

Kiértékelés, minőség, megbízhatóság

2020. február 23.

Dr. Benedek Tamás

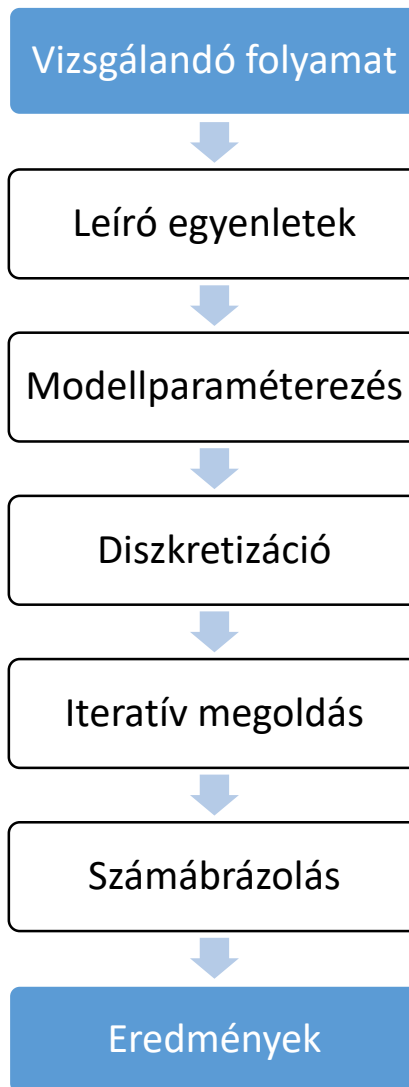
Kiértékelés

- Fluent-ben és CFD-post-ban is lehet
- Monitorok
- Animációk
- Iso-surface, áramvonalak, vektorok, kontúrok
- Felületi, térfogati integrálok
- Custom field function-ok
- Futtatás háttérben: batch és journal file-ok

Ellenőrzés, kalibrálás, validálás

- **Ellenőrzés:** Jól oldjuk-e meg a leíró egyenleteket? Teljesülnek-e az elvárt konvergencia jellemzők? Eredmények összehasonlítása analitikus megoldással, vagy pontosabb numerikus megoldással.
- **Kalibrálás (paraméterezés):** Modell fontos paramétereinek behangolása mérési adatok alapján. Illesztés után a modell feltehetően helyesen jelzi előre a módosítások hatását.
- **Validálás:** Jók-e a leíró egyenletek? Helyesek-e a peremfeltételek? Milyen pontosságot várhatunk a modellünktől? Mérésekhez viszonyítunk

CFD közelítés-rendszer



Hiba és bizonytalanság

- **Hiba:** Az okát ismerjük, szándékos elhanyagolásokból adódik. Az erőforrások növelésével vagy a megoldási módszer fejlesztésével csökkenthető.
- **Bizonytalanság:** Az ismeretek valamilyen hiányából adódik, ezért nem tudjuk a mértékét becsülni és az erőforrások növelésével csökkenteni.

Modellbizonytalanság

Jó egyenleteket oldunk-e meg?

- Turbulencia modellek
- Stacionárius-e az áramlás?
- Ideális gáz, egyéb állapotegyenletek
- Nem-newtoni folyadék tulajdonságok
- Reakciómodellek egyszerűsítése
- 2D áramlás

Diszkretizációs hiba

Az analitikus leíró egyenletek megoldása és diszkrét egyenletek megoldása közti különbség

- Sűrítéssel csökkenthető. A hálókongvergencia rendje a Taylor-sor elhagyott tagjainak nagyságrendjével jellemezhető. Elvileg pl. elsőrendű séma esetében az integrálás hibája a felbontás méretével arányosan csökken, másodrendű séma esetében négyzetével arányosan csökken.
- Időbeli és térbeli diszkretizálásból adódhat.
- Hogy gyakorlatban teljesül-e a konvergencia formális rendje az nem biztos, mert függ a háló minőségétől, upwinding esetében cella Reynolds-számtól, falfüggvény empirikus elemet visz a modellbe stb. A rendet mérni kell.
- Az eredmények hálófüggetlensége szisztematikus sűrítéssel vizsgálható.

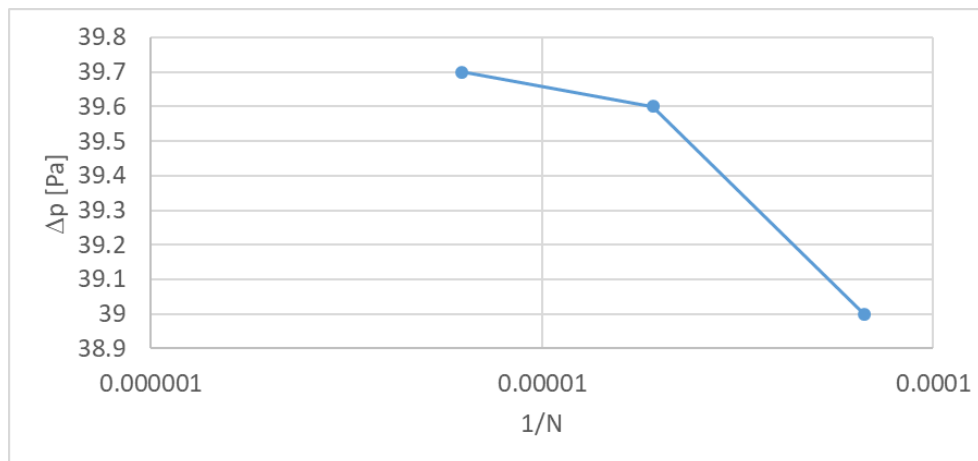
A diszkretizációs hiba becslése

- A diszkretizációs hiba, hálóérzékenységi vizsgálattal ellenőrizhető
- Pl. kétszeri 1.5-szörös, vagy 2 szeres vonalmenti felosztással
- Közel azonos hálóminőség és struktúra szükséges
- $\varepsilon_H \cong \frac{\phi_h - \phi_{2h}}{r^p - 1}, p = \log_r \left(\frac{\phi_{2h} - \phi_{4h}}{\phi_h - \phi_{2h}} \right)$
- r - sűrítési arány, p - a konvergencia rendje, ϕ_h , ϕ_{2h} , ϕ_{4h} - a vizsgált érték a legsűrűbb, a közepes és a ritka hálón

A diszkretizációs hiba becslése példa

- Diffúzor, KM viszony: 2, $v_{be} = 10$ m/s
- $\varepsilon_H \cong \frac{\phi_h - \phi_{2h}}{r^p - 1}$, $p = \log_r \left(\frac{\phi_{2h} - \phi_{4h}}{\phi_h - \phi_{2h}} \right)$

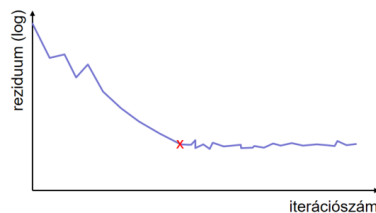
Elemszám	Nyomásnövekedés	Hatásfok
15000	39.1 Pa	79.3%
52000	39.6 Pa	80.5%
160000	39.7 Pa	80.7%
Ext.	39.72 Pa	80.8%



Iterációs hiba

Iterációs hiba alatt a bekonvergált megoldás és a véges számú iterációval kapott megoldás közötti eltérést értjük.

- Kérdéses, hogy egyáltalán konvergál-e a numerikus megoldás. Ha nem, az leggyakrabban az alábbi okokra vezethető vissza:
 1. Hibás háló;
 2. Hibás peremfeltételek;
 3. Az alkalmazott turbulencia modellel nem kapható adott esetben stacionárius eredmény. Ebben az esetben időfüggő megoldással érdemes próbálkozni. (URANS, SAS, stb.)
 4. Túl nagy értékű forrástagok vagy túlságosan merev peremfeltételi egyenletek.
- Figyeljük a reziduumokat! Az első néhány iterációs lépés kivételével az iterációs hiba közel arányosan változik a reziduumokkal.
- Ha bekonvergált, érdemes megnövelni az underrelaxation faktorokat és megnézni, hogy tartja-e a megoldást.
- Célszerű megvizsgálni, hogy más kezdőértékről indítva is ugyanoda érkezik-e az iteráció.
- Vannak nehezen konvergáló jellemzők, pl. ellenállás-tényező. A reziduumokon kívül néhány integrál jellemző alakulását is figyelni kell! Mindig érdemes nyomon követni a vizsgálat célja szempontjából legfontosabb jellemzők konvergenciáját.
- Az iterációs hiba nem csökkenhet a kerekítési hiba határa alá, ezért leállíthatjuk az iterációt, ha a reziduumok az alábbi ábrán látható tipikus trendje az x-el jelölt ponthoz érkezik.



Kerekítési hiba

Kerekítési hiba alatt a pontos számokkal számított megoldás és a véges számábrázolással kapott megoldás közötti eltérést értjük.

- Alapértelmezett számábrázolás 4 byte-os (7 értékes jegy), azonban FLUENT-ben dupla pontosságú számokkal is dolgozhatunk.
- Néhány áramlás, ami tudottan érzékeny a kerekítési hibákra:
 - alacsony Re turbulencia modellek;
 - természetes konvekció kis hőfokkülönbséggel;
 - sugárzásos hőtranszport
 - keverék modellek alacsony koncentrációval
 - nagy egyensúlyi (hidrosztatikai) nyomásgradiens

Alkalmazási bizonytalanság

Bizonytalan alapadatokból jön

- Geometriai bizonytalanság
- Rossz anyagmodell
- Bizonytalan peremfeltételek