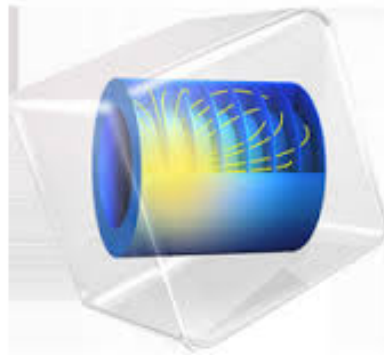




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ Ι

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
COMSOL MULTIPHYSICS



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4^ο:
ΡΟΗ ΣΕ ΑΓΩΓΟ ΜΕ ΑΠΟΤΟΜΗ ΑΥΞΗΣΗ
ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

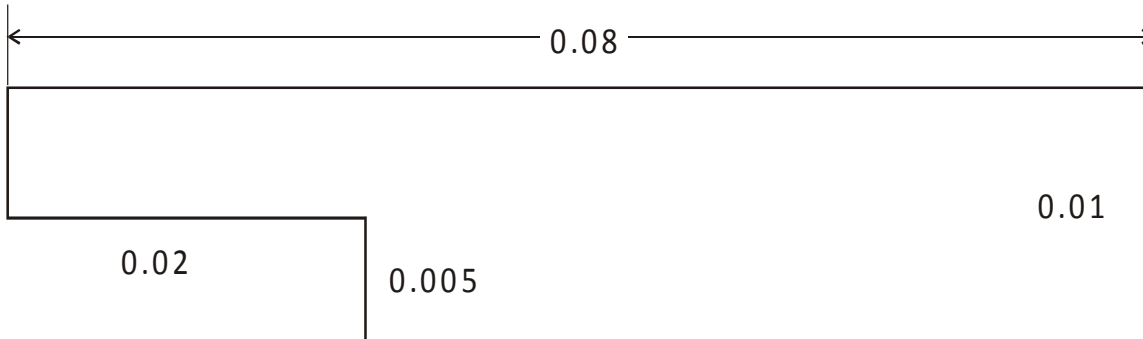
ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
ΕΛΕΝΗ ΚΟΡΩΝΑΚΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΕΚΦΩΝΗΣΗ	ii
A ...	Ανοιγμα COMSOL 4.4 και επιλογή φυσικού μοντέλου	1
B ...	Σχεδίαση γεωμετρίας	2
Γ ...	Καθορισμός γενικών παραμέτρων επίλυσης	4
Δ ...	Ορισμός φυσικών παραμέτρων	4
Ε ...	Ορισμός συνοριακών συνθηκών	5
ΣΤ ...	Επιλογή πλέγματος διακριτοποίησης	6
ΣΤ ...	Αποτελέσματα	7
ΣΤ. 1...	Ανακυκλοφορία-ροϊκές γραμμές	7
ΣΤ. 2...	Υπολογισμός ογκομετρικής παροχής	8
ΣΤ. 3...	Σχεδιασμός χ-συνιστώσας της ταχύτητας	9
ΣΤ. 4...	Προσθήκη εμποδίου και υπολογισμός οπισθέλκουσας δύναμης	10

ΕΚΦΩΝΗΣΗ

Στο κανάλι του σχήματος ρέει ρευστό με πυκνότητα $\rho=1.23 \text{ kg/m}^3$ και δυναμικό ιξώδες $1.79\text{e-}5 \text{ Pa s}$. Η μέση ταχύτητα εισόδου είναι 0.544 m/s .



(ολες οι διαστάσεις είναι σε μέτρα)

Να γίνουν υπολογισμοί σε μόνιμη κατάσταση και να δειχθούν

1. οι ροϊκές γραμμές με έμφαση στην περιοχή ανακυκλοφορίας
2. να υπολογιστεί η ογκομετρική παροχή
3. να σχεδιαστεί η κατανομή της x-συνιστώσα της ταχύτητας κατά μήκος μια κατακόρυφης γραμμής που βρίσκεται μέσα στη ζώνη ανακυκλοφορίας
4. να προστεθεί στη γεωμετρία κυκλικό εμπόδιο ακτίνας $r=0.002\text{m}$ τοποθετημένο με βάση το κέντρο του στο σημείο $(x, y) = (0.05 \text{ m}, 0.005 \text{ m})$.
Να υπολογιστεί η οπισθέλκουσα δύναμη

A. Ανοίγμα COMSOL 4.4 και επιλογή φυσικού μοντέλου

1. Ανοίγμα COMSOL Multiphysics 4.4



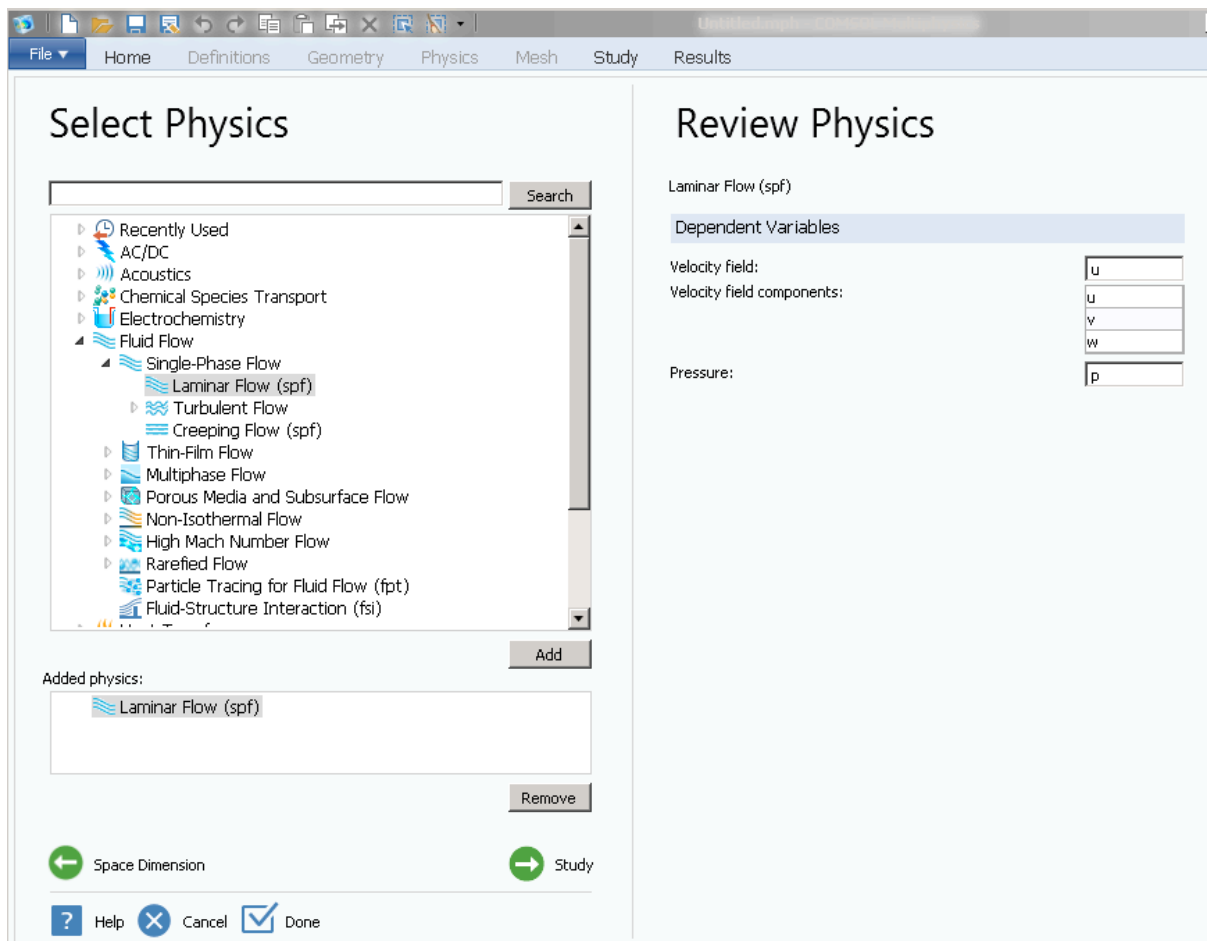
2. Επιλογή **Model Wizard**



3. Επιλογή **2D**



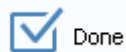
4. Επιλογή φυσικού μοντέλου. Από την παρακάτω λίστα επιλέγουμε **Fluid Flow>Single Phase Flow>Laminar Flow (spf)** και **Add**



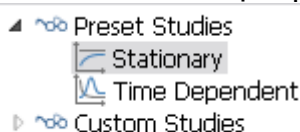
Η επιλεγμένη φυσική εμφανίζεται στο πλαίσιο **Added physics**:

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

Αρχικά σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο διαστάσεων $0.02 \text{ m} \times 0.005 \text{ m}$. Μετά ένα δεύτερο παραλληλόγραμμο διαστάσεων $0.06 \text{ m} \times 0.01 \text{ m}$.

- Δεξί κλικ στο **Geometry 1** > επιλογή **Rectangle**

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface. The **Model Builder** pane on the left shows the project tree with **Geometry 1** selected. The **Rectangle** dialog box is open, showing the **Size** section with **Width** set to 0.02 m and **Height** set to 0.005 m . The **Position** section shows **Bas:** set to **Corner**, **x:** set to 0 m , and **y:** set to 0.005 m . The **Build Selected** button is highlighted. The **Graphics** pane on the right shows a 2D plot of the rectangle on a grid. The **Messages** pane at the bottom shows the COMSOL version and the opened file.

1. Δεξί κλικ στο **Geometry 1** και επιλέγουμε **Rectangle**
2. Θέτουμε διαστάσεις: **Width = 0.02 m** και **Height = 0.005 m**
3. Με **Build Selected** εμφανίζεται η γεωμετρία

1. Δεξί κλικ στο **Geometry 1** και επιλέγουμε **Rectangle**

2. Θέτουμε διαστάσεις: **Width 0.06 m** και **Height= 0.01 m**

3. Με **Build Selected** εμφανίζεται η γεωμετρία

Τώρα θα κάνουμε ένωση (Union) των δύο σχημάτων για να φτιάξουμε τη επιθυμητή γεωμετρία.

- Δεξί κλικ στο **Geometry 1** > επιλογή **Boolean Operations**> **Union**

1. Αριστερό κλικ **Union**

2. Με κλικ στο σχήμα επιλέγουμε τα δύο **Rectangles** ώστε να φαίνονται στα **Input Objects**

3. Με **Build Selected** εμφανίζεται η γεωμετρία

Τα «ξε-τικάρουμε»

Γ. Καθορισμός γενικών παραμέτρων επίλυσης






1. Αριστερό κλικ στο Laminar Flow
 2. Compressibility-> Incompressible flow
 3. Discretization of fluids-> P2+P1

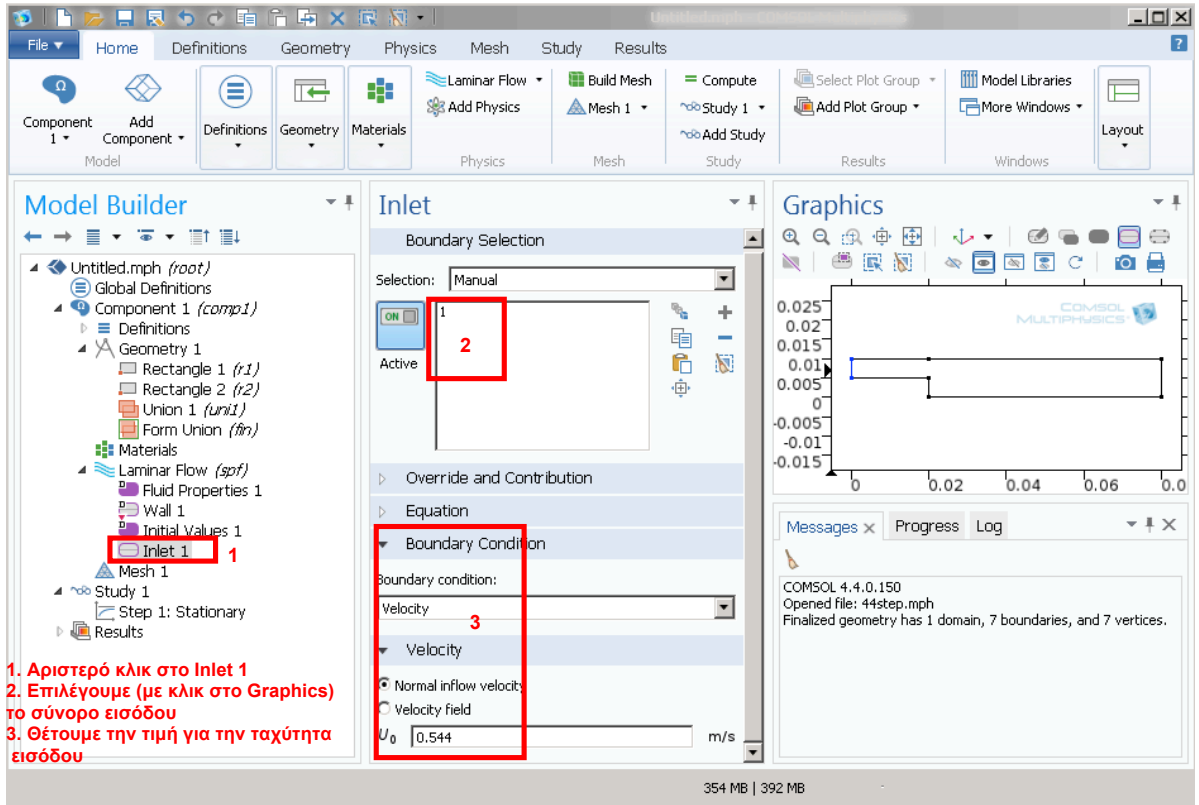
Δ. Ορισμός φυσικών παραμέτρων

Πρέπει να θέσουμε τις τιμές για την πυκνότητα και το ιξώδες του ρευστού:
 $\rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$ και $\mu = 1.79\text{e-}5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

1. Αριστερό κλικ στο Fluid Properties 1
 2. Φροντίζουμε να είναι Active η γεωμετρία που μας ενδιαφέρει
 3. Θέτουμε τις τιμές για την πυκνότητα και το ιξώδες του ρευστού

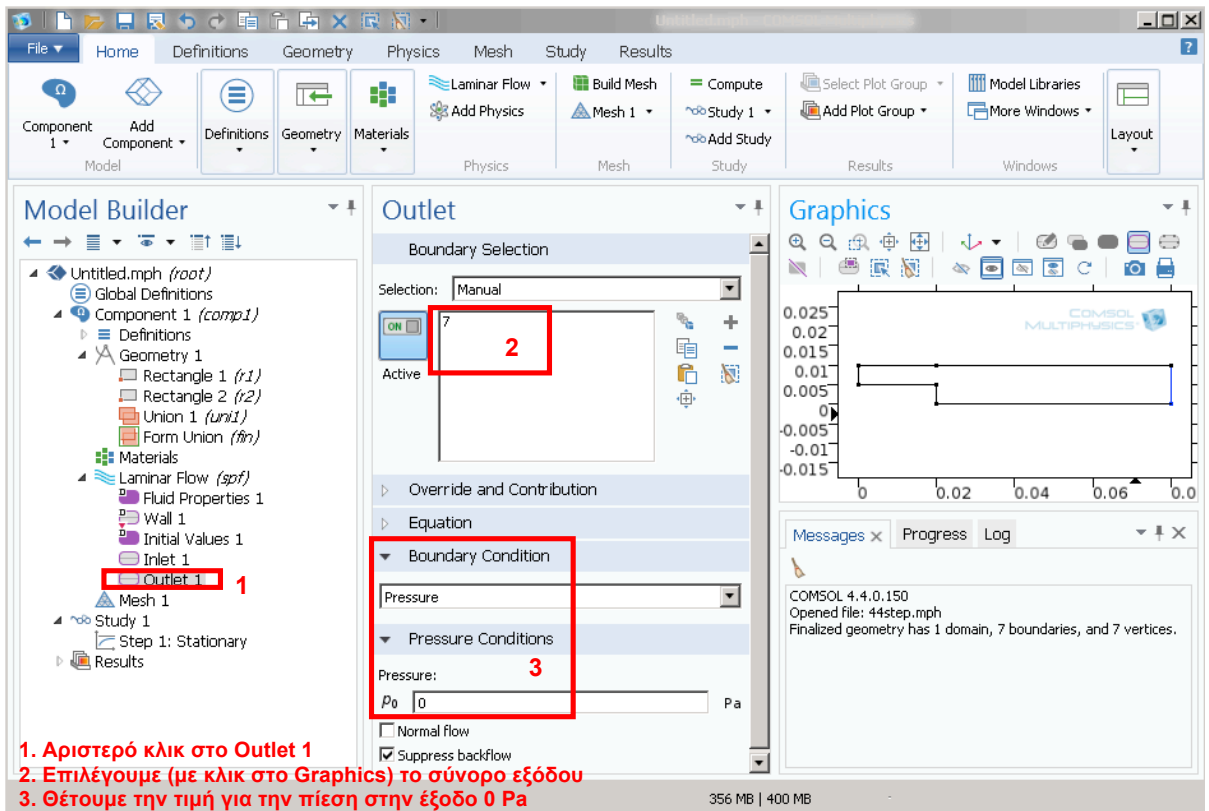
Ε. Ορισμός Συνοριακών συνθηκών

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 -Για το  Inlet 1



1. Αριστερό κλικ στο Inlet 1
2. Επιλέγουμε (με κλικ στο Graphics) το σύνορο εισόδου
3. Θέτουμε την τιμή για την ταχύτητα εισόδου

-Για το  Outlet 1




1. Αριστερό κλικ στο Outlet 1
2. Επιλέγουμε (με κλικ στο Graphics) το σύνορο εξόδου
3. Θέτουμε την τιμή για την πίεση στην έξοδο 0 Pa

ΣΤ. Επιλογή πλέγματος διακριτοποίησης

1. Αριστερό κλικ στο Mesh 1
2. Επιλέγουμε Element Size: Normal
3. Με Build All δημιουργείται το πλέγμα




COMSOL 4.4.0.150
Opened file: 44step.mph
Finalized geometry has 1 domain, 7 boundaries, and 7 vertices.
Complete mesh consists of 8808 domain elements and 518 bound.
Number of degrees of freedom solved for: 15432.
Solution time (Study 1): 14 s.

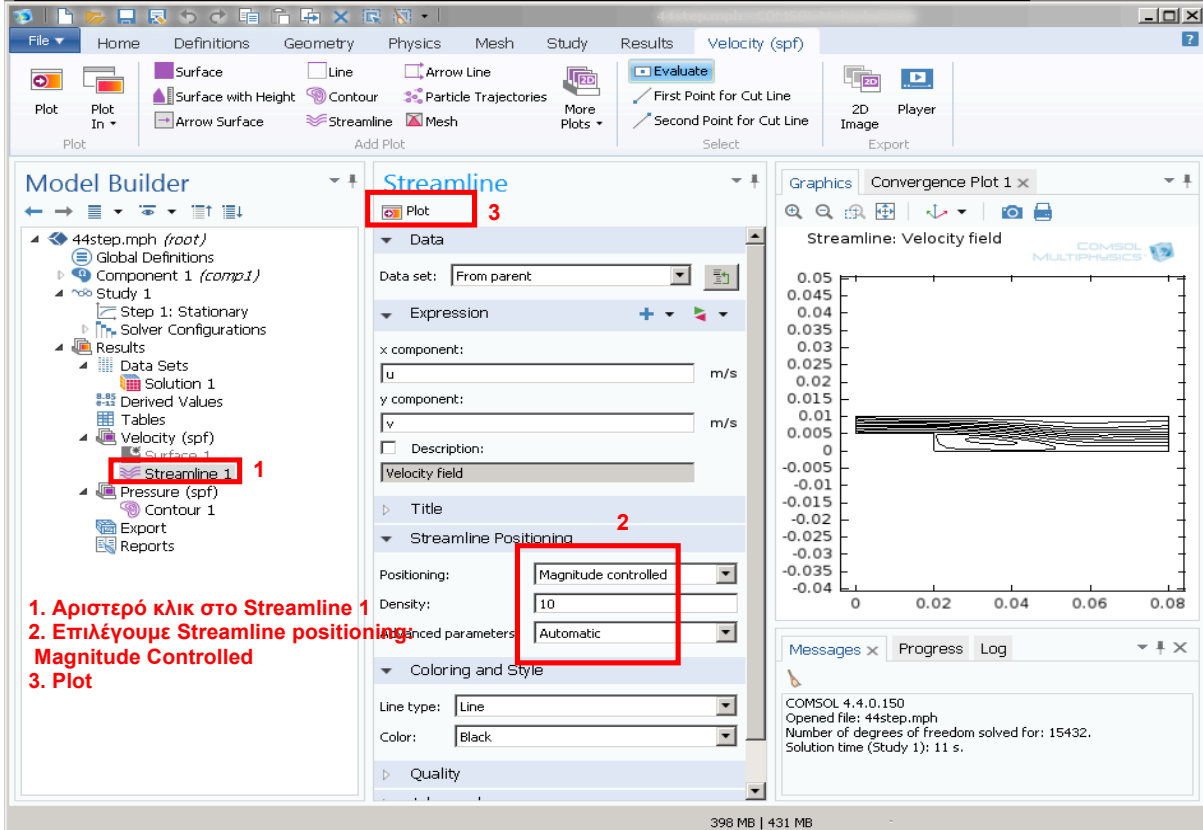
Κάνουμε δεξί στο **Study 1** εμφανίζεται ο αντίστοιχος πίνακας με επιλογές όπου επιλέγουμε το  Compute

ΣΤ. Αποτελέσματα

ΣΤ. 1 Ανακυκλοφορία – ροϊκές γραμμές

Λόγω αποκόλλησης του οριακού στρώματος στο σημείο της απότομης αύξησης διατομής, δημιουργείται μια ζώνη ανακυκλοφορίας, στη γωνία, η οποία μπορεί να απεικονιστεί με ροϊκές γραμμές ως εξής:




Δεξί κλικ στο  Velocity (spf) > επιλέγουμε  Streamline. Με αριστερό κλικ στο  Streamline 1 εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:

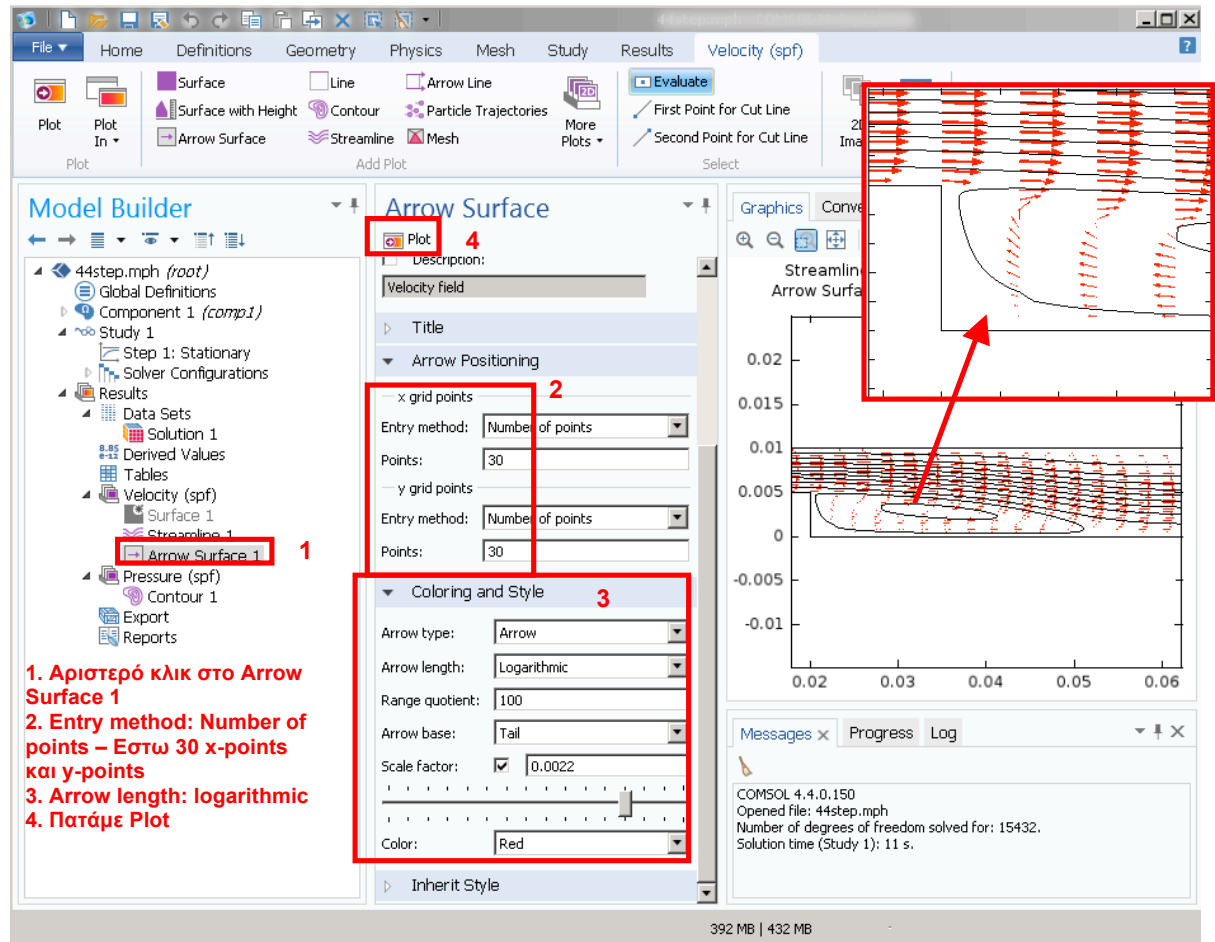


The screenshot displays the COMSOL Multiphysics interface. The **Model Builder** on the left shows the project hierarchy with **Streamline 1** selected and highlighted with a red box and the number 1. The **Streamline** configuration panel in the center has the **Plot** button highlighted with a red box and the number 3. The **Streamline Positioning** section is expanded, and the **Magnitude controlled** dropdown menu is highlighted with a red box and the number 2. The **Graphics** window on the right shows a 2D plot titled "Streamline: Velocity field" with a velocity scale from -0.04 to 0.05 m/s. The plot shows a flow field with a recirculation zone. The **Messages** window at the bottom right displays the solution time: 11 s.

1. Αριστερό κλικ στο Streamline 1
2. Επιλέγουμε Streamline positioning: Magnitude Controlled
3. Plot




Μπορούμε στο ίδιο διάγραμμα να σχεδιάσουμε και διανύσματα ταχύτητας σαν βέλη (arrow plot).

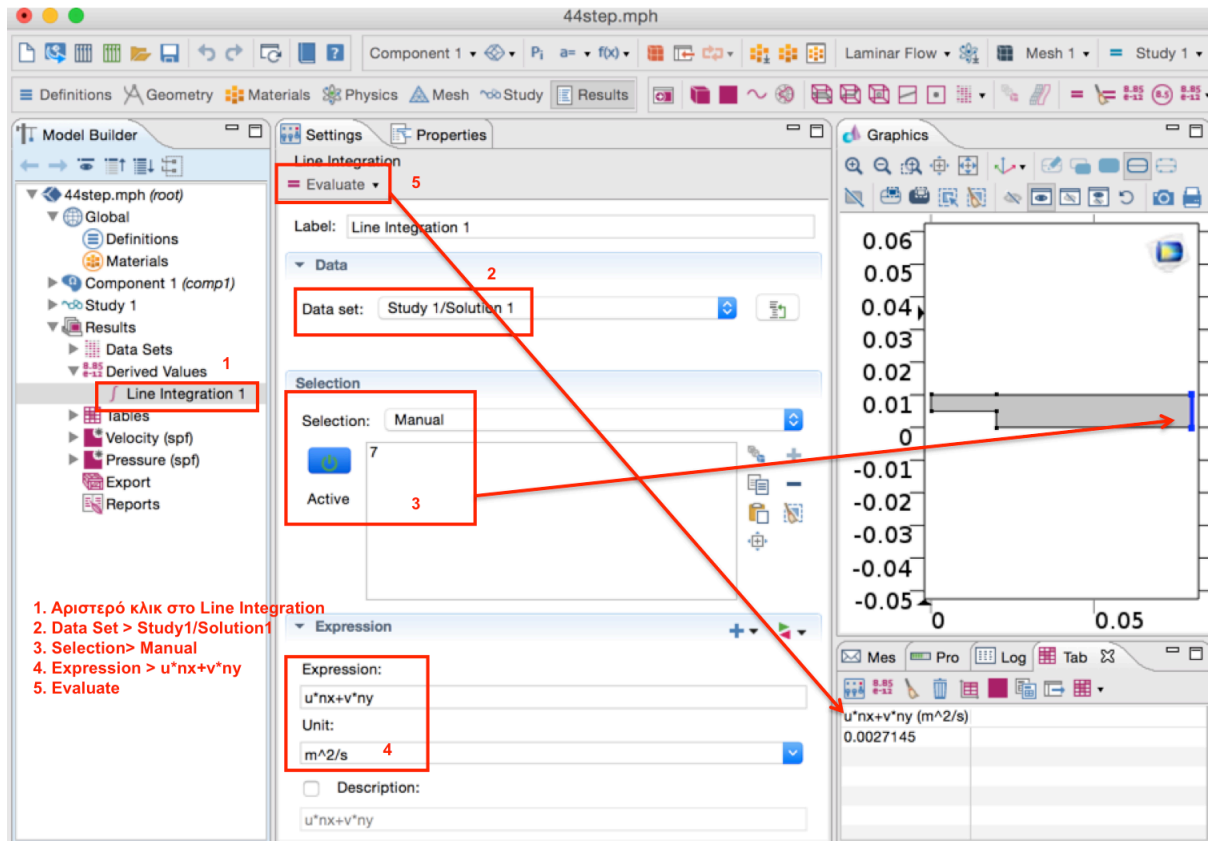
Δεξί κλικ στο  Velocity (spf) > επιλέγουμε  Arrow Surface. Με αριστερό κλικ στο  Arrow Surface 1 εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:



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:

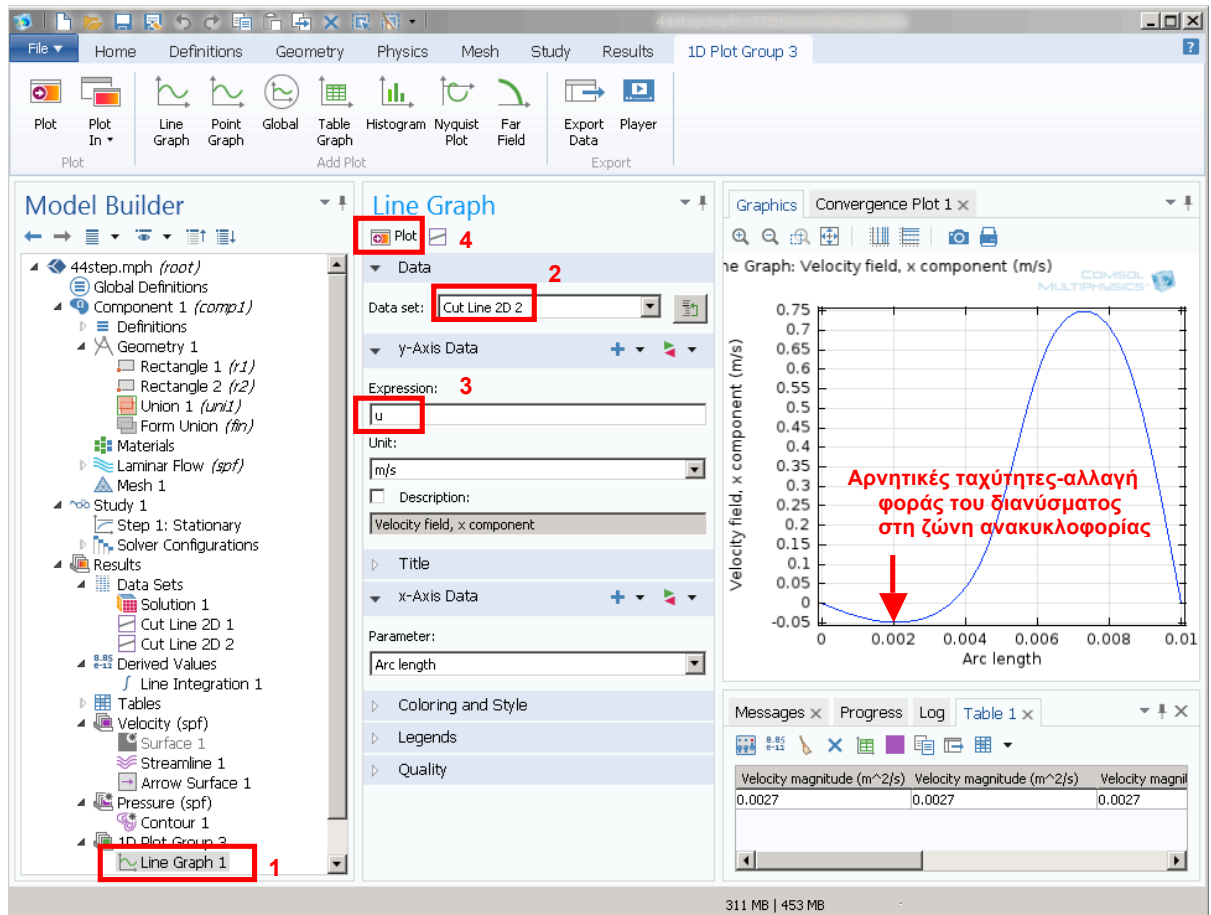


ΣΤ. 3 Σχεδιασμός x-συνιστώσας ταχύτητας

Θέλουμε να σχεδιάσουμε την οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας κατά μήκος μιας κατακόρυφης γραμμής που περνά μέσα από την περιοχή ανακυκλοφορίας σε απόσταση $L=0.025$ 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 $(0.025m, 0m)$ και $(0.025m, 0.01m)$. (Για λεπτομέρειες βλ. Παράγραφο ΣΤ. 2, βήμα 1)

Με δεξί κλικ στο Results και επιλέγουμε 1D Plot Group. Με δεξί κλικ στο 1D Plot Group2 επιλέγουμε Line Graph. Με αριστερό κλικ στο Line Graph εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών:



- Αριστερό κλικ Line Graph 1 στο 1D Plot Group2

- Data Set : Cut Line 2D 2

- Expression u

ΣΤ. 4 Προσθήκη εμποδίου και υπολογισμός οπισθέλκουσας δύναμης

- Προσθήκη γεωμετρίας

Δεξί κλικ **Geometry**> **Circle**

Radius> 0.002

Position: **Base**> **Center** (x=0.05, y=0.005)

Build All Objects

Δεξί κλικ **Geometry**> **Boolean Operations** > **Difference**

Objects to Add> uni1

Objects to Subtract > c1

Build All Objects

Δεξί κλικ **Study 1**> **Compute**

Με επιλογή του **Line Integration** εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο επιλογών

44step.mph

Component 1 | a = f(x) | Laminar Flow | Mesh 1 | Study 1

Definitions | Geometry | Materials | Physics | Mesh | Study | Results

Model Builder

- 44step.mph (root)
 - Global
 - Definitions
 - Materials
 - Component 1 (comp1)
 - Definitions
 - Geometry 1
 - Rectangle 1 (r1)
 - Rectangle 2 (r2)
 - Union 1 (uni1)
 - Circle 1 (c1)
 - Difference 1 (dif1)
 - Form Union (fin)
 - Materials
 - Laminar Flow (spf)
 - Fluid Properties 1
 - Equation View
 - Wall 1
 - Initial Values 1
 - Inlet 1
 - Outlet 1
 - Equation View
 - Mesh 1
 - Study 1
 - Results
 - Data Sets
 - Derived Values 1
 - Line Integration 1

Settings | Properties

Line Integration 1

5 Evaluate

Label: Line Integration 1

Data 2

Data set: Study 1/Solution 1

Selection

Selection: Manual

8
9
10
11

Active 3

Expression

Expression: $-p \cdot nx + spf.K_stressx$

Unit: 4 N/m

Graphics | Convergence Plot 1

0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01

0.04 0.05 0.06

Messages | Progress | Log | Table 1

$-p \cdot nx + spf.K_stressx$ (N/m)

-8.7839E-4

1. Αριστερό κλικ στο Line Integration
2. Data Set > Study1/Solution1
3. Selection> Manual
4. Expression > $-p \cdot nx + spf.K_stressx$
5. Evaluate