

1^η Προαιρετική Εργασία

Προσομοίωση πειράματος σε κυλινδρική αεροσήραγγα: τυρβώδες πεδίο ροής στον ομόρρου διάτρητου δίσκου που προσομοιώνει το δρομέα ανεμογεννήτριας

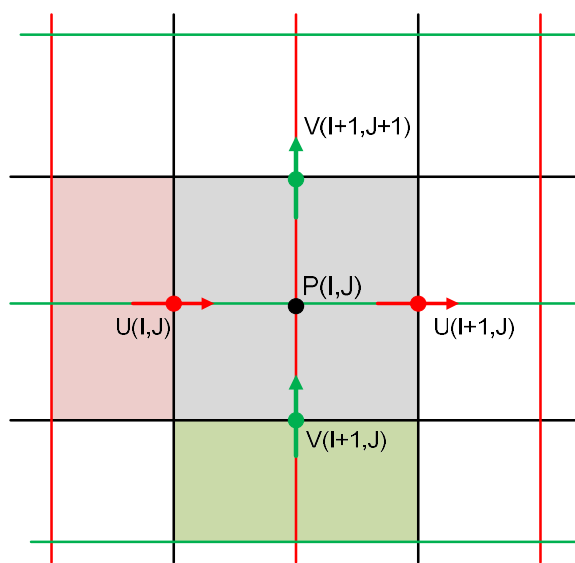
Το μόνιμο αξονοσυμμετρικό πεδίο ροής περιγράφεται από την εξίσωση συνέχειας και τις εξισώσεις ορμής του ασυμπίεστου ρευστού σε κυλινδρικές συντεταγμένες. Για τυρβώδες πεδίο ροής παράγονται οι εξισώσεις RANS και εισάγεται η έννοια της τυρβώδους συνεκτικότητας ν_t σύμφωνα με την υπόθεση Boussinesq. Ακολουθώντας, οι εξισώσεις RANS διατυπώνονται σε συντηρητική μορφή και αδιαστατοποιούνται με βάση την ομοιόμορφη ταχύτητα της αδιατάρακτης ροής U_∞ και την ακτίνα του δρομέα της ανεμογεννήτριας R , οπότε $Re = U_\infty R/\nu$, όπου ν είναι η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial x} &= 0 \quad \text{εξίσωση συνέχειας} \\ \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(ruv)}{\partial r} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{1}{Re} + \nu_t\right) \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \quad \text{εξίσωση ορμής κατά } x \\ \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv^2)}{\partial r} - \frac{w^2}{r} &= -\frac{\partial p}{\partial r} + \left(\frac{1}{Re} + \nu_t\right) \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{v^2}{r} \right] \quad \text{εξίσωση ορμής κατά } y \end{aligned}$$

u, v, w είναι οι συνιστώσες του πεδίου ταχύτητας (αξονική, ακτινική και περιφερειακή).

Θεωρούμε ότι δεν υπάρχει περιφερειακή ταχύτητα, οπότε $w = 0$.

Στον κώδικα που θα χρησιμοποιήσετε η αδιάστατη τυρβώδης συνεκτικότητα ν_t υπολογίζεται επιλύοντας την εξίσωση μεταφοράς της κινητικής ενέργειας της τύρβης, k . Οι εξισώσεις διακριτοποιούνται με τη μέθοδο των πεπερασμένων όγκων και επιλύονται αριθμητικά με τον αλγόριθμο διόρθωσης πίεσης SIMPLE, σύμφωνα με τον οποίο η εξίσωση συνέχειας μετατρέπεται σε εξίσωση για τη διόρθωση της πίεσης. Επίσης, εφαρμόζεται η τεχνική των μετατοπισμένων πλεγμάτων (staggered grids), σύμφωνα με την οποία οι ταχύτητες και οι πιέσεις υπολογίζονται σε διαφορετικές θέσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Ζητείται από εσάς να κάνετε δύο προσομοιώσεις της ροής εντός της κυλινδρικής σήραγγας:

- Προσομοίωση του πεδίου ροής χωρίς την παρουσία του δίσκου επιβάλλοντας τις κατάλληλες συνοριακές συνθήκες για τις συνιστώσες της ταχύτητας και την κινητική ενέργειας της τύρβης.
- Προσομοίωση του πεδίου ροής με το διάτρητο δίσκο λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη δύναμη της ώσης, την οποία θα προσθέσετε ως όρο πηγής στην εξίσωση ορμής. Η δύναμη της ώσης δίνεται από τη σχέση

$$T = \frac{1}{2} \rho C_t U_{ref}^2 A$$

όπου C_t είναι ο συντελεστής ώσης, A είναι το εμβαδό της επιφάνειας του δίσκου, ρ η πυκνότητα και U_{ref} η ταχύτητα αναφοράς. Θα υπολογίσετε την U_{ref} ως τη μέση τιμή του προφίλ της ταχύτητας στη θέση του δίσκου ($x = 0$ από $r = 0$ έως $r = R$). Η μεταβολή του C_t με την ταχύτητα δίνεται από τη σχέση:

$U(m/s)$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
C_t	0.84	0.83	0.85	0.86	0.87	0.79	0.67	0.45	0.34	0.26
$U(m/s)$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
C_t	0.21	0.17	0.14	0.12	0.1	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05

Κατόπιν να συντάξετε τεχνική έκθεση η οποία θα περιλαμβάνει:

- Αναφορά στα γεωμετρικά δεδομένα και στις αριθμητικές παραμέτρους του κώδικα
- Αναφορά στο αριθμητικό πλέγμα που δημιουργήσατε (πλήθος κόμβων, περιοχές πύκνωσης) μαζί με 3 τουλάχιστον σχήματα (1 για το συνολικό πλέγμα και 2 ακόμη εστιάζοντας στις περιοχές πύκνωσης)
- Περιγραφή των επεμβάσεων που κάνατε στον κώδικα (συνοριακές συνθήκες, όρος πηγής)
- Παρουσίαση των ακόλουθων αποτελεσμάτων:
 - Προφίλ ταχύτητας στη θέση $x = 0$ για τις προσομοιώσεις A και B (σε ένα σχήμα)
 - Ισοταχείς (μέτρο ταχύτητας) για την προσομοίωση B
 - Προφίλ των ταχυτήτων u, v και της τυρβώδους κινητικής ενέργειας k στις αξονικές θέσεις $3R, 5R, 10R, 20R$ και $30R$ για την προσομοίωση B
- Να σχολιάσετε τα αποτελέσματα και να εκτιμήσετε την αύξηση της ώσης εξαιτίας της επίδρασης των τοιχωμάτων της σήραγγας

Δεδομένα:

- Ακτίνα δρομέα ανεμογεννήτριας $R = (\text{πλήθος γραμμμάτων ονόματος} + \text{επωνύμου}) \times 2$ (cm)
- Αδιατάρακτη ταχύτητα ροής $U_\infty = [45 - (\text{πλήθος γραμμμάτων ονόματος} + \text{επωνύμου})]/2$ (m/s)
- Επίπεδο έντασης τύρβης περιβάλλοντος $I = 10\%$
- Προτεινόμενοι συντελεστές υποχαλάρωσης 0.6 για τις ταχύτητες και 0.5 για την πίεση.

Οδηγίες

Ως περιβάλλον εργασίας μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το Virtualbox του Linux που χρησιμοποιήσατε και για το υποχρεωτικό θέμα.

Για να μεταφορτώσετε τον κώδικα και το υπόδειγμα του αρχείου δεδομένων στο Virtualbox θα κάνετε sftp στο server thunder.fluid.mech.ntua.gr με user name **student**:

sftp student@thunder.fluid.mech.ntua.gr.

Το password είναι **cf2023**. Τα αρχεία βρίσκονται στο directory SIMPLE_code.dir και μπορείτε να τα μεταφορτώσετε με την εντολή mget*.

Αφού κάνετε τις απαραίτητες αλλαγές στον κώδικα θα πρέπει να κάνετε το compilation χρησιμοποιώντας κάποιον από τους διαθέσιμους compilers (GNU ή INTEL):

gfortran -o *exefilename* rans_axisym.f90 (GNU compiler)

ifort -o *exefilename* rans_axisym.f90 (INTEL compiler)

Ο κώδικας τρέχει με την εντολή *./exefilename*. Αν θέλετε να τρέξετε στο background αποθηκεύοντας όσα γράφονται στην οθόνη σε ένα αρχείο screen, μπορείτε να εκτελέσετε την εντολή:

./exefilename > screen

Μπορείτε να αυξήσετε την ταχύτητα του κώδικα προσθέτοντας το κλειδί -O3 πριν από το -o στο compilation, π.χ.:

ifort -O3 -o *exefilename* rans_axisym.f90 (INTEL compiler)

Επίσης, θα πρέπει να τροποποιήσετε κατάλληλα το αρχείο δεδομένων input.txt. Οι επιπλέον μεταβλητές που θα χρησιμοποιήσετε για την κατασκευή του πλέγματος στην υπορουτίνα GRID_DEF θα πρέπει

- να προστεθούν στο input.txt
- να διαβάζονται από το input.txt στην αρχή του κώδικα (βλ. READ INPUT DATA)
- να προστεθούν στο αρχείο module_rans.f90 ώστε να τις "γνωρίζει" η υπορουτίνα GRID_DEF

Staggered grid for u: $x_grid \rightarrow x_grid_stgu$, $y_grid \rightarrow y_grid_stgu$
 $dxgrid \rightarrow dxgrid_stgu$, $dygrid \rightarrow dygrid_stgu$
 $dxgridc \rightarrow dxgrid_stgucc$, $ygridc \rightarrow dygrid_stgucc$

Staggered grid for v: $x_grid \rightarrow x_grid_stgv$, $y_grid \rightarrow y_grid_stgv$
 $dxgrid \rightarrow dxgrid_stgv$, $dygrid \rightarrow dygrid_stgv$
 $dxgridc \rightarrow dxgrid_stgvcc$, $ygridc \rightarrow dygrid_stgvcc$

