eksperimenti sa različitim uljima. Efekat nije uočljiv u maslinovom ulju zato što je meniskus između vode i maslinovog ulja previše zakrivljen na dole usled velikog kapilarnog pritiska, tj. male razlike u gustinama. Sa povećanjem brzine meniskus se polako ispravlja, a potom blago savija na gore. Maslinovo ulje, stoga, nije pogodno za posmatranje pojave. U suncokretovom i parafinskom ulju se dešava da nivoo tečnosti blago osciluje zbog njihove male viskoznosti. Za posmatranje fenomena, najbolje su se pokazala silikonska ulja. Glavna razlika između suncokretovog i silikonskog ulja, kao gornje tečnosti, je viskoznost. Silikonsko ulje je mnogo viskoznije od suncokretovog, i iz tog razloga se teže meša sa vodom. Iz tog razloga se kapljice vode retko odvajaju tokom mešanja, a nivo podignute tečnosti pri rotaciji je stabilan i kompaktan.

Prema teorijski predviđanjima i rezultatima referentnog rada (Bonn *et al*. 2004), zavisnost visine podignute tečnosti i ugaone brzine je linearna, pa je takva zavisnost bila i očekivana. Linearna zavisnost izdizanja tečnosti od ugaone brzine rotaije cilindra dobijena je i u našem radu, ali taj trend važi samo do određenog trenutka. Na većim ugaonim brzinama, stub vode se izduži i prilepi uz cilindar, a nakon toga se dešava da se od donje tečnosti odvoji vodeni prsten koji se potom podiže uz štap većom brzinom nego stub tečnosti ranije. Zbog ovoga, efekat je posmatran samo do određene kritične brzine. Nakon što oblik podignute tečnosti promeni oblik, visina tečnosti na istoj ugaonoj brizini nije konstantna, kao što je to ranije bio slučaj. Naime, visina se nakon tog praga menja, odnosno raste, iako je ugaona brzina nepromenjena. Efekat je tada nestabilan, a pored odvajanja vodenih prstena, dolazi do postepenog mešanja tečnosti.

Na graficima uočavamo razlike koje se odnose na ugaonu brzinu cilindra pri kojoj dolazi do efekta tj. prvu kritičnu brzinu, brzinu podizanja tečnosti, maksimalnu visinu pre promene oblika stuba tečnosti i brzine na kojoj se promena dešava.

Još jedan cilj ovog rada bio je određivanje odnosa prečnika spoljašnjeg i unutrađnjeg cilidra na kom je i dalje moguće posmaranje efekta. Tokom snimanja pojave, najveći prečnik cilindra sa kojim se efekat može zapaziti u posudi prečnika 68 mm, je 25 mm kada je korišćeno silikonsko ulje, odnosno 20 mm kada je korišćeno suncokretovo ulje. Dakle, maksimalna razlika prečnika spoljašnjeg i unutrašnjeg cilindra na kome je efekat uočljiv iznosi približno 43 mm za silikonsko ulje tj. oko 65% prečnika posude, odnosno 48 mm tj. oko 70% prečnika posude za suncokretovo ulje. U referentnim radovima, razlika u prečnicima sa kojima je rađeno je veća od ovde dobijene najmanje razlike. Kada su korišćeni prečnici cilindara veći od 25 mm, efekat se nije pojavljivao ili se nije jasno uočavao zbog mešanja fluida. Iako je efekat uočljiv kada je prečnik unutrašnjeg cilindra oko 20 mm, često pokazuje neočekivano ponašanje. Dešava se da je stub podignute tečnosti nestabilan, blago osciluje ili ima nepravilan oblik, a do mešanja dolazi na nasumičnim brzinama. Ovo se objašnjava razlikom u prečnicima spoljašnjeg i unutrašnjeg cilindra koja je dovoljno mala da dolazi do pojave sporednih efekata koji utiču na manifestaciju Vajsenbergovog efekta.

Primećeno je da je ista eksperimentalna postavka koja je korišćena u ovom radu dovoljna za posmatranje još jednog fenomena. Kada cilindar rotira gotovo na površini gornjeg fluida tj. na površini ulja, voda se u obliku vrtloga uzdiže ka cilindru, a na određenim većim brzinama, vodeni vrtlog vertiklano osciluje unutar ulja. Pojava je poznata i ranije ispitivana (Fujimoto i Takeda 2009).

Zaključak

U ovom radu su ispitivane osobine Vajsenbergovog efekta koji nastaje pri rotaciji uskog vertikalnog štapa u posudi sa dve njutnovske tečnosti koje se međusobno ne mešaju. Rezultati eksperimenata pokazuju da Vajsenbergov efekat zavisi od vrste korišćenih fluida, razlike u prečniku posude i štapa, kao i od ugaone brzine štapa. Rezultati prikazani u ovom radu se slažu sa teorijom iz referentnih radova i određuju granice na kojima se efekat može posmatrati, opisujući šta se dešava na graničnim slučajevima.

Korišćena su ulja različitih osobina, a efekat se najbolje manifestuje kada je razlika u gustini i viskoznosti fluida velika. Jedan od uslova za pojavu efekta je da donja tečnost bude manje viskozna od gornje. Variranjem prečnika štapa koji rotira u posudi sa vodom i silikonskim uljem, odnosno suncokretovim uljem, je utvrđeno da maksimalna razlika prečnika posude i štapa na

kojoj je efekat uočljiv iznosi približno 65-70% prečnika posude. Brzina na kojoj se efekat javlja tj. prva kritična brzina zavisi od razlike prečnika, a što je ta razlika veća, efekat se javlja na manjim brzinama. Ispitivanjem efekta se pokazalo da sa porastom brzine, stub podignute tečnosti menja oblik i dobija drugačije osobine.

Vajsenbergov efekat u njutnovskim fluidima nalazi široku primenu u industriji, a njegova pojava i u nenjutnovskim fluidima, u specijalnom slučaju kada se u posudi nalaze dva fluida koja se ne mešaju, otvara nove mogućnosti za njegovu primenu u procesima povezanim sa emulzijama ili u nekim naizgled neočekivanim oblastima savremene tehnologije.

Literatura

Bonn D., Kobylko M., Bohn S., Meunier J., Morozov A., Saarloos W. 2004. Rod-climbing effect in Newtonian fluids. *Physical Review Letters*, **93**: 214503.

Dou H., Khoo B., Seng Yeo K. 2008. Instability of Taylor-Couette Flow between Concentric Rotating Cylinders. *International Journal of Thermal Sciences*, **47** (11): 1422.

Fujimoto S., Takeda Y. 2009. Topology changes of the interface between two immiscible liquid layers by a rotating lid. *Physical Review E*, **80**: 015304.

Mei X., Deng L., Sun D., Zhou Z., Wang L., Zhao Y., Wu D. 2017. Direct writing based on Weissenberg effect. U *International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS)*. Montreal: IEEE, str. 92.

Nimmakayala M., Raju V. R. K. 2015. Numerical Simulation of Rod-Climbing Effect in Newtonian Fluids. *Procedia Engineering*, **127**: 405.

Petrović V. 2008. Ispitivanje osobina nenjutnovskog fluida napravljenog od skroba i vode. *Petničke sveske*, 64: 75.

Russell J. D. 1991. Taylor-Couette flow: The early days. *Physics Today*, **44** (11): 32.

Tanner R. I., Walters K. 1998. *Rheology: An Historical Perspective*. Elsevier

Weissenberg K. 1947. A Continuum Theory of Rheological Phenomena. *Nature*, **159**: 310.

Nina Jakovljević and Stefan Bukorović

Weissenberg Effect in Newtonian Fluids

The Weissenberg effect occurs when a rotating rod is immersed into a beaker filled with two immiscible fluids. The effect can be understood in terms of the occurrence of a flow instability which make the meniscus climb the rod. This paper examines how the change of the rod diameter and rotation rate affect the height and shape of the interface between the two fluids. The differences in diameters of the container and rotating rod were in a range from 18 mm to 63 mm, with the maximum angular velocity of the rotating rod 2500 rotations per minute. The fluids used were distilled water in combination with various types of oils. The results show that the diameter of the rotating rod plays a significant role in this effect: the minimum angular velocity needed for the effect to occur is greater when the rod diameter is lower. If the difference in diameters exceeds 43 mm, the effect does not occur and the fluids start to mix. The results obtained show that the height of the interface between the two fluids depends linearly on the angular velocity of the rod. This dependency exists only up to a critical velocity after which the dependency is not linear and the effect loses its former form. We find that the onset of rod climbing depends on fluid characteristics.