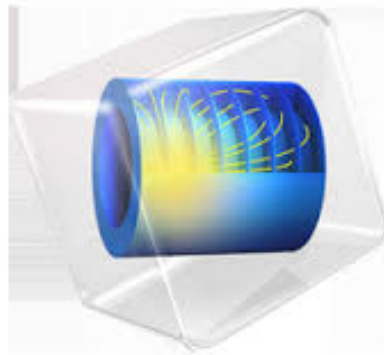




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ Ι

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
COMSOL MULTIPHYSICS



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2^ο:
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΑΓΩΓΟ
ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
ΕΛΕΝΗ ΚΟΡΩΝΑΚΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΕΚΦΩΝΗΣΗ	ii
A	... Ανοιγμα COMSOL 4.4 και επιλογή φυσικού μοντέλου	1
B	... Καθορισμός γεωμετρίας και ορισμός υλικού από τη βιβλιοθήκη	2
	B. 1... Σχεδίαση γεωμετρίας	2
	B. 2... Ορισμός υλικού από τη βιβλιοθήκη	4
Γ	... Ορισμός συνοριακών συνθηκών και επιλογή πλέγματος διακριτοποίησης	7
	Γ. 1... Ορισμός συνοριακών συνθηκών	7
	Γ. 2... Επιλογή πλέγματος διακριτοποίησης	8
Δ	... Αποτελέσματα	9
	Δ. 1... Αποτελέσματα που εμφανίζονται αυτόματα με την επίλυση	9
	Δ. 2... Προσθήκη μόνωσης από nylon	10
	Δ. 2. 1 Δημιουργία γεωμετρίας	10
	Δ. 2. 2 Προσθήκη νέου υλικού (nylon)	11
	Δ. 2. 3 Νέες συνοριακές συνθήκες	12
	Δ. 2. 4 Κατανομή θερμοκρασίας κατά μήκος της ακτίνας	13

ΕΚΦΩΝΗΣΗ

Σε αγωγό κυκλικής διατομής από αλουμίνιο, ρέει νερό θερμοκρασίας $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. Ποιά είναι η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του;

Δίνονται:

Εσωτερική ακτίνα αγωγού: 1 cm

Εξωτερική ακτίνα αγωγού: 1.2 cm

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή είναι $h = 1000\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K})$

2. Να επαναληφθεί ο υπολογισμός θεωρώντας ότι ο αγωγός περιβάλλεται από μόνωση nylon πάχους 0.2 mm

- Να σχεδιαστεί η κατανομή θερμοκρασίας κατά μήκος μιας ακτίνας

A. Ανοιγμα COMSOL 4.4 και επιλογή φυσικού μοντέλου

- Ανοιγμα COMSOL Multiphysics 4.4



- Επιλογή **Model Wizard**

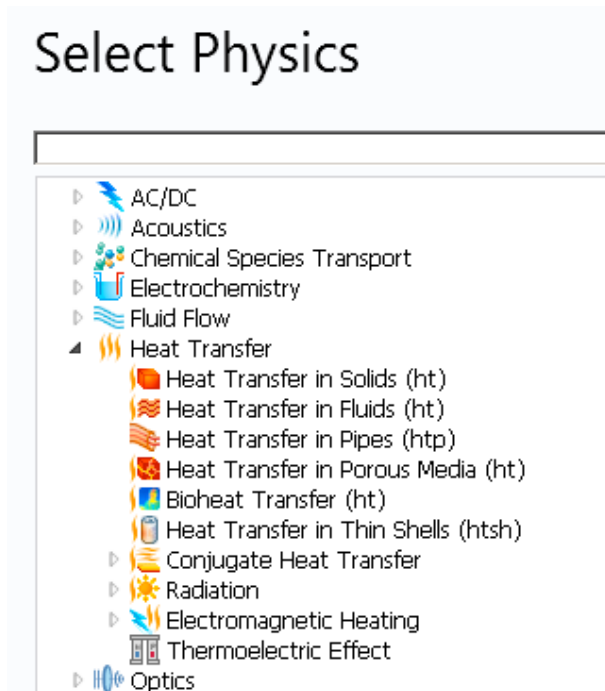


- Επιλογή **2D**

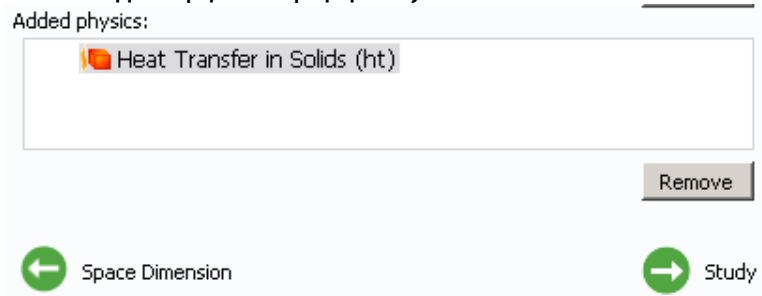


- Επιλογή φυσικού μοντέλου. Από την παρακάτω λίστα επιλέγουμε

Heat Transfer in Solids (ht) και **Add**

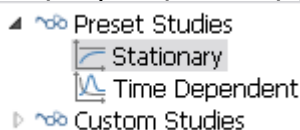


Η επιλεγμένη φυσική εμφανίζεται στο πλαίσιο **Added physics**:



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

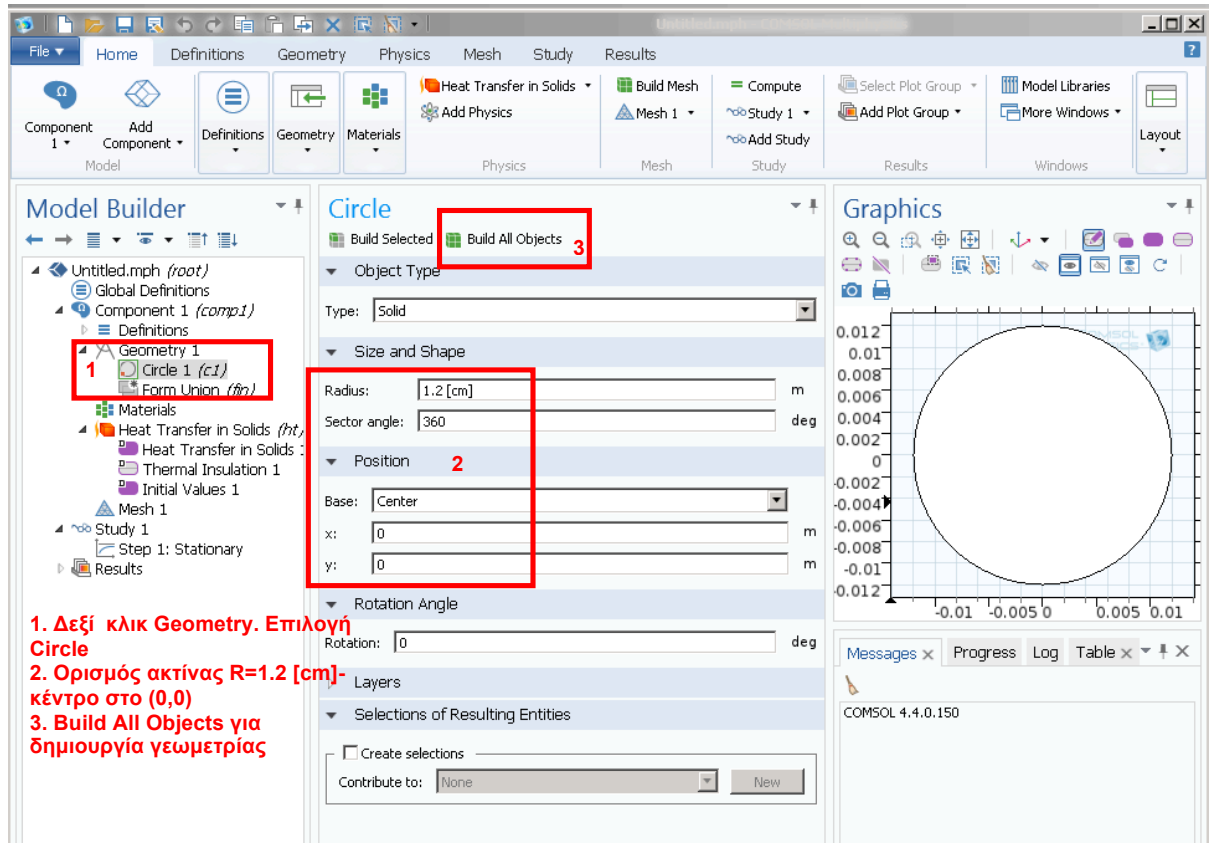
5. Στη λίστα **Preset Studies**, επιλέγουμε **Stationary** μετά πατάμε και



B. Σχεδίαση γεωμετρίας και ορισμός υλικού από τη βιβλιοθήκη

B. 1 Σχεδίαση γεωμετρίας

- Στο **Model Builder**, κάνουμε δεξί κλικ στο **Geometry 1** και επιλέγουμε **Circle**. Τότε εμφανίζεται στη λίστα του **Geometry 1** το **Circle 1 (c1)**
- Με αριστερό κλικ στο **Circle 1 (c1)**, εμφανίζεται ο πίνακας **Circle** όπου μπορούν να δοθούν οι διαστάσεις της γεωμετρίας:



Για να ολοκληρωθεί η γεωμετρία επιλέγουμε το **Build All Objects** οπότε στο δεξί μέρος της επιφάνειας εργασίας στο **Graphics** εμφανίζεται ο κύκλος που ορίσαμε. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για τη δημιουργία δεύτερου κύκλου με ακτίνα 1 cm και κέντρο στο (0,0).

- Δημιουργία της διαφοράς δύο κύκλων:

Δεξί κλικ **Geometry 1** > **Boolean Operations** > **Difference**

Ανοίγει το παράθυρο επιλογών **Difference** όπου ορίζουμε

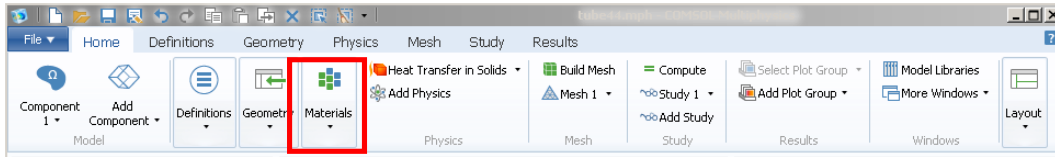
- Το σχήμα από το οποίο θα αφαιρέσουμε στο **Objects to add** πατώντας πάνω στο μεγάλο κύκλο στο παράθυρο **Graphics**
- Το σχήμα που θα αφαιρεθεί στο **Objects to subtract** πατώντας πάνω στο μικρό κύκλο στο παράθυρο **Graphics**
- Στο τέλος επιλέγουμε **Build all objects** για να δημιουργηθεί η γεωμετρία

Στο παρακάτω σχήμα αποτυπώνεται αυτή η διαδικασία:

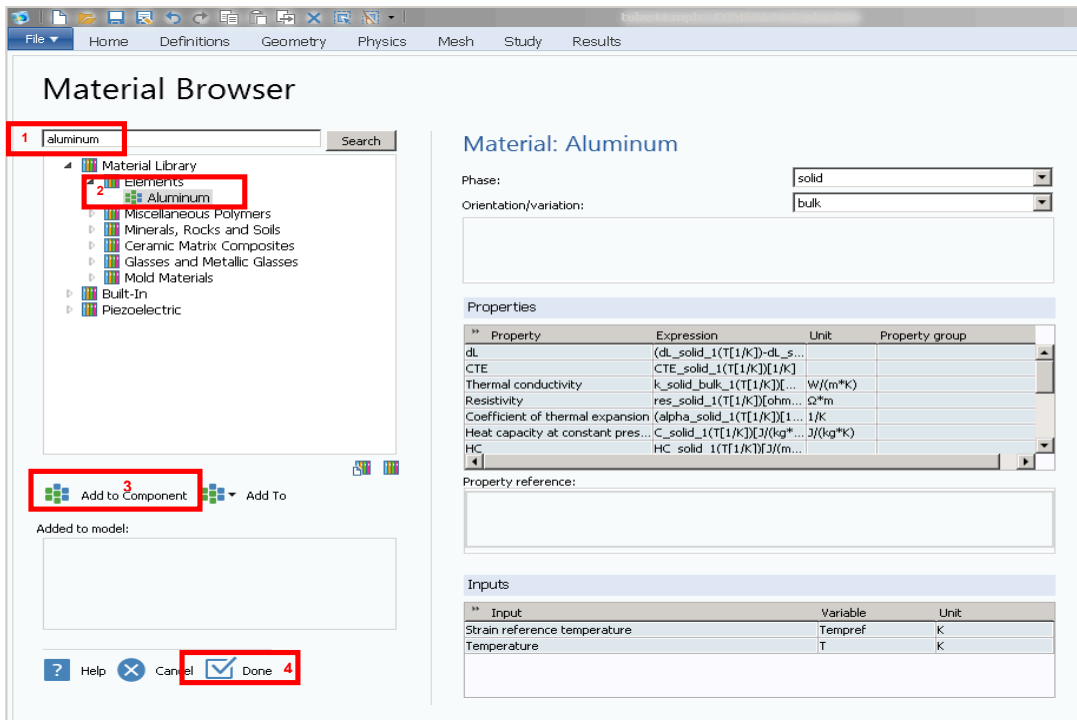
1. Αριστερό κλικ Difference.
2. Καθορισμός μεγάλου κύκλου και μικρού κύκλου που αφαιρείται από το μεγάλο
3. Build All Objects για δημιουργία γεωμετρίας

B. 2 Ορισμός υλικού από τη βιβλιοθήκη

Από το οριζόντιο μενού στο **Materials** επιλέγουμε **Browse Materials**

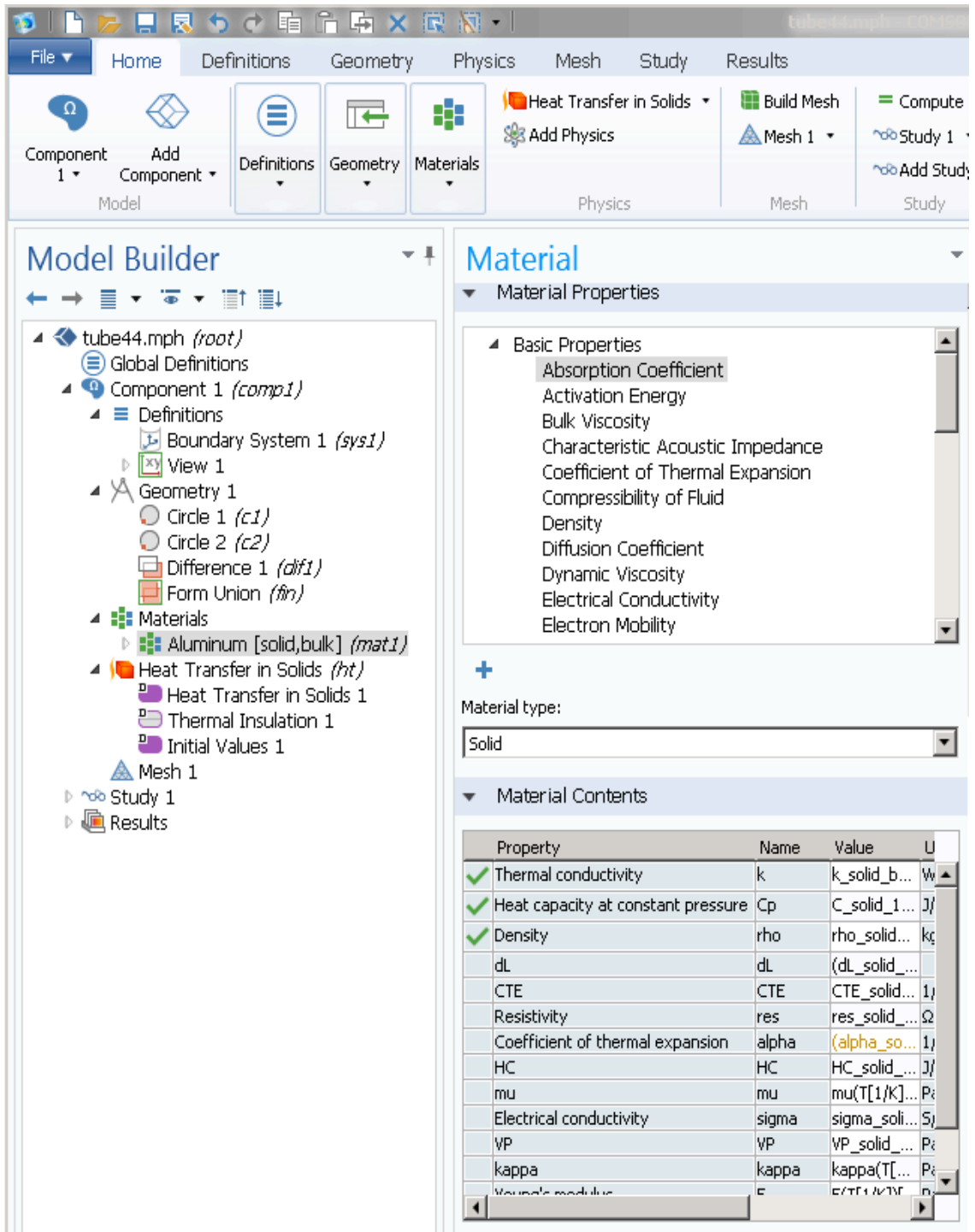


Ανοίγει το παρακάτω το παράθυρο **Material Browser**:



- Στο παράθυρο γράφουμε aluminum και πατάμε **Search**
- Μετά από λίγο εμφανίζονται επιλογές στο παράθυρο και επιλέγουμε **Material library>Elements>Aluminum**. Δεξιά εμφανίζονται οι ιδιότητες του υλικού από τη βιβλιοθήκη
- Επιλέγουμε **Add to component**
- Επιλέγουμε **Done** για να κλείσει αυτό το παράθυρο

Στο **Model Builder** εμφανίζεται το **Aluminum** κάτω από το **Materials**.



Η εξίσωση που επιλέξαμε με το μοντέλο **Heat Transfer in Solids** φαίνεται με αριστερό κλικ στο Heat Transfer in Solids (ht)

Με αριστερό κλικ επιλέγουμε το **Heat Transfer in Solids 1** για να εμφανιστούν οι λεπτομέρειες του μοντέλου

- Heat Transfer in Solids (ht)
 - Heat Transfer in Solids 1

Heat Transfer in Solids

Domain Selection

Selection: All domains

1

Active

Domain στο οποίο επιλύεται η εξίσωση που επιλέχθηκε

Override and Contribution

Equation

Show equation assuming: Study 1, Stationary

$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q$

η εξίσωση που επιλέχθηκε

Model Inputs

Coordinate System Selection

Coordinate system: Global coordinate system

Heat Conduction, Solid

Thermal conductivity: k From material

Thermodynamics, Solid



Density: ρ From material

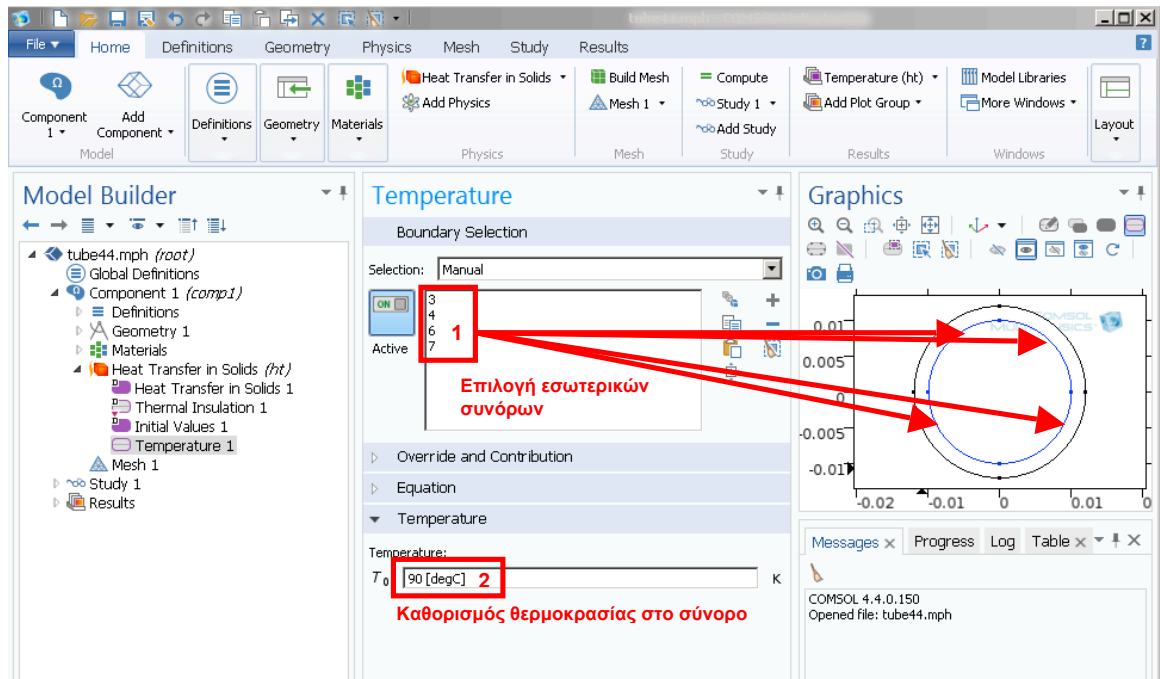
Heat capacity at constant pressure: C_p From material



Φυσικές παράμετροι του προβλήματος που θα πάρουν τιμές από το υλικό της βιβλιοθήκης που ορίσαμε

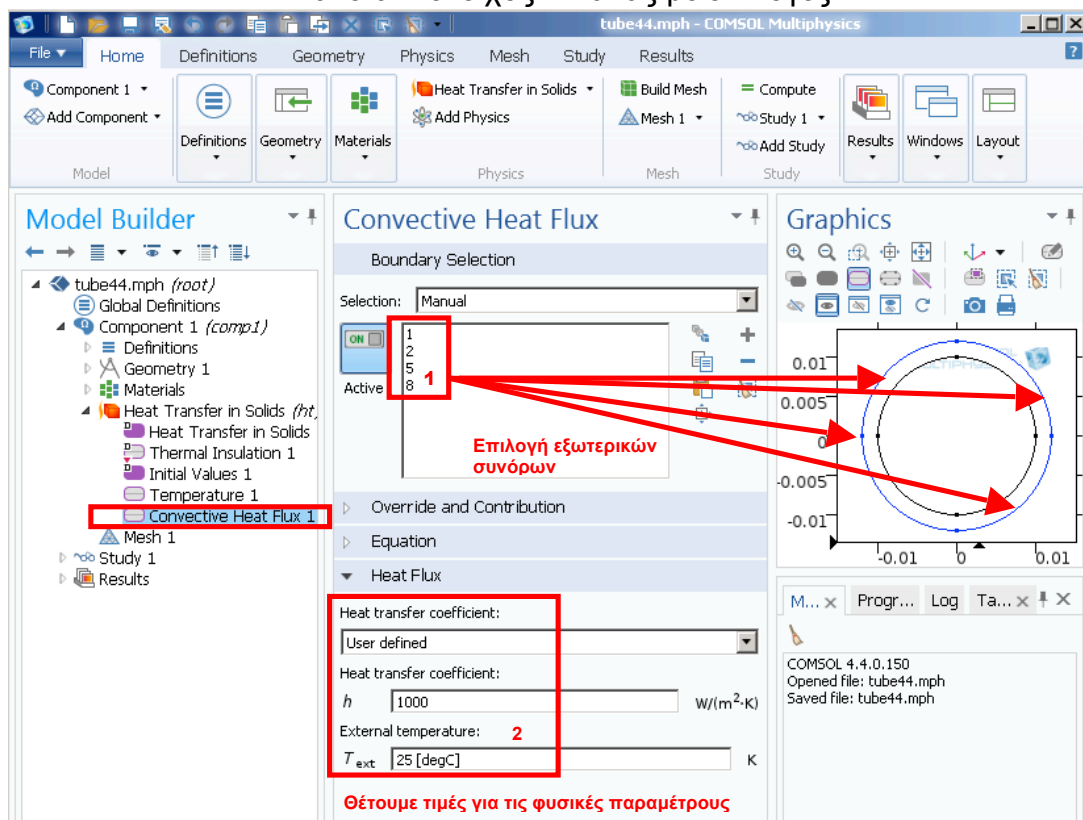
Γ. Ορισμός συνοριακών συνθηκών και επιλογή πλέγματος διακριτοποίησης

Γ. 1 Ορισμός Συνοριακών Συνθηκών


Επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των συνοριακών συνθηκών στην εσωτερική επιφάνεια του αγωγού. Με δεξί κλικ στο  Heat Transfer in Solids (ht) επιλέγουμε **Temperature** οπότε στη λίστα εμφανίζεται το σύμβολο  Temperature 1 και ο αντίστοιχος πίνακας με επιλογές:

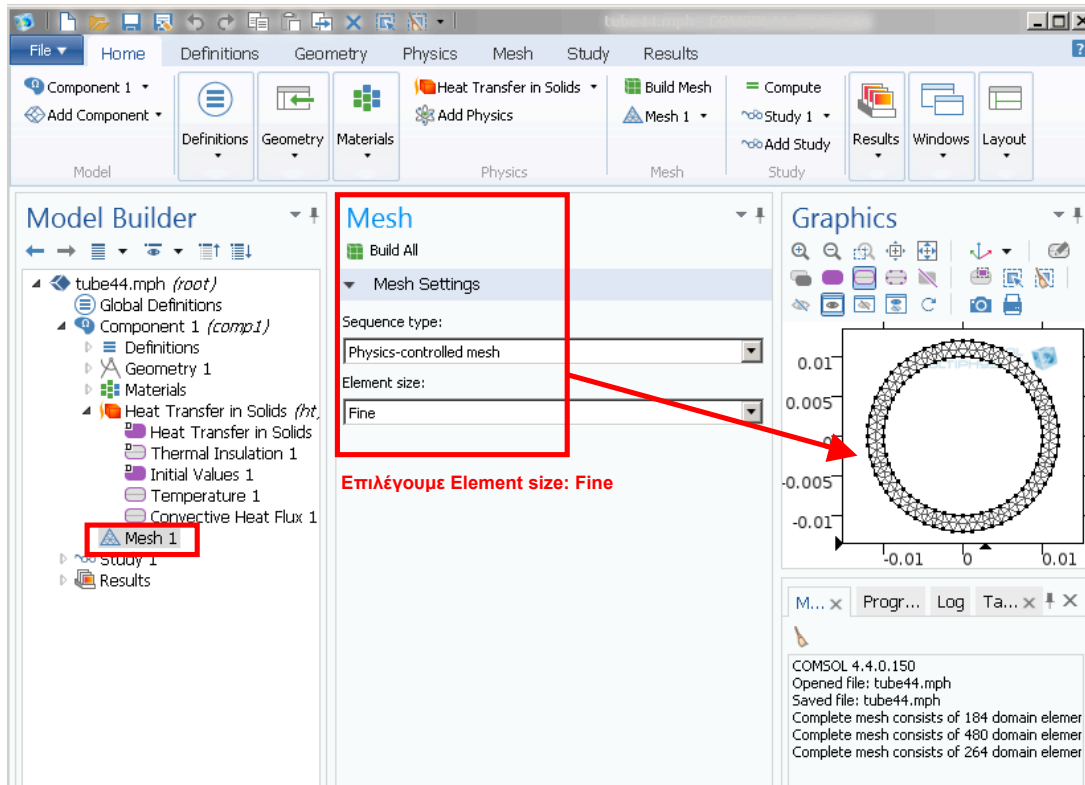



Επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των συνοριακών συνθηκών στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού. Με δεξί κλικ στο  Heat Transfer in Solids (ht) επιλέγουμε το **Convective Heat Flux** οπότε στη λίστα εμφανίζεται το σύμβολο  Convective Heat Flux 1 και ο αντίστοιχος πίνακας με επιλογές:



Γ. 2 Επιλογή πλέγματος διακριτοποίησης

Ακολουθεί ο χωρισμός της γεωμετρίας επίλυσης με πλέγμα (Mesh) κάνοντας αριστερό κλικ στο  Mesh 1 οπότε εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας με επιλογές:

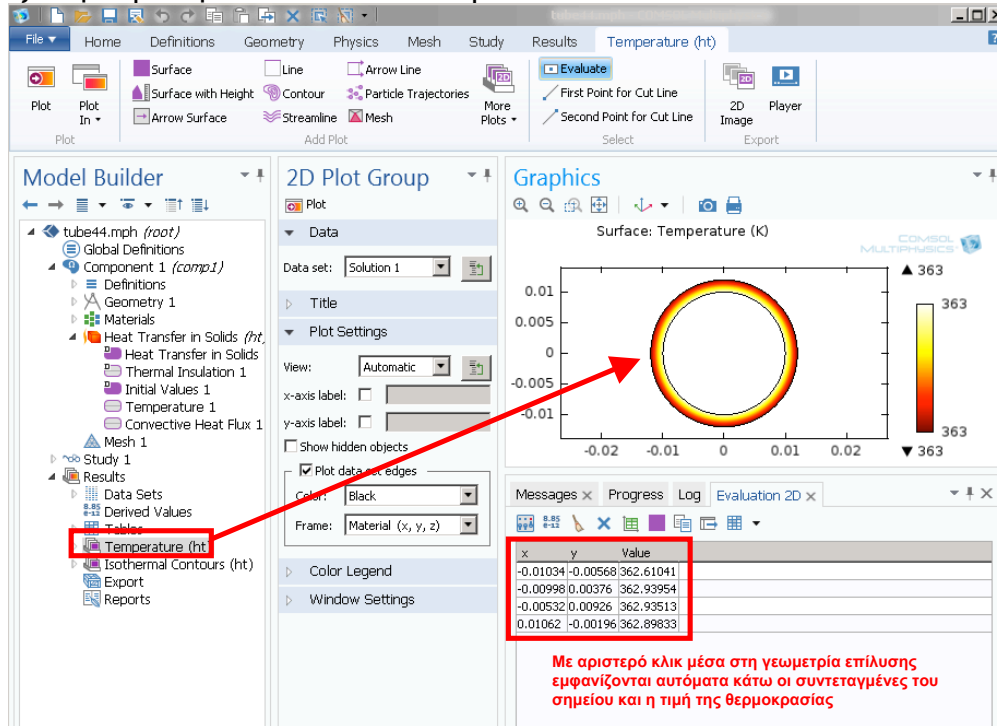



Με δεξί κλικ στο **Study 1** εμφανίζεται ο αντίστοιχος πίνακας με επιλογές όπου επιλέγουμε  Compute

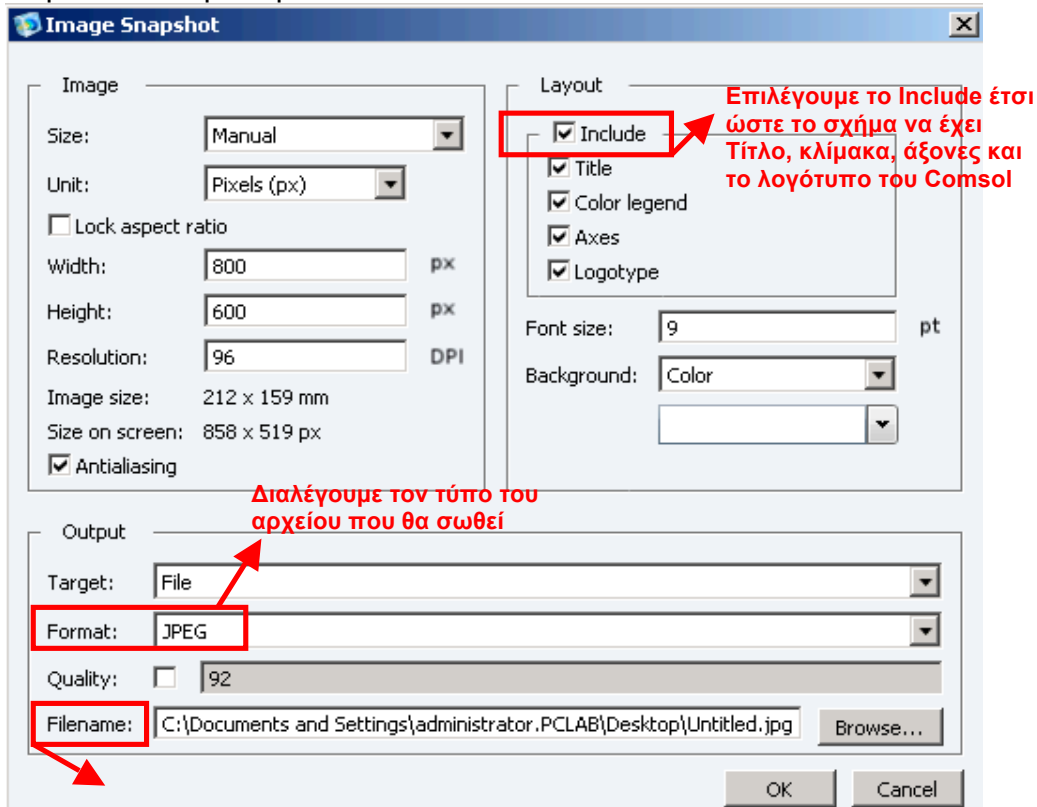
Δ. Αποτελέσματα

Δ. 1 Αποτελέσματα που εμφανίζονται αυτόματα με την επίλυση

Το πρόγραμμα παράγει από μόνο του κάποιες κατανομές ανάλογα με το μοντέλο φυσικής που επιλύεται. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παράγεται η κατανομή θερμοκρασίας **Surface plot: Temperature (K)**. Με τη βοήθεια της χρωματικής κλίμακας στα δεξιά μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια είναι 363 K ή 90 °C .

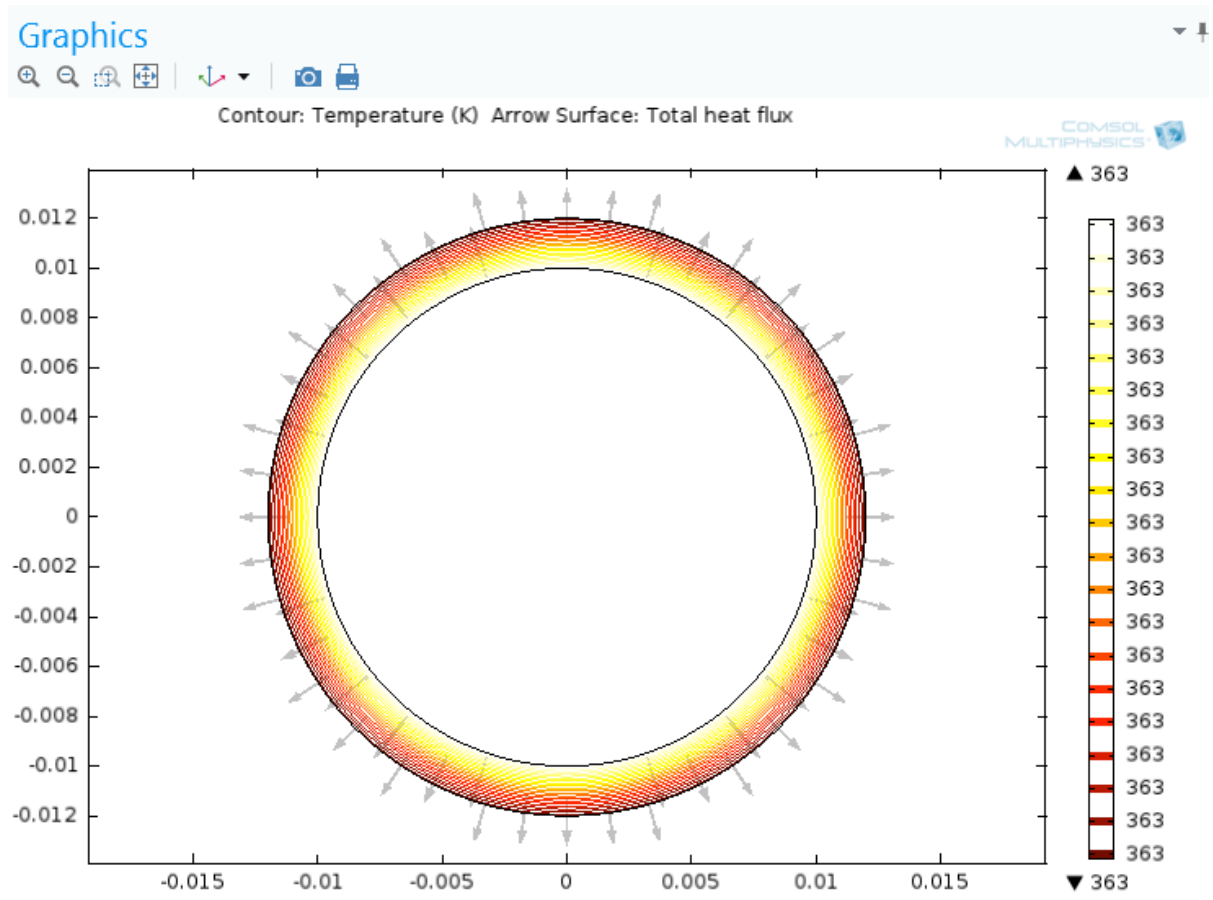


Η εικόνα αυτή μπορεί να σωθεί ως αρχείο πατώντας το  οπότε εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο



Στο δέντρο των αποτελεσμάτων, κάτω από το **Isothermal contours** υπάρχει το **Contour 1** και το **Arrow Surface 1**. Αυτά παράγουν την παρακάτω εικόνα

- ▲ Isothermal Contours (ht)
 - Contour 1
 - ➔ Arrow Surface 1



Τα βέλη δείχνουν ότι η ροή θερμότητας γίνεται από το θερμότερο σύνορο (εσωτερικό) προς το ψυχρότερο εξωτερικό.

Δ. 2 Προσθήκη μόνωσης από nylon

Δ. 2. 1 Δημιουργία γεωμετρίας

Θέλουμε να προσθέσουμε γύρω από τον αγωγό, μονωτικό φιλμ από Nylon και να επαναλάβουμε τη μελέτη, προκειμένου να προσδιοριστεί εκ νέου η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού.

- Επαναλαμβάνεται το βήμα 6 για σχεδίαση κύκλου με κέντρο το (0, 0) και ακτίνα $R1=1.2$ cm
- Επαναλαμβάνεται το βήμα 6 για σχεδίαση κύκλου με κέντρο το (0, 0) και ακτίνα $R1=1.22$ cm
- Δημιουργία της διαφοράς δύο κύκλων:

Δεξί κλικ **Geometry 1 > Boolean Operations > Difference**

Ανοίγει το παράθυρο επιλογών Difference όπου ορίζουμε

Το σχήμα από το οποίο θα αφαιρέσουμε στο **Objects to add** πατώντας πάνω στο μεγάλο κύκλο στο παράθυρο Graphics

Το σχήμα που θα αφαιρεθεί στο **Objects to subtract** πατώντας πάνω στο μικρό κύκλο στο παράθυρο Graphics

Στο τέλος επιλέγουμε **Build all objects** για να δημιουργηθεί η γεωμετρία

Δ. 2. 2 Προσθήκη νέου υλικού (nylon)

Ακολουθούμε τα βήματα που αναγράφονται στο παρακάτω σχήμα για τη δημιουργία νέου υλικού (nylon)

1. Με δεξί κλικ στο Materials επιλέγουμε Add New Material
2. Γράφουμε nylon και πατάμε search
3. Επιλέγουμε το Nylon κάτω από το μενού Built In
4. Επιλέγουμε Add to component

Πρέπει να δηλώσουμε ποιά γεωμετρία αντιστοιχεί σε ποιο υλικό:

- Εσωτερικός σωλήνας -> Αλουμίνιο
- Εξωτερικός δακτύλιος -> nylon

Property	Name	Value	Unit
Heat capacity at constant pressure	Cp	1700	J/(kg... K)
Density	rho	1150	kg/m ³
Thermal conductivity	k	0.26	W/(m... K)
Relative permittivity	epsilon_r	4	1
Coefficient of thermal expansion	alpha	280e-6	1/(m... K)
Young's modulus	E	2e9	Pa
Poisson's ratio	nu	0.4	1

1. Αριστερό κλικ στο Nylon(mat2)
2. Επιλέγουμε με κλικ στο σχήμα τη γεωμετρία που θέλουμε να έχει ιδιότητες του νέου υλικού
3. Οι ιδιότητες του υλικού φαίνονται στη λίστα

1. Αριστερό κλικ στο Mesh 1
 2. Επιλέγουμε Element Size -> Fine
 3. Με Build All εμφανίζεται το πλέγμα στη νέα γεωμετρία

Δ. 2. 3 Νέες συνοριακές συνθήκες

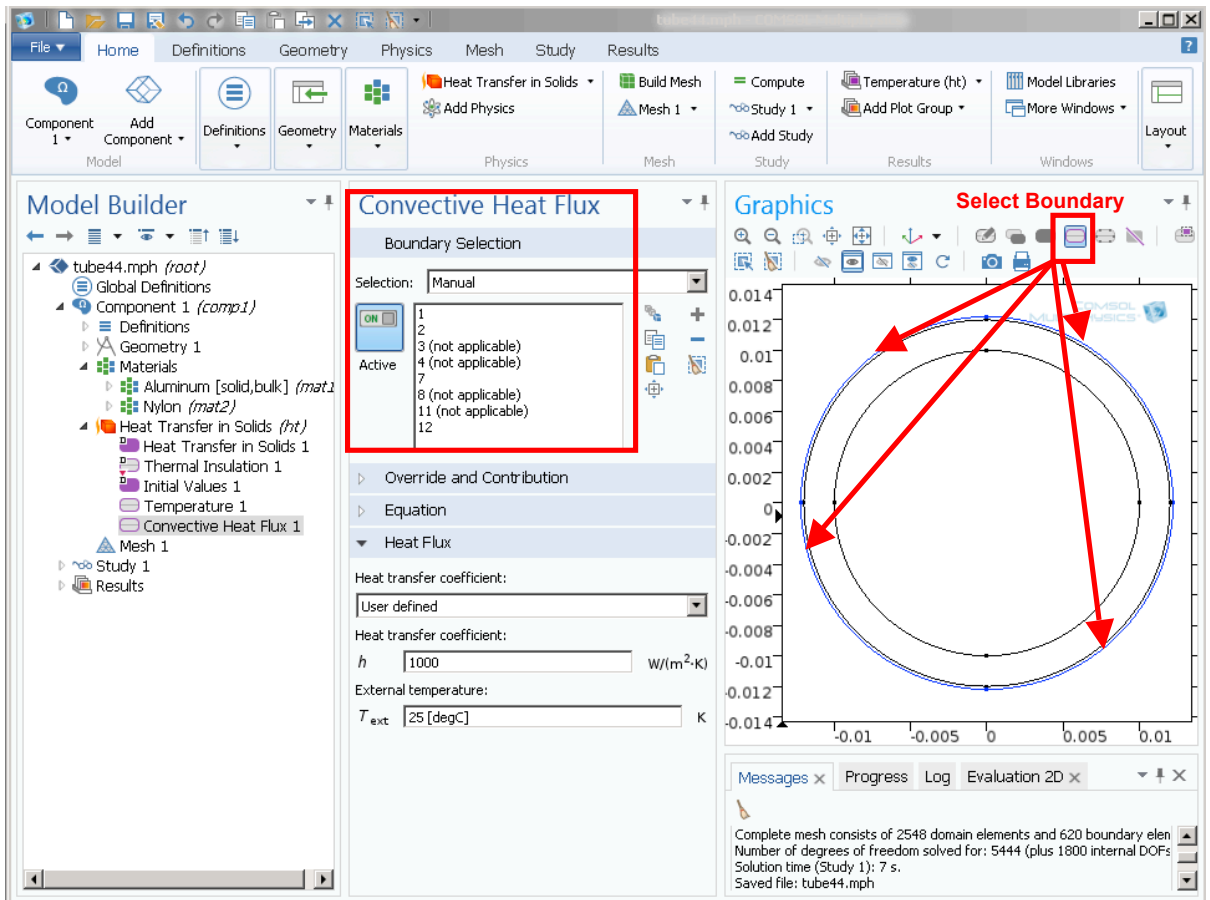
Στο **Model Builder**, κάτω από **Heat Transfer in Solids (ht)** παρατηρούμε ότι το **Convective Heat Flux 1** που είχαμε ορίσει προηγουμένως, φαίνεται ότι δεν είναι πλέον Active στα boundaries που είχαμε ορίσει πριν διότι είναι πλέον εσωτερικά σύνορα στη γεωμετρία.

Boundary Selection

Selection:	Manual
3	(not applicable)
4	(not applicable)
8	(not applicable)
11	(not applicable)

Heat transfer coefficient: User defined
 Heat transfer coefficient: $h = 1000 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
 External temperature: $T_{\text{ext}} = 25 \text{ [degC]}$

Πρέπει να ορίσουμε την ίδια συνοριακή συνθήκη στα νέα εξωτερικά σύνορα. Στο παράθυρο **Graphics** επιλέγουμε το εικονίδιο **Select Boundary** (βλ. Σχήμα) και με κλικ πάνω στα νέα εξωτερικά σύνορα τα επιλέγουμε. Τα νέα σύνορα εμφανίζονται στο παράθυρο **Convective Heat Flux**

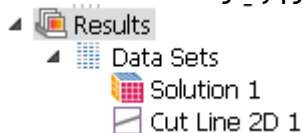


Κάνουμε δεξί στο **Study 1** εμφανίζεται ο αντίστοιχος πίνακας με επιλογές όπου επιλέγουμε **Compute**

Από νέα κατανομή θερμοκρασίας προκύπτει ότι η θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια είναι 335 K ή 62 βαθμοί Κελσίου άρα υπάρχει σημαντική διαφορά λόγω της μόνωσης nylon.

Δ. 2. 4. Κατανομή θερμοκρασίας κατά μήκος της ακτίνας

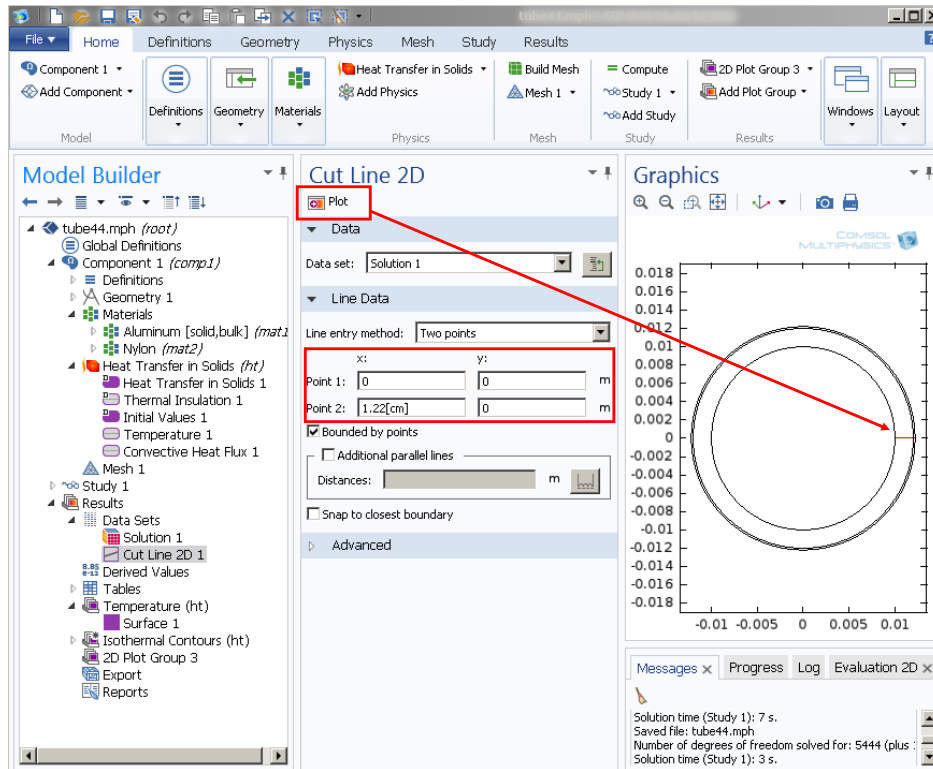
- Με δεξί κλικ στο **Data Sets** επιλέγουμε **Cut Line 2D** το οποίο εμφανίζεται κάτω από το **Data Sets** ως εξής:



- Με αριστερό κλικ στο **Cut Line 2D** εμφανίζεται το παράθυρο όπου πρέπει να καθορίσουμε τη γραμμή κατά μήκος της οποίας θα σχεδιαστή η επιθυμητή κατανομή. Δηλαδή πρέπει να ορίσουμε τις συντεταγμένες δύο σημείων που καθορίζουν την ακτίνα του κύκλου:

Point 1 (x,y)=(0,0)

Point 2 (x,y) = (1.22 cm, 0)



- Με δεξί κλικ το επιλέγουμε το **1D Plot Group** οπότε εμφανίζεται στα **Results** η αντίστοιχη εικόνα

- Με δεξί κλικ στο επιλέγουμε οπότε εμφανίζεται:



Πατώντας πάνω στο **Line Graph 1** εμφανίζεται το μενού επιλογών σχεδίασης:

