ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ Ι

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
COMSOL MULTIPHYSICS

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3ο:
ΡΟΗ HAGEN-POISEUILLE

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
ΕΛΕΝΗ ΚΟΡΩΝΑΚΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΚΦΩΝΗΣΗ

Σε αγωγό κυκλικής διατομής μήκους 1.5 m και ακτίνας 0.625 cm, ρέει νερό (πυκνότητα ρ=1000 kg/m^3, ιξώδες μ=1.e-3). Το νερό εισέρχεται στον αγωγό με ταχύτητα 0.12 m/s.

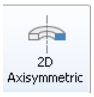
Να υπολογιστεί:

1. Το μήκος εισόδου, δηλαδή σε ποιά απόσταση από την είσοδο του αγωγού η ταχύτητα γίνεται ομοιόμορφη
2. Η ογκομετρική παροχή στον αγωγό
3. Η διατμητική τάση κατά μήκος της ακτίνας του αγωγού σε απόσταση 1.4 m από την είσοδο.

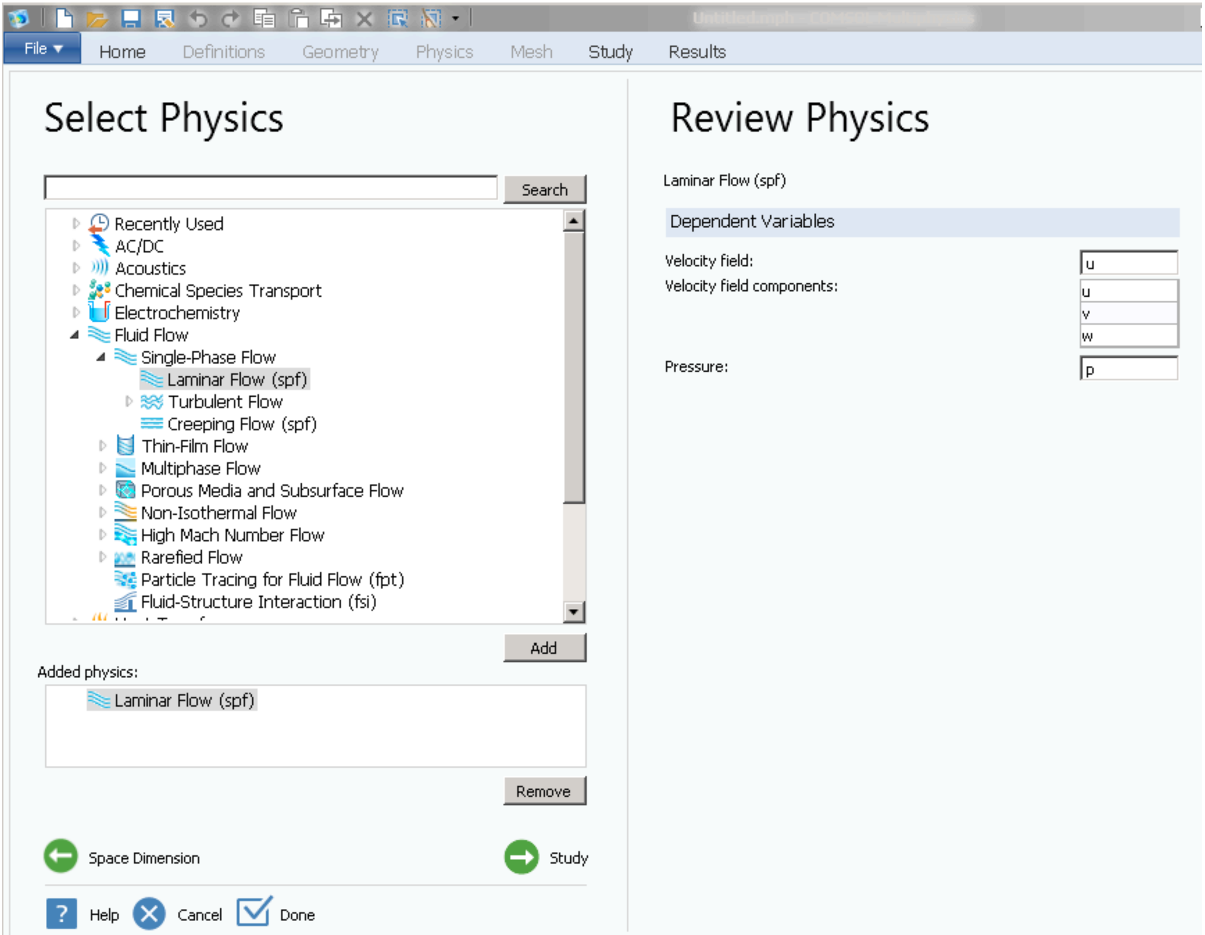
Α. Ανοιγμα COMSOL 4.4 και επιλογή φυσικού μοντέλου

1. Ανοιγμα COMSOL Multiphysics 4.4 

2. Επιλογή **Model Wizard** 

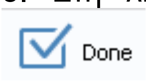
3. Επιλογή **2D- Axisymmetric** 

4. Επιλογή φυσικού μοντέλου. Από την παρακάτω λίστα επιλέγουμε **Fluid Flow>Single Phase Flow>Laminar Flow (spf)** και **Add** 

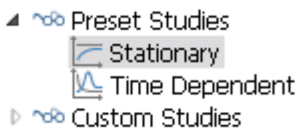


Η επιλεγμένη φυσική εμφανίζεται στο πλαίσιο **Added physics**:

Προχωράμε στο επόμενο βήμα πατώντας το πράσινο βελάκι **Study**.

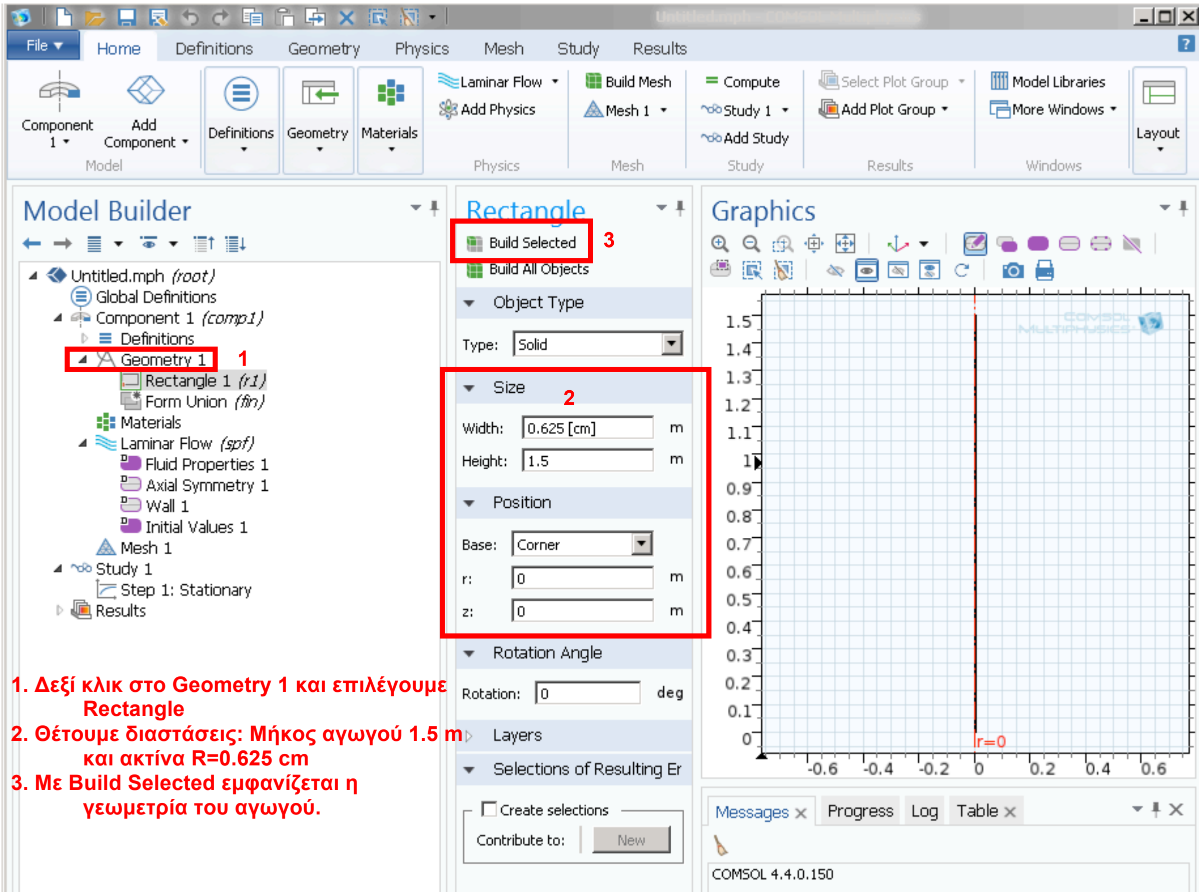
5. Στη λίστα **Preset Studies**, επιλέγουμε **Stationary** μετά πατάμε **Done** 

και ανοίγει η επιφάνεια εργασίας του προγράμματος.



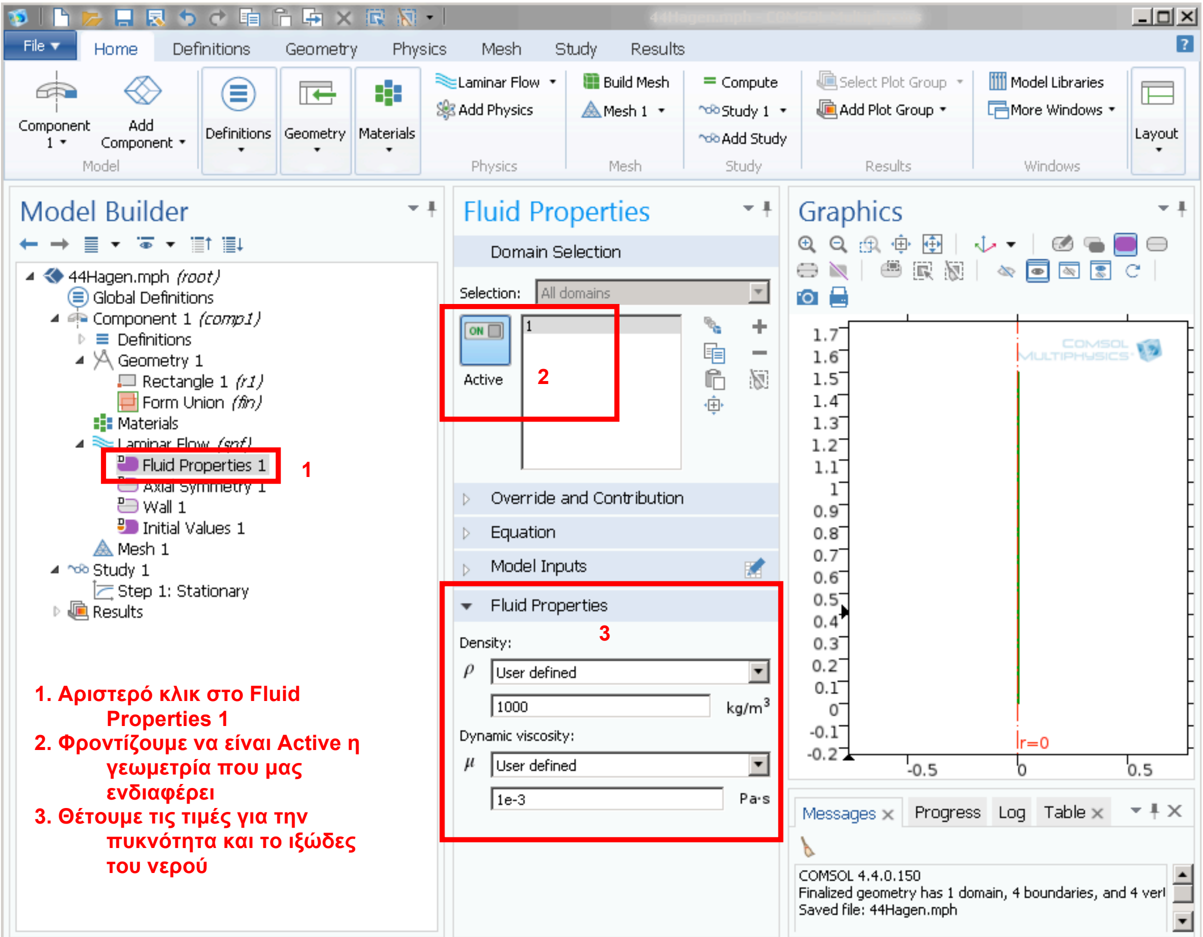
Β. Σχεδίαση γεωμετρίας

Σχεδιάζουμε αγωγό κυκλικής διατομής ακτίνας 0.625 cm και μήκους 1.5 m



Γ. Ορισμός φυσικών παραμέτρων

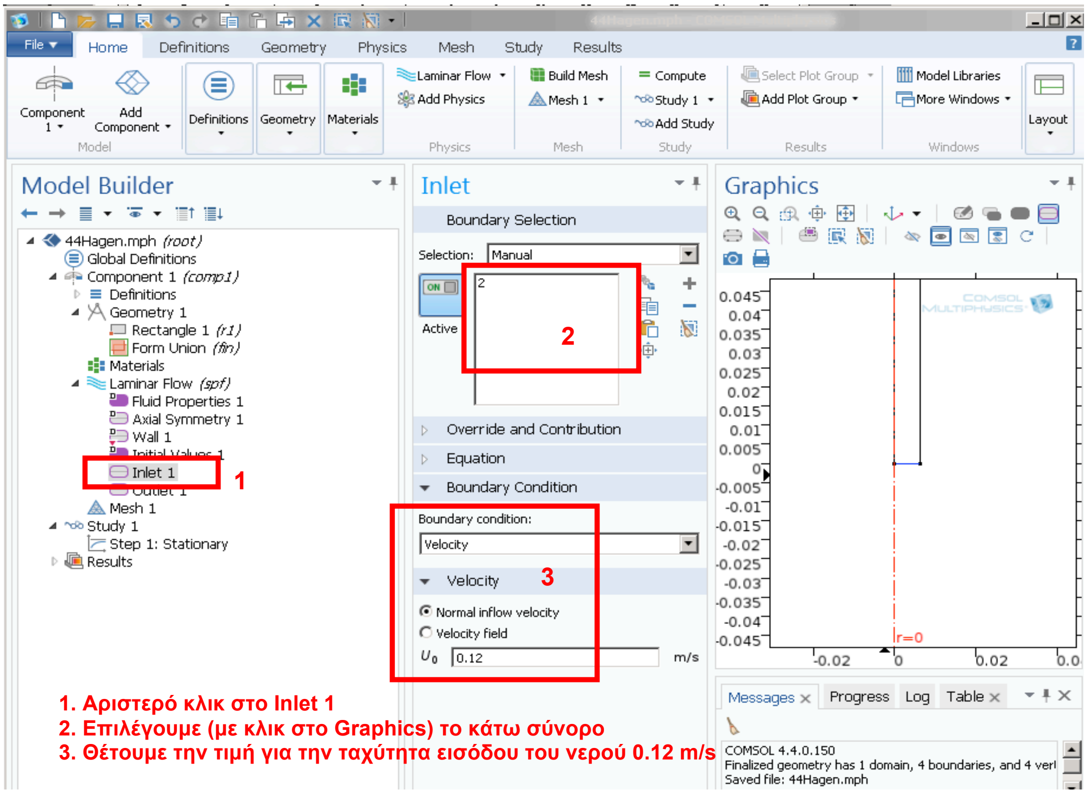
Πρέπει να θέσουμε τις τιμές για την πυκνότητα και το ιξώδες του νερού:
P=1000 kg/m^3 και μ=1.e-3 Pas



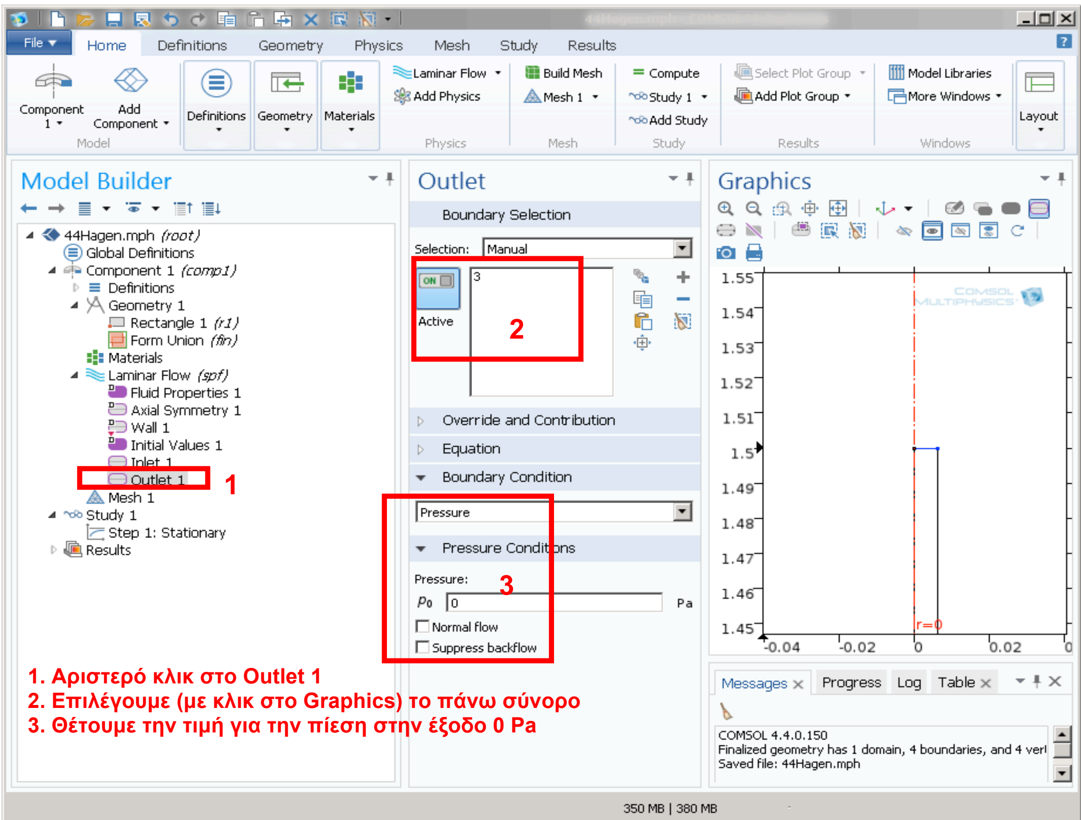
Δ. Ορισμός Συνοριακών συνθηκών

Επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των συνοριακών συνθηκών στην είσοδο και την έξοδο του αγωγού. Με δεξί κλικ στο Laminar Flow *(spf)* επιλέγουμε το Inlet 1 . Κάνοντας πάλι δεξί κλικ στο Laminar Flow *(spf)* επιλέγουμε Outlet 1

Δ. 1. Για το Inlet 1

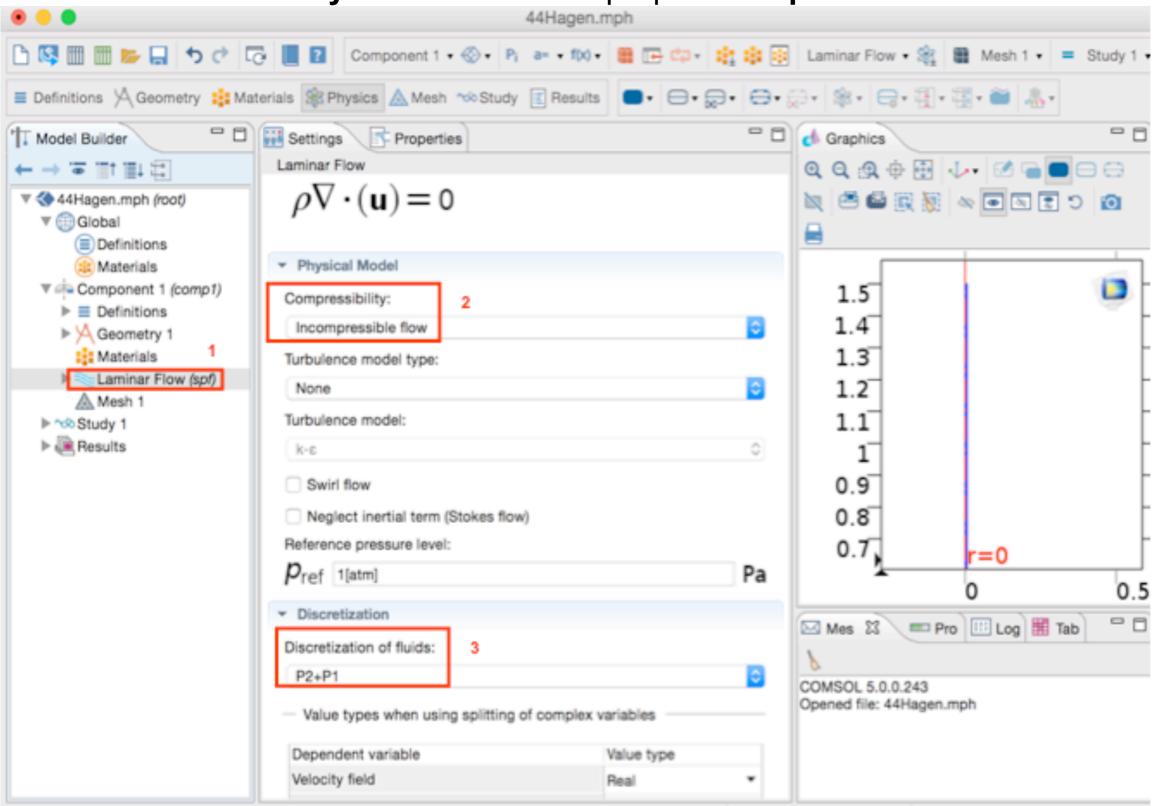


Δ. 2. Για το Outlet 1

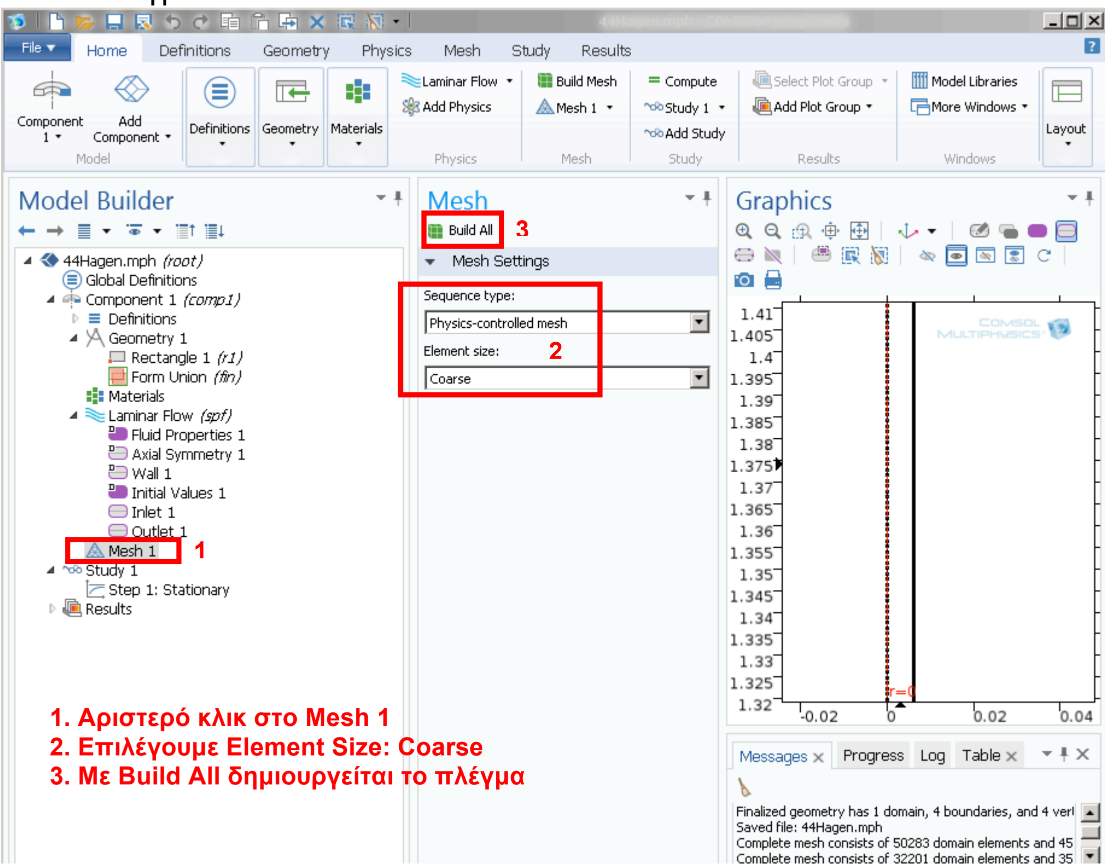


Ε. Επιλογή πλέγματος διακριτοποίησης

Στο **Model builder** επιλέγουμε το «μάτι» και τσεκάρουμε το **Discretization**.Με αριστερό κλικ στο **Laminar Flow** πηγαίνουμε στο **Discretization>Discretization of fluids> P2+P1.** Στο **Physical Model** επιλέγουμε **Incompressible flow**.



Για το πλέγμα:

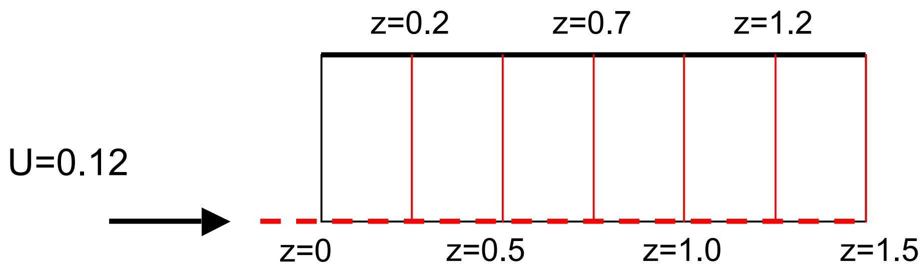


Κάνουμε δεξί στο **Study 1** επιλέγουμε το Compute

ΣΤ. Αποτελέσματα

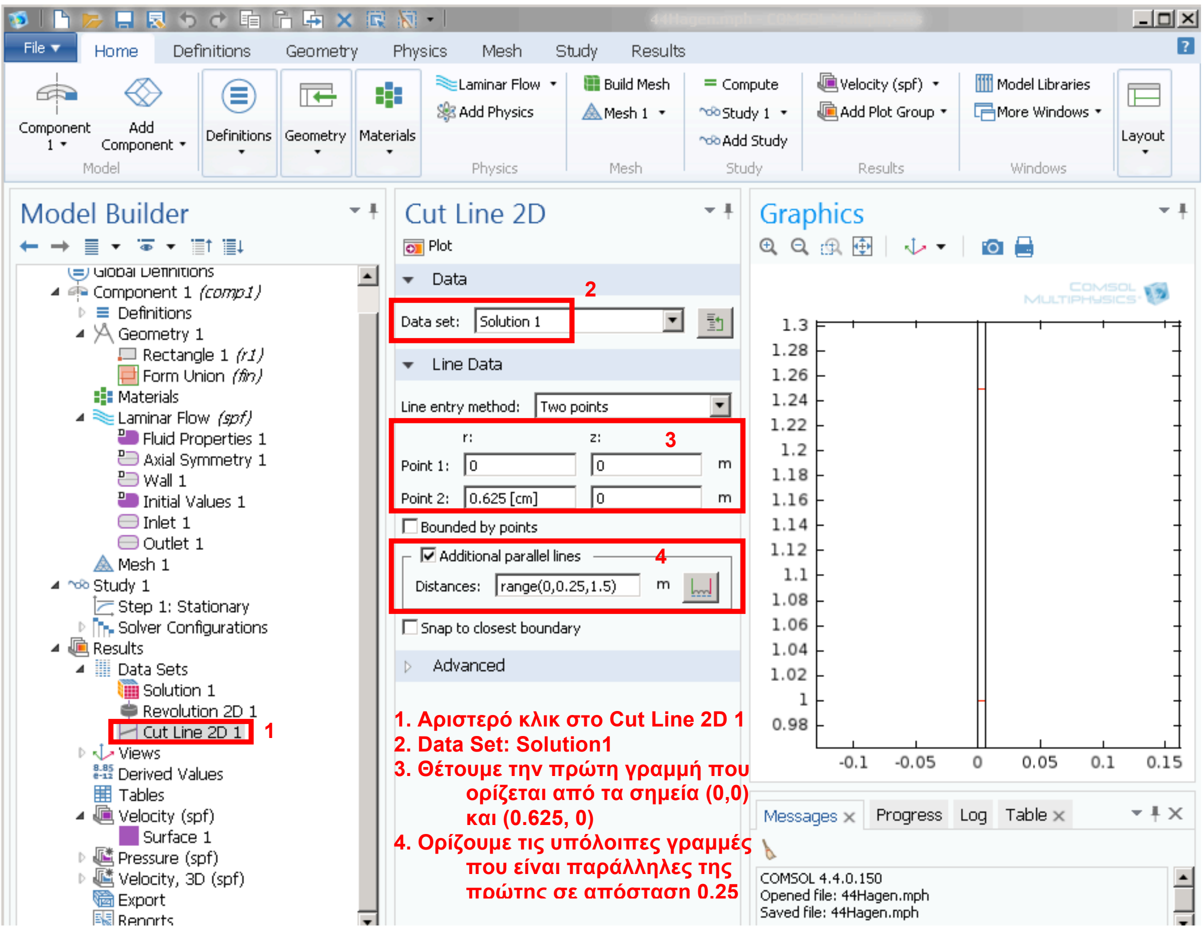
ΣΤ. 1 Ανάπτυξη ομοιόμορφης ροής – προσδιορισμός μήκους εισόδου

Θέλουμε να σχεδιάσουμε την κατανομή ταχύτητας κατά μήκος της ακτίνας του αγωγού σε διάφορες διατομές: κατά μήκος των κόκκινων κατακόρυφων γραμμών στο παρακάτω σχήμα

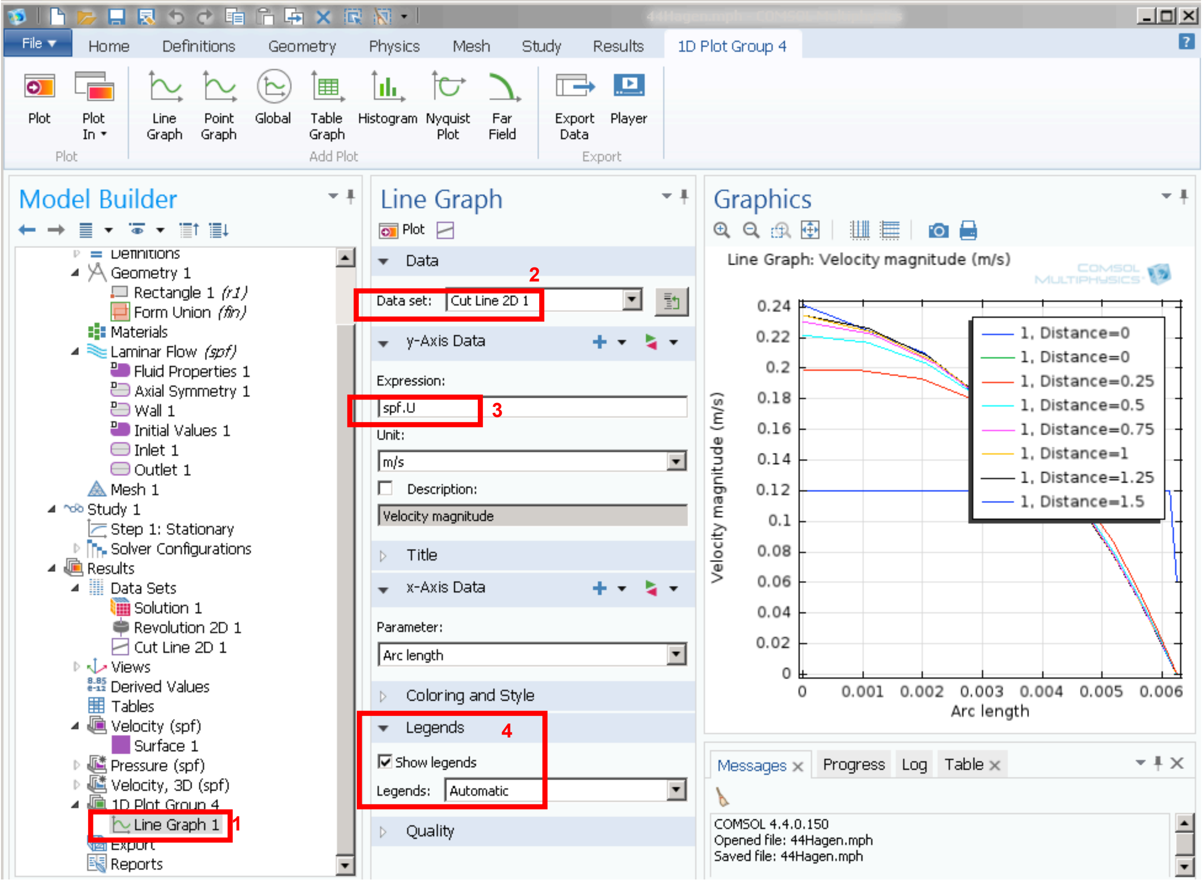


Το πρώτο βήμα είναι ο ορισμός των κόκκινων γραμμών κατά μήκος των οποίων θέλουμε να σχεδιάσουμε την κατανομή ταχύτητας:

Δεξί κλικ Data Sets και επιλογή Cut Line 2D. Με αριστερό κλικ στο Cut Line 2D εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:



Στη συνέχεια προχωράμε στη σχεδίαση. Κάνουμε δεξί κλικ στο Results και επιλέγουμε 1D Plot Group. Με δεξί κλικ στο 1D Plot Group 4 επιλέγουμε Line Graph. Με αριστερό κλικ στο Line Graph εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:

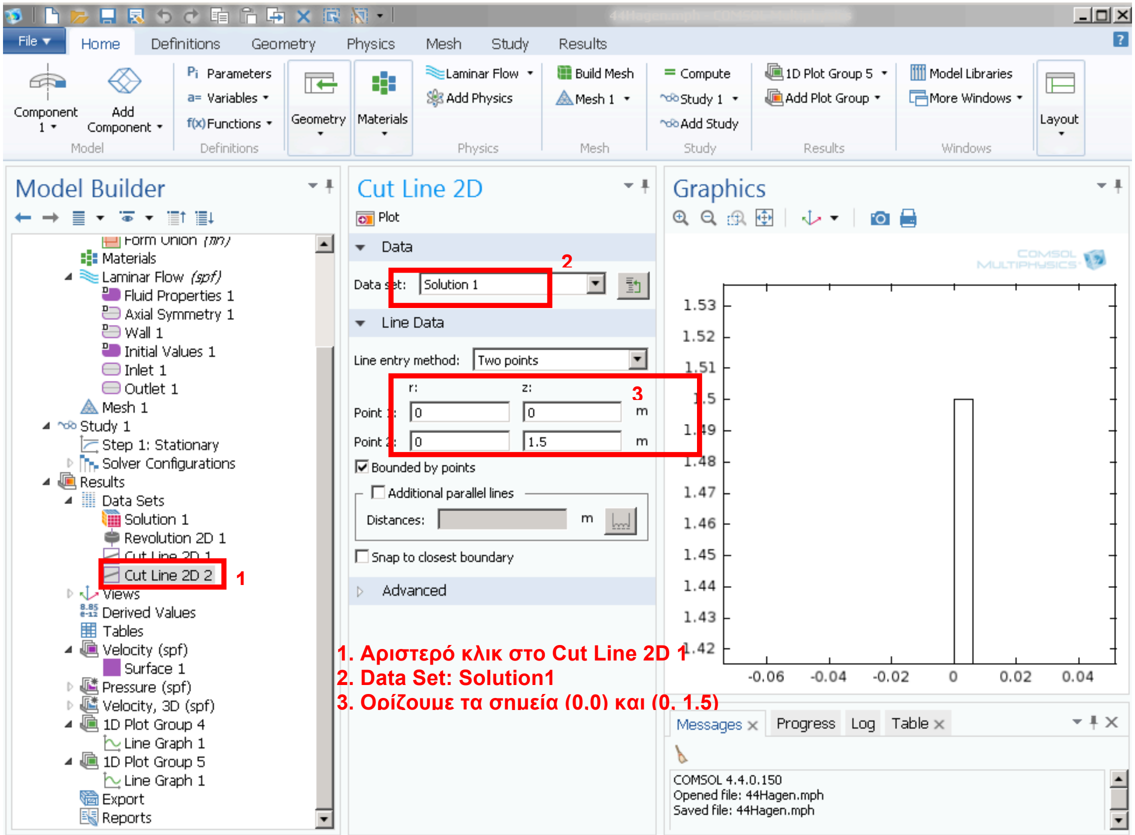


1. Αριστερό κλικ στο Line Graph
2. Επιλογή **Data Set**: **Cut Line 2D 1**
3. Επιλογή φυσικού μεγέθους που θα σχεδιαστεί
4. Επιλέγουμε **Show Legends** για να μπορούμε να αντιστοιχίσουμε τις κατανομές σε συγκεκριμένες αποστάσεις.

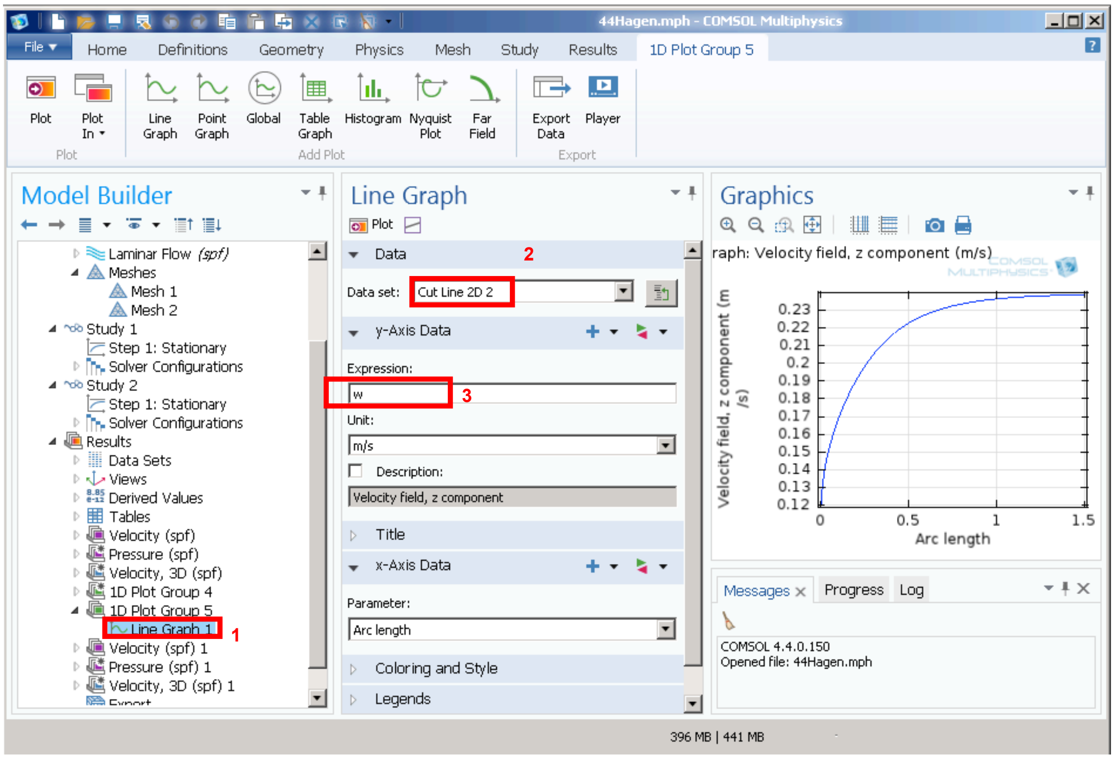
Παρατηρούμε ότι κατά προσέγγιση μετά τα 1.2 m αναπτύσσεται το παραβολικό προφίλ ταχύτητας και άρα η απόσταση αυτή μπορεί να ορισθεί ως μήκος ανάπτυξης της ροής ή μήκος εισόδου.

Χαρακτηριστικό της ομοιόμορφης ροής είναι ότι η συνιστώσα της ταχύτητας που είναι παράλληλη στον άξονα συμμετρίας παραμένει σταθερή κατά μήκος του άξονα αυτού. Αυτό επιβεβαιώνεται ως εξής:

Δεξί κλικ Data Sets και επιλογή Cut Line 2D. Με αριστερό κλικ στο Cut Line 2D εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:



Ετσι ορίζεται μια γραμμή κατά μήκος του άξονα συμμετρίας πάνω στην οποία θα σχεδιαστεί η ταχύτητα.
Στη συνέχεια προχωράμε στη σχεδίαση. Κάνουμε δεξί κλικ στο Results και επιλέγουμε 1D Plot Group. Με δεξί κλικ στο 1D Plot Group 5 επιλέγουμε Line Graph. Με αριστερό κλικ στο Line Graph εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:

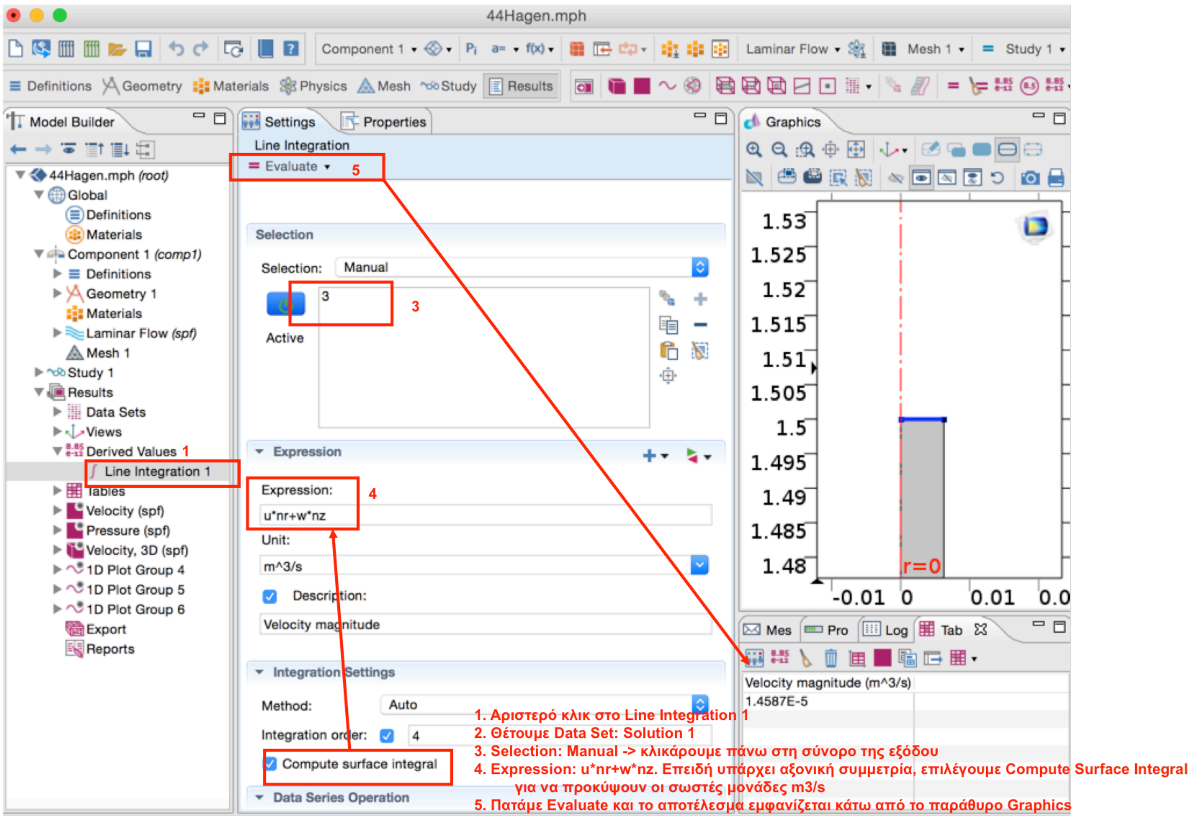


1. Αριστερό κλικ Line Graph
2. **Data Set**: **Cut Line 2D 2**
3. Expression: Velocity field z-component (w)

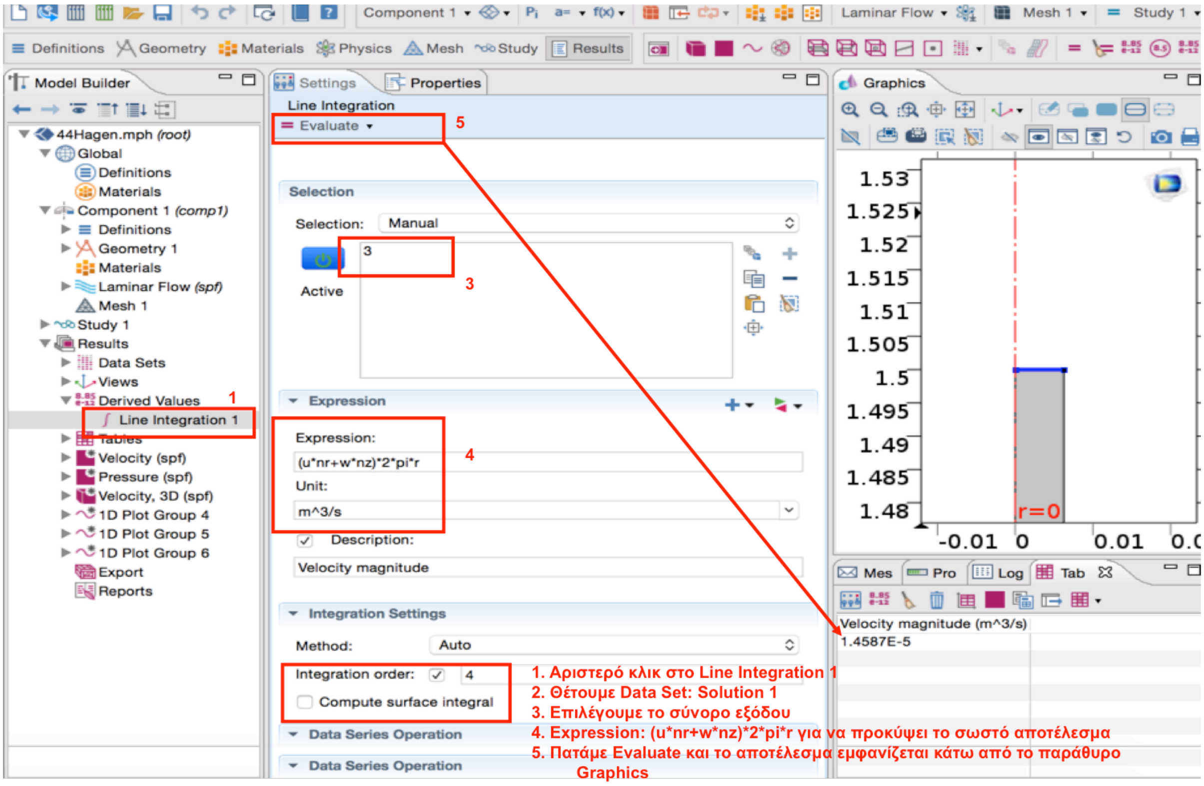
Παρατηρούμε ότι η συνιστώσα της ταχύτητας που είναι παράλληλη προς τον άξονα συμμετρίας σταθεροποιείται περίπου 1.1 m από την είσοδο του αγωγού.

ΣΤ. 2 Υπολογισμός ογκομετρικής παροχής

Θέλουμε να υπολογίσουμε την ογκομετρική παροχή στην είσοδο ή στην έξοδο (είναι ίδιες) που δίνεται με ολοκλήρωση της ταχύτητας στη σύνορο π.χ. της εξόδου.
Με δεξί κλικ στο Derived Values επιλέγουμε **Integration** και μετά Line Integration.
Με αριστερό κλικ στο Line Integration εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



Εναλλακτικά:

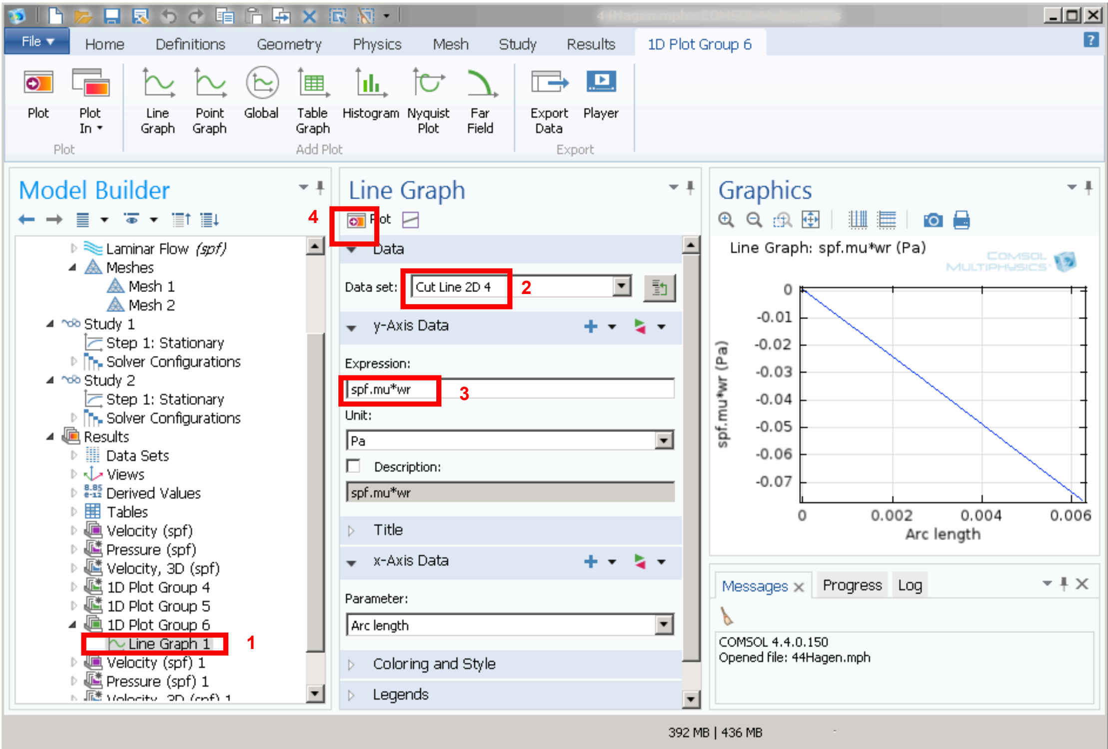


ΣΤ. 3 Υπολογισμός διατμητικής τάσης κατά μήκος της εγκάρσιας διατομής

Θέλουμε να προσδιορίσουμε την κατανομή της δοατμητικής τάσης κατά μήκος εγκαρσιας διατομής σε απόσταση L=1.4 m από την είσοδο του σωλήνα.

Δεξί κλικ Data Sets και επιλογή Cut Line 2D. Με αριστερό κλικ στο Cut Line 2D εμφανίζεται το παράθυρο επιλογών όπου ορίζουμε μια γραμμή με βάση τα σημεία (0,1.4m) και (0.625 cm, 1.4m). (Για λεπτομέρειες βλ. Παράγραφο 2, βήμα 1)

Με δεξί κλικ στο Results και επιλέγουμε 1D Plot Group. Με δεξί κλικ στο 1D Plot Group6 επιλέγουμε Line Graph. Με αριστερό κλικ στο Line Graph εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:



- Αριστερό κλικ Line Graph 1 στο 1D Plot Group

- Data Set : Cut Line 2D 4

- Expression spf.mu*wr

- Το spf.mu είναι το όνομα της μεταβλητής για το ιξώδες που έχει το Comsol. Εναλλακτικά θα μπορούσαμε να θέσουμε την τιμή του ιξώδους, 1.e-3.
- wr είναι η παράγωγος $\partial w / \partial r$, όπου w είναι η συνιστώσα της ταχύτητας που είναι παράλληλη προς τον άξονα συμμετρίας.