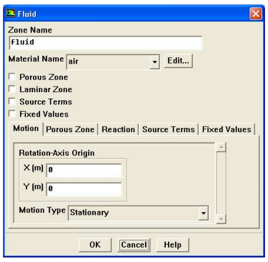
Forrástagok, szakadási feltételek

Dr. Kristóf Gergely
2015. szeptember 22.

Zónális jellemzők megadása FLUENT-ben

Cell Zone Conditions / fluid – solid / Edit



Csak fluid-ra

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.

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.

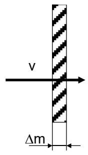
Belső felületekre megadható szakadási feltételek

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	$\Delta p(v)$ 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.

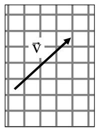
Porózus réteg, porózus zóna

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



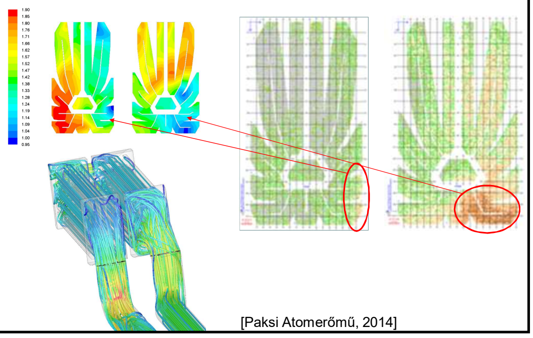
- Δp: nyomásesés [Pa]
- Δm: vastagság [m]
- α: permeábilitás [m^2]
- C_2: inerciális ellenállás-tényező
- v: a merőleges sebességkomp.

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



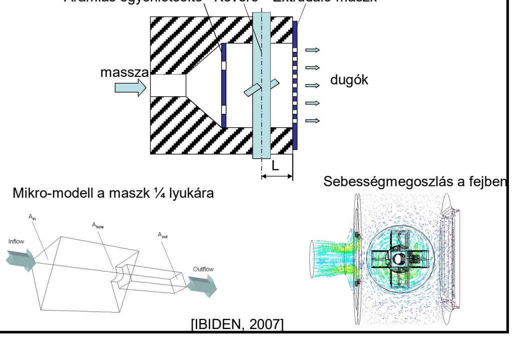
- F_i: a térfogati erő i-edik komponense [N/m^3]

Felületi kondenzátor eltömődése



[Paksi Atomerőmű, 2014]

Dízel motor katalizátor gyártása: áramlás az extrudáló fejben

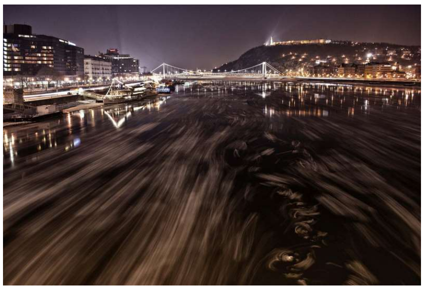


[IBIDEN, 2007]

A turbulencia és modellezése

Dr. Kristóf Gergely
2015. szeptember 22.

Turbulens struktúrák

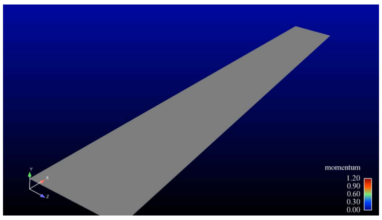


Turbulens áramlások főbb tulajdonságai

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.

Miért van szükség turbulencia modellre?

Határréteg tranziciója egy repülőgép szárnyán kb. 10 cm hosszú szakaszon:



Miért van szükség turbulencia modellre?

$$\cancel{\frac{\partial \rho}{\partial t}}+\frac{\partial \rho u}{\partial x}+\frac{\partial \rho v}{\partial y}+\cancel{\frac{\partial \rho w}{\partial x}}=0$$

$$\cancel{\frac{\partial \rho u}{\partial t}}+\frac{\partial \rho u^2}{\partial x}+\frac{\partial \rho uv}{\partial y}+\cancel{\frac{\partial \rho uw}{\partial y}}=-\frac{\partial p}{\partial x}+\rho g_x+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\cancel{\frac{\partial u}{\partial z}}\right)$$

$$\cancel{\frac{\partial \rho v}{\partial t}}+\frac{\partial \rho vu}{\partial x}+\frac{\partial \rho v^2}{\partial y}+\cancel{\frac{\partial \rho vw}{\partial y}}=-\frac{\partial p}{\partial y}+\rho g_y+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\cancel{\frac{\partial v}{\partial z}}\right)$$

$$\cancel{\frac{\partial \rho w}{\partial t}}+\cancel{\frac{\partial \rho wu}{\partial x}+\frac{\partial \rho wv}{\partial y}+\frac{\partial \rho w^2}{\partial y}=-\frac{\partial p}{\partial z}+\rho g_z+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial w}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial w}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\frac{\partial w}{\partial z}\right)}$$

Oldjuk meg a következő feltételezésekkel: **stacionárius, 2D, ρ=áll.**

Fellépő problémák:

1) Nem konvergál a számítás.

2) Fali csúsztatófeszültség, (hő- és anyagátadás) a reálisnál egy nagyságrenddel alacsonyabb értékre áll be.

3) Íves felületeken a leválás túl hamar következik be.

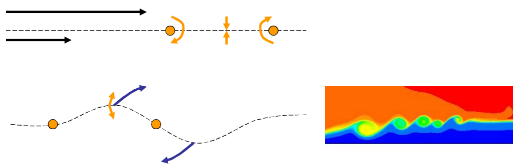
4) A távol téri sebesség-, hőmérséklet- és koncentráció eloszlások a valóságban sokkal egyenletesebbek.

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 nyíróréteget 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.

Hossz- és időlépték

Turbulens kinetikus energia

A turbulenciát jellemző legfontosabb skaláris mennyiség a turbulens etikus energia:

$$k = \frac{\overline{u'^2 + v'^2 + w'^2}}{2}$$ [m^2/s^2] (Mérhető is.)

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

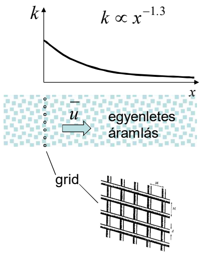
$$V' = \sqrt{k}$$

Az izotrópikus turbulenciát végső soron egy skaláris jellemzővel, a ν_t **[m^2/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 $(m/s)^n$.

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:

$$\varepsilon := -\frac{dk}{dt} \qquad [\mathrm{m^2 s^{-3}}]$$

Turbulens viszkozitás

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

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

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

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

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 evolúciója

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

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

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.

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.

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

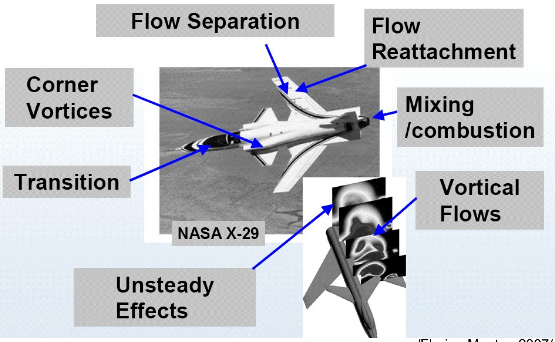
(A produkciós és a disszipációs tagok dimenzióját korrigáljuk egy ε / k szorzóval.)

A modell konstansokat mérési adatokhoz való illesztéssel határozzuk meg:

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

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

Kihívások



/Florian Menter, 2007/

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):

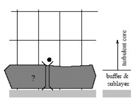
DNS	- Teljesen felbontott turbulencia. *A számításigény $Re^{9/4}$-el arányosan nő. Rengeteg szükségtelen adatot produkál.*
LES,	- Szak a nagy örvényeket bontjuk fel. A kisebb örvények hatását Subgrid Scal Stress modellekkel vesszük figyelembe. *Falhoz közeledve egyre finomabb háló kell.*
DES, SAS	-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

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.
- Lehetővé teszi a határréteg tranzíció (a lamináris határréteg turbulensé válása) modellezését is.

22

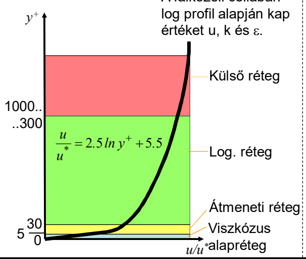
Falkezelés, fali háló



Nagy Re modellek

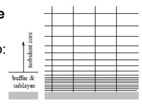
Ritka fali háló:
$30<y^+<300..1000$

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



Alacsony Re modellek

Sűrű fali háló:
$y^+=1$



Falfüggvényt nem alkalmaz.
A falközeli alacsony Re és anizotróp turbulencia miatt az alapegyenleteket korrigálja.

Használata:
k-ω és Spalart-Allmaras modellek esetében:
Automatikus, ha y^+ elég kicsi
k-ε modell esetében:
Enhanced Wall Treatment bekapcsolásával

23

Belépő peremfeltételek

Elő kell írni k és ε (ω) értékét.

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

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

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

Turbulens jellemzők becslése:

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

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

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

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