

XV vježba

Otpori oblika

Tijelo koje se nađe u struji fluida je izloženo djelovanju sila koje su posljedica neravnomjernog rasporeda tlakova kao i posmičnih naprezanja nastalih uslijed viskoznosti fluida i hrapavosti tijela. Uglavnom se spominju hidrodinamičke sile ako se tijelo nalazi u struji vode ili aerodinamičke sile ako se tijelo nalazi u struji zraka. U okviru ove vježbe će se ispitivati djelovanje vjetra na tijelo pa će se govoriti o aerodinamičnoj sili.

Za potrebe određivanja aerodinamičke sile je osim brzine i gustoće fluida potrebno poznavati površinu tijela okomito na vektor brzine fluida i koeficijente otpora oblika i trenja. U ovoj vježbi se na osnovu mjerenja u vjetrovnom tunelu određuje koeficijent otpora oblika.

Koeficijent otpora oblika za tijelo oblika kugle će biti određen eksperimentalno. Obzirom da koeficijent otpora ovisi o Reynoldsovom broju, mjerenjima će biti obuhvaćene tri kugle različitih dimenzija a svaka će biti ispitana za dvije različite brzine strujanja zraka.

1. Optjecanje fluida oko tijela

Strujna slika ovisi o brzini fluida odnosno o Reynoldsovom broju. Na slici 15.1 je prikazano optjecanje fluida oko valjka za različite brzine optjecanja, odnosno za različite Reynoldsove brojeve. Reynoldsov broj je definiran jednadžbom:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} \quad \dots(15.1)$$

v = brzina strujanja fluida oko nepomične prepreke

L = karakteristična dimenzija

ν = kinematički koeficijent viskoznosti

Kod malih brzina je strujanje laminarno te nema pojave vrtloga za zavjetrinske strane tijela, strujna slika ispred i iza valjka je gotovo simetrična (Slika 15.1). Povećavanjem brzine optjecanja uočava se narušavanje simetričnosti strujne slike ispred i iza valjka (Slika 15.2). Daljnjim povećanjem brzine optjecanja uočava se odvajanje graničnog sloja u tzv. točkama odvajanja i pojavljuju se vrtlozi iza valjka (Slika 15.3). Kod razmjerno velikih brzina vrtlozi u odvojenom graničnom sloju gube simetriju, a kinematička slika iza valjka postaje poremećena u jako dugom području (Slika 15.4). Sa povećanjem brzine optjecanja odnosno Reynoldsovog broja strujna slika se i dalje mijenja što će za posljedicu imati različit raspored tlakova po oplošju tijela a time i vrijednosti koeficijenta otpora oblika. Drugim riječima rečeno, koeficijent otpora oblika će biti u funkciji Reynoldsovog broja, osim za potpuno razvijenu turbulenciju u strujanjima iznad kritičnog Reynoldsovog broja.

po plaštu valjka za optjecanje u idelnoj tekućini, a na donjoj polovici slike shematski je prikazano optjecanje u realnoj tekućini na kojoj je prikazano odvajanje graničnog sloja, strujna slika i raspodjela tlaka po valjku.

Duž svake strujnice mora biti zadovoljena Bernoullieva jednadžba:

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p = \text{const.} \quad \dots (15.2)$$

Prilikom opstrujavanja fluida oko kugle brzine duž strujnice u neposrednoj blizini tijela dolazi do promjena brzina a time i tlakova. U bilo kojoj točki na plaštu valjka se tlak može izraziti u bezdimenzionalnom obliku:

$$f_p = \frac{p - p_p}{\frac{1}{2} \rho v_o^2} \quad \dots (15.3)$$

- f_p – bezdimenzionalna tlačna funkcija (relativni tlak)
- p – tlak u promatranoj točki na plaštu tijela
- p_p – tlak neporemećenog strujanja tj. ambijentalni tlak
- v_o – brzina neporemećenog strujanja tj. dolazna brzina

Integracijom tlaka preko površine tijela dobije se ukupna sila koja se može razdijeliti na komponentu u smjeru toka i okomito na njega. Obzirom da je promatrano tijelo (kugla) osnosimetrično, komponente okomito na smjer strujanja se poništavaju pa je rezultanta jednaka nuli. Sila otpora oblika F_D se može definirati:

$$F_D = \int_A (p - p_p) dA$$

Koeficijent otpora oblika se može izraziti pomoću jednadžbe:

$$C_D = \frac{F_D}{\rho A \frac{v^2}{2}} \quad \dots (15.4)$$

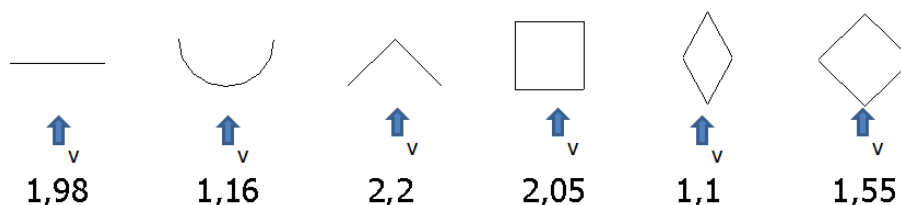
Pri čemu je:

C_D - koeficijent otpora oblika [1]

ρ - specifična gustoća fluida [kg/m^3]

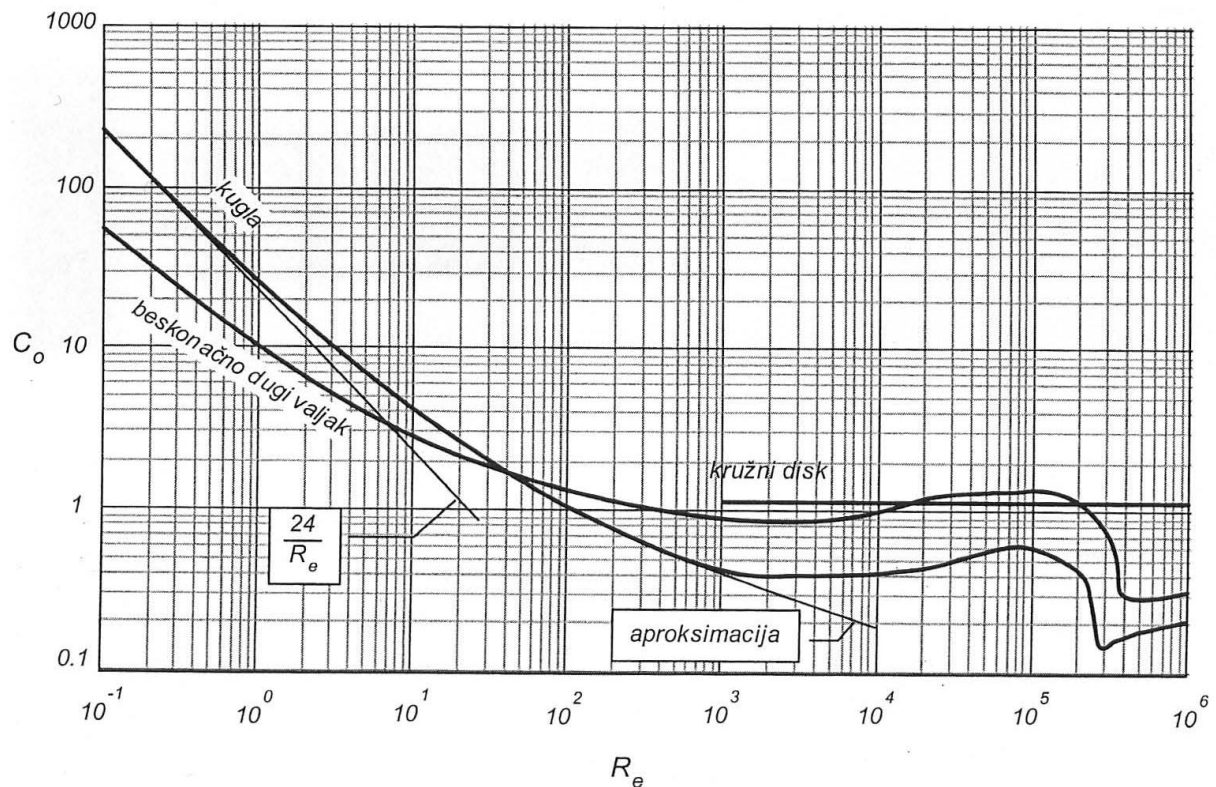
A – površina tijela okomito na smjer strujanja [m^2] (Za kuglu je $r^2 \pi$).

Orijentacione vrijednosti koeficijenta otpora oblika za neke poprečne presjeke u području potpuno razvijene turbulencije su prikazane na slici 15.6.



Slika 15.6: Dvodomenzionalne vrijednosti C_D -a za poprečne presjeke sa stabilnim točkama odvajanja [Smith and Bertin](pod pojmom dvodimenzionalne vrijednosti se podrazumijeva da je profil beskonačno dugačak)

Osim o obliku poprečnog presjeka koeficijent otpora oblika ovisi i o Reynoldsovom broju (slika 15.7)

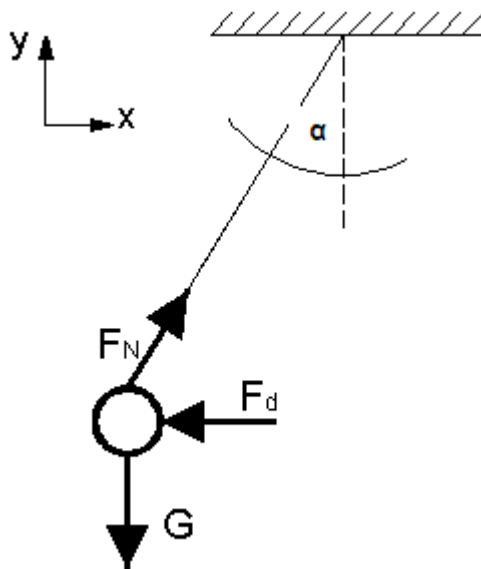


Slika 15.7: Ovisnost koeficijenta otpora oblika o Reynoldsovom broju za disk i kuglu – 3D modeli

Tijek mjerenja

U okviru ove vježbe će se koeficijent otpora oblika kugle određivati mjerenjem u vjetrovnom tunelu. Tijelo oblika kugle je obješeno na strop vjetrovnog tunela s mogućnošću mjerenja nagiba obješene kugle.

Na slici 15.8 shematski je prikazana obješena kugla oko koje obstrujava zrak brzinom v . Prilikom opstrujavanja zraka, pojavljuje se sila na tijelo koja uzrokuje otklon niti (na kojoj je tijelo obješeno) od vertikale. Zbog simetrije tijela usvojit će se da ne postoje aerodinamičke sile okomito na smjer djelovanja vjetra. Sile trenja će se zanemariti. Uz silu otpora oblika na tijelo djeluje i sila napetosti niti (F_N), te gravitacija (G).



Slika 15.8 Shematski prikaz obješene kugle u vjetrovnom tunelu

F_N – sila napetosti niti (sila kojom uže djeluje na kuglu)

G – sila teža u središtu kugle

F_d – sila kojom vjetar djeluje na kuglu

α – kut otklona kugle

U nastavku rada se uvodi indeks d za konkretne vrijednosti u okviru laboratorijske vježbe (npr. C_d je koeficijent otpora oblika dobiven na modelu) i D za vrijednosti koje su objavljene u literaturi (npr. C_D je koeficijent otpora oblika objavljen u literaturi).

Sila otpora oblika jednaka je:

$$F_d = C_d \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad \dots (15.5)$$

F_d - sila otpora na modelu [N]

C_d - koeficijent otpora [1]

ρ - specifična gustoća fluida [kg/m^3]

A - površina tijela [m^2]

v - konstantna brzina fluida [m/s], u ovom eksperimentu kreće se od 0,1 do 15 m/s

Rastavljajući komponente sila na x i y komponente dobiva se izraz za koeficijent otpora oblika::

$$\sum F_x = 0 \quad \rightarrow \quad F_N \sin \alpha - F_d = 0 \quad \dots (15.6)$$

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad F_N \cos \alpha - m \cdot g = 0 \quad \rightarrow \quad F_N = \frac{m \cdot g}{\cos \alpha} \quad \dots (15.7)$$

$$F_d = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha} = m \cdot g \cdot \text{tg} \alpha \quad \dots (15.8)$$



Slika 15.10 Kugle na koje se mjeri koeficijent otpora oblika

Za lakšu obradu rezultata se može koristiti priložena tablica.

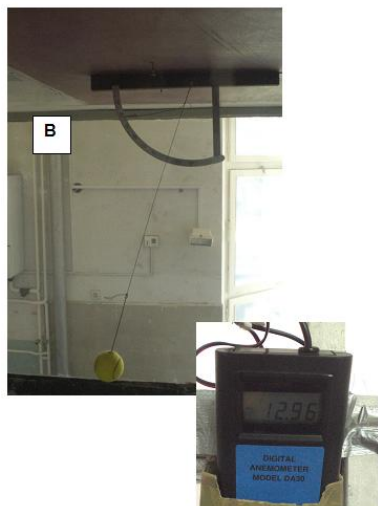
	v	d	A	m	ν	Re	ρ zraka	g	α	očitano	eksp.
	[m/s]	[m]	[m ²]	[kg]	[m ² /s]	[1]	[kg/m ³]	[m/s ²]	[°]	[1]	[1]
Tijelo 1		0.238		0.575	0.00001513		1.2	9,81			
Tijelo 2		0.093		0.056	0.00001513		1.2	9,81			
Tijelo 3		0.066		0.062	0.00001513		1.2	9,81			

GRAĐEVINSKI FAKULTET
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Diplomski studij

Šk.god.
Student :
Mat.broj :

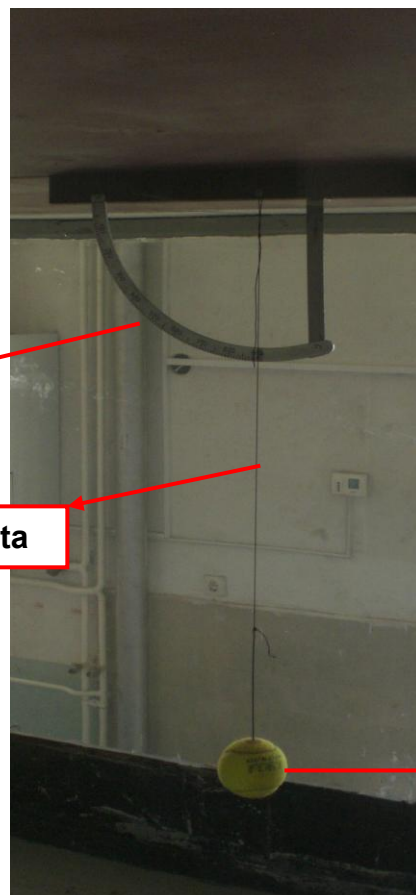
Predmet: **HIDRAULIKA**

Zadatak 15: Eksperimentalno određivanje koeficijenta otpora kugle



Kutomjer

Nit užeta



Kugla

Zadani su parametri ispitivanih tijela

Tijelo br.	Promjer (mm)	Masa (kg)
1	238	0.575
2	93	0.056
3	66	0.062

Izračunaj koeficijente otpora oblika za dvije različite brzine strujanja i usporedi sa podacima objavljenim u literaturi.

Zadano:

Pregledao:

Rok predaje: