

# CFD (softver) u službi rešavanja problema mehanike fluida

---

(predavanje pripremljeno za predmet Mehanika fluida  
na poslediplomskoj nastavi)

Predavanje pripremila:  
**Mr. Biljana Trajković, dipl.gradj.inž.**

Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu  
April 2003



# Cilj ovog izlaganja

---

- Da ukaže na mogućnosti rešavanja praktičnih problema strujanja fluida primenom CFD
- Da ukaže na postojanje komercijalnih CFD paketa i upozna sa njihovom standardnom konfiguracijom
- Da ukaže na specifičan pristup rešavanju problema u slučaju korišćenja CFD paketa
- Da ukaže na neke od teškoća sa kojima se korisnik CFD paketa može susresti



# Šta je CFD?

---

**Computational Fluid Dynamics**

**Računska mehanika fluida**

Rešavanje osnovnih jednačina kretanja fluida  
primenom metoda numeričke analize



# Kratak osvrt na osnovne jednačine

---

a) Jednačina održanja mase - jednačina kontinuiteta

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_m$$

b) Jednačine održanja količine kretanja -  
Navier Stokes-ove jednačine

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i$$



# Dodatne jednačine

---

## c) Jednačina održanja energije

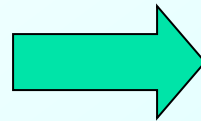
(tokovi koji uključuju transfer toplote ili stišljivost fluida)

## d) Jednačina održanja materije

(tokovi kod kojih postoje koncentracije nekih drugih materija u fluidu ili/i hemijske reakcije)

# Turbulentni tokovi

Navier-Stokes-ove  
jednačine



Reynolds-ove  
jednačine

Reynolds-ov napon  $\tau_t = -\rho \overline{u_i' u_j'}$



potrebno modelirati!



# Modeliranje turbulencije

---

Najjednostavniji - **model turbulentne viskoznosti**

$$\tau_t = -\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu_t \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j}$$

Najviše korišćen - **k-ε model**

**k** kinetička energija  
turbulencije

**ε** disipacije turbulentne  
energije



# Modeliranje turbulencije

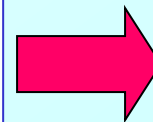
---

Najjednostavniji - model turbulentne viskoznosti

$$\tau_t = -\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu_t \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j}$$

Najviše korišćen - k-ε model

Uvode se dve dodatne jednačine:  
- jednačina transporta k  
- jednačina transporta ε



5 empirijskih  
parametara





# Numerički model (NM)

---

MM - sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina

Diskretizacija strujnog domena

Primena numeričke metode  
(konačnih priraštaja, konačnih zapremina,  
konačnih elemenata, graničnih elemenata)

NM - Sistem algebarskih jednačina





# Početni i granični uslovi

---

Granični uslovi:

uslovi na granicama strujnog domena

Početni uslovi:

- ustaljeno tečenje – u početnoj iteraciji
- neustaljeno tečenje – u početnom trenutku



# Komercijalni CFD paketi

---

Detaljan pregled proizvođača CFD-sofтвера  
i njihovih web-adresa na:  
**[www.cfd-online.com](http://www.cfd-online.com)**

# Izbor CFD paketa



- ✓ Fluent Inc (USA) je vodeća firma u prodaji CFD paketa opše namene
- ✓ CFD-kod *FLUENT* – Finite Volume Method
- ✓ Nudi i posebne kodove za neke specijalne slučajeve strujanja fluida (proizvodnja polimera, simulacija kretanja tankog filma, elektronsko hladjenje, itd)



# Izbor CFD paketa

---



- ✓ *CFX* je CFD-kod razvijen u AEA Technology (UK)
- ✓ Jedan od najprodavanijih
- ✓ Baziran na Finite Volume pristupu
- ✓ Širok opseg aplikacija

# Izbor CFD paketa



✓ Opšti softverski paket za rešavanje problema mehanike (statičke/dinamičke strukturne analize, transfer toplote/kretanje fluida, akustički/elektromagnetski problemi)

✓ Baziran na FEA - Finite Element Analyses

✓ CFD-kod *FLOTRAN*

✓ U februaru Ansys Inc otkupio *CFX*

*Flow-Science*

# Izbor CFD paketa

- ✓ Cham Ltd (UK) razvija i prodaje *PHOENICS* kod
- ✓ Jedan od prvih CFD-kodova opšte namene
- ✓ Baziran na Finite Difference pristupu



*Computer Simulation of fluid flow, heat flow,  
chemical reaction and stresses in solids*


*Flow-Science*



# Izbor CFD paketa

---



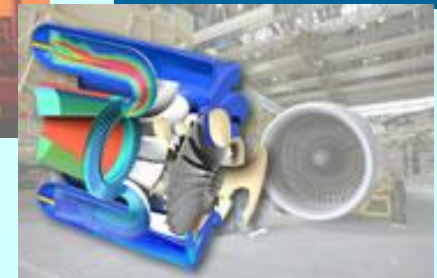
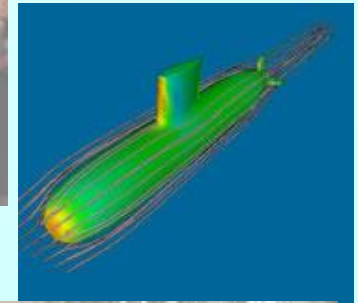
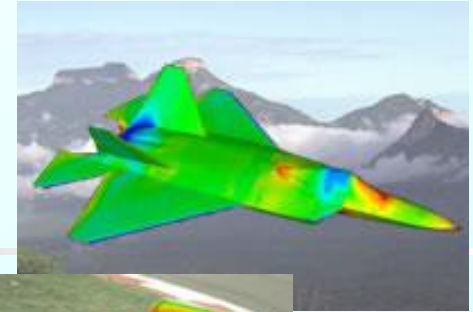
- 
- CEV Computational Fluid Dynamic Software & Services
- ✓ CFD-kod ***FLOW-3D***
  - ✓ Specijalizovan u modeliranju tokova sa slobodnom površinom
  - ✓ Baziran na Volume of Fluid (VOF) metodi

*Flow-Science*



# Primena CFD paketa

- Aero-industrija
- Automobilska industrija
- Projektovanje GVKRs
- Pomorska industrija
  - Procesna industrija
  - Turbomašinerija





# Primena u hidrotehnici

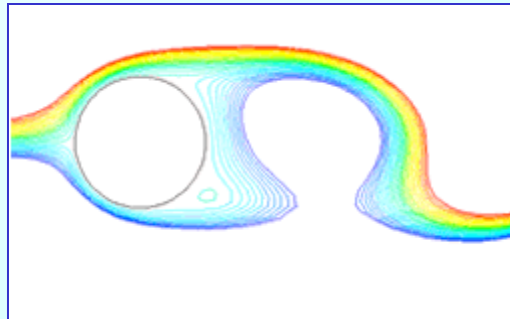
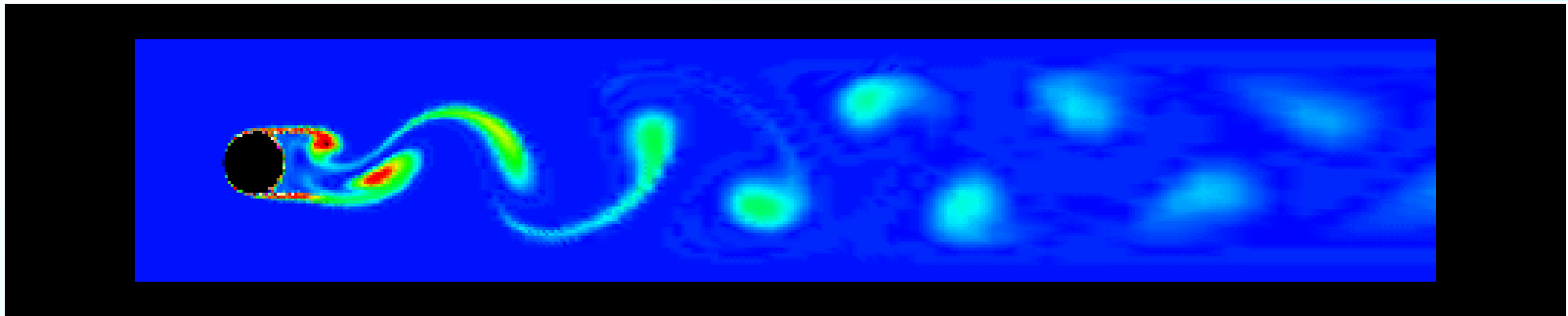
---

- Obstrujavanja tela (mostovski stub,...)
- Tečenje vode u cevi (koleno, zatvarač,...)
- Strujanje vode u rezervoarima (kod postrojenja za prečišćavanje)
- Transport materije (zagadjenje, hlorisanje,...)
- Strujanje vode oko hidrotehničkih objekata (prelivi, ustave,...)

# Primeri

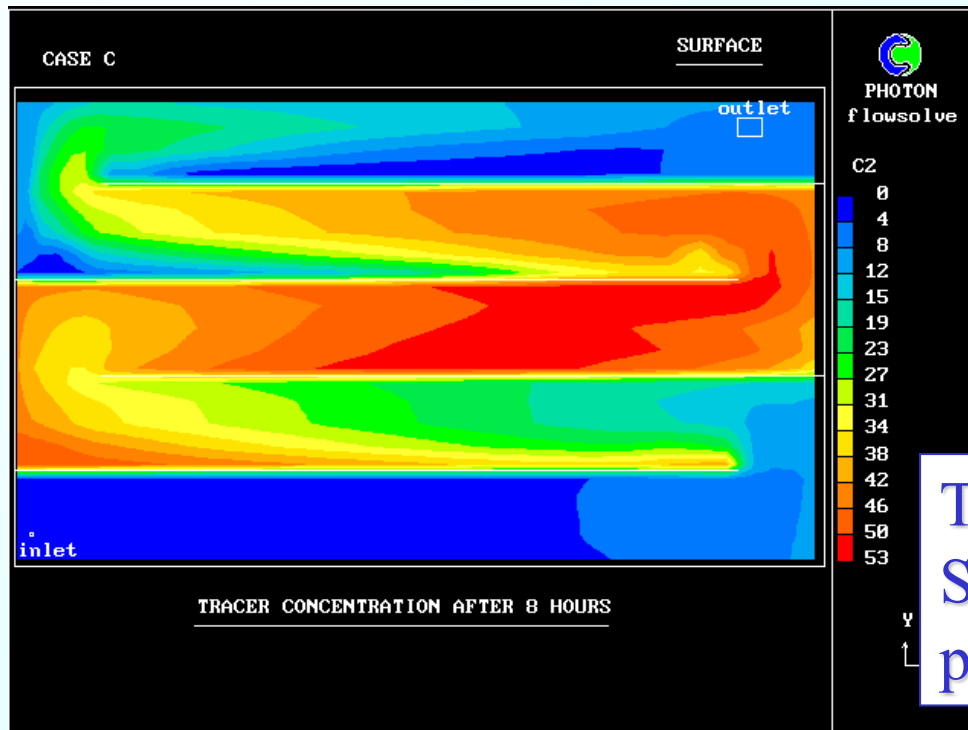
---

## Obstrujavanje cilindra



# Primeri

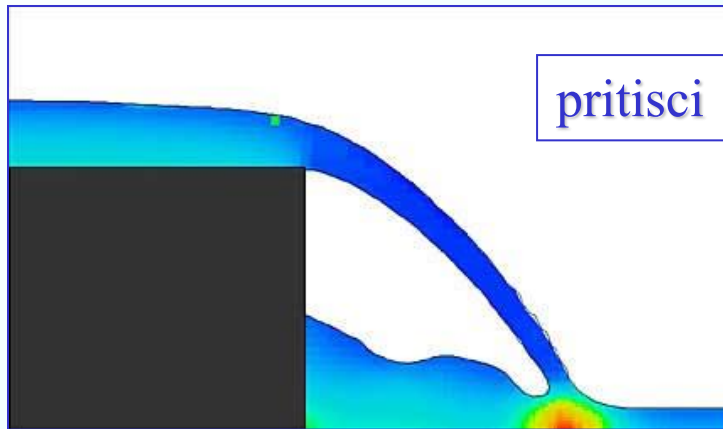
## Praćenje trasera u pravougaonom rezervoaru sa pregradama



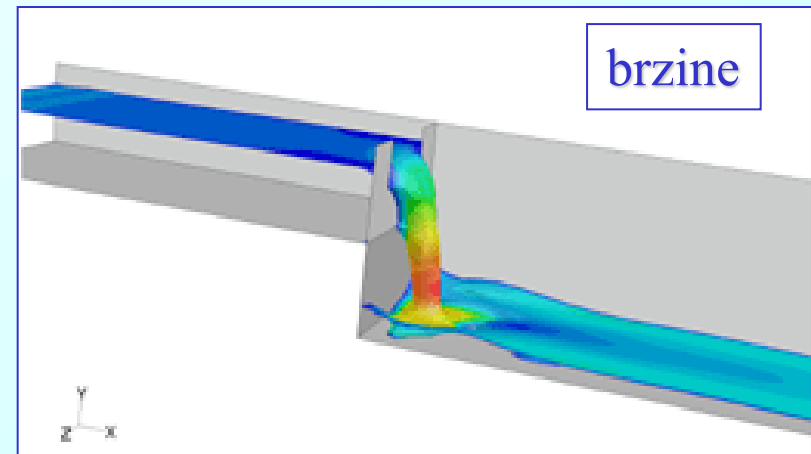
Traser je ubacivan tri sata.  
Slika pokazuje koncentracije  
posle osam sati.

# Primeri

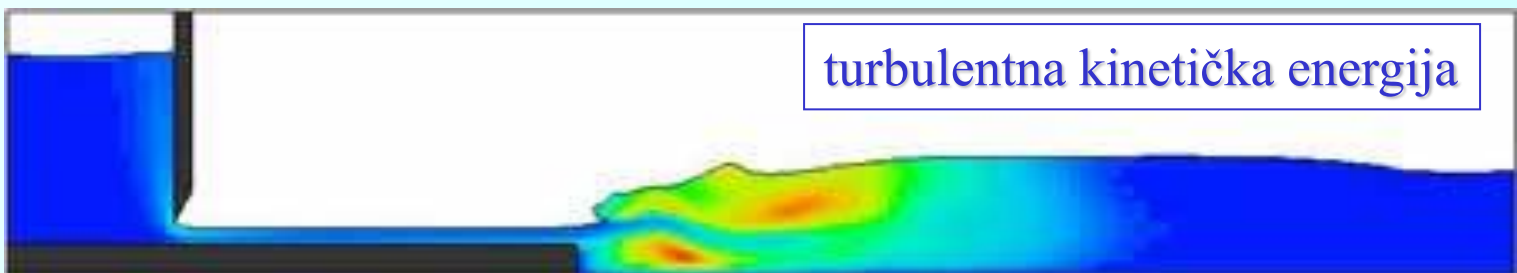
## Prelivanje preko stepenice



## Preliv u kanalizaciji



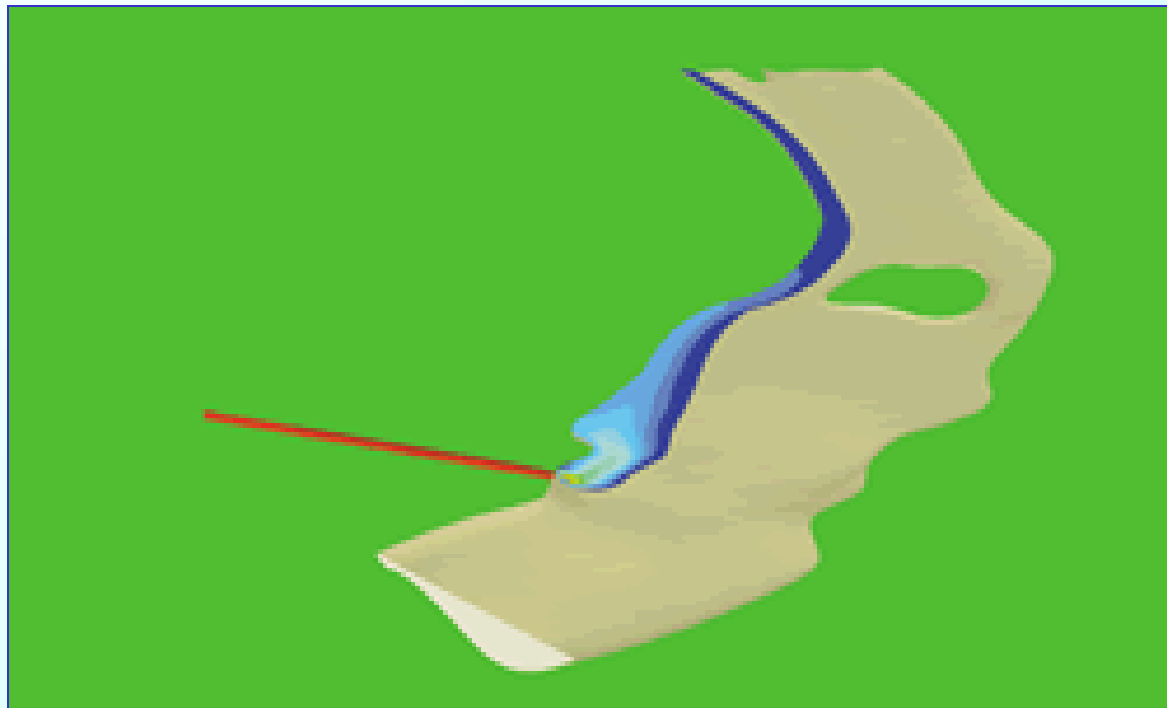
## Hidraulički skok



# Primeri

---

## Transport zagadjenja u rečnom toku





# Konfiguracija CFD paketa

---



Preprocesor



Procesor  
CFD Solver



Postprocesor

# Konfiguracija CFD

Preprocesor

- a) Kreiranje geometrije domena putem grafičkog interfejsa
- b) Generisanje računске mreže
- c) Unošenje podataka o tipu elemenata na granicama

Procesor  
CFD Solver

- d) Izbor solvera
- e) Izbor fluida
- f) Definisavanje vrednosti na granicama
- g) Definisavanje početnih vrednosti
- h) Vrednosti parametara turbulencije
- i) Proračun brzina i pritisaka (T,C,...)

Postprocesor

- j) Pregled rezultata
- k) Štampanje rezultata





# Pristup rešavanju problema (I)

---

## Planiranje CFD projekta (pre uključivanja računara!)

### 1. Definisane ciljeva modeliranja

- (a) Šta su zahtevani rezultati? (b) Kako će se i za šta koristiti?
- (c) Koji je stepen zahtevane tačnosti?

### 2. Izbor računskog modela

- (a) Kako izolovati deo fizičkog sistema koji će se modelirati?
- (b) Gde će računski domen početi i gde se završiti? (c) Koji će se granični uslovi koristiti? (d) 2D ili 3D? (e) Topologija mreže?



# Pristup rešavanju problema (I)

---

## 3. Izbor fizičkog modela

**(a) Idealni fluid, laminarno ili turbulentno? (b) Ustaljeno ili neustaljeno? (c) Da li je tranfer toplote važan? (d) Stišljiv ili nestišljiv fluid? (e) Potreban još neki fizički model?**

## 4. Odredjivanje procedure rešenja

**(a) Može li se koristiti default softver i parametri? (b) Ubrzati konvergenciju nekom drugom procedurom? (c) Da li je memorija računara dovoljna za kompleksnost razmatranog problema? (d) Vreme potrebno za konvergenciju na korišćenom kompjuteru?**



# Pristup rešavanju problema (II)

---

**Realizacija CFD projekta**  
**kroz primenu CFD paketa**



# Primena CFD paketa

---

## Osnovni proceduralni koraci kod primene paketa FLUENT:

1. Kreiranje geometrije modela i računске mreže (GAMBIT)
2. Pokretanje odgovarajućeg solvera za 2D ili 3D modeliranje.
3. Importovanje mreže.
4. Provera mreže.
5. Izbor forme solvera.



# Primena CFD paketa

---

6. Izbor jednačina koje će se rešavati: laminarno ili turbulentno (ili idealni fluid), transport hemikalija ili reakcije, modeli toplotnog transfera, itd. Identifikacija dodatnih potrebnih modela: ventilatori, izmenjivači toplote, porozna sredina, itd.
7. Specificiranje osobina materijala (fluida).
8. Specificiranje graničnih uslova.
9. Prilagodjavanje kontrolnih parametara rešenja.
10. Inicializacija strujnog polja.
11. Proračun rešenja.
12. Pregled/ispitivanje rezultata.
13. Čuvanje rezultata.
14. Ako je potrebno, proglašavanje mreže ili razmatranje revizije numeričkog ili fizičkog modela.



# Primeri primene CFD paketa

---

Način korišćenja paketa FLUENT biće prikazan kroz rešavanje:

- 1. Strujanja vode izmedju dve ravne ploče:**
  - a) laminarno, b) turbulentno**
- 2. Strujanja preko stepenice (BFS Backward Facing Step)**



---

**Prelazimo na  
FLUENT**



# Završne napomene

---

Razvoj CFD doneo je novi kvalitet u istraživanju fenomena mehanike fluida – **numerički eksperiment**

Omogućeno je ili je olakšano:

- Interpretacija observacija u fizičkim eksperimentima
- Projektovanje objekata u strujnom toku
- Predviđanje/kontrola raznih uticaja na životnu sredinu
- itd





# Završne napomene

---

**Voditi računa da:**

**CFD bazirana predviđanja nikada nisu 100%  
pouzdana!**

**Zašto?**

- 1. Ulazni podaci mogu uključiti previše pretpostavki (nagadjanja) i nepreciznosti**
- 2. Raspoloživi kompjuter nije dovoljno jak za dobijanje visoke numeričke preciznosti**
- 3. Baza naučnog saznanja nije dovoljno adekvatna**



# Završne napomene

---

**Voditi računa da:**

**Samo se manji broj fenomena iz prakse može lako simulirati!**

**Zašto?**

- 1. Problemi iz prakse su kompleksni (3D, neustaljeni, kompleksne geometrije, graničnih uslova, različitih fizičkih procesa, nekad sa više faza itd)**
- 2. Komplikovaniji problem zahteva jači računar i duže vreme za proračun**
- 3. Zahteva se kompletnije naučno saznanje o fenomenu**



# Završne napomene

---

**Važno je:**

**Prepoznati mogućnost  
razumne simplifikacije problema,  
pri kojoj se neće izgubiti informacije od  
interesa**



# Završne napomene

---

CFD je alat

Inženjer rešava problem strujanja  
pomoću CFD alata

CFD rešava jednačine toka,  
a ne problem