

VEŽBA 7.2

Naziv vežbe	MERENJE PROTOKA U KANALU NEINVAZIVNOM OPTIČKOM METODOM "Large Scale Particle Image Velocimetry"
Trajanje vežbe	30'
Potrebno predznanje	Osnove MatLab programskog okruženja
Broj studenata	3
Cilj vežbe	U ovoj vežbi studenti se upoznaju sa optičkom metodom merenja polja površinskih brzina popularno nazvanom "Large Scale Particle Image Velocimetry" ili LSPIV.

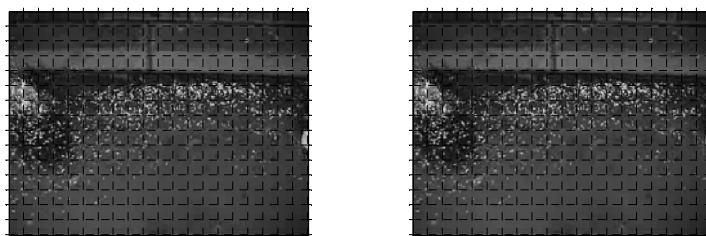
TEORIJSKE OSNOVE

Large Scale PIV (LSPIV) je neinvazivna optička metoda koja se koristi za određivanje vektora površinskih brzina kod tokova sa slobodnom površinom. Procedura se sastoji iz sledećih koraka:

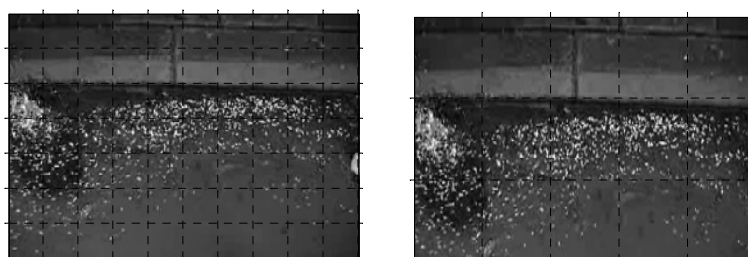
- 1) Zasejavanja površine toka svetlim, ekološkim i neprovidnim materijalom (materijal treba da je u dobrom kontaktu sa tokom sa kojim treba da bude u što većem kontrastu),
- 2) snimanje dve ili više fotografija sa definisanim vremenskim korakom Δt ,
- 3) podela fotografija na ispitivane regione,
- 4) računanje i poređenje kroskorelacionih koeficijenata ispitivanih regiona,
- 5) upotreba postprocesnih tehnika za uklanjanje grešaka u dobijenom polju brzina,
- 6) vizuelizacija polja brzina.



Dve fotografije snimljene u intervalu $\Delta t=0.6$ sec



Fotografije podeljene na ispitivane regione **16x16** pixela

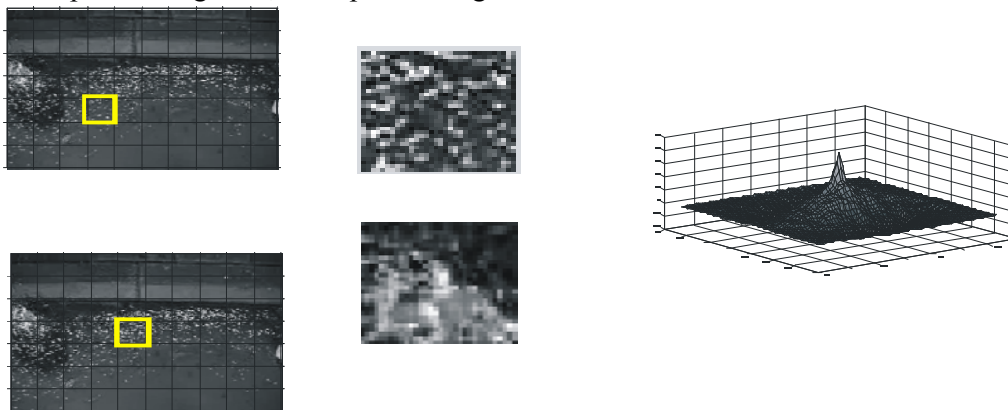


Fotografije podeljene na ispitivane regione **32x32** pixela i **64x64** pixela

Ispitivanjem matrica kroskorelacionih koeficijenata dobija se uvid u slaganje pojedinih ispitivanih regiona na prvoj slici sa regionima na drugoj. Na taj način se formira matrica pomeranja pojedinih regiona za dt. Može se upotrebiti metoda koja koristi **2D Furijeovu transformaciju** slike:

$$iff2(fft2(a) \cdot fft2(conj(b)))$$

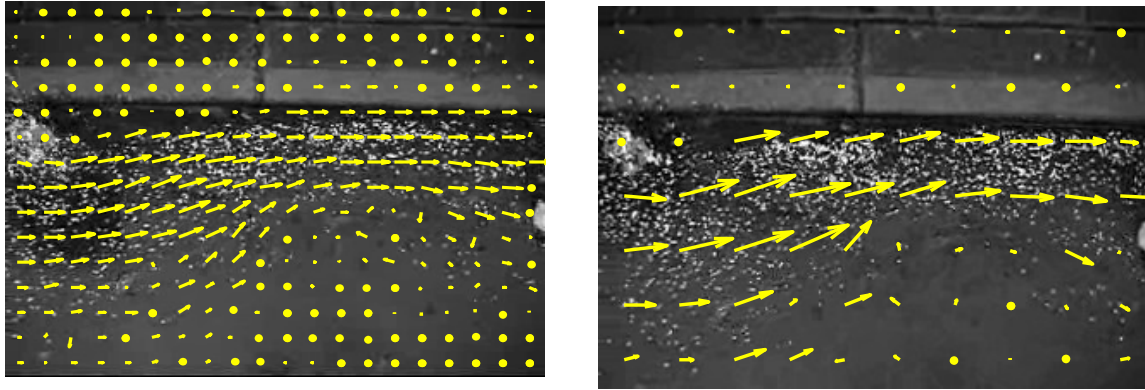
gde su: a – ispitivani region 1, b – ispitivani region 2.



Kroskorelacija ispitivanih regiona

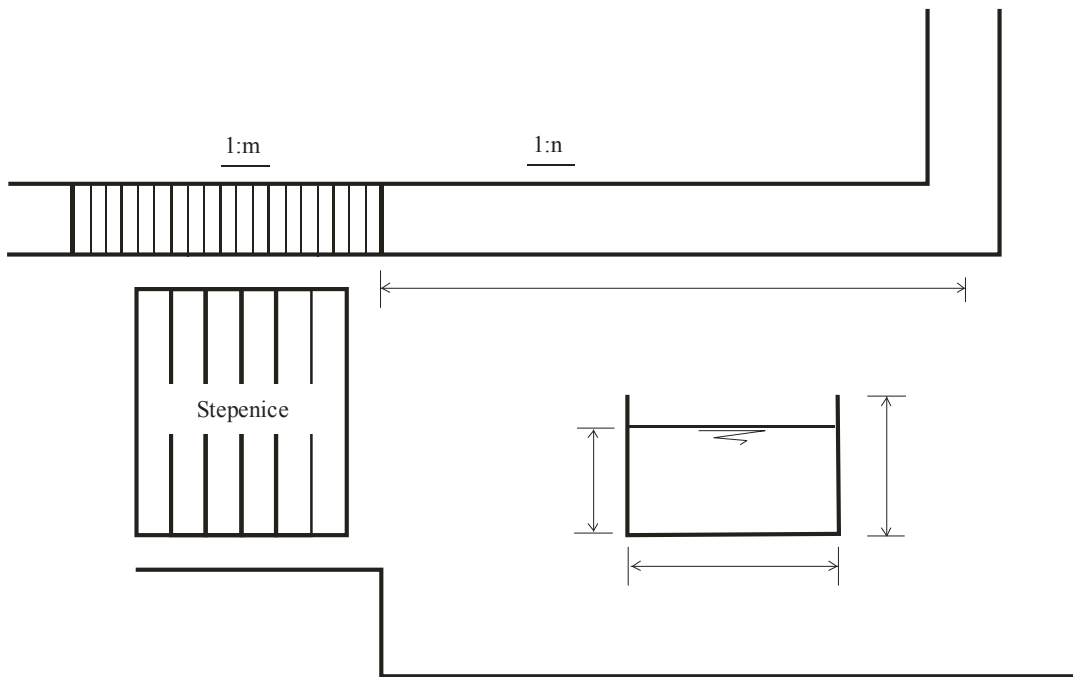
Nakon dobijanja matrica korelacije i utvrđivanja gde se pomerio koji ispitivani region (maksimalni pik matrica korelacije), rezultati se čiste i uklanjaju se greške. Greške mogu nastati na više načina.

Neki od uzroka su nedovoljna zasejanost toka, loše izabrana veličina ispitivanih regiona ili nemogućost da se pronade gde se neki region pomerio (matrica korelacije nema jasan pik). Greške se ispravljaju interpolacijom ili kriging tehnikama. Nakon proračuna, vektori brzina se vizuelizuju.



Vektori brzina (32x32 pixela) i (16x16 pixela)

OPIS VEŽBE



Vežba se izvodi na kanalu koji se nalazi ispred zgrade instituta i služi za odvodnjavanje travnate površine dvorišta prema Ruzveltovoj ulici. Voda se dovodi iz sistema hidrauličke laboratorije vatrogasnim crevom i uspostavlja se ustaljeni tok dubine ~10 -12cm. Deonica koja je pogodna za

merenje je označena na slici. Cilj vežbe je odrediti protok u kanalu merenjem polja površinskih brzina neinvazivnom optičkom metodom (Large Scale Particle Image Velocimetry, **LSPIV**)

POSTUPAK IZRADE VEŽBE

1. Na poziciji mernog mesta nacrtati referentne oznake za dužine i postaviti štopericu za merenje vremena
2. Izmeriti dubinu toka, nagib dna kanala i očitati protok na meraču protoka
3. Postaviti kameru i stativ tako da se snima tok približno upravno u odnosu na tok
4. Uzvodno od profila koji se snima ubaciti traser u tok
5. Snimiti prolazak traseru kroz snimani profil
6. Iskoristiti ponuđeni softver za određivanje vektora brzina
7. Obraditi rezultate merenja na zahtevani način

OBRADA REZULTATA

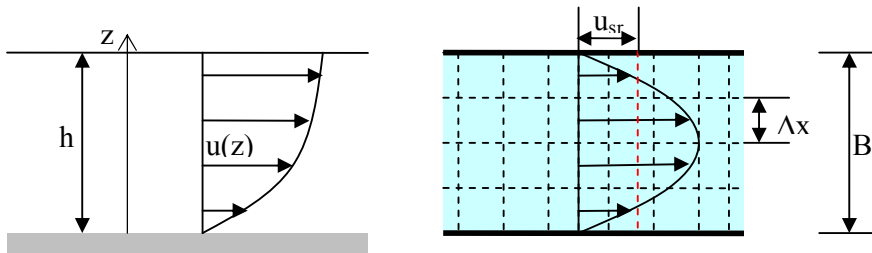
Rezultati merenja:

Dubina vode	$h =$ _____
Protok očitani na meraču protoka	$Q =$ _____
Pad kanala	$I_d =$ _____

Dimenzije kanala u pisati na slici.

Zadatak

Kalibrisati metodu (odrediti vrednosti brzina koje odgovaraju vizualizovanim vektorima površinskih brzina) u odnosu na poznati protok ukoliko se pretpostavi logaritamski raspored brzina u poprečnom preseku.



Za svaki od vektora površinskih brzina u odabranom poprečnom preseku pretpostaviti logaritamski raspored brzina. Doprinos ukupnom protoku je proporcionalan veličini vektora brzine izračunatom LSPIV metodom. Kao rezultat LSPIV metode dobijene su relativne vrednosti brzina koje se mogu

možu opisati preko koeficijenta proporcionalnosti \mathbf{u} (primer: $[0.34\mathbf{u}, 0.56\mathbf{u}, \dots, 0.23\mathbf{u}]$). Odrediti koeficijent proporcionalnosti u sledeći sledeće korake:

1. Izračunati srednju brzinu po širini preseka \mathbf{u}_{sr} kao $u_{sr} = u \frac{\sum_{i=1}^N a_i}{N}$, gde su \mathbf{a}_i koeficijenti brzina, a N ukupan broj tačaka u kojima se određuju brzine
2. Pretpostaviti da je srednja brzina po poprečnom preseku \mathbf{u}_{sr} maksimalna brzina po dubini (pretpostavlja se logaritamski raspored brzina po dubini): $\mathbf{u}_{sr} = \mathbf{u}_{max}$ (vidi napomenu)
3. Izračunati srednju brzinu po dubini \bar{u} iz formule:

$$\frac{u_{max}}{u_*} = \frac{\bar{u}}{u_*} + \frac{1}{\kappa}$$

4. Odrediti protok kao $Q = A\bar{u}$
5. Odrediti koeficijent proporcionalnosti \mathbf{u} i stvarne površinske brzine u kanalu.

Napomena: Logaritamski zakon brzina se može opisati jednačinom:

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = 5.75 \log \left(12 \frac{h}{k_s} \right)$$

gde su: apsolutna hrapavost $k_s = 0.01 \text{ m}$, Von Karmanova konstanta $\kappa = 0.41$, h dubina vode, a smičuća brzina za vertikalnu se računa po formuli $u_* = \sqrt{gRI_d}$. Odnos maksimalne i srednje brzine se može izraziti obrascem:

$$\frac{u_{max}}{u_*} = \frac{\bar{u}}{u_*} + \frac{1}{\kappa}$$

DODATAK

URAPIV PROGRAMSKI PAKET

URAPIV je programski paket napisan u **MatLab** okruženju koji služi za **PIV** postprocesiranje. Program se poziva na sledeći način:

1. Snimljene fotografije kopirati u direktorijum **dir_ime**
2. Program pozvati komanom:

```
>> urapiv('dir_ime', A, B, C, D, E, F);
```

gde su:

urapiv - naziv funkcije koja se poziva

'dir_ime' - mesto gde se nalaze fotografije

A - veličina polja koje se ispituje u pikselima (isto u **X** kao i u **Y** pravcu)

B - razmak grida fotografije

C - način pronalaženja dela sa najvećim kroskorelacionim koeficijentom (**1** ili **2**)¹

D - granica traženja dela sa najvećim kroskorelacionim koeficijentom

E - pomeraj **x** vreme u jedinicama [**metar/pixel/sekunda**]

F - filter, izdvaja podatke koji su veći od **E** x srednja vrednost koeficijenata za celu matricu²

(Fotografije u digitalnoj formi (**.bmp** formatu) treba nazvati: **nekoime_001_b.bmp** i **nekoime_001_c.bmp**)

Nakon što MatLab izdela fotografije na određeni broj polja, pita:

>>Unesite broj linija koje želite da izbacite
[**Levo,Gore,Desno,Dole**], Enter za nijednu

Unosimo niz, npr. [4,12,6,0] , koji znači:

izbaci: 4 kolone sa leve strane, 12 redova odozgo, 6 kolona sa leve strane i nijednu kolonu odozdo.

Uslovi kojih se moramo pridržavati:

- a. Za uspešnu PIV potrebno je da u ispitivanom polju bude više od 10 zrna trasera
- b. Potrebno je da traseri budu homogeno raspodeljeni po preseku
- c. Potrebno je da traseri budu homogeni po polju koje se ispituje
- d. Potrebno je da zasejanje bude gusto

¹ 1 – Ispituje polje 3x3 piksela

² – Ispituje u odnosu na srednju vrednost

² Najbolji rezultat (i najbrži) i se postižu sa parametrima **urapiv('dir_ime',128,128,2,1,1,100);**