



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

Διπλωματική Εργασία :
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΩΔΙΚΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ
ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΔΟΜΗΜΕΝΑ ΚΑΙ
ΜΗ-ΔΟΜΗΜΕΝΑ ΠΛΕΓΜΑΤΑ

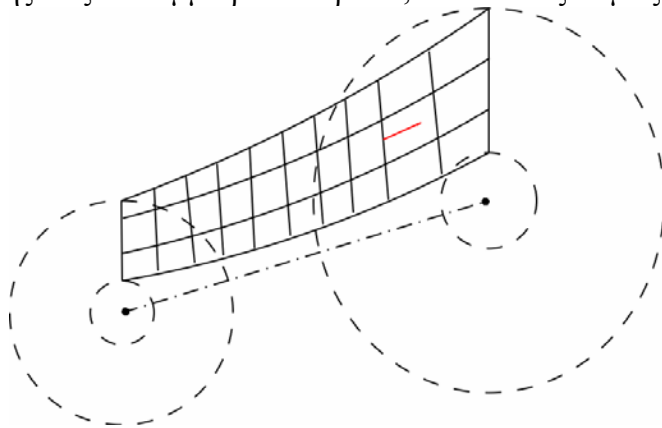
του :
Ζερβογιάννη Θωμά

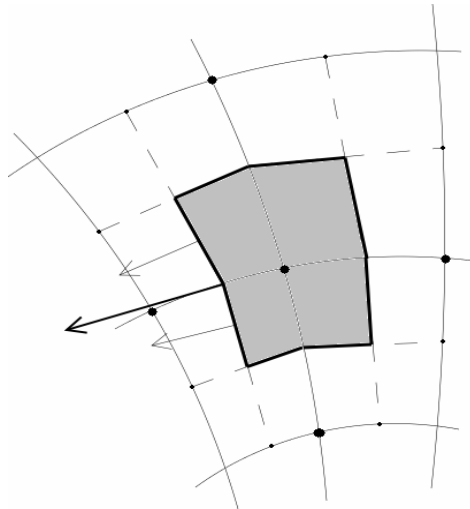
Επιβλέπων καθηγητής :
Κ.Χ. Γιαννάκογλου

Ιούλιος 2004

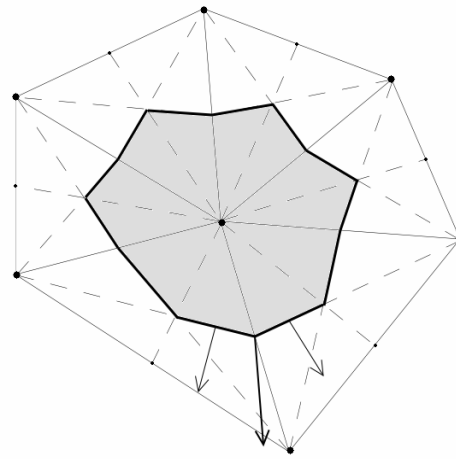
Αντικείμενο της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη μαθηματική διατύπωση και τον προγραμματισμό μιας μεθόδου επίλυσης μη-συνεκτικών αξονοσυμμετρικών πεδίων ροής, με ή χωρίς περιφερειακή συνιστώσα ταχύτητας σε δομημένα και μη-δομημένα πλέγματα μέσω πεπερασμένων όγκων και ανάντι σχημάτων διακριτοποίησης $2^{\text{ης}}$ τάξης, σε ενιαία μορφή. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε χειρίζεται με διαφορετικό λογισμικό τα δομημένα και τα μη-δομημένα πλέγματα στο μεσημβρινό επίπεδο ακολουθώντας τη γενική δομή του αξιόπιστου λογισμικού PUMA (Parallel Unstructured Multigrid Adapted-Grid) του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών του Ε.Μ.Π. Η ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου έχει ήδη αναπτύξει έναν κώδικα επίλυσης αξονοσυμμετρικών ροών, ο οποίος όμως χρησιμοποιεί σχήμα κεντρικών διαφορών και ως εκ τούτου χρησιμοποιεί δομημένα πλέγματα, οπότε προέκυψε άμεσα η ανάγκη να προγραμματιστούν και κώδικες οι οποίοι να εκμεταλλεύονται την ευελιξία των μη-δομημένων πλεγμάτων. Οι νέοι επιλύτες που προγραμματίστηκαν διατηρούν τα χαρακτηριστικά των διδιάστατων επιλυτών του εργαστηρίου που χρησιμοποιούν ανάντι σχήματα, όπως η χρήση του προσεγγιστικού επιλύτη του Roe, η παρεμβολή με ανάπτυγμα Taylor των μεταβλητών στα όρια των κυψελών για αύξηση της ακρίβειας, η εξασφάλιση της μονοτονίας της λύσης με χρήση συναρτήσεων περιορισμού (limiters), η επιβολή τοπικού χρονικού βήματος για επιτάχυνση της σύγκλισης και τελικώς η επίλυση του συστήματος των εξισώσεων χρονικά με σημειακά πεπλεγμένο σχήμα (Jacobi). Επιπλέον, όπου εξυπηρετούσε, χρησιμοποιήθηκε και προσαρμογή πλέγματος στην υπό διαμόρφωση λύση (δυνατότητα που προσφέρεται από το λογισμικό PUMA).





κυψέλη δομημένου πλέγματος



κυψέλη μη-δομημένου πλέγματος

Στόχος της εργασίας

Στόχος της εργασίας, πέρα από το προφανές κέρδος της απόκτησης ενός επιλύτη ο οποίος γενικότερα μπορεί να επιλύει αξονοσυμμετρικά πεδία ροής, ήταν και η επαλήθευση των αποτελεσμάτων που δίνουν οι επιλύτες τριδιάστατων ροών του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών (ΕΘΣ), αλλά και η εφαρμογή (του κώδικα, συγκεκριμένα, που χειρίζεται μη-δομημένα πλέγματα) στη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας ενός υπερηχητικού αεραγωγού εισόδου, με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων.

Συνοπτική περιγραφή και στοιχεία εμβάθυνσης

Προκειμένου να διατηρηθεί η βασική δομή του λογισμικού του ΕΘΣ, χρειάστηκε να γίνουν επεμβάσεις στο λογισμικό PUMA ώστε να λύνει αξονοσυμμετρικά πεδία ροής, αλλά και να ξεπεραστούν κάποια εμπόδια που προέκυψαν κατά την υλοποίησή τους. Πρωτίστως κρίθηκε σκόπιμο να γραφούν οι εξισώσεις της ροής (εξισώσεις Euler στο κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων με

μηδενικές παραγώγους $\frac{\partial(\bullet)}{\partial\theta}$ κατά την περιφερειακή κατεύθυνση) κατά τέτοιο τρόπο

ώστε οι όροι των χωρικών και χρονικών παραγώγων να διατηρούν τη συντηρητική γραφή τους. Αυτό επιτυγχάνεται με αντικατάσταση των μεταβλητών ρ και p με τις αντίστοιχες τιμές πολλαπλασιασμένες με την ακτίνα r σε κάθε θέση, έστω $\rho^* = r\rho$ και $p^* = rp$. Η τελική μορφή των διαφορικών εξισώσεων που επιλύθηκαν στις κυψέλες ελέγχου ήταν η παρακάτω (σε διανυσματική γραφή):

$$\frac{\partial w^*}{\partial t} + \frac{\partial F^*}{\partial r} + \frac{\partial G^*}{\partial z} = K^*$$

$$w^* = (\rho^* \quad \rho^* u_r \quad \rho^* u_z \quad \rho^* u_\theta \quad \rho^* E)^T$$

$$F^* = \begin{bmatrix} \rho^* u_r \\ \rho^* u_r^2 + p^* \\ \rho^* u_r u_z \\ \rho^* u_r u_\theta \\ u_r (\rho^* E + p^*) \end{bmatrix}, G^* = \begin{bmatrix} \rho^* u_r \\ \rho^* u_r u_z \\ \rho^* u_z^2 + p^* \\ \rho^* u_z u_\theta \\ u_z (\rho^* E + p^*) \end{bmatrix}, K^* = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{\rho^* u_\theta^2 + p^*}{r} \\ 0 \\ -\frac{\rho^* u_r u_\theta}{r} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Στις παραπάνω εξισώσεις περιέχεται και η εξίσωση διατήρησης της ορμής κατά την περιφερειακή συνιστώσα, και η οποία έπρεπε να προστεθεί. Κατά συνέπεια τα μητρώα διαγωνοποίησης των ιακωβιανών οριζουσών των εξισώσεων, που πρέπει να βρεθούν προκειμένου να επιλυθούν οι εξισώσεις με ανάντι σχήματα διακριτοποίησης, είναι πλέον 5×5 και πρέπει να υπολογιστούν (οι υπολογισμοί έγιναν 'στο χαρτί' και επαληθεύτηκαν με χρήση του πακέτου μαθηματικών Mathematica). Κατά τον υπολογισμό των ιδιοδιανυσμάτων απαιτείται η επιλογή κάποιων αυθαίρετων σταθερών, ώστε τα μητρώα να πάρουν την τελική τους μορφή. Δοκιμάστηκαν δύο σύνολα σταθερών που διατηρούν τη γραμμική ανεξαρτησία των ιδιοδιανυσμάτων, από τα οποία το ένα απορρίφθηκε ως ακατάλληλο, αφού περιείχε γεωμετρικά στοιχεία του πλέγματος στον παρονομαστή κάποιων όρων του, με αποτέλεσμα να καθιστά αδύνατη την αριθμητική λύση μέσω κώδικα. Το δεύτερο σύνολο σταθερών που επελέγη και προγραμματίστηκε είχε άριστη απόδοση και είναι το:

$$\begin{aligned} \mu_1^{(1)} &= \hat{n}_r \\ \mu_1^{(2)} &= \hat{n}_z \\ \mu_1^{(3)} &= \hat{n}_\theta = 0 \\ \mu_2^{(1)} = \mu_2^{(2)} = \mu_2^{(3)} &= \frac{1}{|n|} \\ \mu^{(4)} = \mu^{(5)} &= 1 \end{aligned}$$

με χρήση των οποίων προκύπτουν τα παρακάτω μητρώα διαγωνοποίησης:

$$A = \frac{\partial F^*}{\partial w^*} = P \Lambda P^{-1}$$

$$P = \begin{bmatrix} \hat{n}_r & \hat{n}_z & 0 & \frac{\rho^*}{2c} & \frac{\rho^*}{2c} \\ u_r \hat{n}_r & u_r \hat{n}_z & \rho^* \hat{n}_z & \frac{\rho^*}{2c} (u_r + c \hat{n}_r) & \frac{\rho^*}{2c} (u_r - c \hat{n}_r) \\ u_z \hat{n}_r & u_z \hat{n}_z & u_z \hat{n}_\theta - \rho^* \hat{n}_r & \frac{\rho^*}{2c} (u_z + c \hat{n}_z) & \frac{\rho^*}{2c} (u_z - c \hat{n}_z) \\ u_\theta \hat{n}_r - \rho^* \hat{n}_z & u_\theta \hat{n}_z + \rho^* \hat{n}_r & 0 & \frac{\rho^*}{2c} u_\theta & \frac{\rho^*}{2c} u_\theta \\ b l_r & b l_z & b l_\theta & \frac{\rho^*}{2c} (H + cv \hat{n}) & \frac{\rho^*}{2c} (H - cv \hat{n}) \end{bmatrix}$$

Ο προσεγγιστικός επιλύτης του Roe εκφράστηκε με τρόπο όμοιο όπως και στην περίπτωση των εξισώσεων Euler καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων, με αντικατάσταση της πυκνότητας ρ με την αντίστοιχη μεταβλητή ρ^* του αξονοσυμμετρικού προβλήματος.

Τέλος προστέθηκαν και οι όροι πηγής στο αριστερό και δεξί μέλος των εξισώσεων (γραμμένοι με Newton γραμμικοποίηση σε πεπλεγμένη μορφή), ώστε να προκύψει η τελική μορφή του συστήματος των εξισώσεων, το οποίο επιλύεται χρονικά με τη σημειακά πεπλεγμένη μέθοδο Jacobi.

$$K^{*n+1} = K^{*n} + \frac{\partial K^*}{\partial w^*} \delta w^*$$

Ιδιαίτερη προσοχή έπρεπε να δοθεί και κατά την επιβολή των οριακών συνθηκών εισόδου και εξόδου, αφού αυτές πρέπει να ικανοποιούν την εξίσωση ακτινικής ισορροπίας, $\frac{\partial p}{\partial R} = \frac{\rho u_\theta^2}{R}$, όπως αυτή γράφεται για είσοδο του εργαζόμενου

μέσου χωρίς ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την στατική πίεση (εξόδου αν η ροή είναι υποηχητική και εισόδου αν η ροή είναι υπερηχητική), αυτή ολοκληρώνεται αριθμητικά (θεωρώντας ότι δίνεται η τιμή της στο πόδι της εν λόγω διατομής). Για την ακτινική γωνία εισόδου θεωρείται ότι $\theta_r = 0$. Για να βρεθεί η περιφερειακή γωνία εισόδου θ_u πρέπει να δοθεί κάποια απαίτηση σχετικά με την περιφερειακή συνιστώσα της ταχύτητας στην είσοδο. Εδώ μελετήθηκαν και υπολογίστηκαν δύο 'σενάρια' επιβολής οριακών συνθηκών, για τα οποία βρέθηκαν αναλυτικές σχέσεις για την ακτινική κατανομή των μεταβλητών σε κάθε διατομή:

- $\theta_u = ct$

Σε αυτή την περίπτωση δεν χρειάζονται περαιτέρω υπολογισμοί για την ακτινική κατανομή της γωνίας – οι υπολογισμοί παρ' όλ' αυτά γίνονται για τις άλλες μεταβλητές ώστε να επιτευχθεί μια καλή αρχικοποίηση του πεδίου και η οποία αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση των μη-δομημένων πλεγμάτων, όπου η αριθμητική ολοκλήρωση της εξίσωσης ακτινικής ισορροπίας πάνω στις πλεγματικές γραμμές δεν είναι δυνατή. Με χρήση θερμοδυναμικών σχέσεων και της εξίσωσης ακτινικής ισορροπίας καταλήγουμε σε αναλυτικές εκφράσεις της μορφής:

$$u_z(R) = e^{-\sin^2 \theta_u \ln R + \kappa} = e^\kappa R^{-\sin^2 \theta_u}$$

$$\kappa = \ln u_{z_0} + \sin^2 \theta_u \ln R_0$$

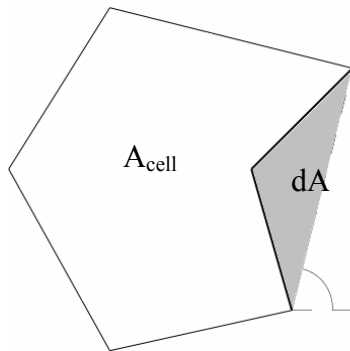
- $Ru_\theta = ct$ (ροή ελεύθερης στροβιλότητας)

Με πράξεις προκύπτει όμοια με την προηγούμενη περίπτωση η αναλυτική σχέση για την ακτινική κατανομή της περιφερειακής γωνίας:

$$\sin^2 \theta_u = \frac{1}{c_2 R^2 + 1}, \quad c_2 = \frac{1}{R_0^2} - 1$$

και αντίστοιχες σχέσεις εκφράζονται και για τις λοιπές μεταβλητές.

Μεγάλη προσοχή δόθηκε στον τρόπο έκφρασης και διακριτοποίησης των όρων που περιείχαν την ακτίνα, δεδομένου ότι αυτοί μπορούν να δημιουργήσουν σφάλματα διακριτοποίησης, ιδιαίτερα στα όρια του υπολογιστικού χωρίου. Μάλιστα, διαπιστώθηκε ότι στα μη-δομημένα πλέγματα, στα οποία εμφανίζονται υπολογιστικές κυψέλες με πιο πολύπλοκο σχήμα από τις κυψέλες των δομημένων πλεγμάτων, τα σφάλματα που εμφανίζονται λόγω του τρόπου διακριτοποίησης είναι αισθητά μεγαλύτερα. Προτάθηκαν δύο διορθώσεις στο αρχικό σχήμα. Η πρώτη σχετίζεται με το σημείο στο οποίο πρέπει να ορίζεται η ακτίνα που εμπεριέχουν οι μεταβλητές, και το οποίο πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι το μέσο του τμήματος του ορίου, για το οποίο υπολογίζεται το διάνυσμα ροής. Αμέσως με την επιβολή της διόρθωσης αυτής εμφανίζεται ένα δεύτερο σφάλμα στις εξισώσεις οι οποίες περιέχουν όρους πηγής, και το οποίο επίσης σχετίζεται με τη διακριτοποίηση των ορίων της υπολογιστικής κυψέλης. Συγκεκριμένα, κατά την ολοκλήρωση των διανυσμάτων ροής και λόγω του τρόπου με τον οποίο το όριο διαιρείται σε διακριτά τμήμα, στο υπόλοιπο των εξισώσεων προστίθεται μία επιπλέον ποσότητα δεδομένου ότι οι εξισώσεις δεν

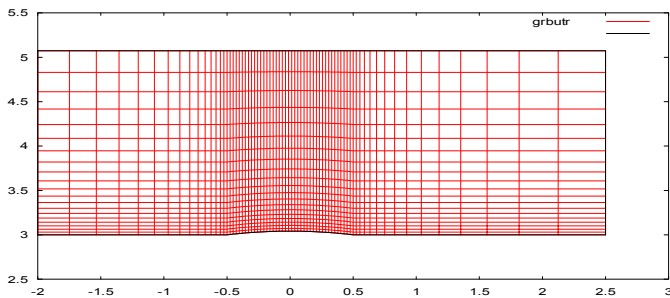


ολοκληρώνονται στο εμβαδόν A της υπολογιστικής κυψέλης αλλά σε ένα εμβαδόν $A + \delta A$, και το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την έκφραση των όρων πηγής ώστε η προσθήκη αυτή να αντισταθμιστεί και το υπόλοιπο να εκφράζεται σωστά.

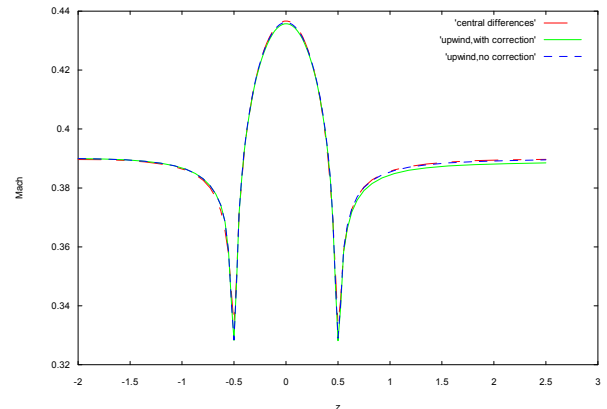
Τελικώς, με την ολοκλήρωση του προγραμματισμού των επιλυτών, έγιναν δοκιμές με σκοπό την πιστοποίησή τους και κατόπιν εφαρμογή στο πολύ ενδιαφέρον τεχνολογικό θέμα της βελτιστοποίησης υπερηχητικού αεραγωγού εισόδου,

που βρίσκει εφαρμογή σε σώματα μεγάλων ταχυτήτων πτήσης. Στην περίπτωση αυτή μάλιστα χρησιμοποιήθηκε και προσαρμογή του πλέγματος στην υπό επίλυση ροή ώστε τα αποτελέσματα να είναι ποιοτικά καλύτερα στις περιοχές ασυνεχειών. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στις επόμενες σελίδες μερικά από τα αποτελέσματα των δοκιμών.

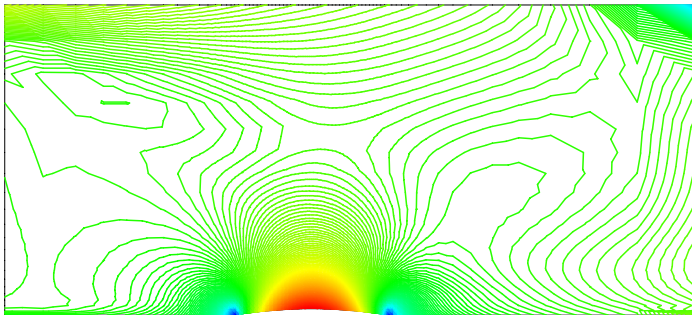
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



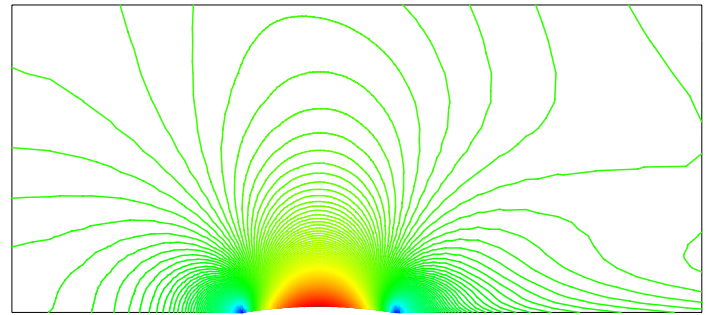
ΑΓΩΓΟΣ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΤΟΙΧΩΜΑ



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ MACH ΣΤΟ ΚΑΤΩ ΤΟΙΧΩΜΑ ΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΠΟΥ ΔΙΝΕΙ ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΡΟΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

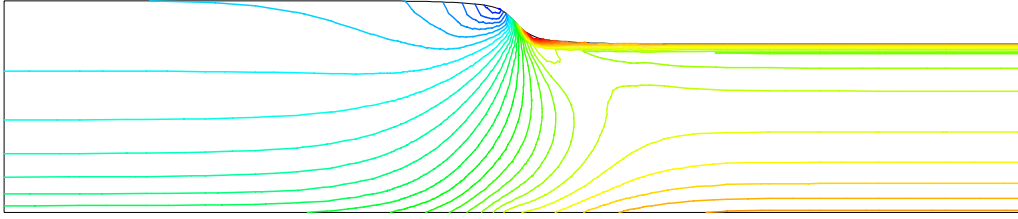


ΛΥΣΗ ΣΕ ΜΗ-ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ ΧΩΡΙΣ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ



ΛΥΣΗ ΣΕ ΜΗ-ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

Οι πρώτες εφαρμογές έγιναν σε απλές γεωμετρίες προκειμένου να ανιχνευθούν και να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά τα προβλήματα ως προς τη διακριτοποίηση που δημιουργεί η ακτίνα που εμπεριέχουν οι μεταβλητές των εξισώσεων. Αρχικά, αντιμετωπίστηκε η περίπτωση ροής μέσα σε αξονοσυμμετρικό αγωγό χωρίς διαμόρφωση (ροή μέσα από δυο ομοαξονικούς σωλήνες) ώστε να προταθούν οι κατάλληλες διορθώσεις (οι οποίες προαναφέρθηκαν, σχετικά με την τοποθέτηση της ακτίνας και τη διόρθωση του εμβαδού της κυψέλης). Κατόπιν έγιναν δοκιμές στην περίπτωση αγωγού με ελαφριά διαμόρφωση τόξου στο κάτω τοίχωμα (πάνω αριστερά). Έγινε μια πρώτη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα που έδωσε κώδικας επίλυσης αξονοσυμμετρικών ροών του ΕΘΣ, ο οποίος έκανε χρήση κεντρικών σχημάτων διαφορών σε δομημένα πλέγματα (πάνω δεξιά). Επιπλέον φαίνεται η βελτίωση με την επιβολή των διορθώσεων που προτάθηκαν (κάτω δεξιά) σε σχέση με τη λάθος εικόνα που δίνεται για το πεδίο λόγω των σφαλμάτων διακριτοποίησης (κάτω αριστερά). Οι βελτιώσεις αυτές είναι πολύ ωφέλιμες ιδιαίτερα στην περίπτωση των μη-δομημένων πλεγμάτων, όπως φαίνεται και από τα παραπάνω σχήματα.

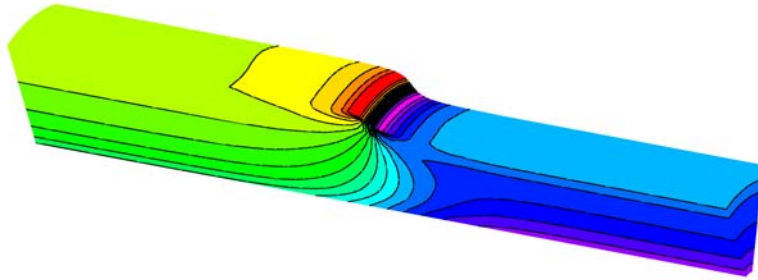


ΛΥΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕ ΣΤΕΝΩΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ - ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΣ ΕΠΙΛΥΤΗΣ ΣΕ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ

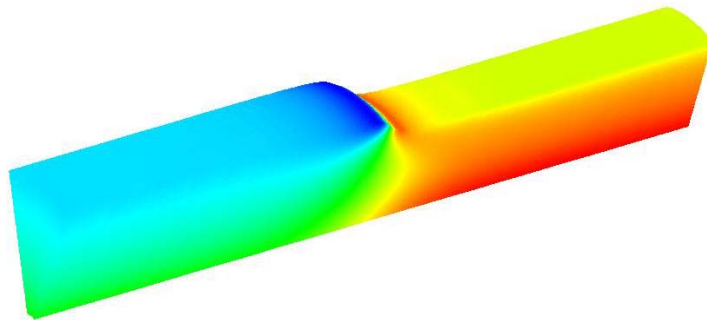
$$\theta_{r, \text{εισ}} = 0$$

$$\theta_{u, \text{εισ}} = 20^\circ = ct$$

$$p_{out} = 0.95$$



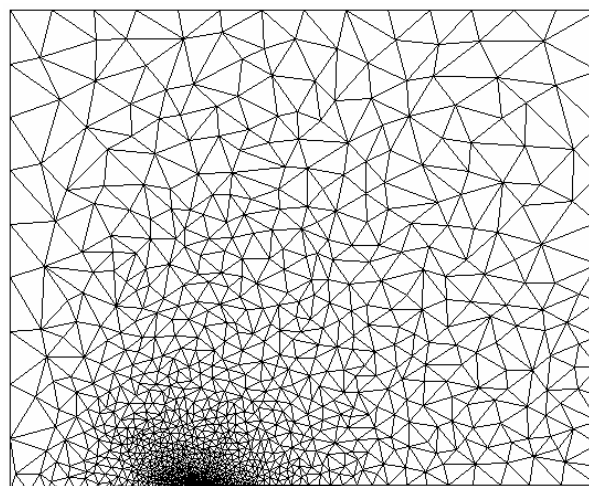
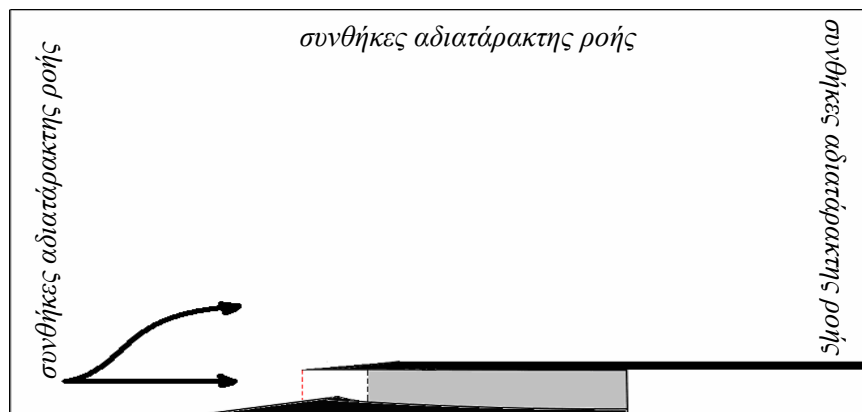
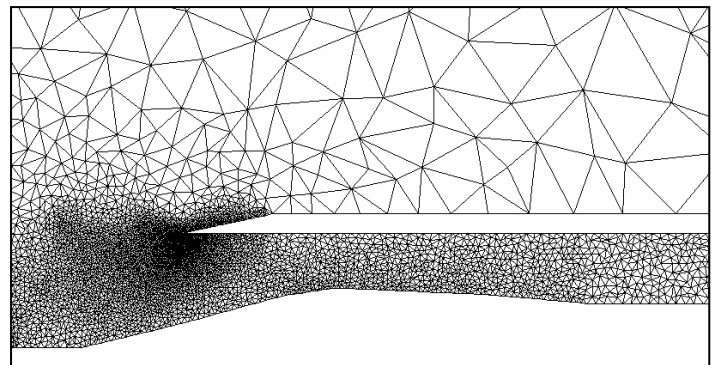
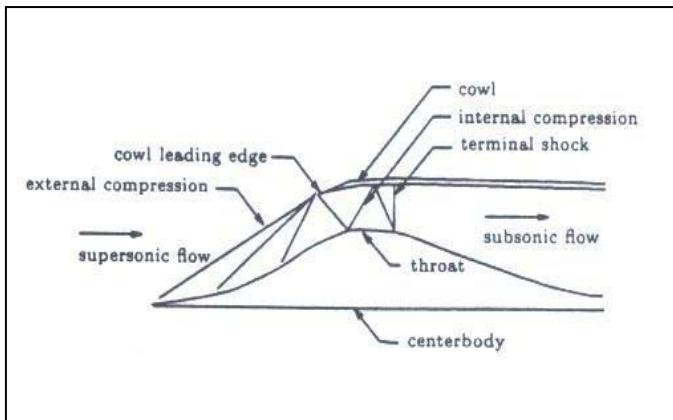
ΛΥΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕ ΣΤΕΝΩΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ - ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΕΠΙΛΥΤΗΣ ΣΕ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ

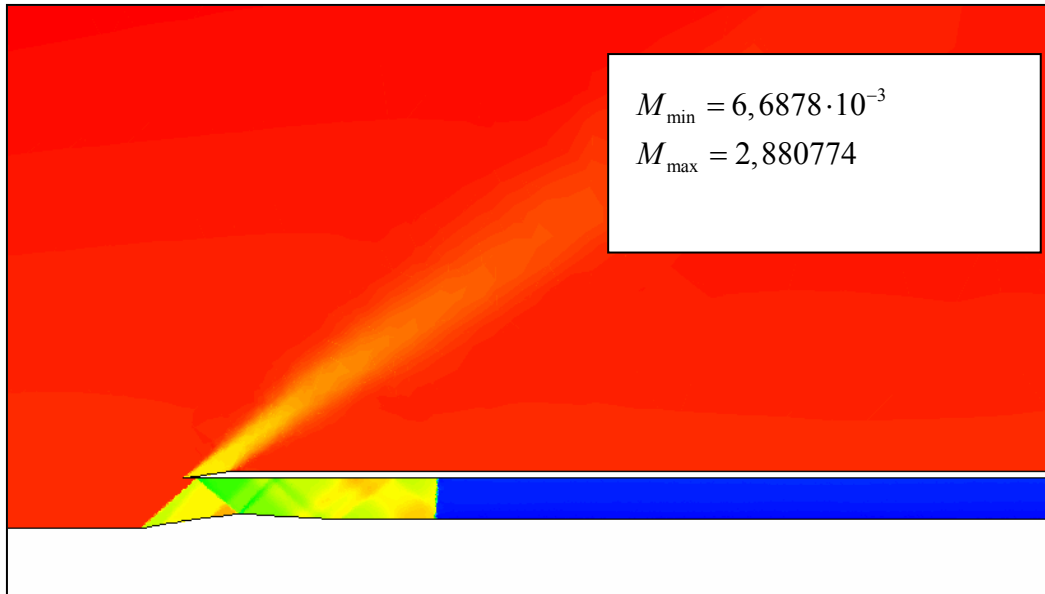


ΛΥΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕ ΣΤΕΝΩΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ - ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΕΠΙΛΥΤΗΣ ΣΕ ΜΗ-ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑ

Η επόμενη γεωμετρία που δοκιμάστηκε ήταν η γεωμετρία αξονοσυμμετρικού αγωγού με στένωση διατομής. Έγιναν δοκιμές σε διάφορες συνθήκες εισόδου (εδώ δοκιμάστηκαν και τα δύο 'σενάρια' οριακών συνθηκών που αναφέρθηκαν) και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά των τριδιάστατων επιλυτών του εργαστηρίου (σε δομημένα και μη-δομημένα πλέγματα). Δίνονται ενδεικτικά και κάποια από τα αριθμητικά αποτελέσματα των δοκιμών για την περίπτωση σταθερής περιφερειακής γωνίας εισόδου:

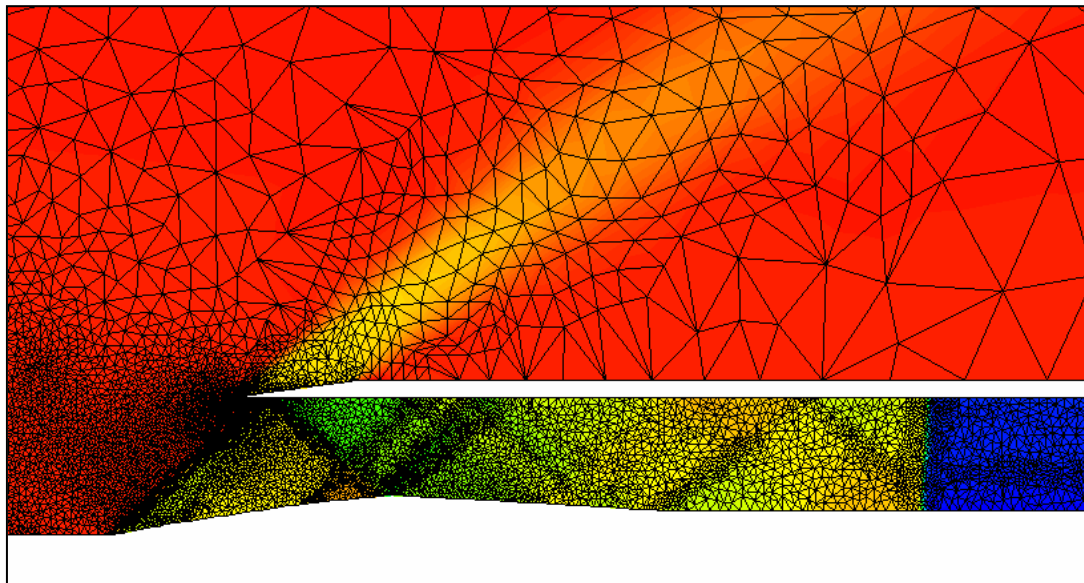
Η τελευταία (και πιο ενδιαφέρουσα από τεχνολογικής άποψης) εφαρμογή ήταν η επίλυση ροής γύρω και μέσα από έναν υπερηχητικό αεραγωγό εισόδου που συναντάται σε σώματα υψηλών ταχυτήτων πτήσης. Σκοπός είναι να χρησιμοποιηθεί ο επιλύτης για τη βελτιστοποίηση τέτοιων γεωμετριών με χρήση γενετικών αλγορίθμων. Πρόκειται για μια περίπτωση συνδυασμού εσωτερικής και εξωτερικής αεροδυναμικής, και ως εκ τούτου πρέπει να τεθούν οριακές συνθήκες αδιατάρακτης ροής μακριά από τον αγωγό, αλλά και να δοθεί η πίεση στην έξοδό του, δεδομένου ότι απαιτούνται υποηχητικές συνθήκες στη διατομή εξόδου (μεσαίο σχήμα). Προσοχή σε αυτή την περίπτωση πρέπει να δοθεί και κατά την αρχικοποίηση του πεδίου, αφού στα σημεία εσωτερικά του αγωγού (γκρι περιοχή του σχήματος) πρέπει να δοθούν τιμές που αντιστοιχούν σε υποηχητικές συνθήκες, ώστε να υπάρχει μηχανισμός που θα διατηρήσει την πίεση που δόθηκε ως οριακή συνθήκη εξόδου. Η γεωμετρία αυτή είναι μια καλή περίπτωση που αναδεικνύει την χρησιμότητα των μη-δομημένων πλεγμάτων, τα οποία είναι πιο ευέλικτα από τα δομημένα πλέγματα και εφαρμόζονται εδώ χωρίς δυσκολία.





$$M_{\text{εισ}} = 2.0$$

$$M_{\text{is,εξ}} = 0.9$$



Παραπάνω φαίνεται το πεδίο του αριθμού Mach που δόθηκε από τον επιλύτη για την περιοχή κοντά στη διατομή εισόδου του αεραγωγού. Επιπλέον φαίνεται και η προσαρμογή του πλέγματος που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση αυτή προκειμένου να υπολογιστεί με ακρίβεια το πεδίο κοντά στις περιοχές των ασυνεχειών (κρουστικών κυμάτων) καθώς και η περιοχή υποηχητικής ροής (μπλε περιοχή) στο εσωτερικό του αγωγού.

Σύνοψη-Τελικές Παρατηρήσεις

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία προγραμματίστηκαν κώδικες επίλυσης αξονοσυμμετρικών ατρίβων πεδίων ροής με και χωρίς περιφερειακή συνιστώσα της ταχύτητας και με χρήση δομημένων και μη-δομημένων πλεγμάτων. Αφετηρία αποτέλεσαν κώδικες επίλυσης διδιάστατων πεδίων ροής της σειράς PUMA του ΕΘΣ, στους οποίους έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές. Ως αποτέλεσμα αυτού, πρώτα αντιμετωπίστηκε η περίπτωση επίλυσης πεδίων ροής χωρίς περιφερειακή ταχύτητα, τα οποία εκφράζονται με συστήματα τεσσάρων εξισώσεων (όπως και τα διδιάστατα πεδία ροής) και κατόπιν προστέθηκε η εξίσωση διατήρησης της ορμής κατά την περιφερειακή συνιστώσα, ενώ διατηρήθηκαν και οι αρχικοί επιλύτες, αφού είναι ταχύτεροι στην περίπτωση που όντως δεν υπάρχει περιφερειακή συνιστώσα στο πεδίο ροής. Κατά τον προγραμματισμό διαπιστώθηκαν προβλήματα ως προς τη διακριτοποίηση των όρων που περιέχουν την ακτίνα και ως προς την επιλογή των μητρώων διαγωνοποίησης, τα οποία ξεπεράστηκαν. Οι επιλύτες δοκιμάστηκαν σε ένα σύνολο γεωμετριών δίνοντας ίδια αποτελέσματα με αυτά που δίνουν οι 'δοκιμασμένοι' τριδιάστατοι κώδικες του ΕΘΣ. Τελικώς έγινε εφαρμογή στη επίλυση ροής γύρω και μέσα από έναν αξονοσυμμετρικό υπερηχητικό αεραγωγό εισόδου, εφαρμογή στην οποία έγινε εμφανής η χρησιμότητα του επιλύτη αξονοσυμμετρικών ροών για μη-δομημένα πλέγματα, επιλύτη που μέχρι τώρα δεν διέθετε το ΕΘΣ. Ήδη έχουν ξεκινήσει στο ΕΘΣ δοκιμές για βελτιστοποίηση αυτής της γεωμετρίας.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- 1 C. Hirsch – Numerical Computation of Internal and External Flows Vol.2: Computational Methods for Inviscid and Viscous Flows – John Wiley & Sons Publication, 1990
- 2 Δ. Κουμπογιάννης Αριθμητική Επίλυση των Εξισώσεων Navier – Stokes με Χρήση Μη – Δομημένων Πλεγμάτων σε Περιβάλλον Παράλληλης Επεξεργασίας – Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Τομέας Ρευστών, Εργαστήριο Θερμικών Στροβιλομηχανών, 1998
- 3 D. Knight – Genetic Algorithms for Optimization in Aeronautics and Turbomachinery – Application of Genetic Algorithms to High Speed Air Intake – Von Karman Institute for Fluid Dynamics , Lecture Series 2000-7 , May 2000