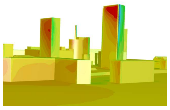
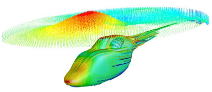
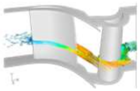
Áramlások numerikus modellezése

BME Áramlástan Tanszék

Előadás: Dr. Kristóf Gergely
Gyakorlatok: Tomor András

2015. ősz

Néhány szót a tantárgyról

- Az első 7 oktatási héten előadás + laborgyakorlat.
- Előadás:
  - Véges térfogatok – a CFD elemzés módszere
  - Peremfeltételek, fizikai modell
  - Hálózás
  - Turbulencia modellezés
  - Hibabecslés
- A gyakorlati kurzusok helyszíne: AE ép. CFD labor
  http://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATAG26/MAGYAR_kepzes/2015-2016-I/ea/
  5 szimulációs példa (részletes instrukciókkal) + 3 önálló feladat
- Számonkérés:
  - Elmélet ZH a 7.héten
  - Labor: önálló feladatok beadása a Poseidonon a 7-14. héten

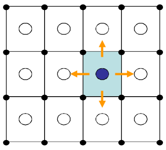
Az áramlástani szimuláció módszerei

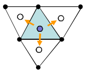
- A három legelterjedtebb módszercsalád:
  - **Véges térfogatok módszerek;**
  - Véges differenciák módszere;
  - Végeselem módszer;

  Néhány kevésbé elterjedt módszer:
  - Spektrál módszerek;
  - Rács nélküli módszerek;
  - Rács-gáz módszerek.
- A véges térfogat módszer (hasonlóan a végeselem módszerhez) a számítási tartomány kisebb térfogati elemekre bontja, amelyeken belül a keresett áramlástani mezőváltozók egyszerűbb (pl. lineáris) függvényekkel közelíthetők.
- A tartomány felbontását **hálógenerálás**nak, a térfogatelemeket pedig **cellák**nak hívjuk. Mezőváltozóink diszkrét értékeit a cellák középpontjában szeretnénk meghatározni.
- Célunk: az áramlást leíró megmaradási egyenletek megoldása közelítő módszerrel.

Véges térfogatok módszere

Mezőváltozók értékei





U: valamilyen megmaradó mennyiség térfogati sűrűsége

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_V U\,dV + \oint_A \vec{F}\cdot d\vec{A} = \int_V S_V\,dV + \oint_A \vec{S}_A\cdot d\vec{A}$$

A megmaradó mennyiség egységnyi tömegre vonatkoztava:

$$\Phi = U/\rho$$

Konvektív és konduktív fluxusok:

$$\vec{F}_C = \rho\Phi\,\vec{v} \qquad \vec{F}_D = -\Gamma\nabla\Phi$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho\Phi\,dV + \oint_A \rho\Phi\,\vec{v}\cdot d\vec{A} = \oint_A (\Gamma\nabla\Phi + \vec{S}_A)\cdot d\vec{A} + \int_V S_V\,dV$$

Az általános transzportegyenlet differenciál alakban:

konduktív transzport

$$\frac{\partial\rho\phi}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\,\phi\,\vec{v}) = \nabla\cdot\vec{S}_A + \nabla\cdot(\Gamma\,\nabla\phi) + S_v$$

konvektív transzport

Egyenlet:	ϕ
kontinuitás	1
x-impulzus	u
y-impulzus	v
z-impulzus	w
fajlagos energia	e

Egykomponensű folyadék áramlását leíró transzportegyenletek konzervatív alakja:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\,\vec{v}) = S_m$$

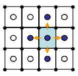
$$\frac{\partial\rho u}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\,u\,\vec{v}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nabla\cdot(\mu\,\nabla u) + \rho\,g_x + S_u$$

$$\frac{\partial\rho v}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\,v\,\vec{v}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nabla\cdot(\mu\,\nabla v) + \rho\,g_y + S_v$$

$$\frac{\partial\rho w}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\,w\,\vec{v}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \nabla\cdot(\mu\,\nabla w) + \rho\,g_z + S_w$$

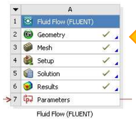
$$\nabla\cdot(-p\,\underline{E} + \underline{\tau})$$

$$\frac{\partial\rho e}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\,e\,\vec{v}) = \nabla\cdot(-p\,\vec{v} + \underline{\tau}\cdot\vec{v}) + \nabla\cdot(\lambda\,\nabla T) + S_e$$



Véges térfogatok módszere

- Az alapegyenletek előbbi alakjait **konzervatív** (megmaradási) **alaknak** hívjuk.
- A differencál-egyenleteinket **integrálva egy-egy cella térfogatára** minden divergenciás tag a cella összes részfelületére vonatkozó felületi integrállá alakul. Az integrálok értéke minden cellafelületre egy-egy skalár, ami az adott felületen egységnyi idő alatt átáramló megmaradó mennyiséget fejezi ki, ezek numerikus közeltése csak a felület két oldalán tárolt (ismeretlen) mezőváltozóktól függ.
- **Minden transzportegyenlet, minden cellára egy-egy algebrai egyenletet eredményez**, ezt nevezzük a leíró egyenletek **diszkrét közelítésének**. Tipikus példaként: 5 transzportegyenlet és 1 000 000 cella esetén 5 000 000 db. algebrai egyenletből álló egyenletrendszert kapunk.
- Az algebrai egyenletrendszer érdekes tulajdonsága, hogy az egyenletekben **egy-egy cella mezőváltozói csak a szomszédos cella mezőváltozóival állnak kapcsolatban**.
- A sok ismeretlen és az egyenletek nemlinearitása miatt az algebrai egyenletrendszer pontos megoldása nem lehetséges, **iteratív közelítő eljárásokat** alkalmazunk. Azt szeretnénk, hogy a megoldás valamilyen **iniciális** (kezdeti) állapotból indulva lépésenként **konvergáljon** a diszkrét egyenletrendszer pontos megoldásához. (Legtöbbször meg is teszi.)
- A számítási tartomány határára eső cella-részfelületekre vonatkozó integrálok számításához az elhagyott térrész hatását leíró újabb összefüggések: **peremfeltételek** megadása szükséges.



A CFD elemzés folyamata

1. Geometriai modell előállítása
2. Hálógenerálás
3. Peremfeltételi zónák kijelölése
4. Fizikai modell kiválasztása, anyagjellemzők megadása
5. Peremfeltételek számértékei
6. Numerikus paraméterek
7. Megoldás inicializálása
8. Iteráció
9. Eredmények értékelése

Design Modeller
Workbench Mesher
FLUENT
CFD-Post

ANSYS Workbench

Lásuk ezt egy mérőperem elemzése kapcsán…