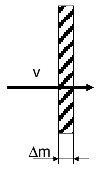
Forrástagok, szakadási feltételek

Dr. Kristóf Gergely
2010. február 22.

Porózus réteg, porózus zóna

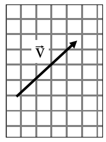
Porózus réteg: $$\Delta p = -\left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2\right) \Delta m$$

Δp:	nyomásesés [Pa]
Δm:	vastagság [m]
α:	permeábilitás [m^2]
C_2:	inerciális ellenállás-tényező
v:	a merőleges sebességkomp.



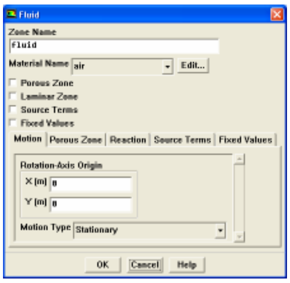
Porózus zóna: $$F_i = -\left(\frac{\mu}{\alpha_i} v_i + C_{2,i} \frac{1}{2} \rho |v| v_i + C_0 |v|^{(C_1 - 1)} v_i\right)$$

F_i: a térfogati erő i-edik komponense [N/m^3]



Zónális jellemzők megadása FLUENT-ben

Cell Zone Conditions / fluid – solid / Edit



Porous Zone

Áramlással szemben ellenállással rendelkező térrész, pl. szálas szűrő, homok, csőköteg, növényzet.

Laminar Zone

Helyileg kiiktatjuk a turbulencia modellt. Pl: határréteg kezdeti lamináris szakasza.

Csak fluid-ra

Source Terms

Forrástagok. Pl: tömegforás, tolóerő vagy hőforrás.

Fixed Values

Mezőváltozó (pl. hőmérséklet vagy sebesség) értékét a térrészben adott értékre állítja be.

Motion

Mozgó térrész. Moving Reference Frame: pl: egy szivattyú frozen rotor modellje; Moving Mesh: pl: egy szivattyú csúszó hálós modellje.

A turbulencia és modellezése

Dr. Kristóf Gergely
2010. február 22.

Belső felületekre megadható szakadási feltételek

Boundary Conditions/

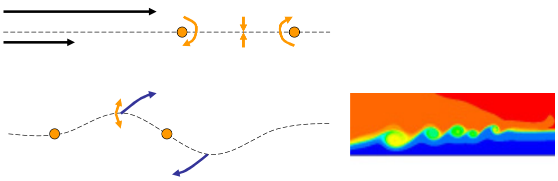
Interior	Két folyadékcella vagy két szilárd cella közötti szokásos határfelület szakadási feltétel nélkül. (Átmegy rajta az áramlás és a hő.)
Porous Jump	Áramlási elenállással rendelkező felület. Pl: egy szunyogháló.
Fan	Δp(v) jellegörbével leírt nyomásnövekedést hoz létre, továbbá perdítheti is az áramlást. Pl. ventilátor; perdítőrács kazánégőknél.
Radiator	Hőcserélő. Ellenállás karakterisztika, fűtőközeg hőmérséklet és a keresztmetszetre vonatkoztatott hőátadási tényező adható meg. Ez a modell nem veszi figyelembe a fűtőközeg hőmérsékletének változását a felület mentén. (Van zónális hőcserélő modell is, ami viszont figyelembe veszi.)
Wall	Belső fal. Hálózáskor egyetlen felület, FLUENT-ben két felületre válikszét. Pl. wall1 és wall1-shadow.

A turbulencia eredete

1) Fali határéteg;
2) Szabad nyíróréteg;
3) Instabil sűrűség rétegződés.

Turbulencia keletkezése szabad nyírórétegben

A sebességprofil inflexiós pontjának létezése miatt a szabad nyíróréteg instabil.
Ez kimutatható még 2D súrlódásmentes áramlás esetében is.
(Kelvin-Helmholtz instability.)
Fogjuk fel a nyírórétegetet egy potenciálos áramlásra szuperponált örvényrétegként :



A nagy örvények mellett kisebb örvények alakulnak ki, azok mellett még kisebbek..
Ez a turbulens energia kaszkád kinetikus energiát szállít a főáramlásból az η méretű legkisebb örvényekhez.

Ismertebb turbulencia modellek besorolása

Algebrai modellek – Lokális def. seb. + hosszlépték (pl. faltávolság alapján).
Nem vesz tudomást az áramlás „történelméről". A faltávolság nem egyértelmű komplex geometria esetében.

Transzport egyenletre épülő Reynolds átlagolt (RANS) modellek:

Spalart-Allmaras	1 eq.	- Szárnyak, 2D falközeli áramlás. *Sugarak szétterülését 100% hibával számolja.*
k-ε	2 eq.	- Izotróp 3D turbulencia esetében általánosan használt.
k-ω	2 eq.	- Viszkózus alapréteg, tranzíció.
RSM	7 eq.	- Anizotróp turbulencia esetén, pl. szekunder áramlás, ciklonok. *Akár 10–szer több iterációt is igényelhet.*

Egyik RANS modell sem garantálja, hogy stabilizálni képes az áramképet (nem biztos, hogy van stacionárius megoldás).

A turbulens mozgás felbontására épülő modellek (Scale Resolving Models):

DNS	- Teljesen felbontott turbulencia. *A számításigény $Re^{9/4}$-el arányosan nő. Rengeteg szükségtelen adatot produkál.*
LES,	- Szak a nagy örvényeket bontjuk fel. A kisebb örvények hatását Subgrid Scal Stress modellekkel vesszük figyelembe. *Falhoz közeledve egyre finomabb háló kell.*
DES, SAS	- Falközelben RANS modelt használ (pl. Spalart-Allmaras modellt), távolabb átmegy LES-be.

Turbulens áramlások főbb tulajdonságai

1. Időfüggő, kaotikus.
2. Háromdimenziós. (Elvileg 2D áramlás esetén is.)
3. Az ingadozást az elúszó örvények okozzák (kb. a főáramlás sebességével sodródnak). Nem helyi jellemzőktől függ, hanem a folyadékrész „történelmétől".
4. A turbulencia a megmaradó mennyiségek keveredését okozza. Olyan, mint ha megnőnének a vezetési tényezők.
5. Turbulens disszipáció: A látszólagos csúsztatófeszültség következtében a főáramlás mozgási energiája - irreverzibilis módon - a sztohasztikus mozgásban tárolt (turbulens) mozgási energiává, majd hővé alakul.
6. A legnagyobb örvények mérete közel van az áramlási tér l méretéhez (és arányos azzal).
7. Az örvények mérete: $l/\eta = (Re_l)^{3/4}$ - széles skálát (2..6 nagyságrendet) fog át.

Turbulens kinetikus energia

A turbulenciát jellemző legfontosabb skaláris mennyiség a turbulens etikus energia:

$$k = \frac{\overline{u'^2 + v'^2 + w'^2}}{2}$$

[m²/s²] (Mérhető is.)

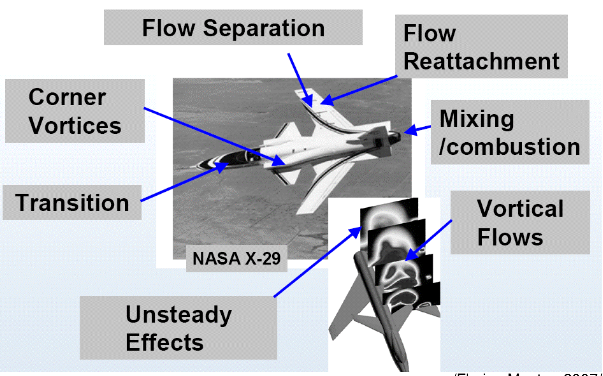
k gyöke **m/s** dimenziójú, ezért k alapján definiálhatjuk a turbulencia sebesség léptékét:

$$V' = \sqrt{k}$$

Az izotrópikus turbulenciát végső soron egy skaláris jellemzővel, a ν_t **[m²/s]**. turbulens viszkozitással írjuk le. A feladat, hogy ennek értékét meghatározzuk.

Tisztán dimenzió megfontolások alapján: szükségünk van még egy turbulens léptékre, amelynek a mértékegysége nem $(m/s)^n$.

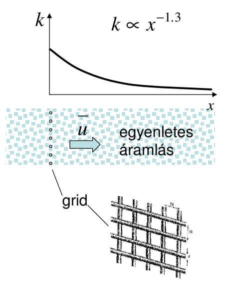
Kihívások



/Florian Menter, 2007/

k disszipációja: ε

Az alábbi alapvető kísérlet a turbulencia viselkedését mutatja egy „zárt rendszerben" (a főáramlásból betáplált k nélkül).



[Mérések:
Comte-Bellot and Corssin, 1966]

A turbulens kinetikus energia disszipációját az alábbi módon értelmezhetjük:

$$\varepsilon := \frac{dk}{dt}$$

[m²s⁻³]

Turbulens viszkozitás

Feltételezve, hogy a turbulencia két skaláris jellemzővel, (k-val és ε-nal) leírható, meghatározhatjuk a turbulencia léptékeit:

$$T = \frac{k}{\varepsilon} \quad [\mathrm{s}] \quad \longleftarrow \quad \varepsilon = \frac{dk}{dt}$$

$$V' = \sqrt{k} \quad [\mathrm{m/s}] \quad \longleftarrow \quad k = \frac{\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}}{2}$$

$$L = \frac{k^{3/2}}{\varepsilon} \quad [\mathrm{m}] \quad \longleftarrow \quad L = V'T$$

A léptékek alapján meghatározhatjuk a turbulens viszkozitást (Kolmogorov-Prandtl formula):

$$\nu_t = C_\mu L V' = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Mérések alapján:

$$C_\mu = 0.09$$

k-omega modell

- ε helyett ω-ra old meg egyenletet. (Ez a turbulencia második paramétere.)
- ω örvényfrekvencia fizikai tartalma kb. megfelel ε/k-nak.
- A fal közelében kedvezőbben viselkedik a k-ε modellnél, viszont a szabad áramlásban rosszabb.
- Az SST modell változat valójában a határrétegen kívül k-ε modellt old meg.
- Már számolható a határréteg tranzíciója (lamináris-turbulens átmenet) is.
- A további fejlesztések várhatóan ebben lesznek.

k evolúciója

k transzportegyenletét analitikusan le lehet vezetni.
Csak a legalapvetőbb tagokat említve:

$$\frac{dk}{dt} = \underbrace{P}_{\text{produkció}} - \underbrace{\varepsilon}_{\text{disszipáció}}$$

A P turbulens produkció értelmezése:

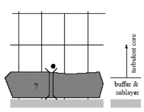
$$P = \nu_t S^2 \,,$$

amelyben S a főáramlás def. seb. tenzorának modulusa:

$$S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \qquad S_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i}\right)$$

Sajnos ε alapegyenletét nem lehet levezetni.
Az egyenletrendszer lezárásához további közelítéseket kell tennünk.

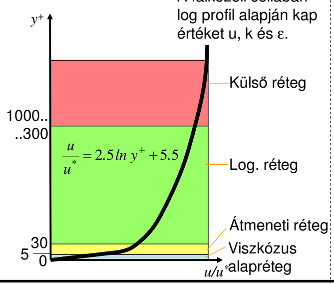
Falkezelés, fali háló



Nagy Re modellek

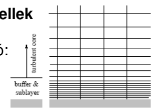
Ritka fali háló: 30<y⁺<300..1000

A falközeli cellában log profil alapján kap értéket u, k és ε.



Kis Re modellek

Sűrű fali háló: y⁺=1



Falfüggvényt nem alkalmaz.
A falközeli alacsony Re és anizotróp turbulencia miatt magát a modellt módosítani kell.

Használata:
k-ε modell esetében:
Enhanced Wall Treatment
k-ω modell esetében:
transitional flow

FLUENT-ben durva fali háló esetén automatikusan bekapcsolja a falfüggvényt.

ε evolúciója

A Launder és Spalding (1972) által kifejlesztett standard k-ε modell szerint ε egy k egyenletéhez teljesen hasonló transzportegyenlettel írható le, mivel ε szintén a turbulens örvénylés egy jellemzője.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

(A produkciós és a disszipációs tagok dimenzióját korrigáljuk egy ε / k szorzóval.)

A modell konstansokat mérési adatokhoz való illesztéssel határozzuk meg:

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, \quad C_{2\varepsilon} = 1.92$$

pl. $C_{2\varepsilon}$ értéke a tács-turbulencia mérések alapján illeszthető.

Belépő peremfeltételek

Elő kell írni k és ε (ω) értékét.

Turbulens intenzitás: $I = \frac{u'}{\overline{u}}$

Nagyon csendes áramlás:	$I < 1\%$
Nagyon zajos áramlás:	$I > 10\ \%$
Csatornaáramlás magjában:	$I \cong \frac{0.16}{\sqrt[8]{\mathrm{Re}}}$

L hosszlépték becslése:

Perforált lemez mögött: a lyukméret
Kis akadály mögött: az akadály mérete
Csatornaáramlás magjában: 0.07 D

Turbulens jellemzők becslése:

$$\mu_t \cong 1.22 \rho \overline{u} I L$$

$$k \cong 1.5 \overline{u}^2 I^2$$

$$\varepsilon \cong C_\mu^{0.75} k^{1.5} L^{-1}$$

$$\omega \cong C_\mu^{-0.25} k^{0.5} L^{-1}$$