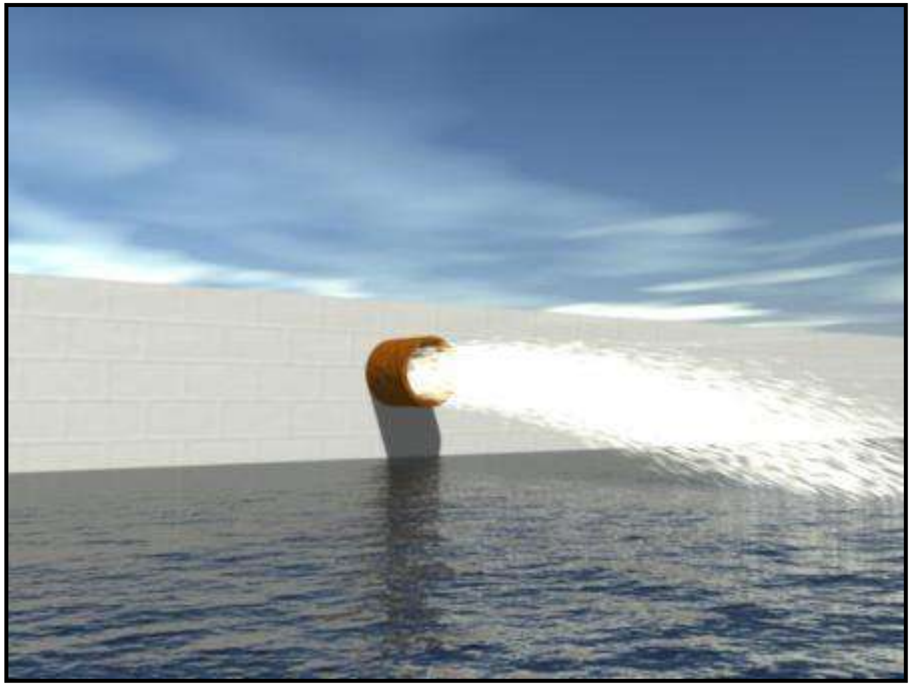
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εισαγωγή στην Υπολογιστική Ανάλυση Φαινομένων Μεταφοράς με το COMSOL

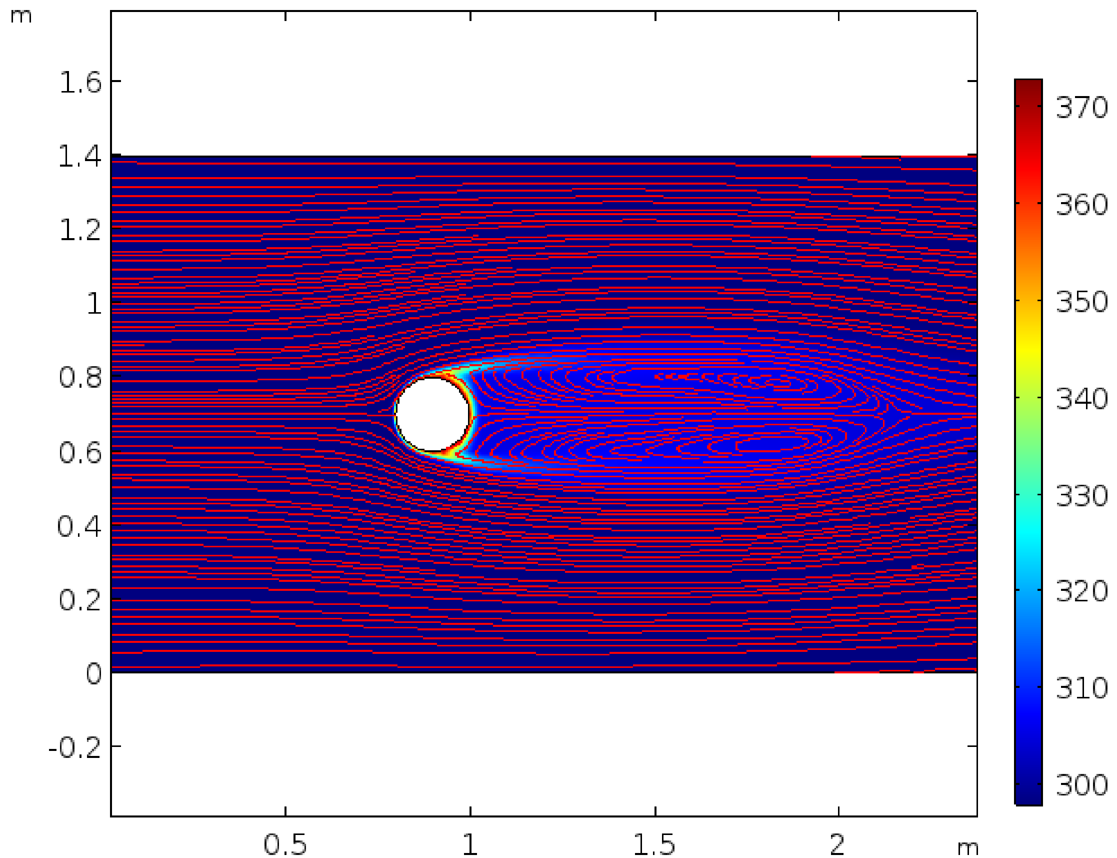
(Μέρος 3ο)



Διδάσκοντες : Α. Παπαθανασίου – Μ. Καβουσανάκης

Παράδειγμα 2

Ροή μεταξύ παραλλήλων πλακών, ενδιάμεσα των οποίων υπάρχει θερμαινόμενο εμπόδιο



Διατύπωση του προβλήματος

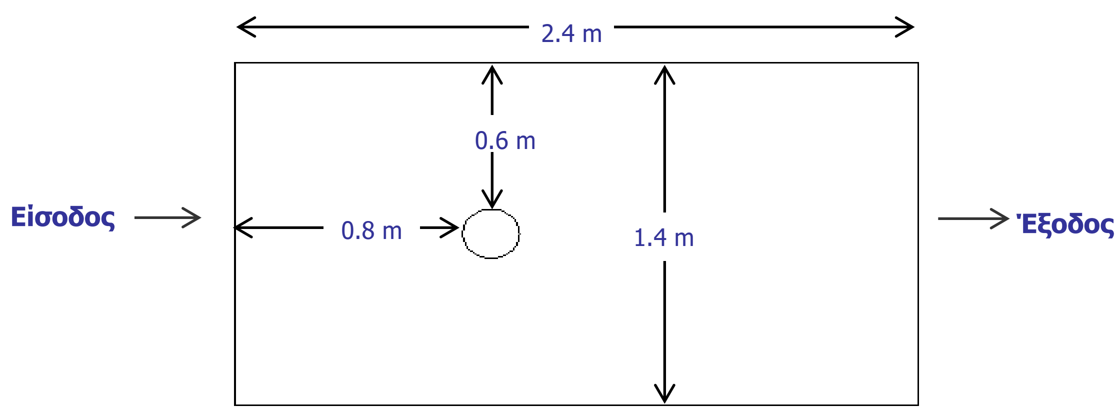
Ρευστό κινείται μεταξύ παραλλήλων πλακών απείρου μήκους και συναντά θερμαινόμενο κυλινδρικό εμπόδιο, το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο σε ίση απόσταση από την επιφάνεια κάθε πλάκας και εκτείνεται στο άπειρο. Η παρουσία του κυλινδρικού εμποδίου προκαλεί αποκόλληση του οριακού στρώματος και αναστροφή της ροής πίσω από αυτό, ενώ η υψηλή του θερμοκρασία προκαλεί μεταφορά θερμότητας προς το ρευστό.

Με χρήση του COMSOL προσομοιώνεται η διεργασία, όταν η ταχύτητα του ρευστού στην είσοδο είναι 0.001 m/s, η θερμοκρασία του 25^{o}C και η θερμοκρασία του κυλίνδρου 100^{o}C.

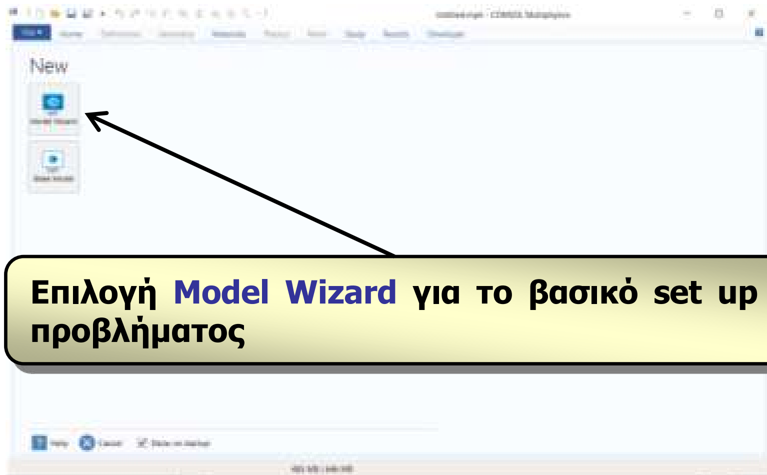
Το ρευστό έχει πυκνότητα 1000 kg/m^3 και κινηματικό ιξώδες 0.001 Pa·s. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας έχει τιμή 10 W/m K και η θερμοχωρητικότητα 4500 J/kg K.

Η επίδραση της βαρύτητας θεωρείται αμελητέα.

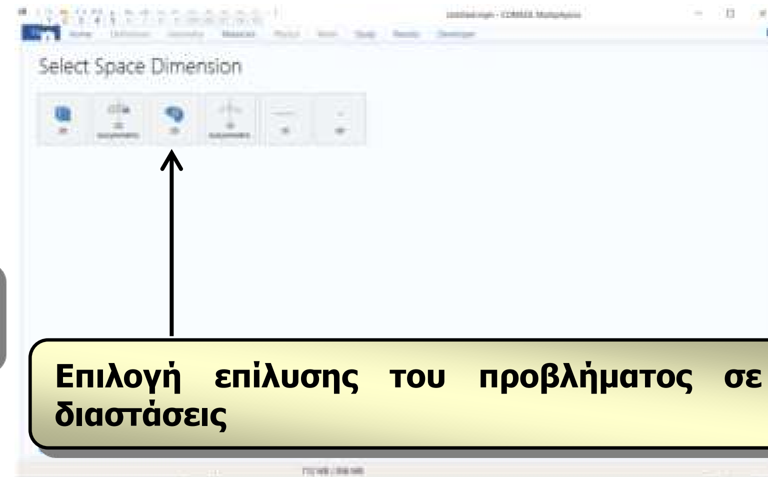
Η σχηματική απεικόνιση του προβλήματος, σε δύο διαστάσεις, είναι η ακόλουθη :



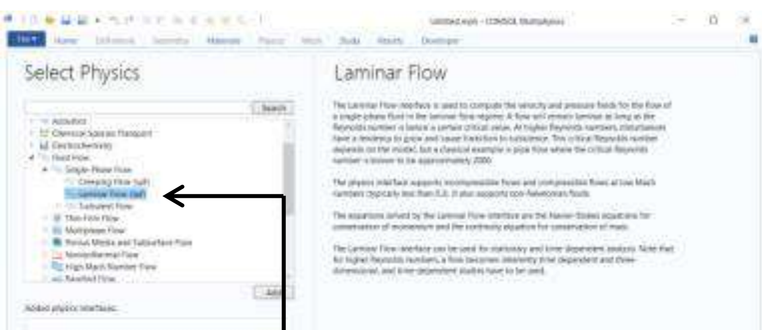
Βήμα 1 : Ρυθμίσεις στον οδηγό πλοήγησης



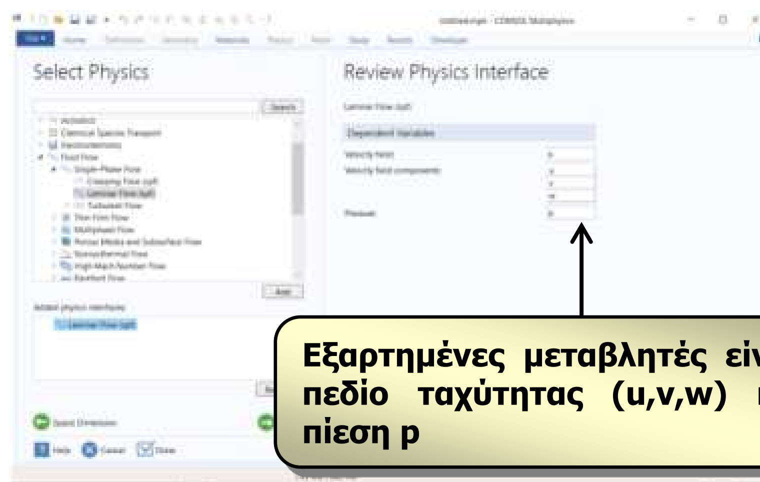
Επιλογή Model Wizard για το βασικό set up του προβλήματος



Επιλογή επίλυσης του προβλήματος σε δύο διαστάσεις

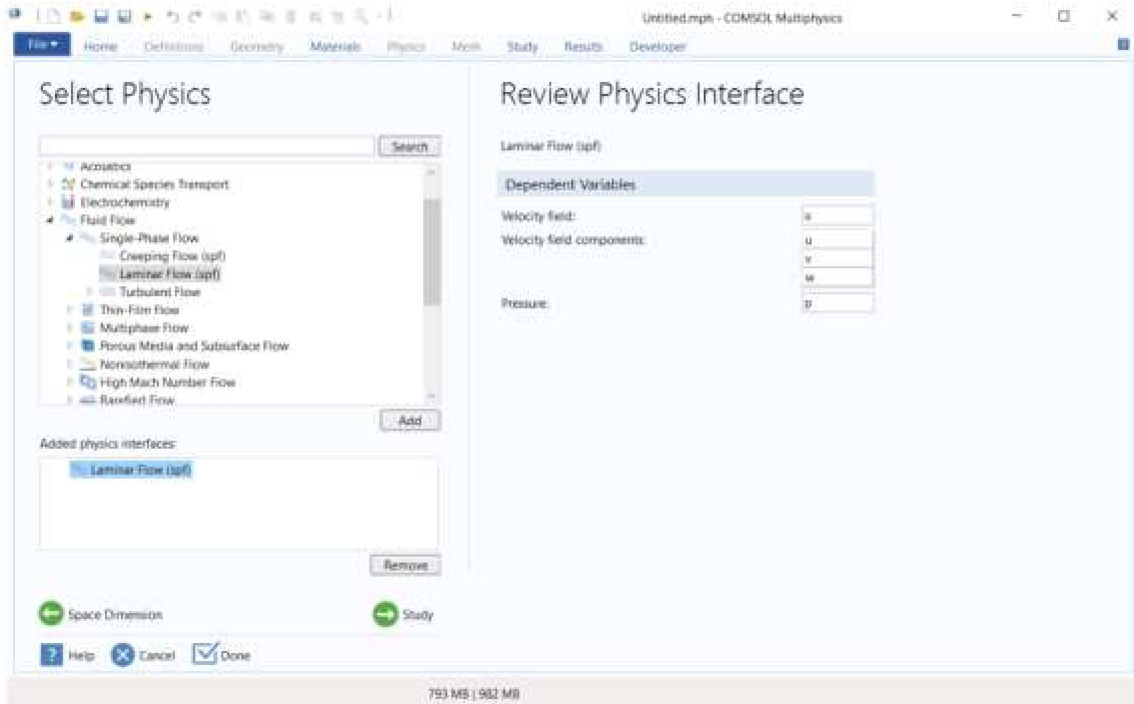


Θα χρησιμοποιηθούν: i) το μοντέλο Navier-Stokes. Επιλέγονται διαδοχικά : Fluid Flow > Single-Phase Flow > Laminar Flow (spf)



Εξαρτημένες μεταβλητές είναι το πεδίο ταχύτητας (u,v,w) και η πίεση p

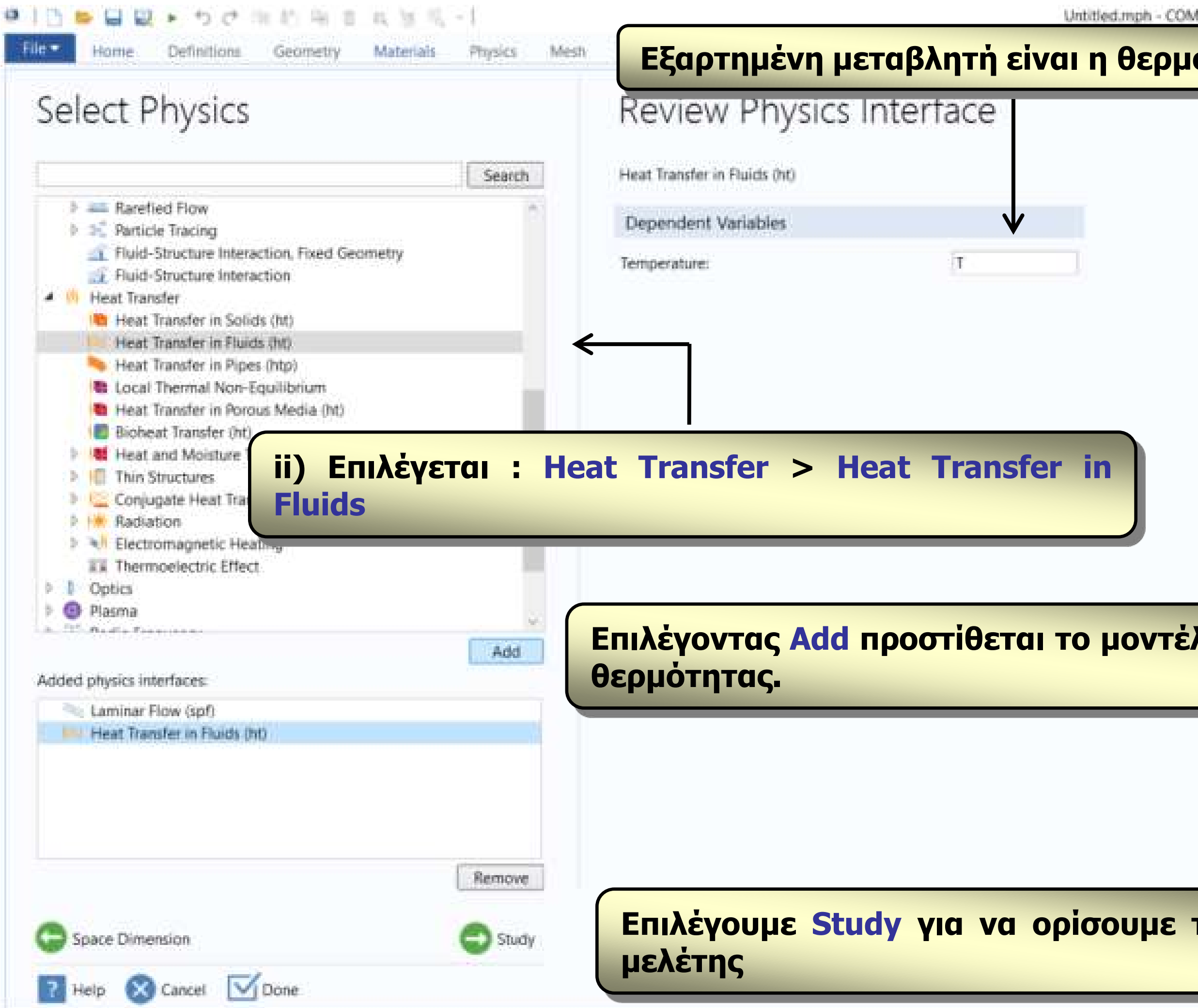
Βήμα 1 : Ρυθμίσεις στον οδηγό πλοήγησης



ΠΡΟΣΟΧΗ!

Πρόκειται για συζευγμένο πρόβλημα, αφού εκτός της ροής του υγρού, το εμπόδιο στο εσωτερικό του αγωγού αποτελεί πηγή θέρμανσης.

Βήμα 1 : Ρυθμίσεις στον οδηγό πλοήγησης



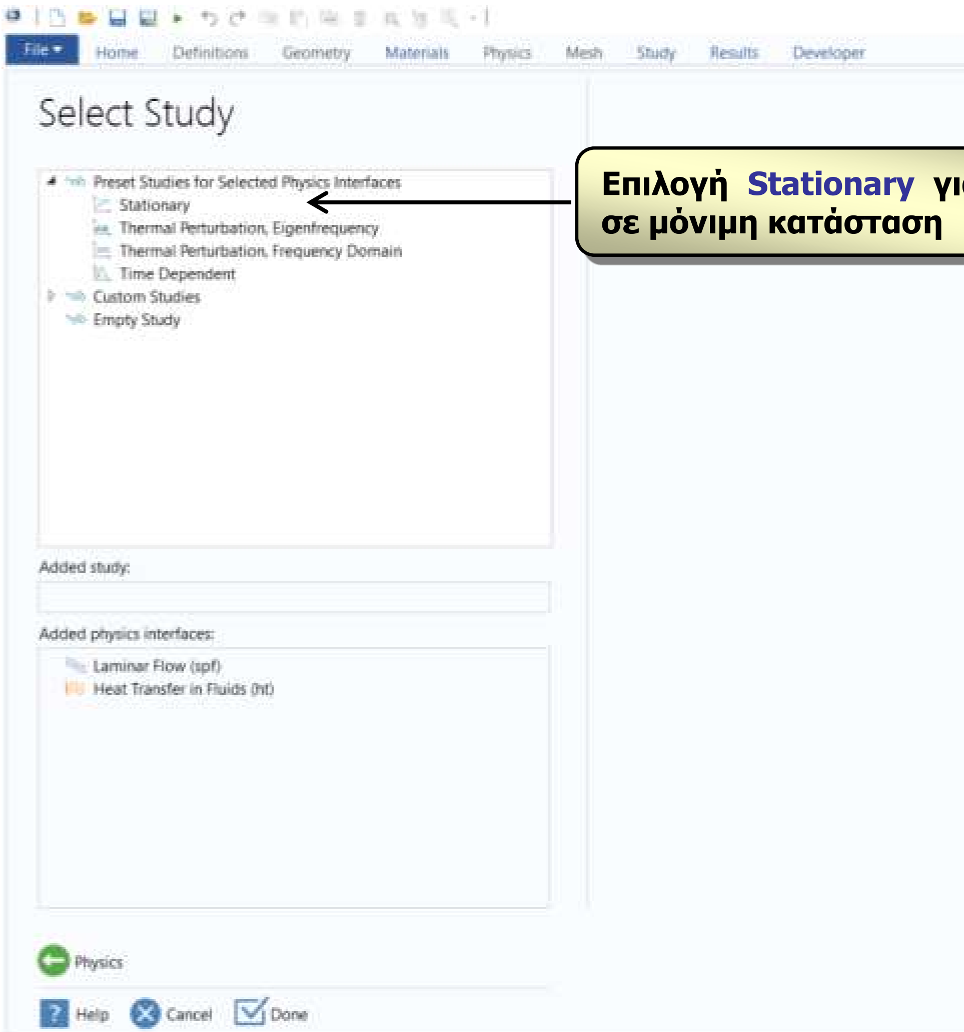
Εξαρτημένη μεταβλητή είναι η θερμοκρασία Τ

ii) Επιλέγεται : Heat Transfer > Heat Transfer in Fluids

Επιλέγοντας Add προστίθεται το μοντέλο μεταφοράς θερμότητας.

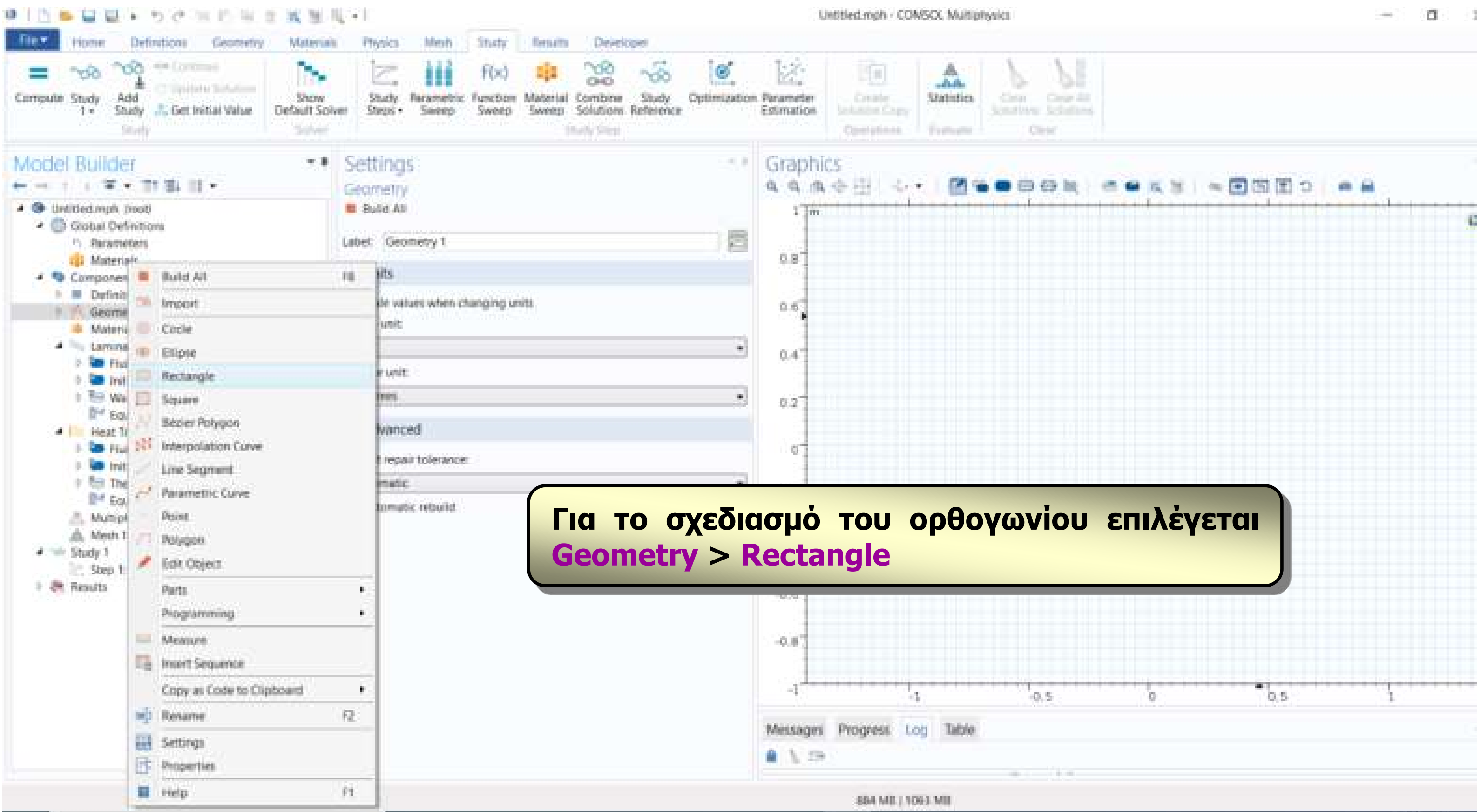
Επιλέγουμε Study για να ορίσουμε τον τύπο μελέτης

Βήμα 1 : Ρυθμίσεις στον οδηγό πλοήγησης



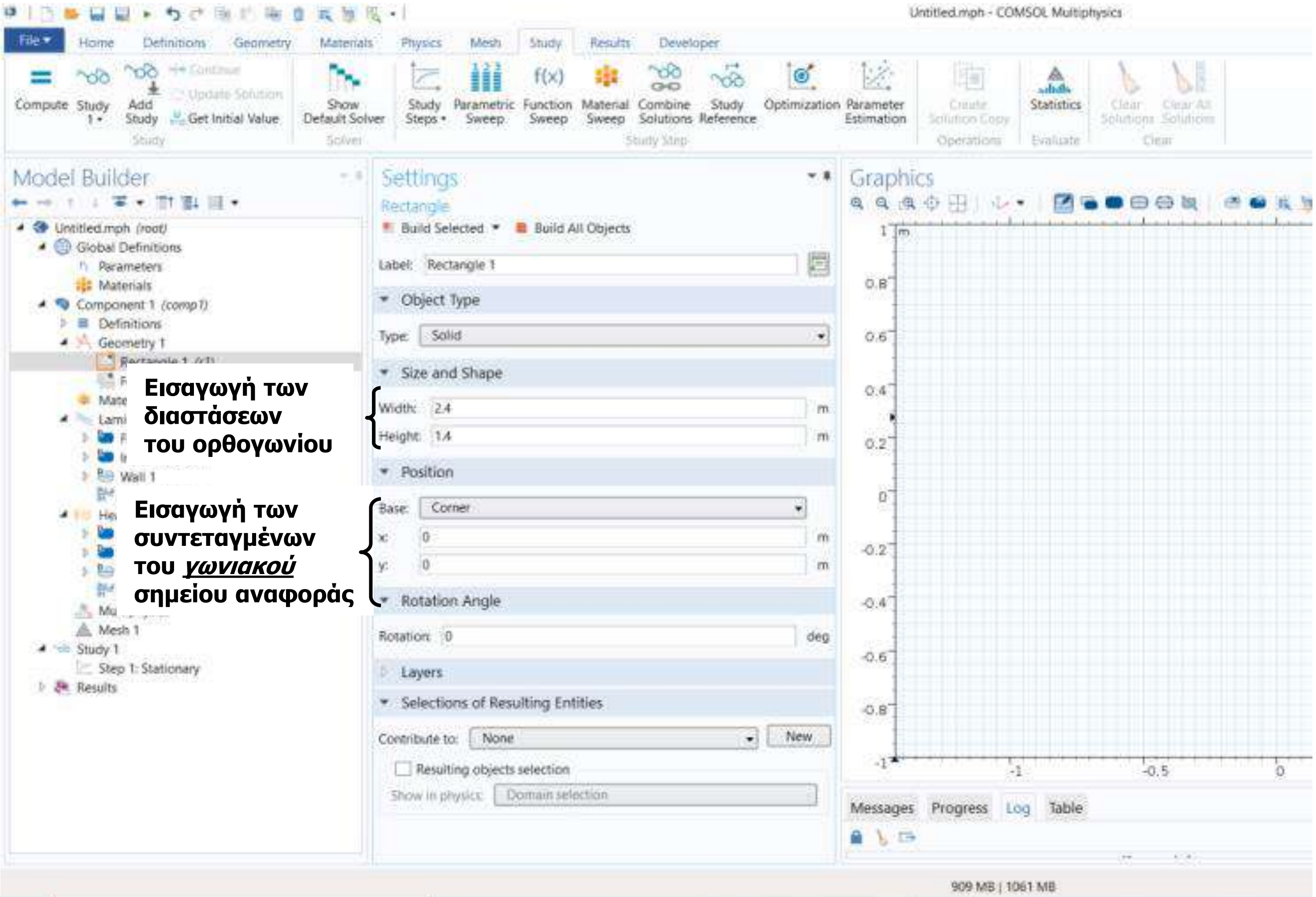
Επιλογή Stationary για την επίλυση σε μόνιμη κατάσταση

Βήμα 2 : Σχεδιασμός γεωμετρίας

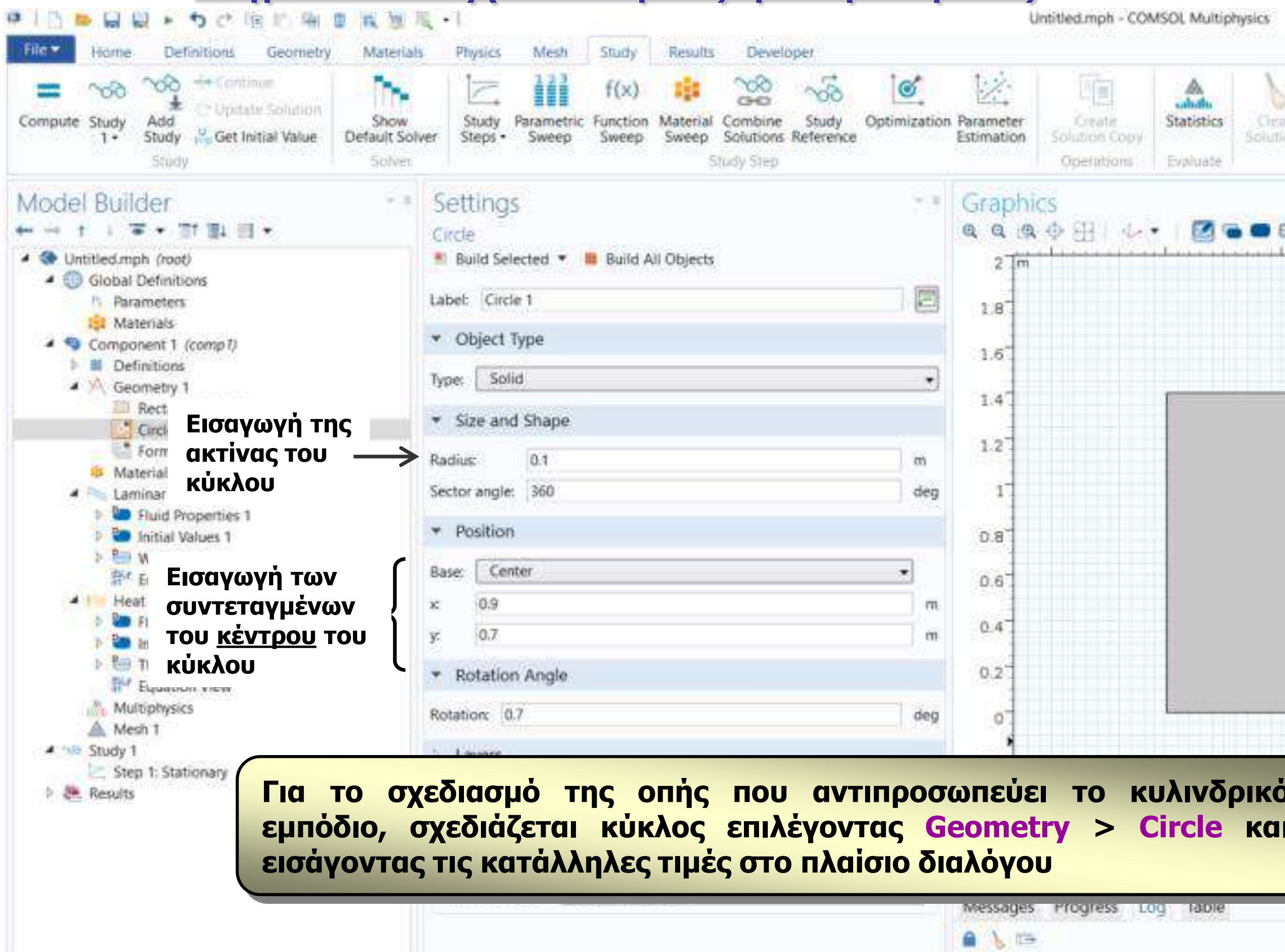


Για το σχεδιασμό του ορθογωνίου επιλέγεται Geometry > Rectangle

Βήμα 2 : Σχεδιασμός γεωμετρίας



Βήμα 2 : Σχεδιασμός γεωμετρίας

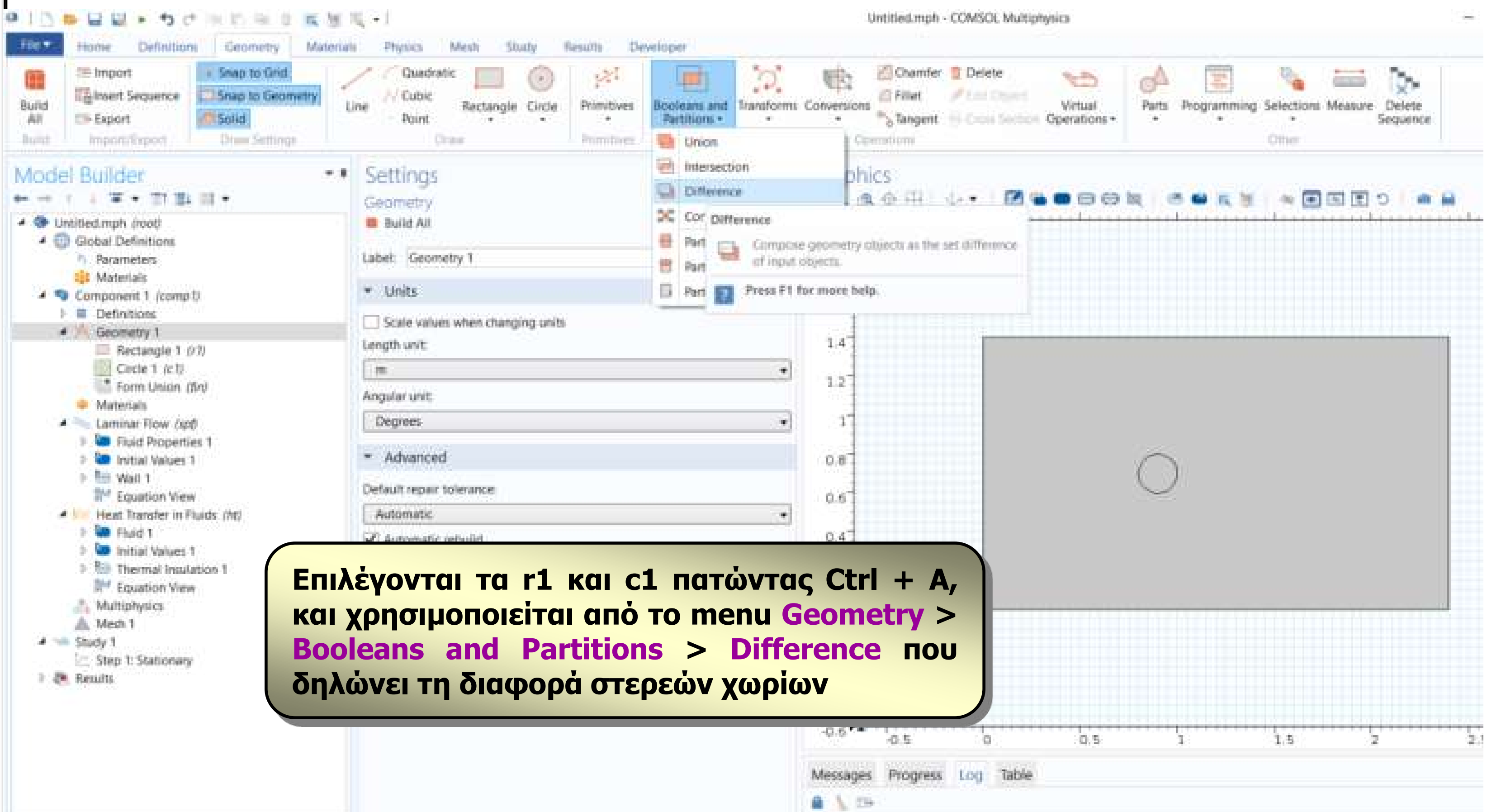


Εισαγωγή της ακτίνας του κύκλου

Εισαγωγή των συντεταγμένων του <u>κέντρου</u> του κύκλου

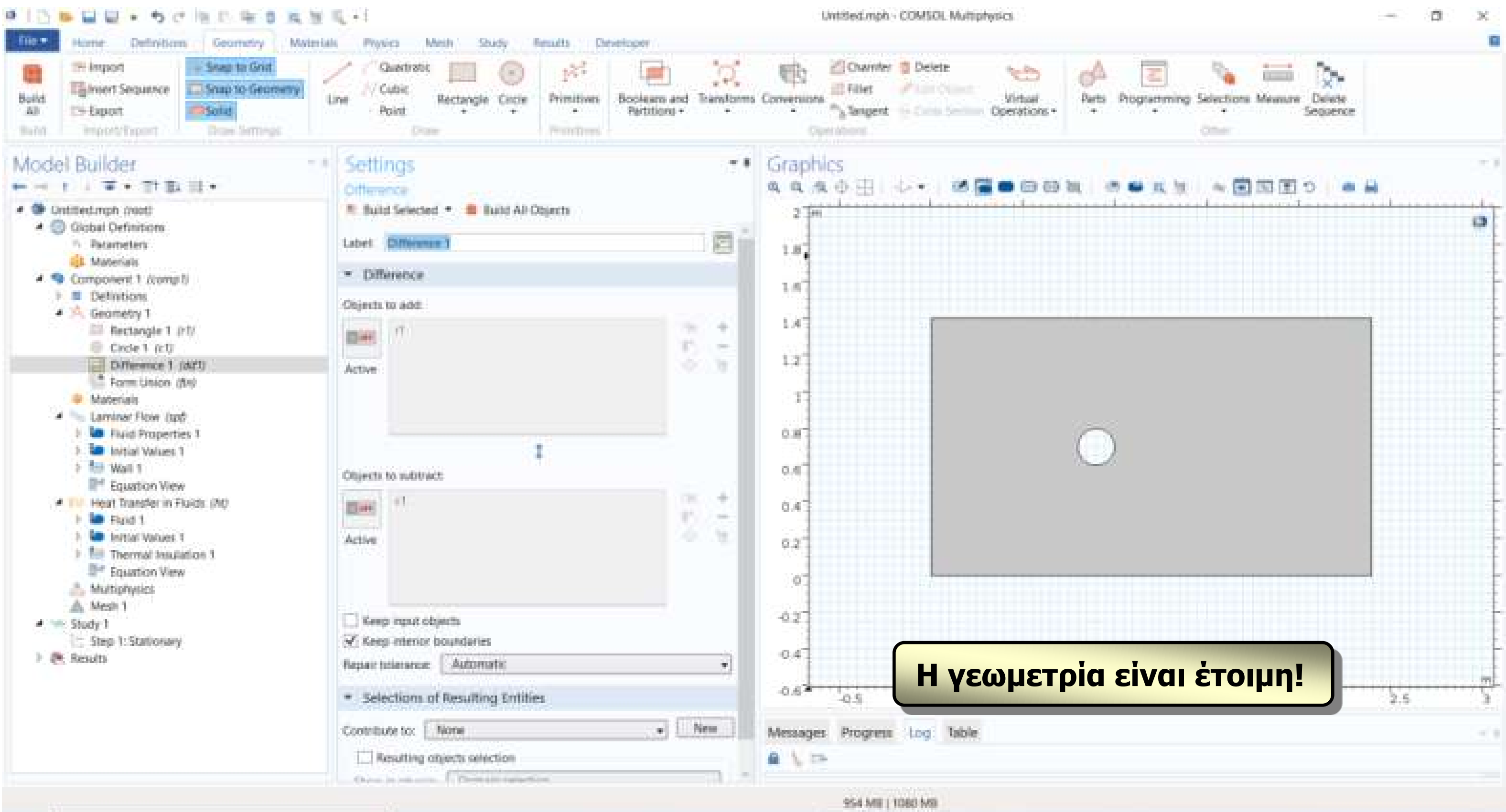
Για το σχεδιασμό της οπής που αντιπροσωπεύει το κυλινδρικό εμπόδιο, σχεδιάζεται κύκλος επιλέγοντας Geometry > Circle και εισάγοντας τις κατάλληλες τιμές στο πλαίσιο διαλόγου

Βήμα 2 : Σχεδιασμός γεωμετρίας

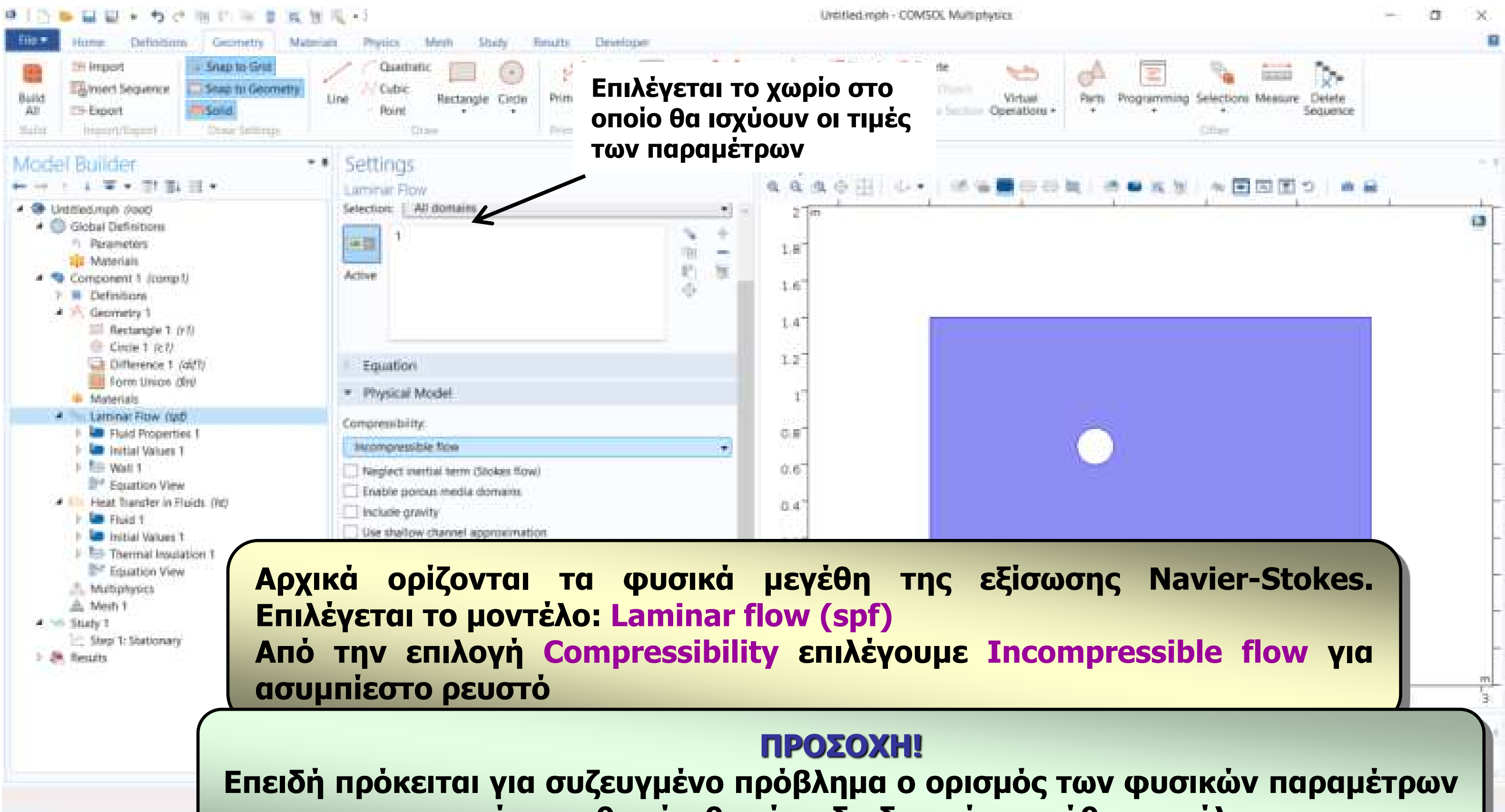


Επιλέγονται τα r1 και c1 πατώντας Ctrl + A, και χρησιμοποιείται από το menu Geometry > Booleans and Partitions > Difference που δηλώνει τη διαφορά στερεών χωρίων

Βήμα 2 : Σχεδιασμός γεωμετρίας



Βήμα 3 : Ορισμός των παραμέτρων - 1

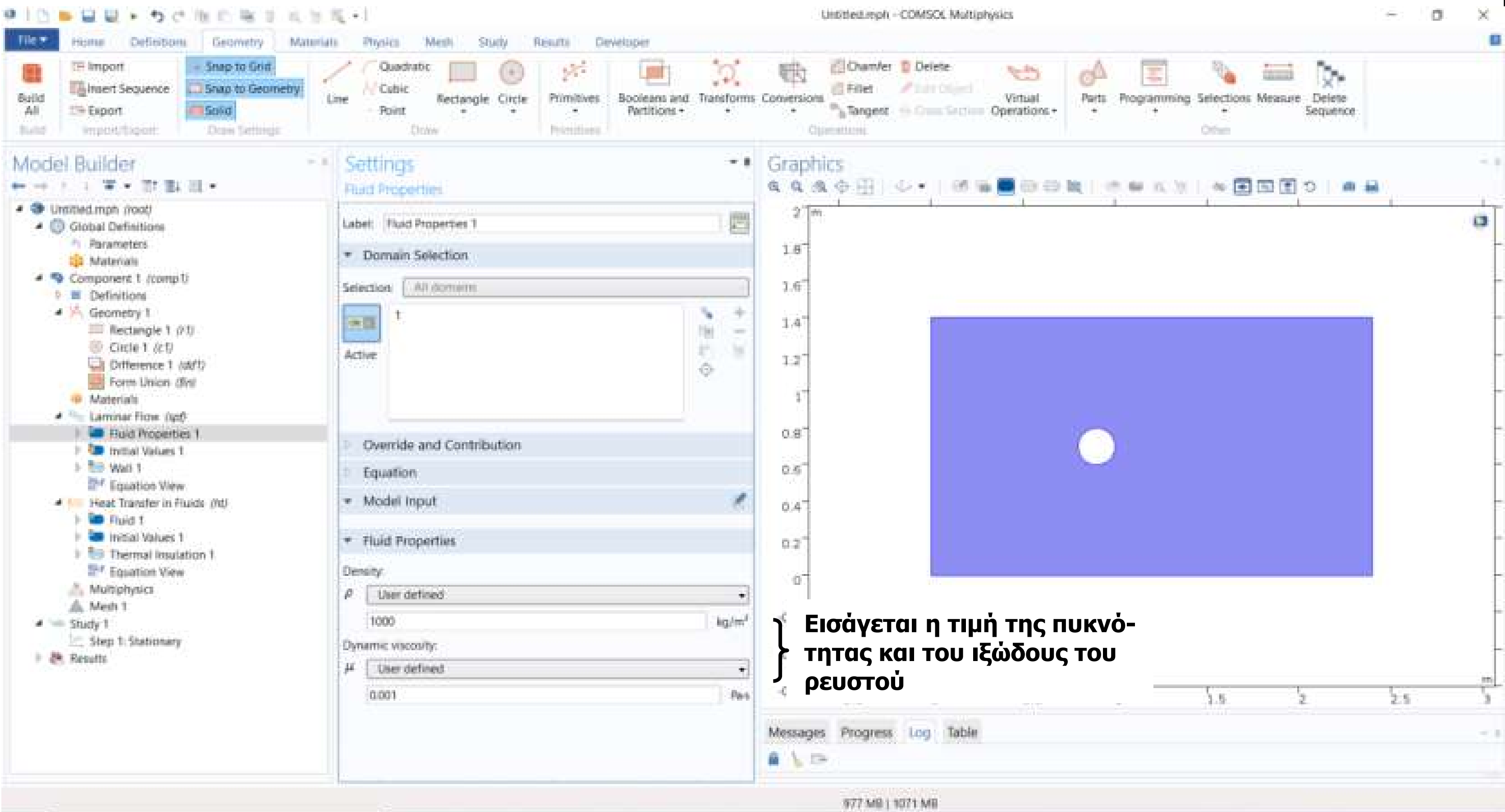


Επιλέγεται το χωρίο στο οποίο θα ισχύουν οι τιμές των παραμέτρων

Αρχικά ορίζονται τα φυσικά μεγέθη της εξίσωσης Navier-Stokes. Επιλέγεται το μοντέλο: Laminar flow (spf)
Από την επιλογή Compressibility επιλέγουμε Incompressible flow για ασυμπίεστο ρευστό

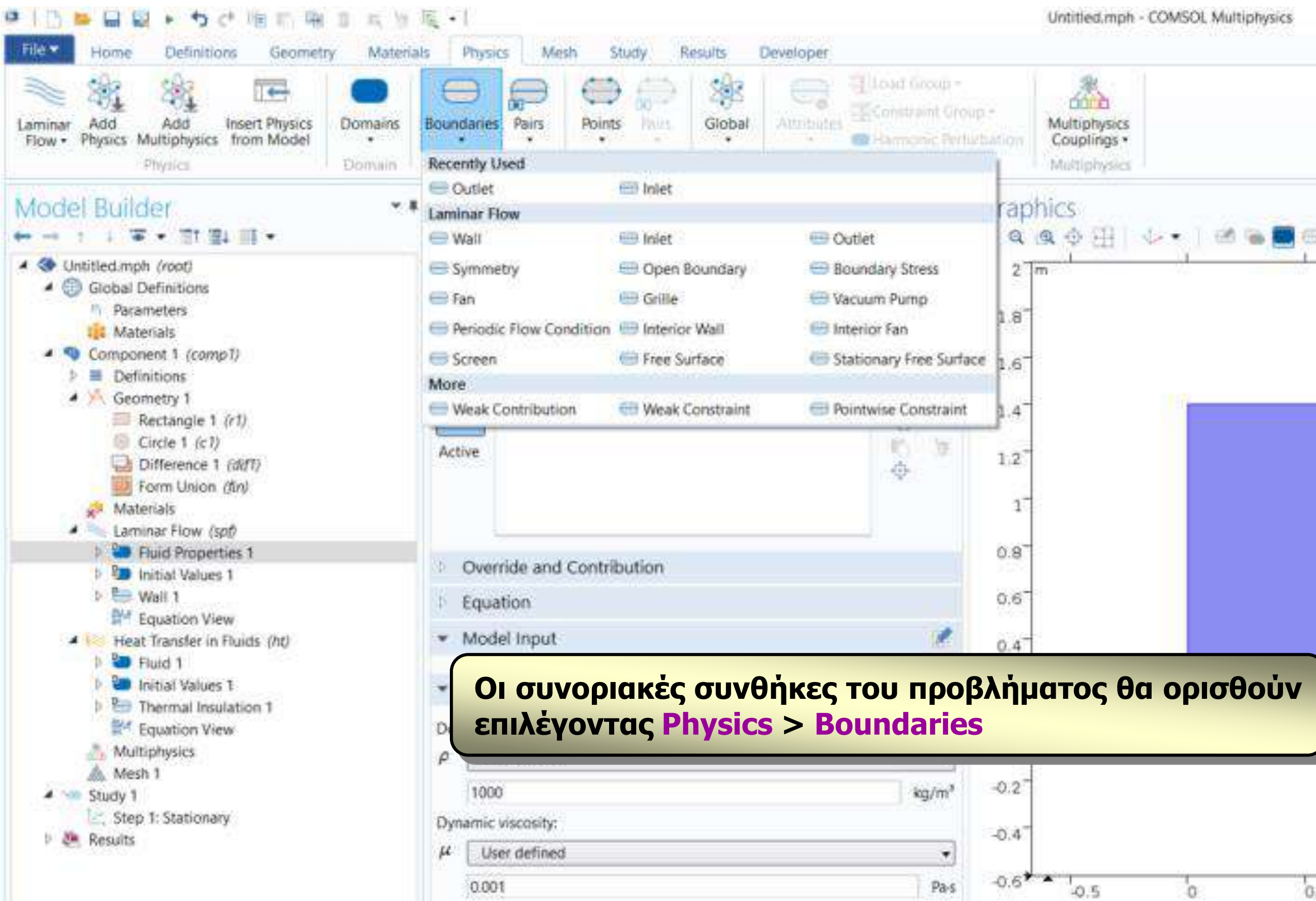
ΠΡΟΣΟΧΗ!
Επειδή πρόκειται για συζευγμένο πρόβλημα ο ορισμός των φυσικών παραμέτρων και των συνοριακών συνθηκών θα γίνει διαδοχικά για κάθε μοντέλο.

Βήμα 3 : Ορισμός των παραμέτρων - 1



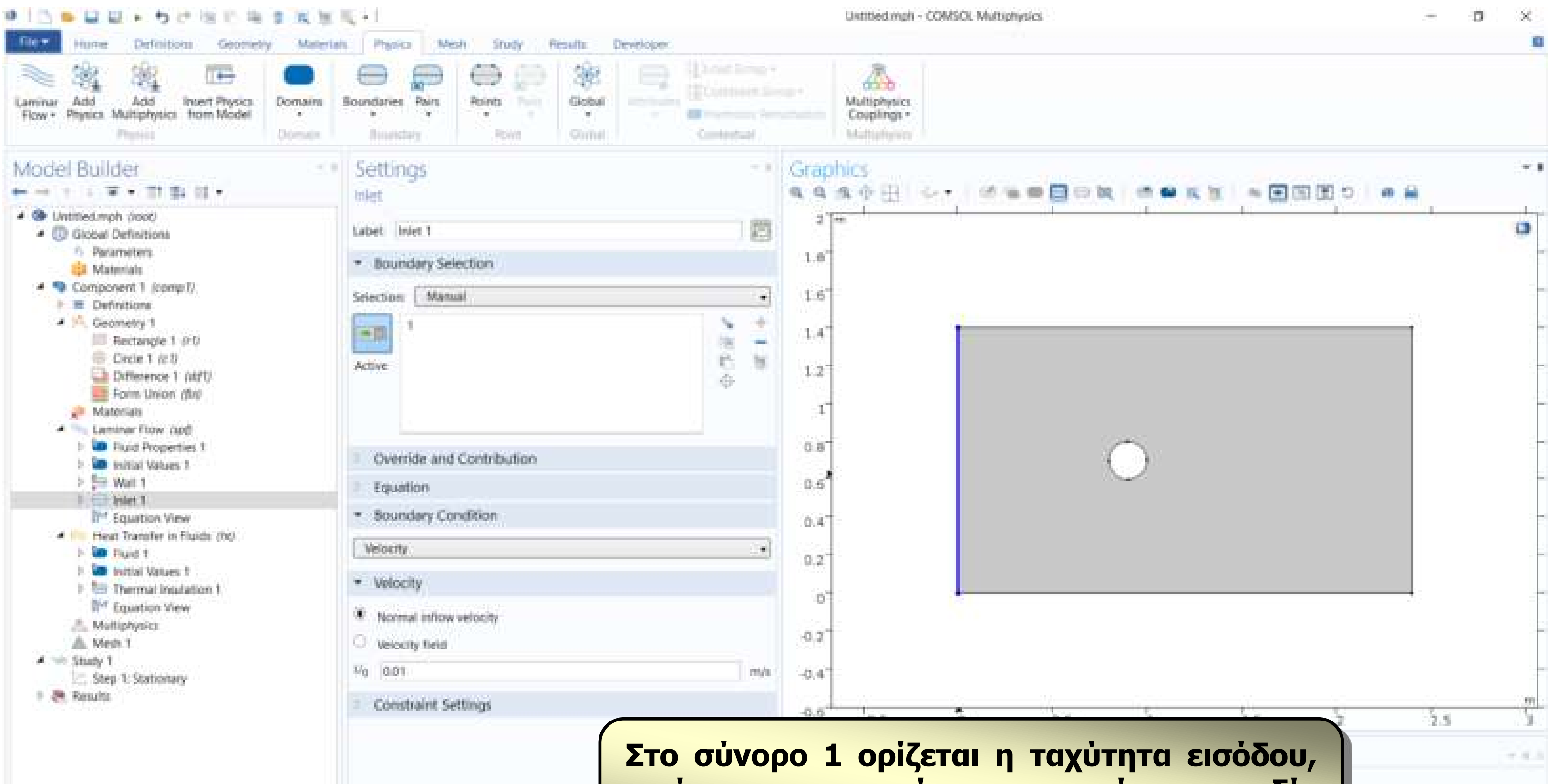
Εισάγεται η τιμή της πυκνό-
τητας και του ιξώδους του
ρευστού

Βήμα 4 : Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 1



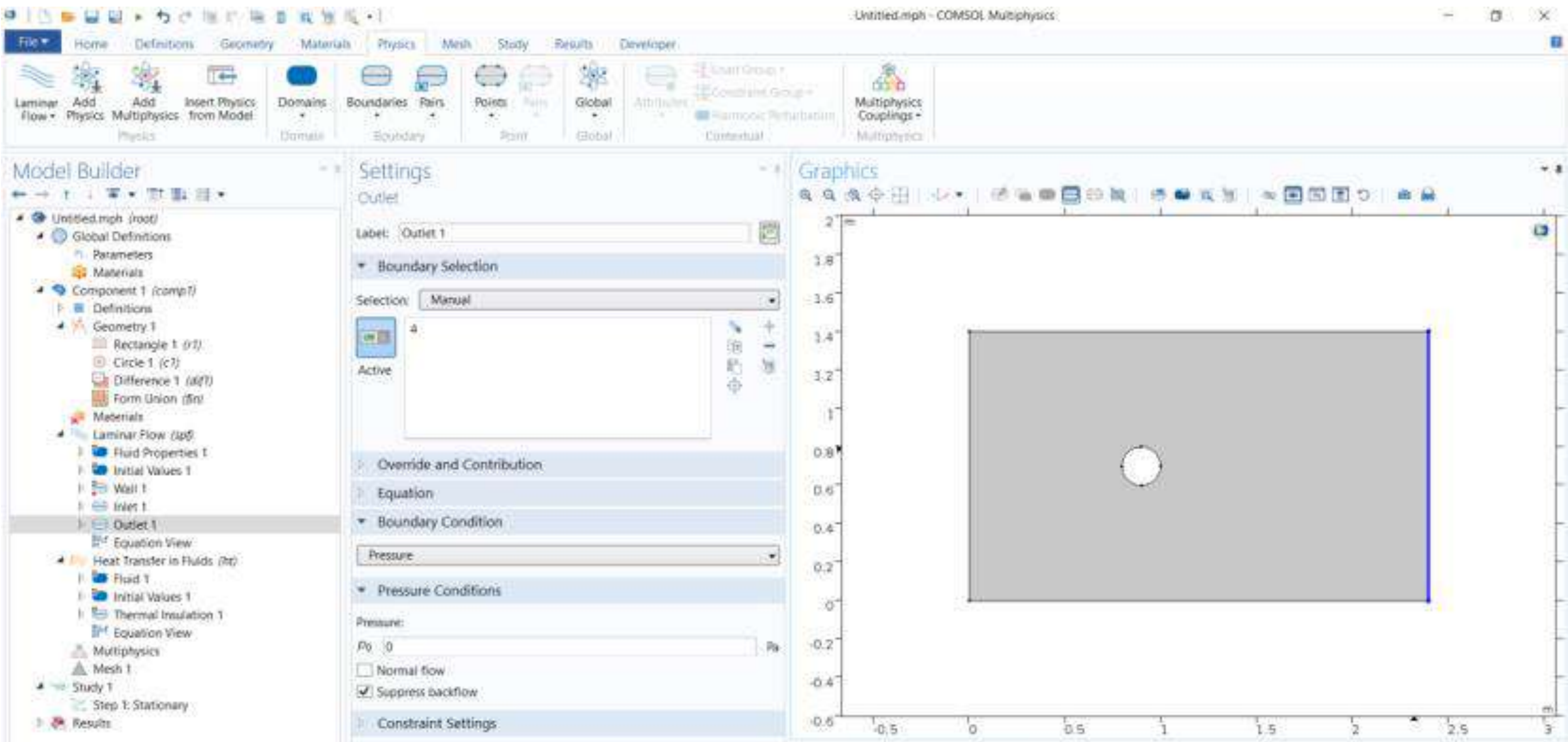
Οι συνοριακές συνθήκες του προβλήματος θα ορισθούν επιλέγοντας Physics > Boundaries

Βήμα 4 : Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 1



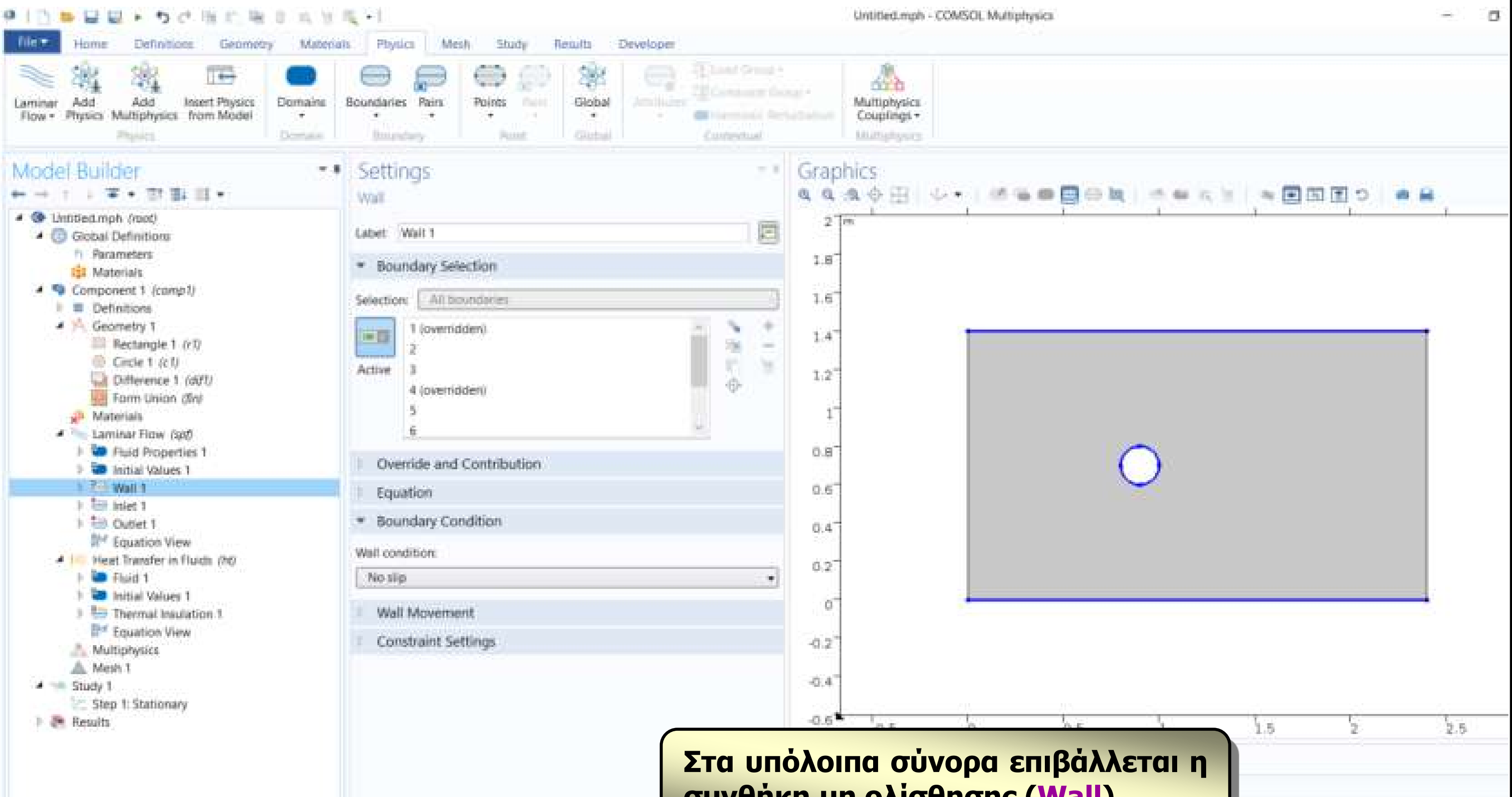
Στο σύνορο 1 ορίζεται η ταχύτητα εισόδου, εισάγοντας την τιμή της στο αντίστοιχο πεδίο (Normal inflow velocity : U_0=0.01)

Βήμα 4 : Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 1



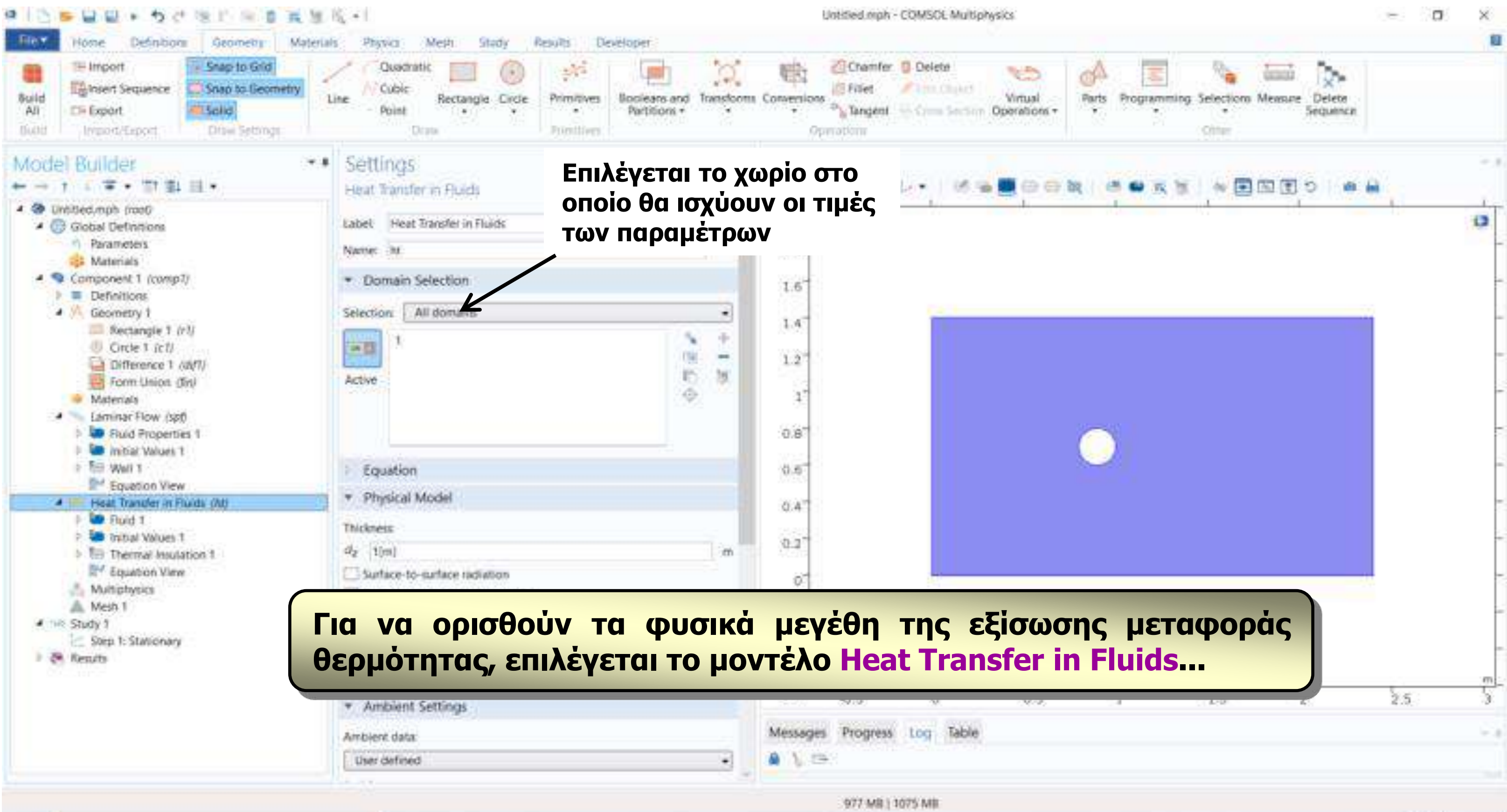
Στο σύνορο 4 ορίζεται η πίεση εξόδου ίση με την ατμοσφαιρική (Pressure : p_0=0)

Βήμα 4 : Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 1



Στα υπόλοιπα σύνορα επιβάλλεται η συνθήκη μη ολίσθησης (Wall)

Βήμα 5 : Ορισμός των παραμέτρων - 2



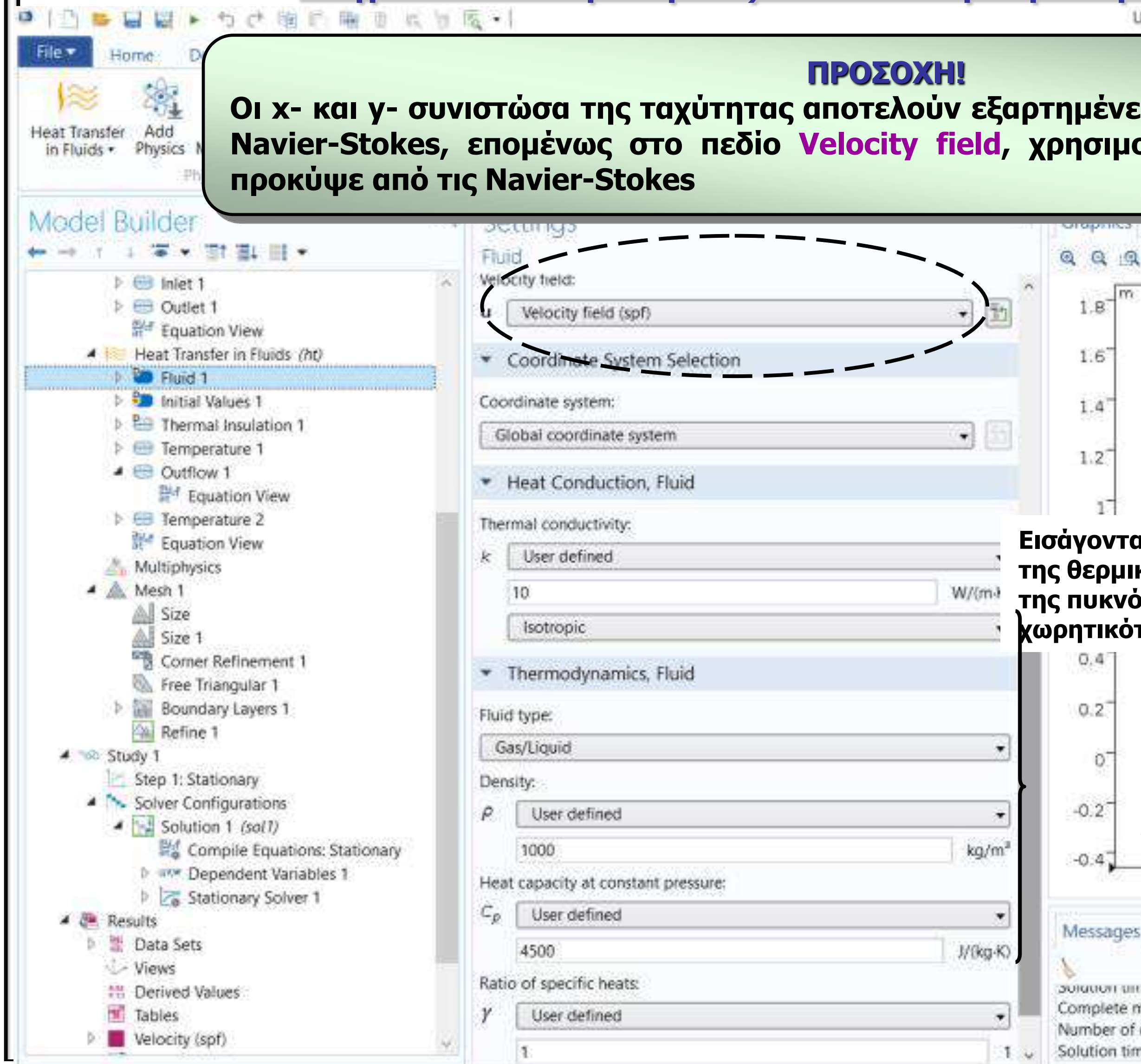
Επιλέγεται το χωρίο στο οποίο θα ισχύουν οι τιμές των παραμέτρων

Για να ορισθούν τα φυσικά μεγέθη της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας, επιλέγεται το μοντέλο Heat Transfer in Fluids…

Βήμα 5 : Ορισμός των παραμέτρων - 2

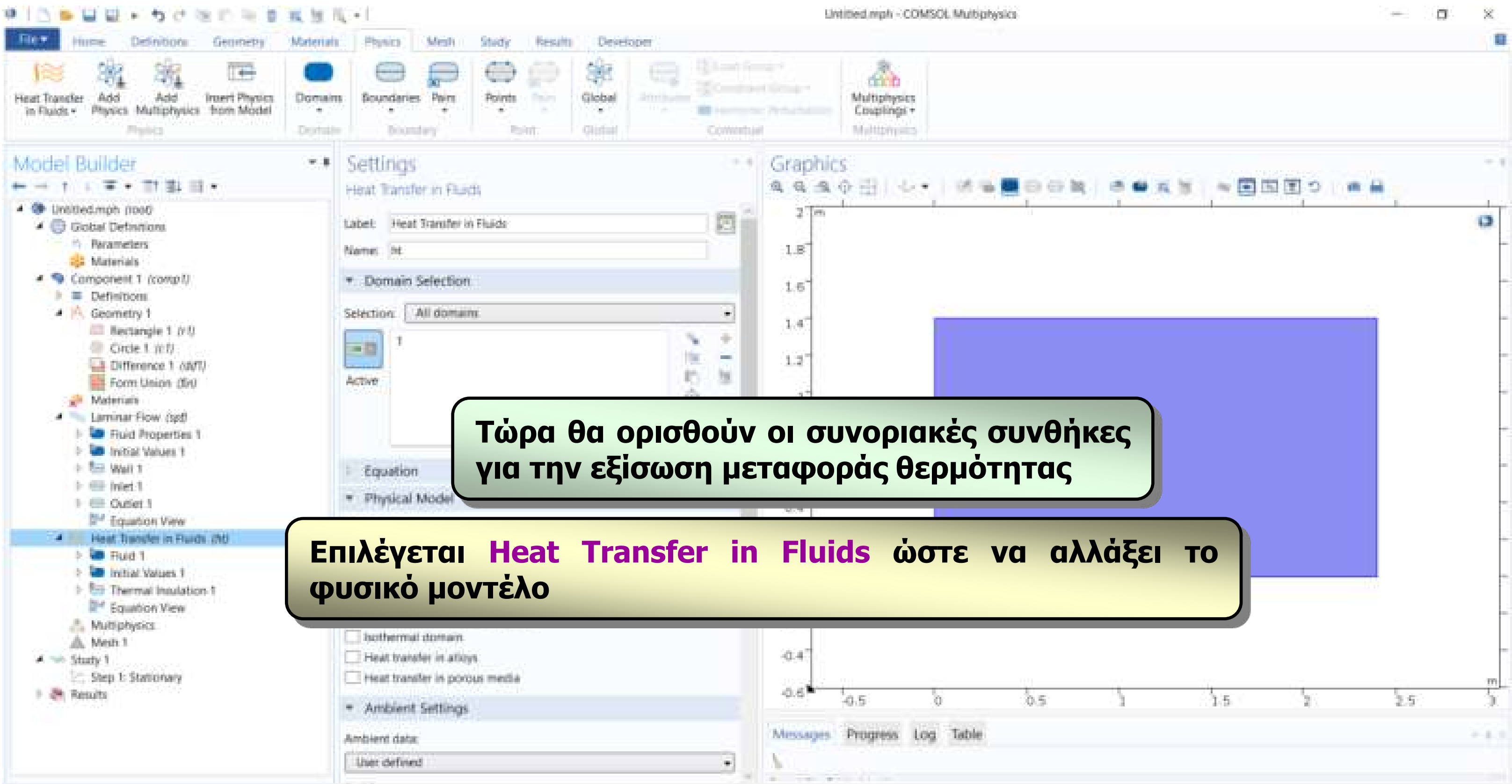
ΠΡΟΣΟΧΗ!

Οι x- και y- συνιστώσα της ταχύτητας αποτελούν εξαρτημένες μεταβλητές της εξίσωσης Navier-Stokes, επομένως στο πεδίο Velocity field, χρησιμοποιούμε τη λύση που θα προκύψε από τις Navier-Stokes



Εισάγονται οι αριθμητικές τιμές της θερμικής αγωγιμότητας, της πυκνότητας και της θερμο-χωρητικότητας

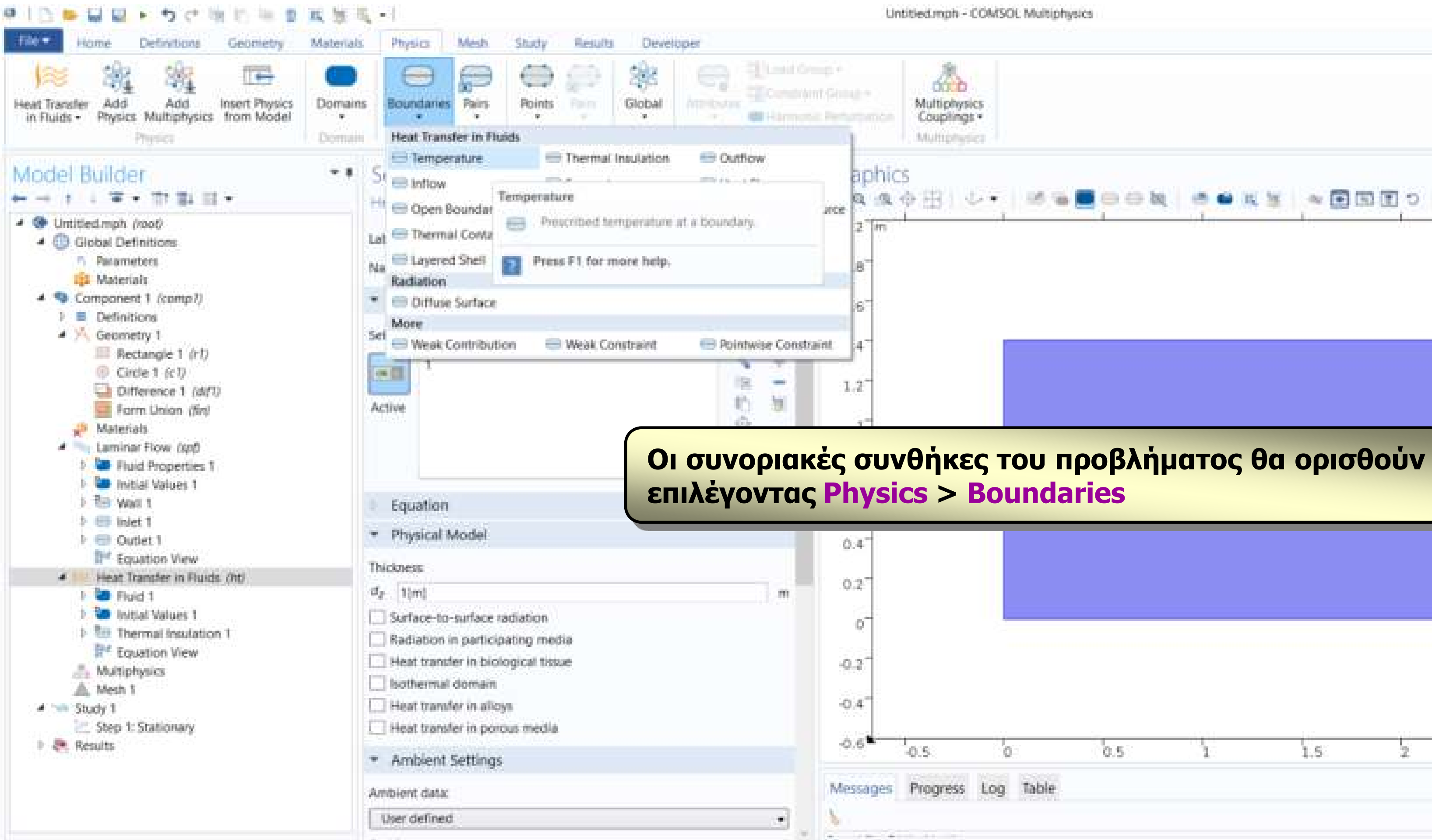
Βήμα 6 : Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 2



Τώρα θα ορισθούν οι συνοριακές συνθήκες για την εξίσωση μεταφοράς θερμότητας

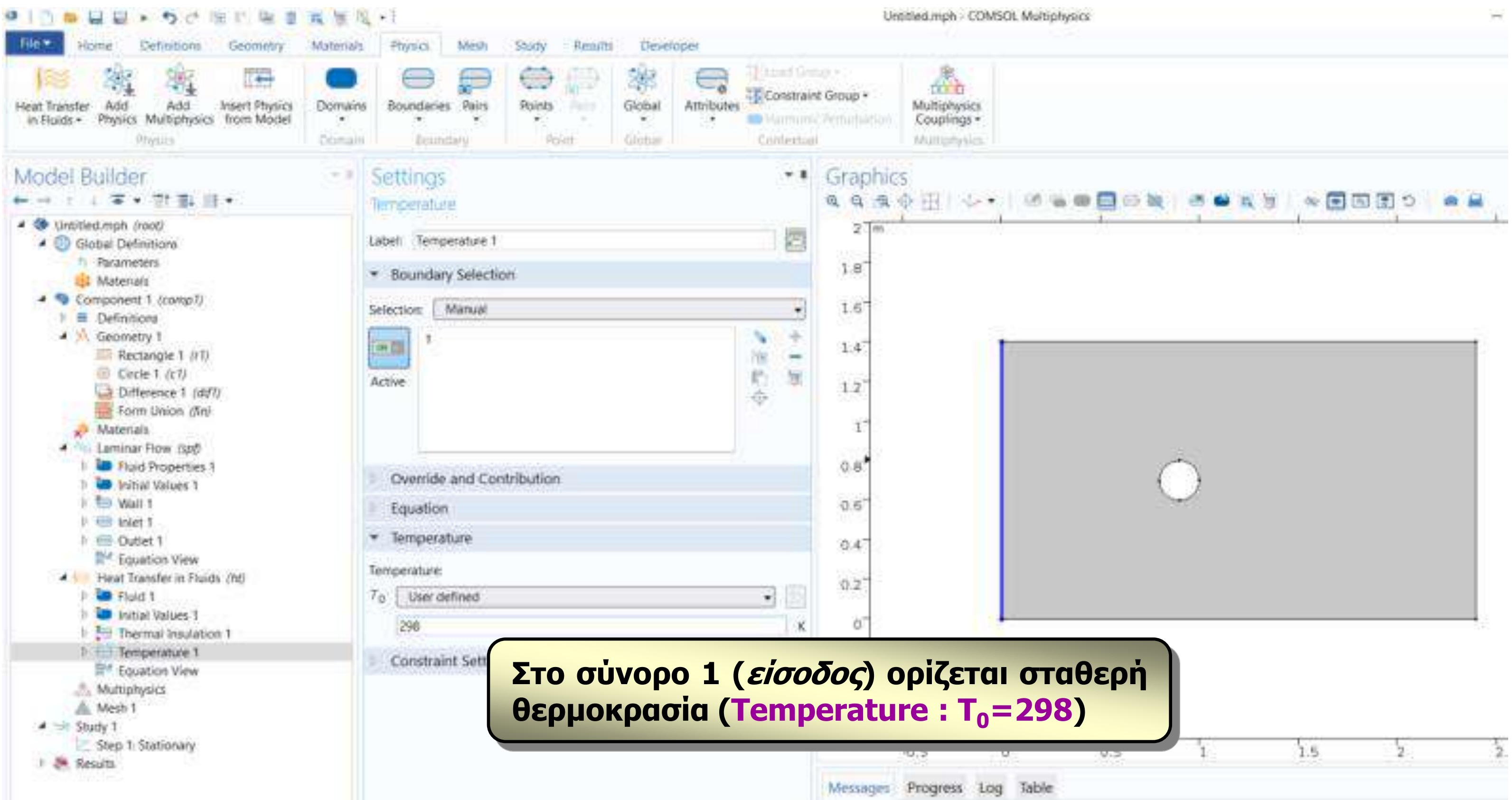
Επιλέγεται **Heat Transfer in Fluids** ώστε να αλλάξει το φυσικό μοντέλο

Βήμα 6: Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 2



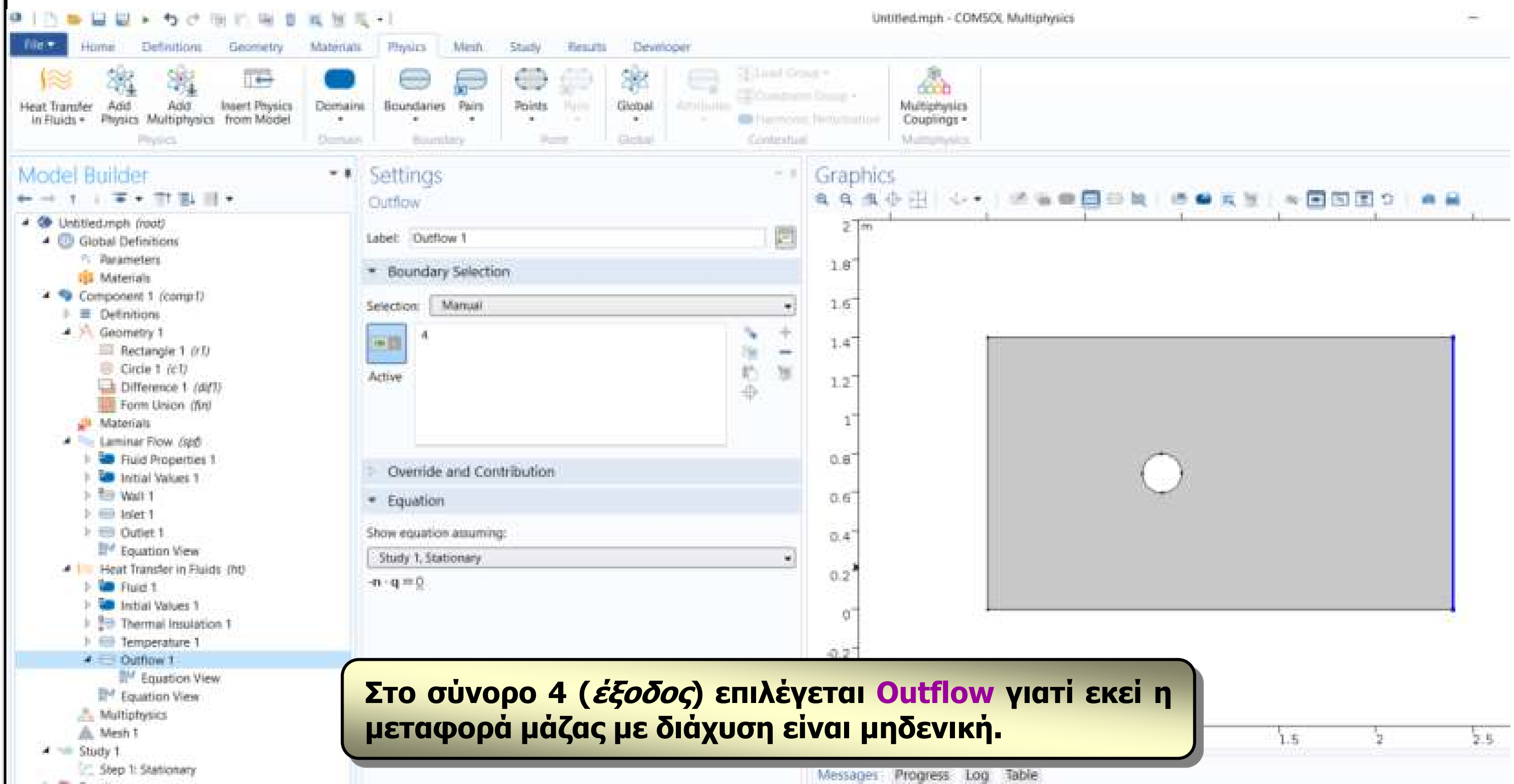
Οι συνοριακές συνθήκες του προβλήματος θα ορισθούν επιλέγοντας Physics > Boundaries

Βήμα 6: Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 2



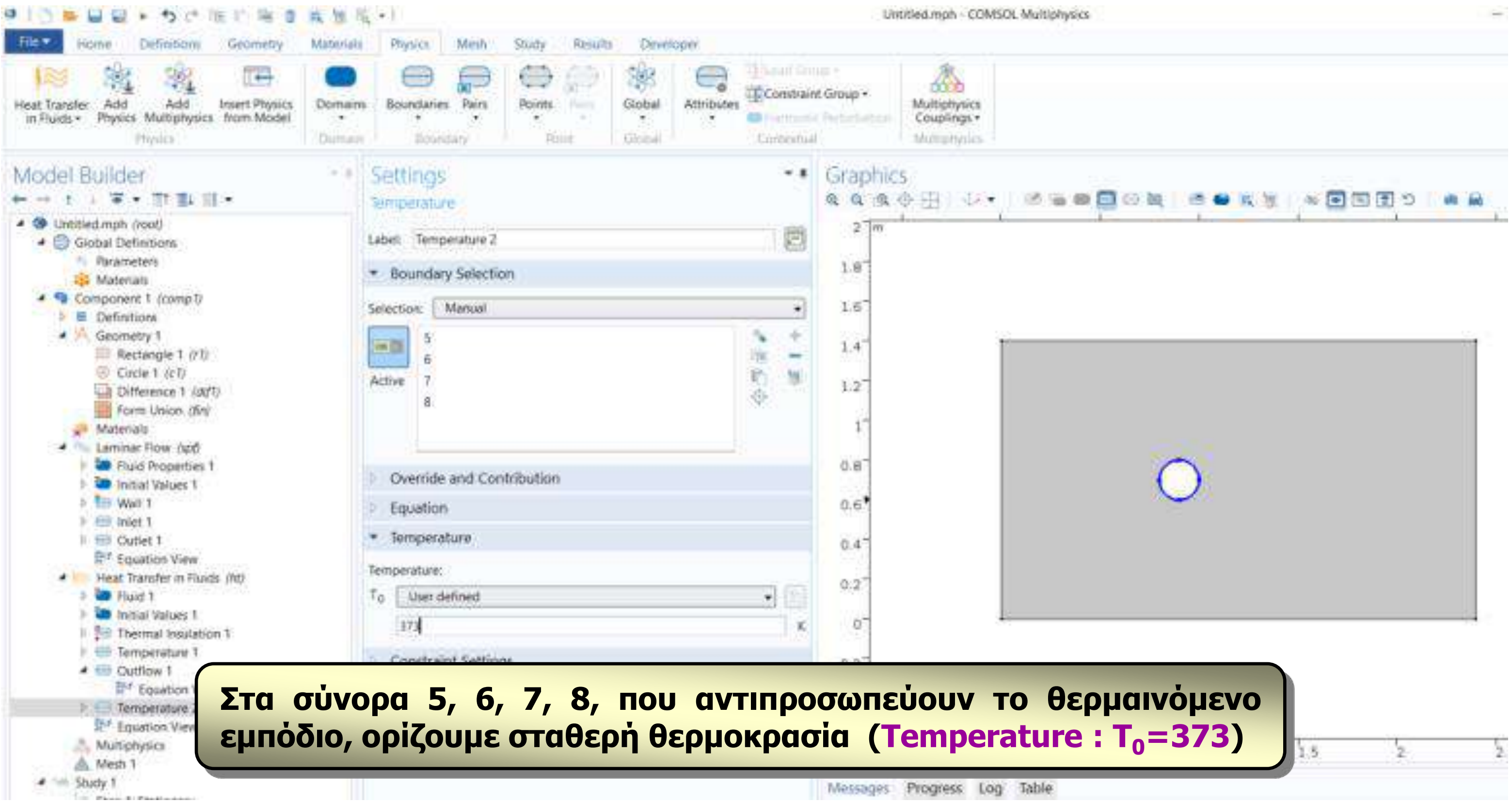
Στο σύνορο 1 (*είσοδος*) ορίζεται σταθερή θερμοκρασία (Temperature : T_0=298)

Βήμα 6: Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 2



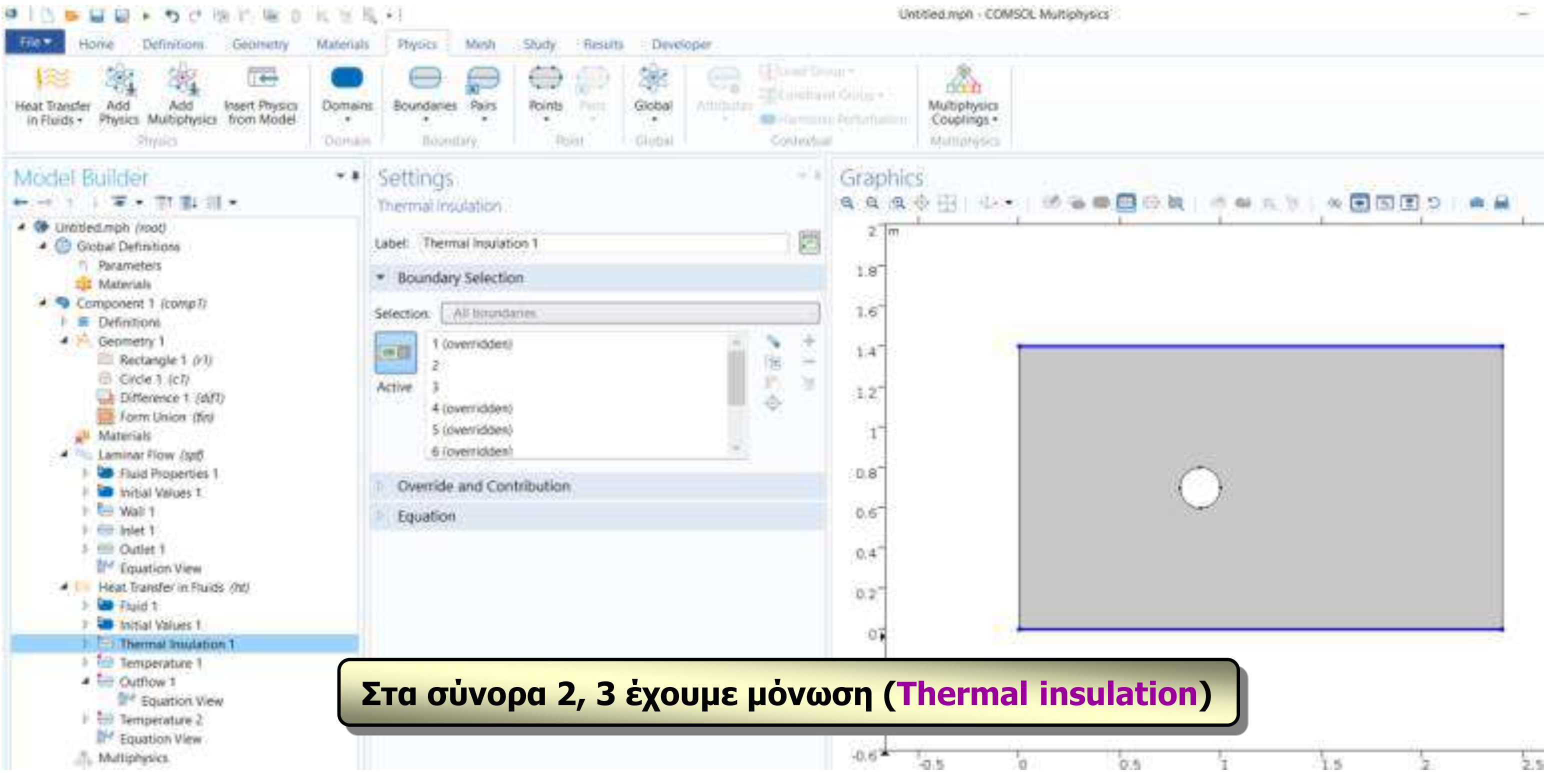
Στο σύνορο 4 (*έξοδος*) επιλέγεται Outflow γιατί εκεί η μεταφορά μάζας με διάχυση είναι μηδενική.

Βήμα 6: Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 2



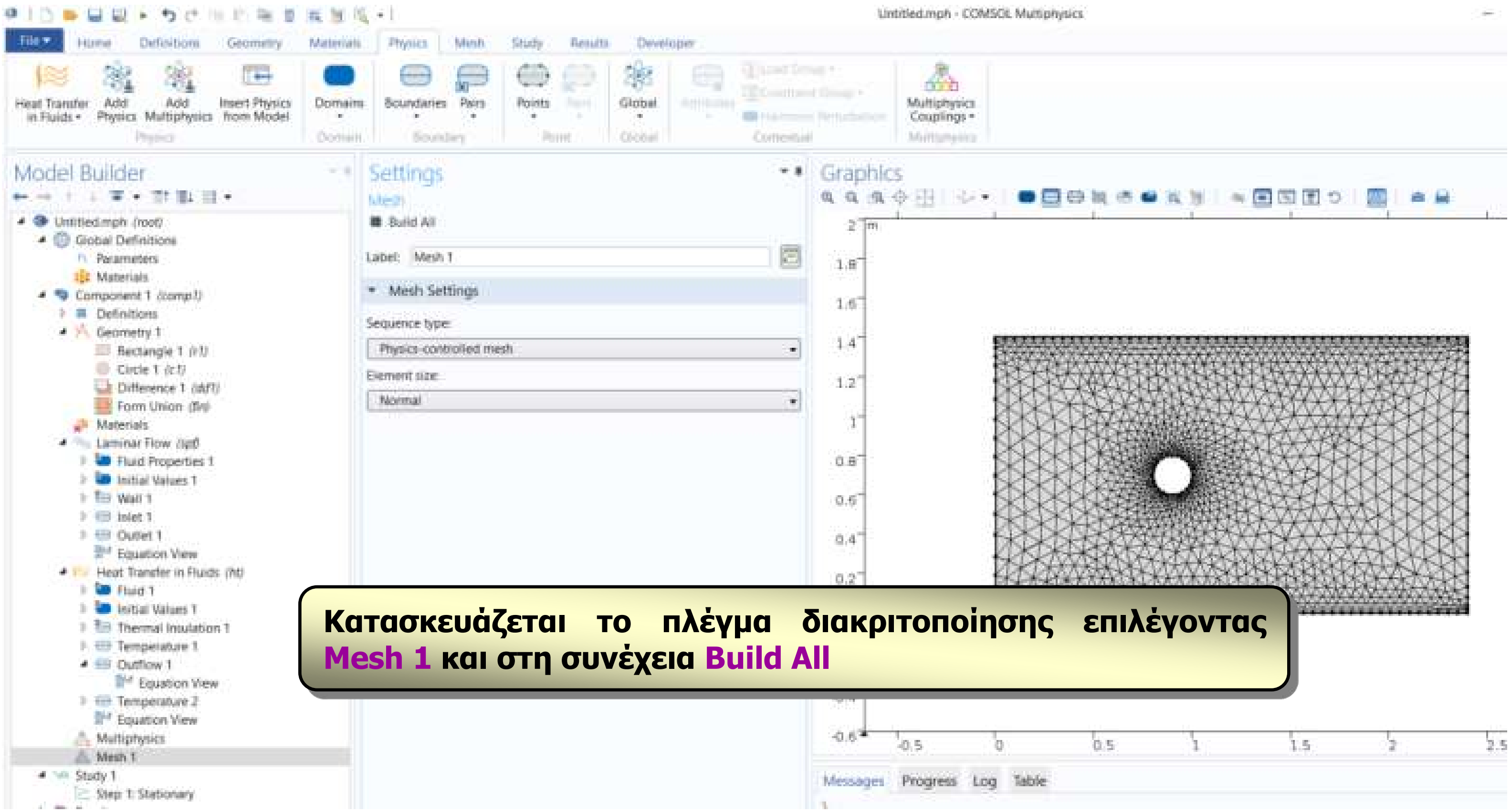
Στα σύνορα 5, 6, 7, 8, που αντιπροσωπεύουν το θερμαινόμενο εμπόδιο, ορίζουμε σταθερή θερμοκρασία (Temperature : T_0=373)

Βήμα 6: Επιβολή συνοριακών συνθηκών - 2



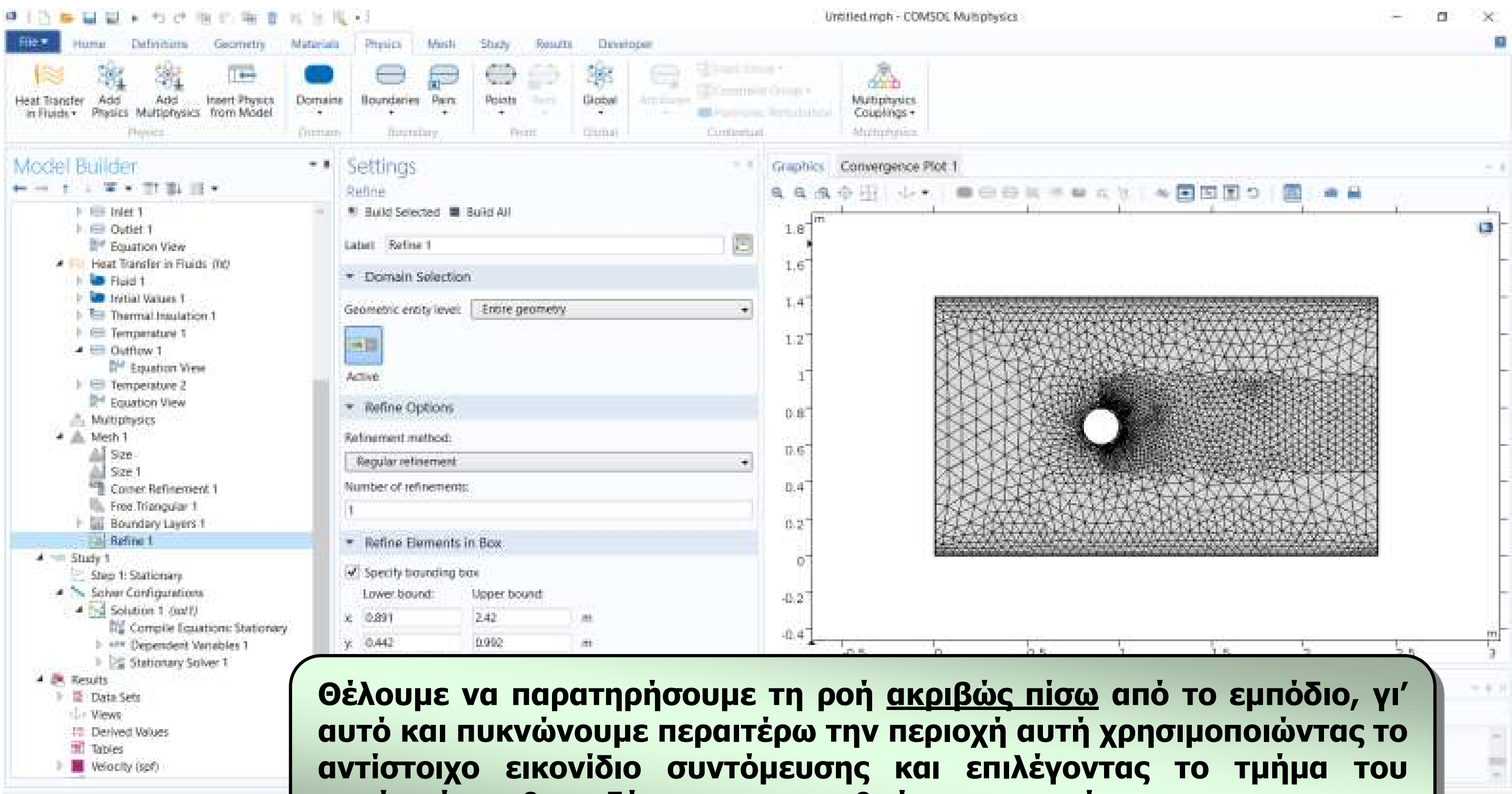
Στα σύνορα 2, 3 έχουμε μόνωση (Thermal insulation)

Βήμα 6: Κατασκευή πλέγματος διακριτοποίησης



Κατασκευάζεται το πλέγμα διακριτοποίησης επιλέγοντας Mesh 1 και στη συνέχεια Build All

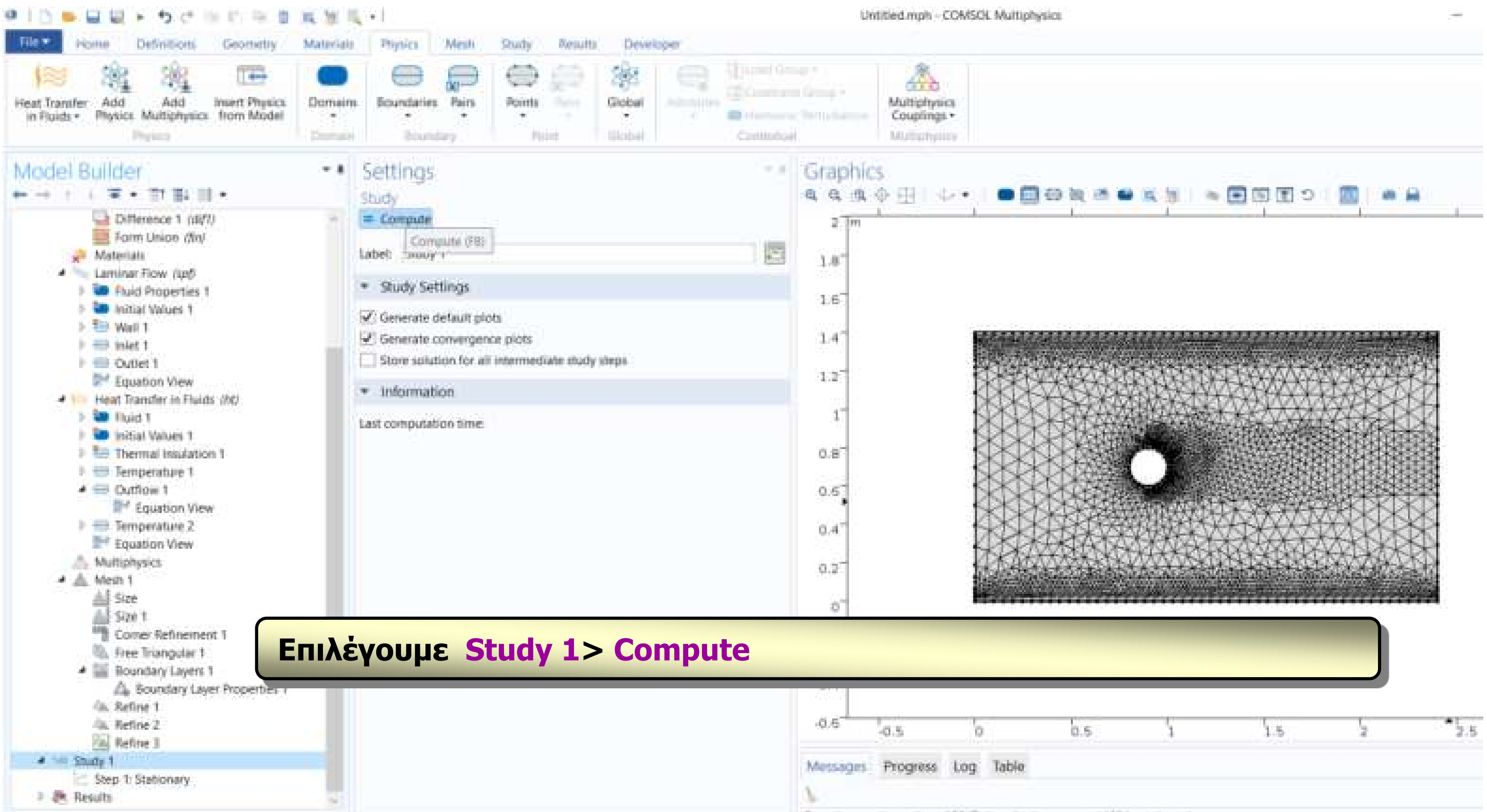
Βήμα 6: Κατασκευή πλέγματος διακριτοποίησης



Θέλουμε να παρατηρήσουμε τη ροή <u>ακριβώς πίσω</u> από το εμπόδιο, γι' αυτό και πυκνώνουμε περαιτέρω την περιοχή αυτή χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο εικονίδιο συντόμευσης και επιλέγοντας το τμήμα του χωρίου όπου θα αυξήσουμε τον αριθμό των στοιχείων.

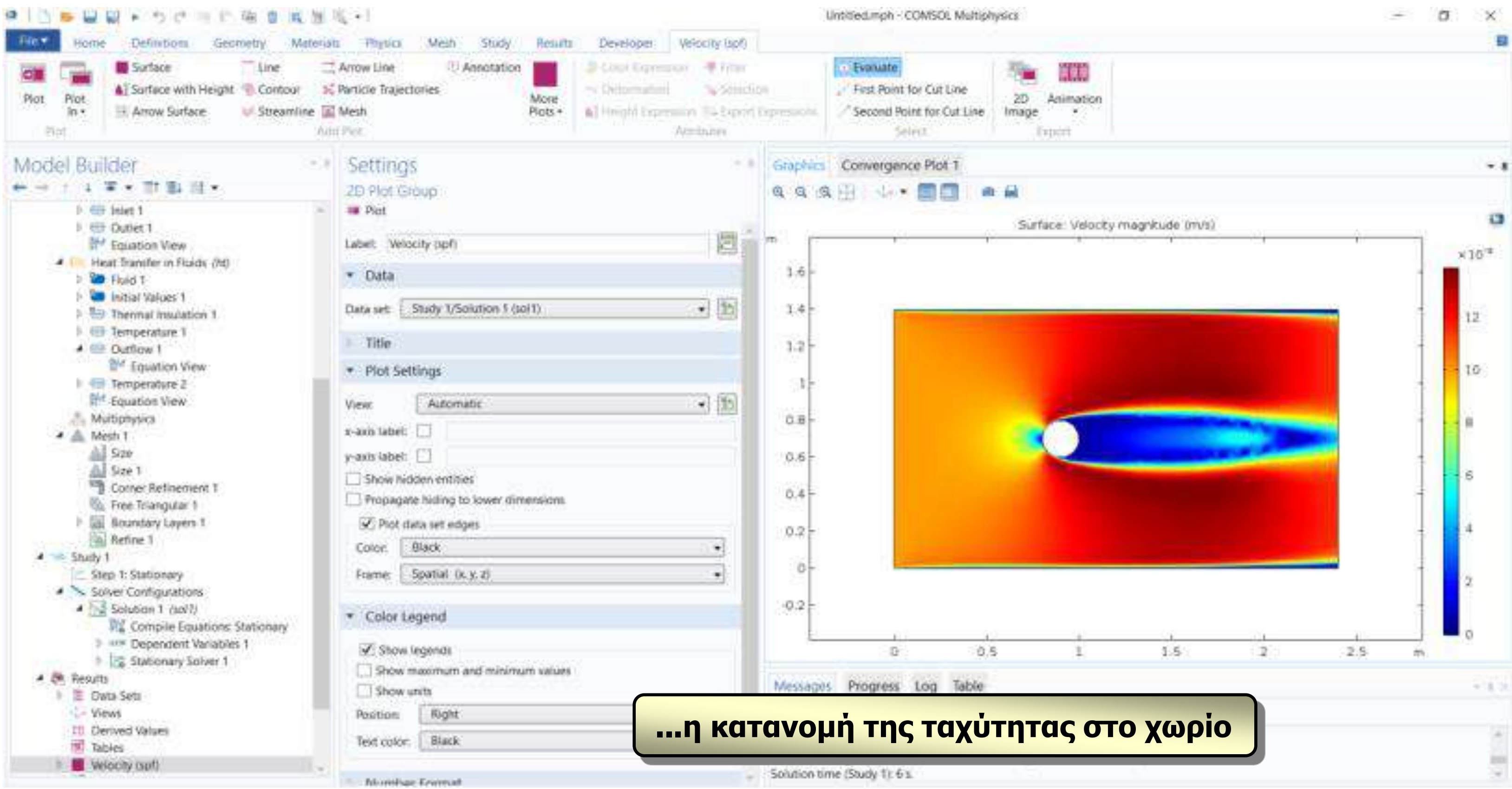
Επιλέγουμε Mesh > Sequence type > User-controlled mesh. Στη συνέχεια από το menu Mesh > Modify > Refine.
Μπορούμε να επιλέξουμε την περιοχή που θα πυκνωθεί περαιτέρω το πλέγμα επιλέγοντας Specify bounding box.

Βήμα 7: Επίλυση



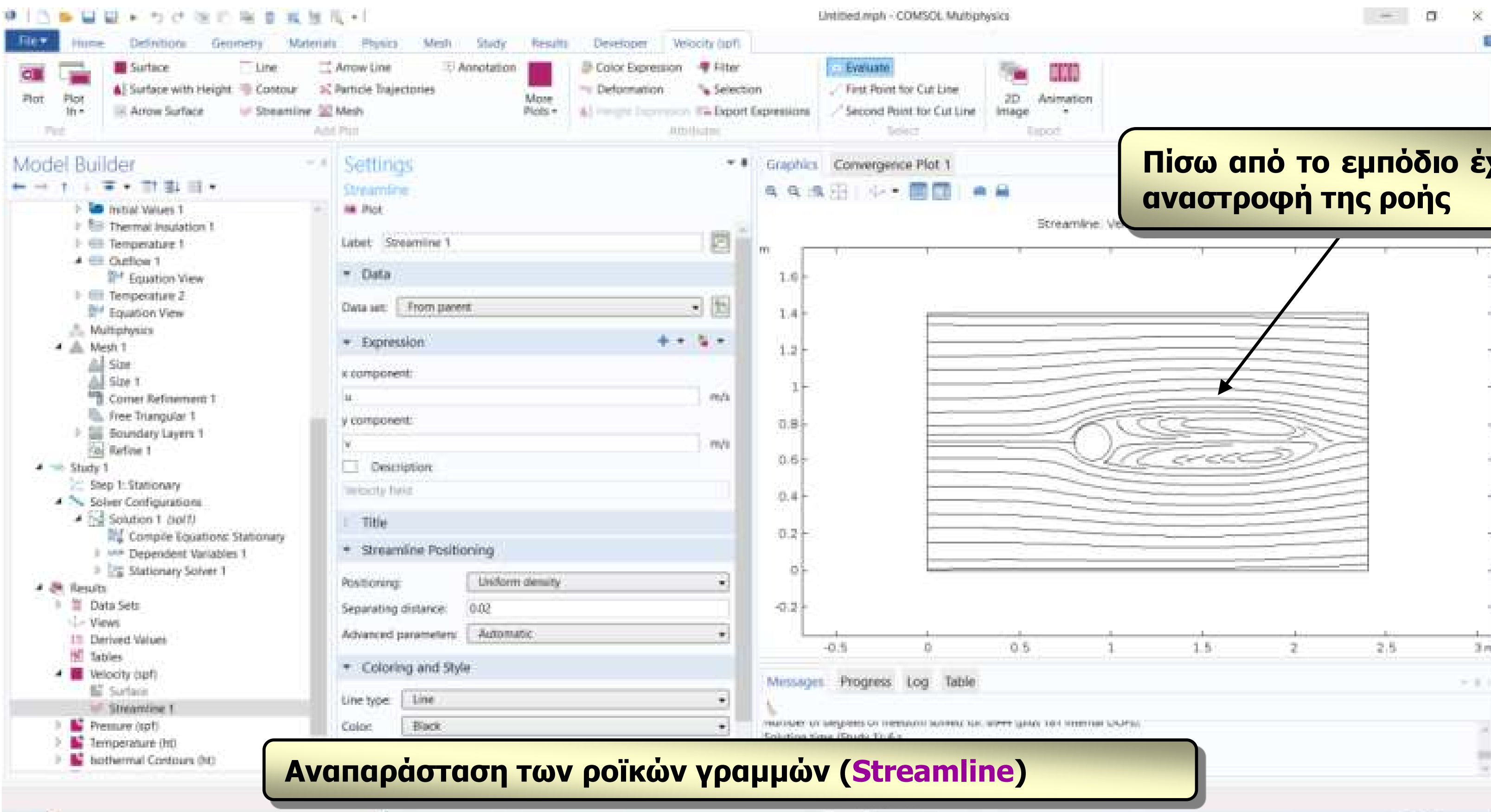
Επιλέγουμε Study 1> Compute

Βήμα 8: Επίλυση προβλήματος



...η κατανομή της ταχύτητας στο χωρίο

Βήμα 9: Γραφική επεξεργασία αποτελεσμάτων

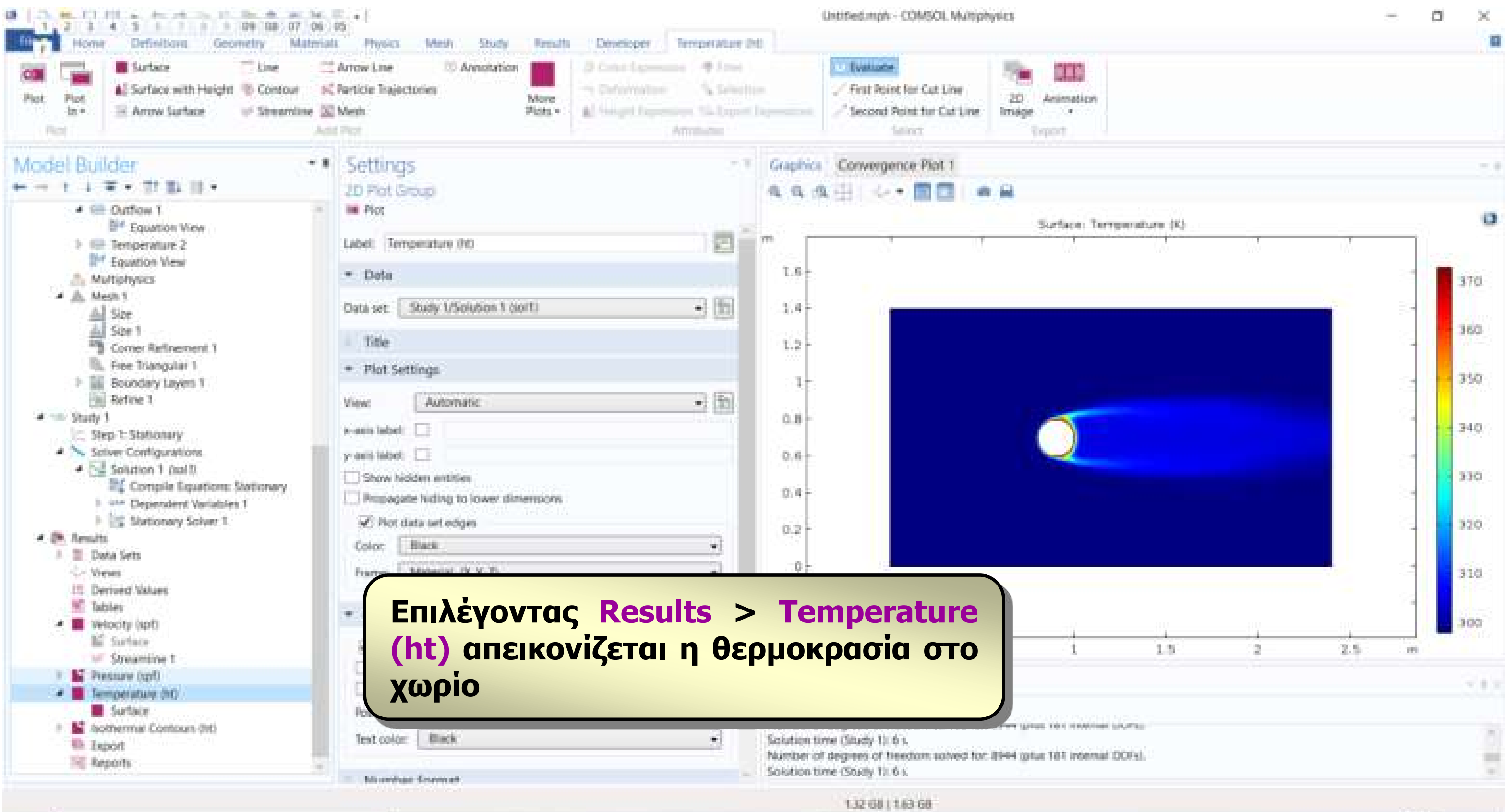


Πίσω από το εμπόδιο έχουμε αναστροφή της ροής

Αναπαράσταση των ροϊκών γραμμών (Streamline)

Επιλέγουμε Results > Velocity (spf), και με δεξί κλικ επιλέγουμε Streamline

Βήμα 9: Γραφική επεξεργασία αποτελεσμάτων



Επιλέγοντας Results > Temperature (ht) απεικονίζεται η θερμοκρασία στο χωρίο

Προτάσεις

Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες τροποποιήσεις που θα μπορούσαν να εξετασθούν :

1. επίδραση της θέσης του κυλίνδρου στη μορφή της λύσης
2. επίδραση της θερμοκρασίας του κυλίνδρου στην κατανομή της θερμοκρασίας του ρευστού
3. επίδραση του αριθμού Re στην κατανομή της ταχύτητας
4. επίδραση των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του ρευστού στη μορφή της λύσης