

PRIMENA LDA U ISPITIVANJU PROTOKA U DEFORMISANIM KRVNIM SUDOVIMA

Slavica Ristić, VTI Beograd

Jelena Ilić, Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd

Sažetak - Prednosti laser Dopler anemometrije - LDA (beskontaktnost, visoka rezolucija...) i nepogodnost ispitivanja tokova u krvnim sudovima in vivo podstiču ispitivanja protoka krvi na modelima krvnih sudova. U slučajevima tokova u deformisanim krvnim sudovima, zbog komplikovanosti njihove matematičke analize, još više je uputno koristiti LDA. U ovom radu je predstavljen nastavak takvih ispitivanja, samo sada na asimetričnim deformisanim krvnim sudovima - aneurizmama. Određene su optimalne konfiguracije LDA sistema, za izabrane modele, i analizirani rezultati izvršenih merenja.

1. UVOD

Osnovne prednosti laser Dopler anemometrije: beskontaktnost - neremećenje toka, i izuzetno mala sonda pružile su mogućnost boljeg upoznavanja brzinskih polja fluida u ogromnom broju tehničkih problema kao što su vođeni i aero-tuneli, pumpe, motori, modeli krila aviona, centrifugalni kompresori, komore za sagorevanje, ispitivanja u korozivnim i plamenim sredinama, merenje brzine vetra i mnogi drugi [1][2]. Iz istih razloga LDA je našla primenu i u ispitivanjima živog sveta, naročito u ispitivanjima krvotoka.

Danas se u biomedicinskim istraživanjima koristi čitav spektar laserskih metoda koje su zasnovane na Doplerovom efektu. Laser Dopler imidžing (LDI) je metoda koja daje sliku koja predstavlja protok krvi u koži, odnosno služi za ispitivanje prokvljenosti kože [3]. Laserski "spekl" fenomen se koristi u vizualizaciji relativne brzine krvi u realnom vremenu [4]. Do sada su ipak najviše korišćeni laser Dopler anemometri i neinvazivnom snimanju promena protoka krvi na koži, zubnoj pulpi, želudcu i drugim organima [5][6][7].

Kod ispitivanja protoka u krvnim sudovima in vivo, problem predstavljaju višestruke refleksije na tkivu koje obavlja krvni sud. Tkivo, koje je prožeto kapilarima, zbog složenosti njihove mreže, karakteriše slučajna raspodela brzine. Za određeni upadni monohromatski snop, refleksija na takvom tkivu daje kao rezultat eksponencijalnu frekventnu raspodelu LDA signala. Osim toga, neželjeni pokreti pacijenta dovode do tzv. frekventnih artefakata, tj do frekvencija koje predstavljaju brzinu pokreta pacijenta. Zbog svega ovoga je, u takvom signalu, teško uočiti frekvenciju koja odgovara brzini toka krvi u posmatranom krvnom sudu.

Iz prethodno navedenih razloga, ispitivanja protoka na modelima krvnih sudova su od značaja i pored razlika u karakteristikama u odnosu na prave krvne sudove. Ovaj rad predstavlja nastavak ispitivanja protoka u modelima krvnih sudova pomoću laser Dopler anemometrije [8][9][2].

2. MODELI

U eksperimentalnim merenjima posmatrani su modeli aneurizmi. Aneurizma je lokalizovano abnormalno proširenje u krvnom sudu i može da se javi i na aorti i na

veni. Jedan oblik aneurizme na aorti je tzv. mikotička aneurizma. Ona je posledica infekcije koja dovodi do izrazitog slabljenja zida krvnog suda, obično sa jedne strane, i na tom mestu se javlja sferično proširenje. Na modelu takvog krvnog suda merena je raspodela brzine van i unutar proširenja toka.

Disekciona aneurizma se javlja kada krv ude u zid arterije što može da dovede do grananja toka unutar samog krvnog suda. Takva aneurizma je modelovana staklenom cevi koja se grana na dve cevi od kojih jedna ima četvorstruko manji presek od druge.

Zbog složenosti tokova u takvim modelima njihov matematički proračun, pa čak i numerički je veoma komplikovan. Usled toga, merenje brzine u pojedinim tačkama je najefikasniji način za upoznavanje takvih strujnih polja. A od svih takvih metoda LDA jedina ne remeti tok i daje bolju rezoluciju od ostalih metoda.

3. EKSPERIMENT

Merenje je sprovedeno pomoću LDA sistema u diferencijalnom modu - sa dualnim snopom. Optička komponenta sistema se sastoji od 5mW HeNe lasera, integrisanog optičkog modula sa deliteljem snopa, predajne optike sa mogućnošću traverziranja, a rasejana svetlost se prihvata na fotomultiplikatoru. Sistem ima mogućnost poluautomatskog traverziranja predajne optike u vertikalnom i u horizontalnom pravcu, koji se poklapa sa ravni poprečnog preseka cevi, kao i mogućnost manualnog traverziranja u aksijalnom (horizontalnom) pravcu. Zahvaljujući mogućnosti rotacije optičkog modula za grananje laserskog snopa, sistem može da meri horizontalnu (aksijalnu) i vertikalnu komponentu brzine. Modeli krvnih sudova su izrađeni od PIREX stakla. Primerjeni fluid bila je vodovodna voda, koja sadrži dovoljnu koncentraciju nečistoća i mikroskopskih gasnih mehurića, tako da nije bilo potrebno uvoditi poseban marker. Doplerov signal je obrađivan sistemom sa brojačem.

Merenja su višena u tačkama duž osa cevi i duž prečnika na karakterističnim poprečnim presecima. Treba napomenuti da se termin "osa cevi" ovde koristi uslovno i predstavlja ose originalnih cevi od kojih su izliveni modeli. Na cevi koja se grana merene su obe komponente brzine tj. vektor brzine u ravni simetrije cevi

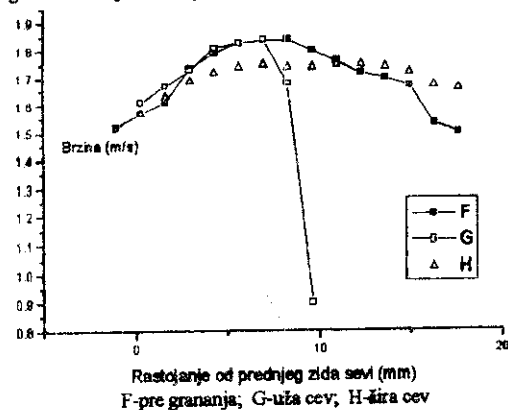
Iako će detektor, u svetlosti rasejanog u bilo kom pravcu registrovati signal sa istim Doplerovim frekventnim pomerajem (on zavisi samo od brzine čestica u fluidu), potrebno je pronaći optimalan položaj detektora rasejane svetlosti, pri kome bi registrovan signal sadržao što veći broj kvalitetnih impulsa, koji mogu da posluže za proračun srednje brzine fluida u određenoj tački. U ovde opisanim eksperimentalnim merenjima o tom problemu se veoma

vodilo računa, zbog složenog prelamanja rasejane svetlosti i zbog težeg nalaženja pravca iz koga se najbolje uočava mema zapremina. Ovo je naročito bitno kada je mema zapremina blizu zida cevi.

Zbog prelamanja laserskog snopa prilikom merenja brzine toka pomoću LDA sistema, treba obratiti posebnu pažnju utvrđivanju optimalnog položaja analizirane cevi. U ovom eksperimentu su nalaženi takvi položaji cevi, koji su omogućavali tačno utvrđivanje upadnog ugla snopa na cev. Na taj način se može tačno proračunati putanja laserskog snopa, što je neophodno za tačno utvrđivanje položaja meme zapremine i kalibracione konstante. Rezultati su, posle pametne kompjuterske obrade u samom LDA sistemu, dodatno obrađivani pomoću Matlab programa i prikazivani grafički.

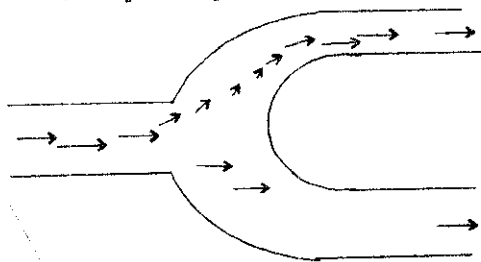
4. REZULTATI

Na modelu disekcije aneurizme, takode je sniman profil brzina na poprečnim preseccima pre grananja i u pojedinim granama. Ti profili su predstavljani na dijagramu na slici 1.



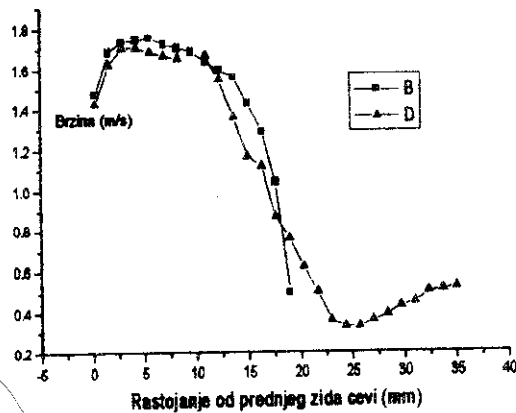
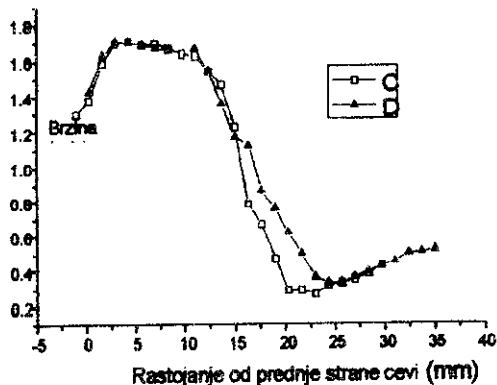
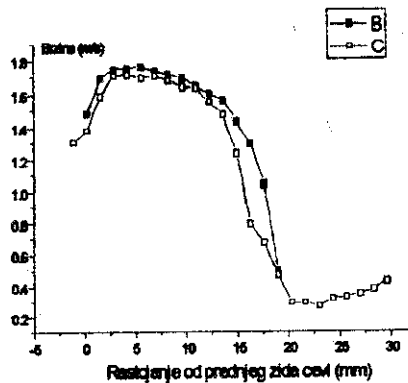
Slika 1 Profili brzine u pojedinim granama

Primećuje se da se profil brzine najviše približava ravnoj



Slika 2 Izmereni vektori brzina

raspodeli u široj grani, a Poisseille-ovoj raspodeli u užoj grani što znači da je tu strujenje najbliže idealnom laminarnom. Vektori brzina duž cevi su prikazani na slici 2.



B-na početku proširenja
C-10mm od početka proširenja
D na sredini proširenja (20mm od početka proširenja)

Slika 3 Profili brzina na karakterističnim preseccima na modelu mikotičke aneurizme

Merenja brzine po poprečnim preseccima na modelu mikotičke aneurizme dala su profile brzina koji su prikazani na dijagramima na slici 3.

5. ZAKLJUČCI

Dobijeni rezultati upućuju na karakteristična mesta u posmatranim krvnim sudovima: na mesta povećanog nivoa turbulencije na kojima je povećan rizik nastajanja tromba; zatim na mesta izuzetno niske brzine koje predstavljaju potencijalne tačke nagomilavanja tromnih sastojaka krvi i slično.

Naslage pronađene u realnim aneurizmatičnim krvnim sudovima potvrđuju predpostavke koje proizilaze iz ispitivanja toka krvi LDA sistemom na pomenutim modelima.

Sledeći korak predstavlja ispitivanje modela i utvrđivanje optimalnog oblika spoja ljudskog i veštačkog krvnog suda.

REFERENCE

- [1] M. Srećković, M. Petrović, "Savremeni problemi laserske anemometrije", Proceedings YUKEM 88, str.357-364, 1988.
- [2] J.Ilić: "Primena LDA metode u karakterizaciji raspodela brzine u strujnim poljima promenljive geometrije", *Magistarski rad* - Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 1996.
- [3] F. Ring, "Infrared Laser Doppler Imaging - Skin Temperature and Perfusion Studies, 7th European Congress of Thermology. <http://www.lawrenz.com/drlit3.htm>
- [4] H. Tagawa, H. Furukawa, H. Fujii, "Changes of Blood Circulation in Human Eyes with Retinal Diseases Using Real-Time Laser Flowgraphy". CONGRESS/ SYMPO/ SBH0208/BIO209
- [5] B. Matthew, N. Vongsavari, "Advantages and limitations of laser Doppler flow meters", <http://www.lawrenz.com/drlit2.htm>

- [6] S. Reichert, S. Magnus, "Pulpa-Bloodflow-Measurements with Laser-Doppler-Flowmetry", berlin.de/inside/paro/reich/abstlas.html
- [7] G.J. Erik, E.R. Lacy, "Role of gastric Blood flow in impaired defense and repair of aged rat stomachs", *Am. J. Physiol.* APSTRACTS 2:0115G, 1995.
- [8] S.Ristić, M.Srećković, J.Ilić, S.Arandelović: "Laser Doppler Flow Velocity Measurement in Normal and Pathological Blood Vessel Models", *Proceedings of the International Conference Lasers 95*, 777-782, Charleston, 1996.
- [9] S.Ristić, J.Ilić, M.Mladenović: "Određivanje parametara toka fluida u modelima krvnih sudova različitog oblika", *Zbornik radova, XL ETRAN, Sveska IV*, str. 208-211, Budva, 1996.

Abstract – *The advantages of laser Doppler anemometry – LDA (not disturbing the flow, high resolution...), and inconvenience of blood vessel flow research in vivo, encourage blood flow research on blood vessel models. With flows in deformed blood vessels, for their complicated mathematical analysis, LDA is even much more helpful. In this paper, the continuation of such a research is presented, but now for asymmetric deformed blood vessels – aneurysms. Optimal configurations of LDA system are determined, for chosen models, and obtained measurement results are analyzed.*

THE APPLICATION OF LDA IN DEFORMED BLOOD VESSEL FLOW RESEARCH

Slavica Ristić, Jelena Ilić