

## MERENJE BRZINE STRUJANJA U MODELU KRVNOG SUDA POMOĆU 1D LDA SISTEMA

Ristić Slavca, VTI VJ-Zarkovo,

Ilić Jelena, Mašinski fakultet, Beograd

Sadržaj-*U radu su prikazani rezultati merenja brzina protoka u jednostavnom profilu pomoću 1D LDA. Nastavak projekta uključuje ispitivanja u modelima normalnih i promenjenih konfiguracija karakterističnih za humanu patologiju. Određen je nivo turbulencije u cilindričnoj cevi prečnika 18 mm, što približno odgovara uobičajenom prečniku aorte.*

## 1. UVOD

Jednokomponentni Laser Doppler Anemometar (1D LDA) je optoelektronski sistem pomoću koga može da se vrši beskontaktno merenje brzine strujanja fluida. LDA ne narušava integritet strujanja u mernoj tački, osetljiva je samo na trenutne promene brzine koje detektuje kao promene Dopplerove frekvencije, a nije osetljiva na promene gustine i temperature fluida. Zbog ovih karakteristika LDA je pogodna za ispitivanje strujanja u modelima krvnih sudova posebno kritičnih preseka i konfiguracija. Do sada primenjivane metode vizualizacije strujanja daju kvalitativnu procenu strujnog polja, a LDA merenja omogućavaju precizno određivanje brzine strujanja u svim tačkama i povezivanje ovog parametra sa fiziološkim karakteristikama trujanja krvi u krvnim sudovima.

Ispitan je uticaj nekoliko faktora na tačnost merenja. Rezultati su pokazali da su od bitnog značaja izbor LDA konfiguracije za pojedine praktične probleme, ugao detektovanja Dopplerovog signala, izbor tipa, dimenzija i koncentracije čestica koje služe kao centri rasejavanja svetlosti i širina frekventnog propusnog područja ulaznog filtra. Ispitivanje karakteristika strujanja u cilindričnim cevima ima značaj za reša-

vanje praktičnih problema strujanja, kako u složenim tehničkim sistemima tako i u drugim oblastima kao što je medicina, hidrologija..

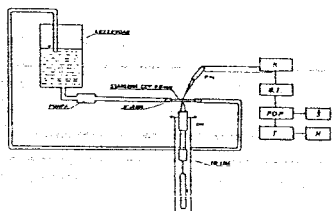
U osnovi LDA je Dopplerov efekat koji omogućava da se iz promene frekvencije rasejane svetlosti (od malih pokretnih čestica u fluidu) u odnosu na upadnu svetlost, odredi brzina strujanja fluida. Ova metoda ima niz prednosti u odnosu na klasične metode. Beskontaktna je i ne narušava integritet strujnog polja. Ima veliku preciznost i ne zahteva posebno baždarenje sistema (1,2,3,4). Međutim da bi se iskoristile sve prednosti koje pruža ova metoda neophodno je obezbediti određene uslove: pravilno aranžiran i podešen sistem, adekvatne čestice za rasejanje svetlosti. LDA sistemi mogu meriti jednu, dve ili sve tri komponente strujanja i odrediti nivo turbulencije strujanja fluida. Isto tako se mogu meriti dimenzije i odrediti oblik čestica koje rasjavaju svetlost/5/.

LDA sistemi se koriste u različitim oblastima nauke i tehnike. Nalaze primenu u aero i vodenim tunelima i u ispitivanju strujanja oko modela ili plovnih objekata u eksploatacionim uslovima, eksplozivnim uredjajima itd. Nalaze primenu u medicini i biologiji, u meteorološkim, ekološkim i astronomskim ispitivanjima (2). U ovom radu su prikazani rezultati dobijeni pomoću 1D LDA. Pored toga razmatrane su mogućnosti primene ove metode u ispitivanjima protoka, a posebno turbulencija krvi u modelima krvnih sudova.

## 2. ISPITNO MERNA OPREMA I EKSPERIMENT

Na slici 1 je prikazan blok dijagram ispitno merne opreme. C je cilindrična cev, čiji prečnik iznosi 18mm, a debljina zidova 1mm.

izabrane su i tri različite širine propusnog filtra.



sl.1

Strujanje u ovoj cevi se obezbeđuje pomoću rezervoara kapaciteta 50 l i pumpi. L je He-Ne laser sa  $\lambda=633\text{nm}$ . OM je optički modul i proizvod firme DANTEC. Pomoću njega se laserska svetlost razdvaja na dva dela i ponovo fokusira u mernu zapreminu. PM je fotomultiplikator sa pripadnom optikom. Rasejana svetlost može biti detektovana pod bilo kojim uglom u prostoru. Dopplerova frekvencija ne zavisi od ugla rasejavanja  $1/\lambda$ , temperature fluida i gustine fluida. Prema poznatoj indikatrиси rasejanja (1,2,6) koja se zasniva na Mieovoj teoriji rasejanja svetlosti i realnim, praktičnim mogućnostima u okviru eksperimenta, bira se optimalni ugao detekcije. Iako je ugao detekcije indiferentan u odnosu na Dopplerovu frekvenciju, njegov izbor ima veliki uticaj na kvalitet merenja. Poznato je da se najbolji rezultati (po teoriji) dobijaju ako se detektuje rasejana svetlost u pravcu prostiranja laserskog snopa ( $\theta=0$ ) /1,2,3/. Često iz praktičnih razloga nije moguće ostvariti ugao  $\theta=0$ , pa se fotodetektor postavlja pod različitim uglovima.

Signal sa fotodetektora dolazi u brojač K gde se vrši primarna obrada signala. Preko bafer interfejsa (BI) podaci se prebacuju u računar gde se vrši konačna obrada. Rezultati mogu biti štampani (S), ili prikazani na monitoru (M) (sl.1), u obliku histograma ili ponosob svaka izmerena vrednost u funkciji vremena.

Eksperiment je tako koncipiran da omogući ispitivanje uticaja izabrane konfiguracije 1D LDA na kvalitet merenja. Isto tako

### 3. DISKUSIJA REZULTATA

Određivanje srednje brzine nivoa turbulencije je veoma važan podatak u ispitivanju kvaliteta strujanja i karakterizaciji složenih strujnih polja. Zbog toga je potrebno njegovo određivanje sa greškom ispod 1%. Praktična iskustva autora upućuju na činjenicu da je veoma važna koncepcija eksperimenta, odnosno izbor moda rada sa 1D LDA sistemom. U tabeli 1 su prikazani rezultati merenja brzine strujanja za  $\theta = 30^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  pri istim uslovima koncentracije prašina, optičke konfiguracije sistema, broja uzetih podataka, početnih parametara setovanih u kaunteru i sa istom obradom. Izmerena je

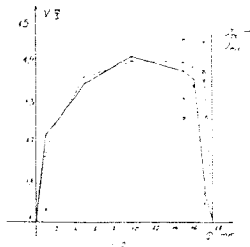
Tabela 1 - Uticaj refleksije na kvalitet merenja nivoa turbulencije.

No	$\Delta P$	$\rho$	dc [cm]	dc [%]	ov [%]	$L$ [m]	$f$ [Hz]	$\sqrt{V}$ [m/s]	SHs	$C_p$	$\frac{dV}{V}$	$\frac{dV}{V}$	Klas. Kval. Ozn.
1	30	1	0.2-0.3	300	310	1.85	0.09	5.2	0.256	1	2048	1	2048
2	90	1	0.35	300-500	310	1.85	0.39	6.0	0.296	1	2048	1	2048
3	180	1	0.07	35	10.3	310	1.85	0.38	23.6	1	2048	1	2048

srednja vrednost  $V_{Sr} = 1,45 \text{ m/s}$ . RMS

za prve dve pozicije fotodetektora iznosi 0,09, a za merenje u povratnom modu (3) iznosi 0,34. Kao posledica toga menja se i izračunati nivo turbulencije od 6% na 23,6%. Pošto su merenja vršena pod identičnim uslovima strujanja, gde objektivno, nije moglo da dođe do promene turbulencije, dobijene vrednosti u merenju 3 (tab.1) su rezultat generisanja šuma u sistemu. Nepravilno izabran aranžman sistema može da da lažnu sliku strujnog polja i da šteta bude višestruka.

Profil brzine strujanja vode u cevi u preseku normalnom na pravac strujanja je prikazan na sl.2.



Može da se uporedi strujanje vode u ovom eksperimentu sa strujanjem krvi u krvnim sudovima. Viskoznost krvi je tri puta veća od viskoznosti vode /8/ tako da je potrebna tri puta veća brzina strujanja vode u odnosu na brzinu strujanja krvi da bi se postigao isti Reynoldsov broj.

Pri ispitivanju strujanja u cilindričnim cevima mora da se uzme u obzir još jedan izvor grešaka. Zbog geometrije zidova cevi javlja se dislokacija merne zapremine i njena deformacija. Ovom problemu treba posvetiti odgovarajuću pažnju i treba uvesti korekciona sočiva kako bi se eliminisale greške u formiranju merne zapremine.

rena srednja vrednost brzine  $V_{sr} = 38,35$  m/s, a nivo turbulencije 37,5%. Ako se izmerena vrednost za RMS 14,39 koristi za određivanje nivoa turbulencije u odnosu na pravu brzinu koja iznosi 1,45 m/s dobiće se  $T_u = 990\%$ . Vrednost  $T_u$  signalizira da je merenje neregularno i da je potrebno izvršiti korekciju u pristupu merenja i obrade podataka.

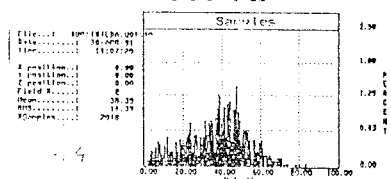
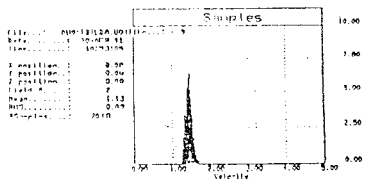
Ispitivanje mogućnosti nastajanja turbulencija u modelima krvnih sudova je od značaja jer turbulencije u krvotoku povećavaju rizik stvaranja tromba. Kritična konfiguracija za nastajanje turbulencija je grananje širokog krvnog

Tabela 2. Uticaji širine propusnog filtra

N	l	l <sub>0</sub>	K <sub>prop</sub>	HP filter	HP %	L	LP filter	LP %	V	RMS	T <sub>u</sub>	Br. uzoraka	
1	10	0	0	1.0-5	180-580	1.5	0.256	1	110	1.54	0.09	0.2	2048
2	10	1/2	1	2-1.5	550-600	1.7	0.256	1	110	1.43	0.09	6.2	2048
3	10	1/2	1	0.5-0.5	5-30	0.7	0.002	16	310	38.35	37.5	2048	

1D LDA-VODENI TUNEL

1D LDA-VODENI TUNEL



Još jedan parametar merenja bitno utiče na određivanje  $V_{sr}$  odnosno RMS. To je širina ulaznog filtra koji eliminiše signale sa frekvencijom izvan očekivanog područja. Ako se filter koji ne propušta niske frekvencije HP postavi na 0,256MHz, a filter koji ne propušta visoke frekvencije LP na 1 MHz, dobija se veoma lep signal. Pri ovakvim uslovima ulaznih filtra izmereno je RMS 0,09, a ako se otvore filteri HP=0,002 MHz a LP=16 MHz (merenje 3 u tabeli 2) RMS iznosi 14,39. Izgled signala prema frekvenciji i brzini je prikazan na slikama 3 i 4. Za uske ulazne filtre, histogrami su veoma pravilni i predstavljaju raspodelu realnih brzina u mernoj tački. Ako se filteri otvore onda se u sistemu generišu šumovi koji priguše signal i daju nepouzdana vrednosti za  $V_{sr}$  i RMS. Zbog toga je izme-

suda, gde se već pri Reynoldsovom 200 javljaju turbulencije /8/. Primer takvog grananja širokog krvnog suda u organizmu grananje aorte abdominalis na levu i desnu iliace communalis gde se često javlja tromboze, čime se sprečava dovod krvi u donje ekstremitete. Tada je potrebno izvršiti premošćavanje tog mesta ugradnjom veštačkog račvanja krvnog suda. Drugi primer je grananje nešto tanje a.carotis na a.carotis interna i a.carotis externa od kojih prva vodi krv u mozak. 1D LDA bi mogla da se iskoristi za utvrđivanje pogodnog oblika grananja veštačkog krvnog suda.

#### 4. ZAKLJUČAK

Etalonska tačnost LDA u merenju parametara strujanja (brzina i turbulencija) može biti narušena i eliminisana nepravilnom

primenom ove metode. Zbog toga je veoma bitno izabrati optimalan ugao detekcije rasejane svetlosti. Osnovna pretpostavka je da se radi sa pravilno podešenim optičkim modulom sistema koji vrši frekventnu i prostornu filtraciju šumova. Međutim, pokazalo se da i pored toga treba pažljivo odstraniti svaki izvor šumova generisanih u optičkom ( unutrašnje refleksije ) ili elektronskom delu ( otvoreni ulazni filtri ). Posebno loši rezultati se dobijaju kada se meri turbulencija strujnog polja u pov povratnom modu ( back scatter ),

Čestice ne smeju biti sa dijametrom manjim od  $0.5 \mu\text{m}$  ( jer u tom slučaju veliki uticaj na Dopplerovu frekvenciju ima Brownovo kretanje ) niti veći od  $3 \mu\text{m}$  jer u tom slučaju ne mogu da prate promene brzine u turbulentnom strujanju. Da bi se postigla potrebna sličnost, pri ispitivanju protoka krvi aparaturom opisanom u ovom radu, treba ostvariti tri puta veću brzinu proticanja vode u odnosu na posmatranu brzinu proticanja krvi.

Rezultati ovog ispitivanja i mnogobrojnih radova u celom svetu ukazuju na činjenicu da je primena LDA sistema u različitim granama nauke i tehnike u velikoj ekspanziji da ona postaje nezamenljiva metoda pri karakterizaciji strujnih polja.

#### LITERATURA

1. Watrasifwicz B.M. , Rudd J.J. ,

Laser Doppler Measurements, London 1976.

2. Rinkjevinčjus B.S., Lazernaja anemometrija. Moskva, Energija 1978

3. Kenneth L. et al., Laser Doppler Anemometer Measurements Error Estimates, Appl. Opt. 21, 338, 1982.

4. Garavski J. and al., Refraction Correction for LDA Measurements in Circular Tubes Within Rectangular Optical Boxes, DANTEC Information 8, nov. 1989.

5. Buchake P., Three Component, LDA Measurement, DISA Information 3, 29, 1985.

6. Dybbs A. et al., Matched Index Laser Anemometry System for Flow Studies in Complex Geometries, AGARD CPP 413

7. Katalog firme DANTEC

8. Guyton A.C., Medicinska fiziologija, Beograd 1990.

#### ABSTRACT

In this paper results of measuring of velocities in a simple profile by 1D LDA are presented. Further work on the project will include research in models of normal and changed configurations connected with human pathology. The profile of flow velocities and level of turbulence are determined for a cylindrical tube with 18 mm diameter, which approximately presents a usual radius of aorta.

MEASUREMENT OF FLOW VELOCITIES IN A MODEL OF BLOOD VESSEL BY 1D LDA

Ristić Slavica , Ilić Jelena