ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Επιβλέπων καθηγητής:

Στρωτός Γεώργιος

Υπεύθυνοι σπουδαστές:

Καραγεωργίου Παναγιώτης

Μηναΐδης Κωνσταντίνος

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση προβλημάτων που αφορούν την μετάδοση θερμότητας. Η αντιμετώπιση αυτών πραγματοποιήθηκε τόσο σε θεωρητικό όσο και σε υπολογιστικό επίπεδο με τη χρήση του προγράμματος heat2D.exe του οποίου ο δημιουργός είναι ο κ. Γεώργιος Στρωτός. Η λειτουργία του συγκεκριμένου προγράμματος επιβεβαιώθηκε με την σύγκριση των υπολογιστικών λύσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες θεωρητικές. Τα πεδία με τα οποία ασχοληθήκαμε ήταν τα εξής: Προβλήματα μόνιμης κατάστασης μονοδιάστατης ροή θερμότητας σε καρτεσιανές και κυλινδρικές συντεταγμένες, δισδιάστατη ροή θερμότητας σε επίπεδη πλάκα και τέλος πτερύγια.

Abstract

Purpose of this thesis is the examination of problems concerning the study of Heat Transfer. The anticipation of these problems was done according to theory and using the program heat2D.exe by Mr. George Strotos. The ability of the program to solve correctly enough the problems was proved by comparing the theoretical solutions with the computed by the program. The fields of this thesis are the following: Steady state problems in one dimension (planar walls & ax symmetric), 2-Dimensional problems and heat transfer problems through fins.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα heat2D.exe για να δουλέψει χρειάζεται απαραίτητα 3 αρχεία : το input.inp, το grid.inp και το boundary.inp. Υπάρχουν επίσης τα βοηθητικά αρχεία time_boundary.inp, block_boundary.inp , library_solid.inp και library_fluid.inp.
Το βασικό αρχείο είναι το input.inp το οποίο περιέχει όλες τις ρυθμίσεις του προγράμματος. Το όνομά του μπορεί να αλλάξει αν κάποιος τρέξει το πρόγραμμα μέσω DOS. Από το command prompt του DOS, πηγαίνουμε στο folder που είναι τοποθετημένο το πρόγραμμα και γράφουμε:
heat2D.exe .\input_giorgos.inp (press ENTER)
Τώρα τρέχει το πρόγραμμα με αρχείο εισόδου το input_giorgos.inp

1.1 Αρχείο Input.inp

Οι μεταβλητές που υπάρχουν στο αρχείο input.inp αφορούν την επίλυση του προβλήματος, τον τρόπο τύπωσης των αποτελεσμάτων, το αρχείο του πλέγματος, το αρχείο των οριακών συνθηκών και κάποιες βοηθητικές μεταβλητές. Όλα τα μεγέθη δίνονται σε μονάδες SI, δηλαδή Kelvin, W/m^2, κτλ.

1.2 Αρχείο Grid.inp

Το αρχείο grid.inp (δίνεται στη μεταβλητή problem% gridinputfilename του input.inp) είναι βασικό αρχείο στο οποίο καθορίζονται οι ιδιότητες των κελιών. Καθορίζει το πλέγμα καθώς και τις ιδιότητες στις διάφορες περιοχές του πλέγματος (layers).
Το πλέγμα κατασκευάζεται στο αρχείο grid.inp και μπορεί να είναι απλό ομοιόμορφο, με περιοχές πλέγματος, με εκθετική πύκνωση συμμετρική ή όχι. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, θα παρουσιάσουμε ένα χωρίο 1x1 με 10x10 κελιά, ενώ το πλέγμα κατά y θα είναι ομοιόμορφο. Προσέχουμε αν το πρόβλημα είναι αξονοσυμμετρικό να θέσουμε problem%symmetrical2d=1.

```
problem%nregionsy= 1
problem%ncelly(1)=  10
problem%lengthy(1)=1.0
problem%expy(1)=   1.0
problem%expy_sym(1)=     0
```

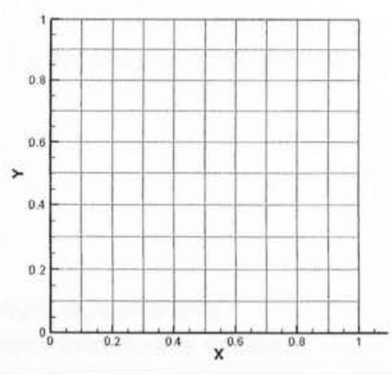
problem%nregionsx= 1

problem%ncellx(1)= 10

problem%lengthx(1)= 1.0

problem%expx(1)= 1.0

problem%expx_sym(1)=0



Σχήμα: ομοιόμορφο πλέγμα προϊόν του αρχείου grid.inp

1.3 Αρχείο boundary.inp

Το αρχείο boundary.inp (δίνεται στο βασικό αρχείο input.inp με τη μεταβλητή problem%boundaryfilename) περιέχει τις οριακές συνθήκες των ορίων καθώς επίσης καθορίζει αν οι οριακές συνθήκες μεταβάλλονται με το χρόνο (μεταβλητή problem%timeboundaryfilename) και ποια είναι τα μπλοκαρισμένα κελιά του πλέγματος (μεταβλητή problem%blockboundaryfilename)

Οι οριακές συνθήκες δίνονται με βάση τον τύπο problem%boundary(**i**)%... όπου i είναι ο αύξων αριθμός του ορίου. Σε μια τυπική περίπτωση έχουμε 4 όρια: EAST, WEST, NORTH, SOUTH που αντιστοιχούν σε i=1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα. Έτσι όταν έχουμε problem%boundary(**1**)%... αναφερόμαστε στο ανατολικό όριο. Στη συνέχεια αναφερόμαστε σε οριακές συνθήκες ανατολικού ορίου (i=1) και τα ίδια ισχύουν για τα υπόλοιπα όρια

1.3.1 Παρουσίαση ενός τυπικού αρχείου boundary.inp

Το κάθε όριο δέχεται τις δικές του οριακές συνθήκες
problem%boundary(1)%ibound = **3** (*συναγωγή*)
problem%boundary(2)%ibound = **3** (*συναγωγή*)
problem%boundary(3)%ibound = **2** (*θερμοροή*)
problem%boundary(4)%ibound = **1** (*σταθερή θερμοκρασία*)

Αφού ορίσουμε το είδος της οριακής συνθήκης, πρέπει να ορίσουμε την τιμή της
Για east έχουμε βάλει μόνο συναγωγή (θέτουμε ε=0)
problem%boundary(1)%h= 8.0
problem%boundary(1)%temp_inf= 293.0
problem%boundary(1)%emmisivity= 0.00 (δεν συμπεριλαμβάνεται ακτινοβολία αφού ε=0.0)

Για west έχουμε βάλει συναγωγή+ακτινοβολία

problem%boundary(2)%h= 16.0
problem%boundary(2)%temp_inf= 283.0
problem%boundary(2)%emmisivity= 0.10 (συμπεριλαμβάνεται ακτινοβολία αφού ε=0.1)
problem%boundary(2)%temp_rad= 270.0

Για north έχουμε βάλει θερμοροή
problem%boundary(3)%q=0.0 (αδιαβατικό)
Για south έχουμε βάλει σταθερή θερμοκρασία
problem%boundary(4)%ibound= 1 / σταθερή θερμοκρασία
problem%boundary(4)%temp= 600.0 / θερμοκρασία νότιου άκρου

2 Μόνιμη μονοδιάστατη αγωγή θερμότητας

2.1 Καρτεσιανές συντεταγμένες

2.1.1 Γενικές ρυθμίσεις που ακολουθούν όλα τα παραδείγματα

Input files

Grid.inp

I) Στο αρχείο grid.inp επιλέγουμε το πλήθος των κελιών που θα χωρίσουμε το πλέγμα κατά τους άξονες x και y αντίστοιχα. Επιλέγουμε 10 κελιά στον άξονα x καθώς στα προβλήματα που θα εξετάσουμε η θερμοροή πραγματοποιείται κατά μήκος του άξονα x ενώ στο άξονα y μόλις 5 καθώς κατά μήκος του άξονα y δεν έχουμε επιλέξει να μην έχουμε ροή θερμότητας. Επίσης δίνουμε τις διαστάσεις του πλέγματος 0.1m κατά τον άξονα x και 0.05m κατά τον άξονα y αντίστοιχα.

Διαστάσεις πλέγματος

&list3	problem%ncellx(1)=	10	/ πλήθος κελιών στον άξονα x
&list3	problem%lengthx(1)=	0.1	/ μήκος άξονα x
&list3	problem%ncelly(1)=	5	/ πλήθος κελιών στον άξονα y
&list3	problem%lengthy(1)=	0.05	/ μήκος άξονα y

II) Στο δεύτερο μέρος του αρχείου grid.inp εισάγουμε τις ιδιότητες του υλικού, πρώτα τον συντελεστή αγωγιμότητας, τον οποίο τον έχουμε ορίσει κ=401W/mK, έπειτα την πυκνότητα ρ=8,933kg/m^3, και τέλος τον συντελεστή θερμοχωρητικότητας Cp=3,87J/KgK.

Ιδιότητες υλικού

&list4 layer(1)%cond1 = 401.0 / συντελεστής αγωγιμότητας κ
&list4 layer(1)%density1 = 8933.0 / πυκνότητα ρ
&list4 layer(1)%cp1 = 385.0 / συντελεστής θερμοχωρητικότητας Cp

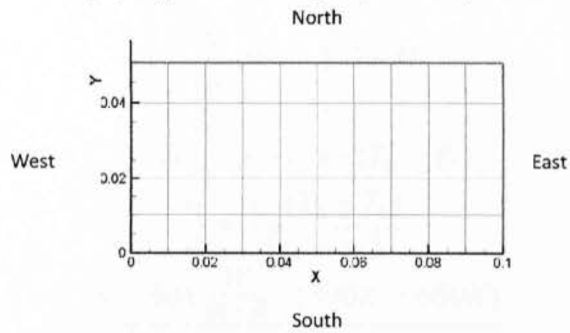
File input.inp

Στο αρχείο input.inp ορίζουμε τις συνθήκες του προβλήματος, πρώτον ότι το πρόβλημα είναι μόνιμης κατάστασης, τον συντελεστή υποχαλάρωσης, ένα κριτήριο επιλογής για τον τερματισμό της επίλυσης και το όριο σύγκλισης καθώς και ότι το πρόβλημα το αν ροή θερμότητας θα είναι ακτινική ή σε καρτεσιανές συντεταγμένες.

&list3	problem%timedependant=	0	/ μόνιμο πρόβλημα
&list3	problem%urf1=	1.0	/ συντελεστής υποχαλάρωσης
&list3	problem%residuals_test=	5	/ κριτήριο επιλογής για το τερματισμό της επίλυσης
&list3	problem%maxreslim=	1.0e-6	/ όριο σύγκλισης
&list3	problem%symmetrical2d=	0	/ καρτεσιανές συντεταγμένες

File boundary.inp

Στο αρχείο boundary.inp επιλέγουμε τις συνθήκες που επικρατούν στο εκάστοτε πρόβλημα. Καλούμε το αριστερό άκρο της εκάστοτε ράβδου ως δεξί «ανατολή (east)» και το αριστερό άκρο της ράβδου ως «δύση (west)» . Αντίστοιχα το κάτω άκρο της ράβδου καλείται ως «νότος (south)» και το πάνω άκρο της ράβδου «βορράς (north)». (Σχήμα 1). Οι συνθήκες αυτές αλλάζουν ανάλογα με το κάθε πρόβλημα και θα τις παραθέτουμε σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

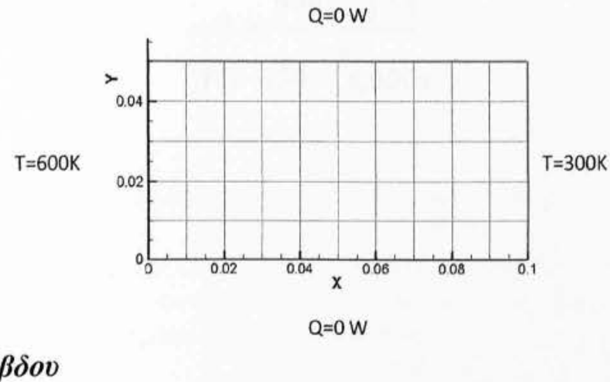


Σχήμα 1: γενική μορφολογία πεδίου

2.1.2 Οριακές συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Στο ανατολικό (από αριστερά) της άκρο επικρατεί μία σταθερή θερμοκρασία T=600K και στο δυτικό της (από δεξιά) επικρατεί μία θερμοκρασία T=300K. Στο βόρειο και νότιο (πάνω και κάτω αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμορροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό). Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2: Απεικόνιση ράβδου

- Θεωρητική επίλυση

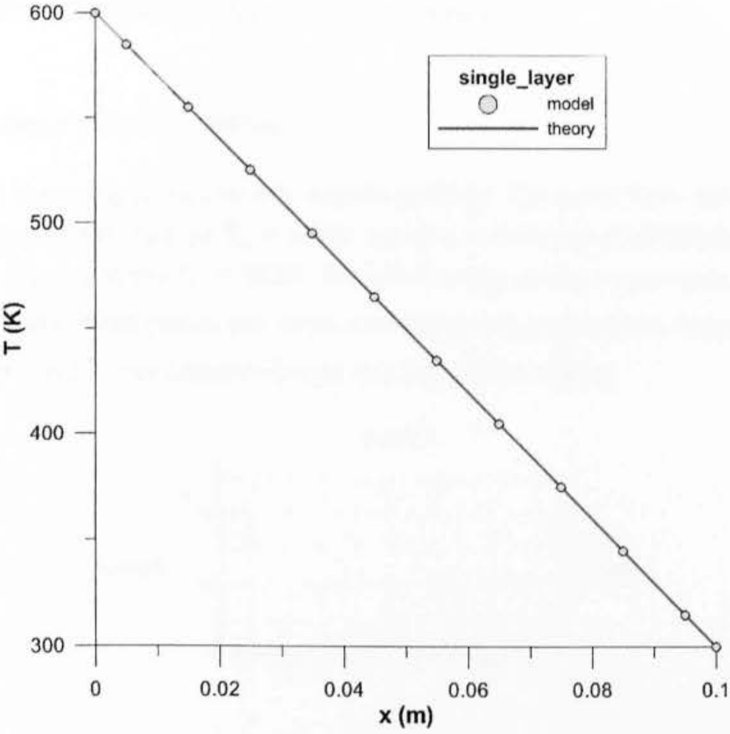
- Υπολογισμός ροής θερμότητας:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$
$$\partial x \cdot Q = k \cdot A \cdot \partial T$$
$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{Q}{A}\, dx = \int_{T_1}^{T_2} k \cdot dT$$
$$\frac{Q}{A} \cdot (x_2 - x_1) = k \cdot (T_2 - T_1)$$
$$\frac{Q}{A} = \frac{k \cdot (T_2 - T_1)}{(x_2 - x_1)}$$
$$\frac{Q}{A} = \frac{401 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (300K - 600K)}{0.1m}$$
$$\frac{Q}{A} = 1{,}203{,}000 \frac{W}{m^2}$$

- Εύρεση θερμοκρασιακής διανομης:

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$
$$\partial x \cdot Q = -k \cdot A \cdot \partial T$$
$$\int_{0}^{\chi} \frac{Q}{A} dx = -\int_{600}^{T} k\, dT$$
$$\frac{Q}{A} \cdot (\chi - 0) = k \cdot (600 - T)$$
$$T = \frac{600 - \frac{Q}{A} \cdot x}{k}$$
$$T = 600 - 3{,}000x$$

Στο Σχήμα 3 βλέπουμε τη θερμοκρασιακή διανομή της ράβδου. Με συνεχή γραμμή παρουσιάζεται η θεωρητικη λύση ένω κάθε κουκίδα αντιστοιχεί στην τιμή που υπολογίζει το μοντέλο σε κάθε πλεγματική γραμμή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι το πρόγραμμα υπολογίζει τιμές στα κέντρα των κελιών και οι τιμές στις πλεγματικές γραμμές προκύπτουν με καταλληλη παρεμβολή.



Σχήμα 3: ***Γραφική παράσταση θερμοκρασίας κατά μήκος του άξονα χ.***

File boundary.inp

Στο αρχείο boundary.inp επιλέγουμε τις συνθήκες που επικρατούν στο συγκεκριμμενο πρόβλημα.
Καλούμε το αριστερό άκρο της εκάστοτε ράβδου ως δεξί «ανατολή (east)» και το αριστερό άκρο της ράβδου ως «δύση (west)» . Αντίστοιχα το κάτω άκρο της ράβδου καλείται ως «νότος (south)» και το πάνω άκρο της ράβδου «βορράς (north)».

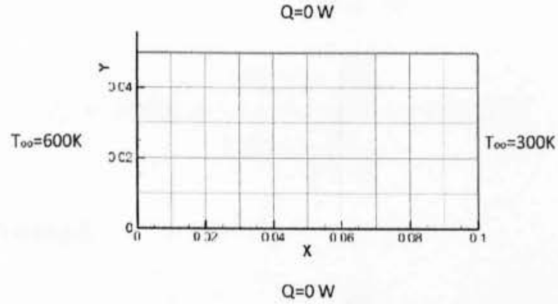
```
! EAST
&list3   problem%boundary(1)%ibound=  1       / σταθερή θερμοκρασία
&list3   problem%boundary(1)%temp=    300.0   / θερμοκρασία ανατολικού άκρου
! WEST
&list3   problem%boundary(2)%ibound=  1       / σταθερή θερμοκρασία
&list3   problem%boundary(2)%temp=    600.0   /θερμοκρασία δυτικού άκρου
! NORTH
```

&list3 problem%boundary(3)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(3)%q=0.0 /
! SOUTH
&list3 problem%boundary(4)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(4)%q=0.0 /

2.1.3 Οριακές συνθήκες συναγωγής και στα δύο άκρα

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Στο ανατολικό (από αριστερά) της άκρο διέρχεται αέρας παράλληλα με $T_\infty = 600K$ και στο δυτικό της (από δεξιά) διέρχεται παράλληλα αέρας θερμοκρασία $T_\infty = 300K$. Ο συντελεστής συναγωγιμότητας ορίζεται $h_\infty = 1000\frac{W}{m^2}$. Στο βόρειο και νότιο (πάνω και κάτω αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν. Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4: **απεικόνιση ράβδου**

- Θεωρητική επίλυση

- Υπολογισμός ολικής θερμικής αντίστασης

$$R_{tot} = R_{\infty w} + R_L + R_{\infty e} = +\frac{1}{h_{\infty w} \cdot A} + \frac{L}{k \cdot A} + \frac{1}{h_{\infty e} \cdot A}$$

$$R_{tot} = \left(\frac{1}{1{,}000\frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0.1m}{401\frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{1{,}000\frac{W}{m^2 \cdot K}} \right)$$

$$R_{tot} = 0.00225K \cdot w^{-1} \cdot m^2$$

- Υπολογισμός ρυθμού ροής θερμότητας

$$\frac{Q}{A} = \frac{(T_{\infty w} - T_{\infty e})}{R_{tot}}$$
$$\frac{Q}{A} = \frac{(600K - 300K)}{0.00225K \cdot w^{-1} \cdot m^2} = 133{,}333 \frac{W}{m^2}$$

- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_w:

$$T_w = T_{\infty w} - \frac{Q}{h_{\infty w} \cdot A}$$

$$T_w = 600K - \frac{133{,}333 \ \frac{W}{m^2}}{1{,}000 \frac{W}{m^2 \cdot K}} = 466{,}6K$$

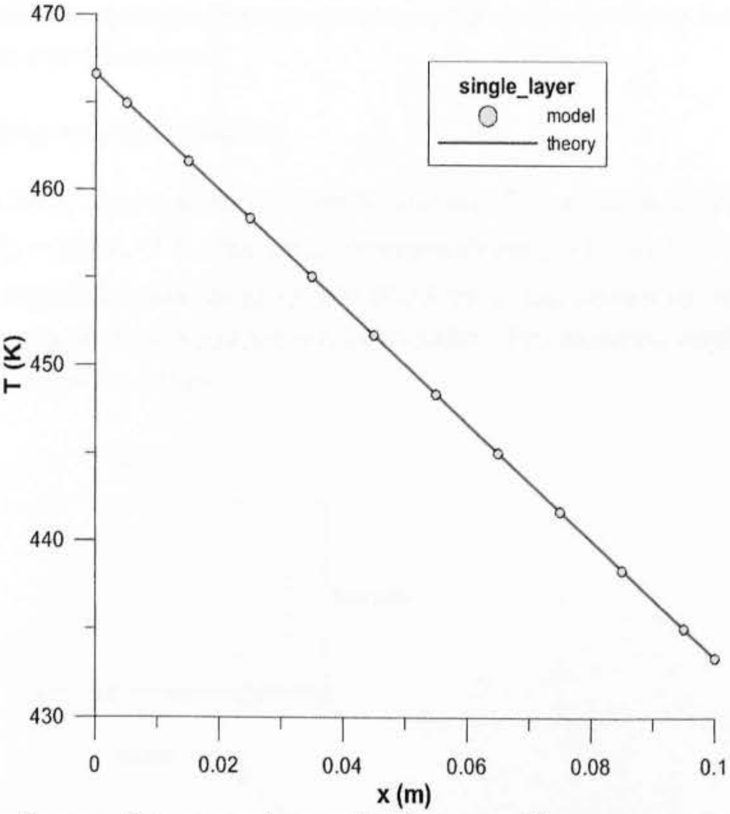
- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_e:

$$T_e = T_{\infty e} + \frac{Q}{h_{\infty e} \cdot A}$$

$$T_e = 300K + \frac{133{,}333 \ \frac{W}{m^2}}{1{,}000 \frac{W}{m^2 \cdot K}} = 433.37K$$

- Θερμοκρασιακή διανομή:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$
$$\partial x \cdot Q = k \cdot A \cdot \partial T$$
$$\int_0^{\chi} Q\, dx = \int_{466.62}^{T} k \cdot A \cdot dT$$
$$Q \cdot (\chi - 0) = k \cdot A \cdot (T - 466.62)$$
$$T = 466.62 - \frac{Q \cdot x}{k \cdot A}$$
$$T = 466.62 - 332.59 \cdot \chi$$



Σχήμα 5 ***Γραφική παράσταση θερμοκρασίας κατά μήκος του άξονα χ.***

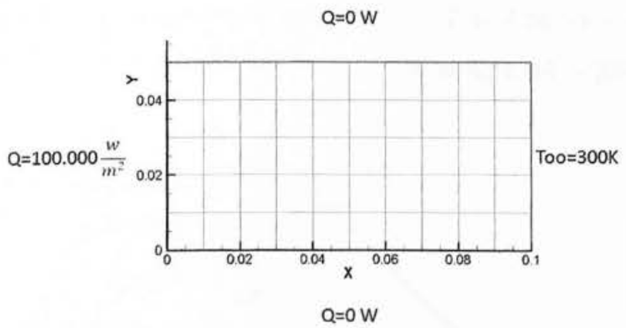
File boundary.inp

```
! EAST
&list3   problem%boundary(1)%ibound=  3          /
&list3   problem%boundary(1)%temp=    0.0        /
&list3   problem%boundary(1)%q=       0.0        /
&list3   problem%boundary(1)%h=       1000.0     / συντελεστής συναγωγιμότητας
&list3   problem%boundary(1)%temp_inf=      300.0 / θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το ανατολικό άκρο
! WEST
&list3   problem%boundary(2)%ibound=  3          /
&list3   problem%boundary(2)%temp=    0.0        /
&list3   problem%boundary(2)%q=       0.0        /
&list3   problem%boundary(2)%h=       1000.0     / συντελεστής συναγωγιμότητας
&list3   problem%boundary(2)%temp_inf=      600.0 / θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το δυτικό άκρο
! NORTH
&list3   problem%boundary(3)%ibound=  2      / σταθερή θερμοροή
&list3   problem%boundary(3)%q=0.0          /
! SOUTH
&list3   problem%boundary(4)%ibound=  2      / σταθερή θερμοροή
&list3   problem%boundary(4)%q=0.0          /
```

2.1.4 Μονοδιάστατη ροή θερμότητας με συναγωγή στο ένα άκρο και δεδομένη ροή θερμότητας στο άλλο άκρο

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Στο ανατολικό (από δεξιά) της άκρο υπάρχει αέρας με $T_\infty = 300K$. Ο συντελεστής συναγωγιμότητας ορίζεται $h_\infty = 1000\frac{W}{m^2}$. Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητα ισούται με Q=100.000W/m^2. Στο βόρειο και νότιο (πάνω και κάτω αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν. Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 6 απεικόνιση ράβδου

- Θεωρητική επίλυση
- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_e:

$$Q = h_{\infty e} \cdot A \cdot (T_e - T_{\infty e})$$

$$T_e = T_{e\infty} + \frac{Q}{h_{\infty e}}$$

$$T_e = 300K + \frac{100{,}000\,\frac{W}{m^2}}{1{,}000\frac{W}{m^2 \cdot K}} = 400K$$

- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_w:

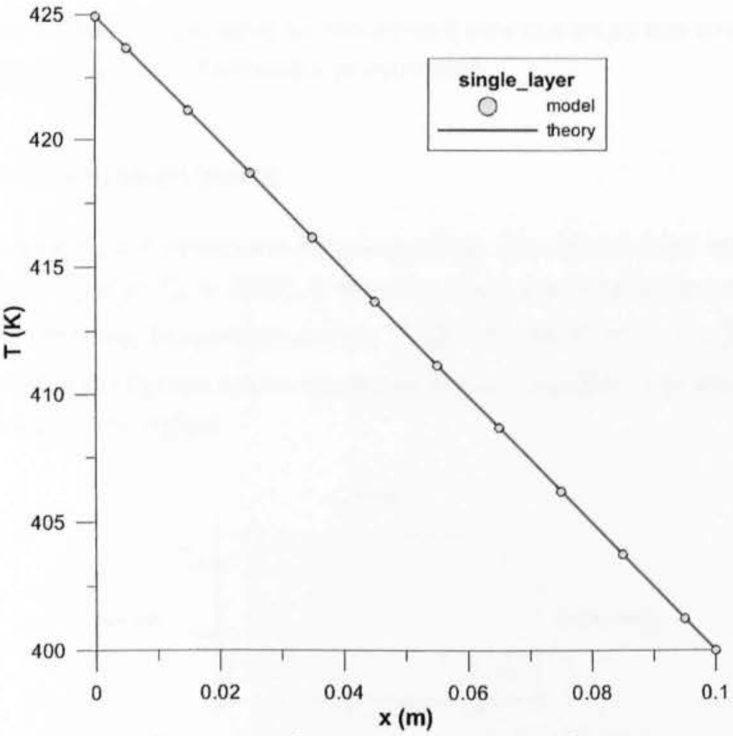
$$\frac{Q}{A} = \frac{k \cdot (T_w - T_e)}{L}$$

$$T_w = T_e + \frac{\frac{Q}{A} \cdot L}{k}$$

$$T_w = 300K + \frac{100{,}000\frac{W}{m^2} \cdot 0.1m}{401\frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot} = 424.94K$$

- Θερμοκρασιακή διανομή:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$
$$\partial x \cdot Q = k \cdot A \cdot \partial T$$
$$\int_{0}^{\chi} Q\, dx = \int_{424.94}^{T} k \cdot dT$$
$$\frac{Q}{A} \cdot (\chi - 0) = k \cdot (T - 424.94)$$
$$T = 424.94 - \frac{\frac{Q}{A} \cdot x}{k}$$
$$T = 424.94 - 249.37 \cdot \chi$$



Σχήμα 7 : ***Γραφική παράσταση θερμοκρασίας κατά μήκος του άξονα χ.***

File boundary.inp

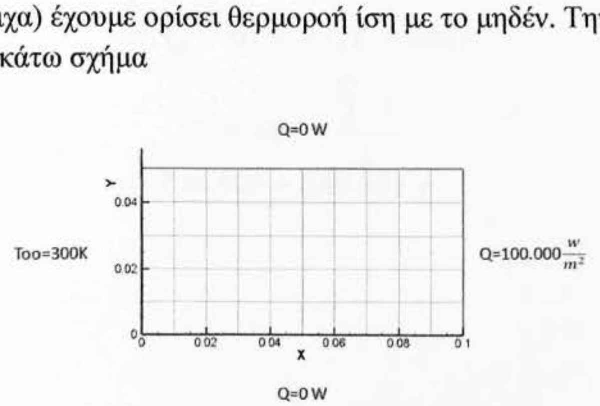
```
! EAST
&list3   problem%boundary(1)%ibound=  3         /
&list3   problem%boundary(1)%temp=    0.0       /
&list3   problem%boundary(1)%q=       0.0       /
&list3   problem%boundary(1)%h=       1000.0    / συντελεστής συναγωγιμότητας
```

```
&list3   problem%boundary(1)%temp_inf=        300.0  / θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το ανατολικό άκρο
! WEST
&list3   problem%boundary(2)%ibound=  3              /
&list3   problem%boundary(2)%temp=   0.0             /
&list3   problem%boundary(2)%q=          100000     / O ρυθμός μετάδοσης θερμότητα σε w/m^2
&list3   problem%boundary(2)%h=        0.0           /
&list3   problem%boundary(2)%temp_inf=       0.0     /
! NORTH
&list3   problem%boundary(3)%ibound=  2         / σταθερή θερμοροή
&list3   problem%boundary(3)%q=0.0              /
! SOUTH
&list3   problem%boundary(4)%ibound=  2         / σταθερή θερμοροή
&list3   problem%boundary(4)%q=0.0              /
```

2.1.5 Μονοδιάστατη ροή θερμότητας με συναγωγή στο ένα άκρο και σταθερή ροή θερμότητας στο άλλο (αντίστροφη γεωμετρία)

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Στο δυτικό (από αριστερά) της άκρο διέρχεται αέρας παράλληλα με $T_\infty = 300K$. O συντελεστής συναγωγιμότητας ορίζεται $h_\infty = 1000\frac{W}{m^2}$. O ρυθμός μετάδοσης θερμότητα ισούται με Q=100.000W/m^2. Στο βόρειο και νότιο (πάνω και κάτω αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν. Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 8 απεικόνιση ράβδου

- Θεωρητική επίλυση
- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_w:

$$\frac{Q}{A} = h_{\infty w} \cdot (T_w - T_{w\infty})$$

$$T_w = T_{w\infty} + \frac{\frac{Q}{A}}{h_{\infty w}}$$

$$T_w = 300K + \frac{100{,}000\,\frac{W}{m^2}}{1{,}000\,\frac{W}{m^2 \cdot K}} = 400K$$

- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_w:

$$\frac{Q}{A} = \frac{k \cdot (T_w - T_e)}{L}$$

$$T_w = T_e + \frac{\frac{Q}{A} \cdot L}{k}$$

$$T_e = 400K + \frac{100{,}000\,\frac{W}{m^2} \cdot 0.1m}{401\,\frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot} = 424.94K$$

- Θερμοκρασιακή διανομή:

$$\frac{Q}{A} = k \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

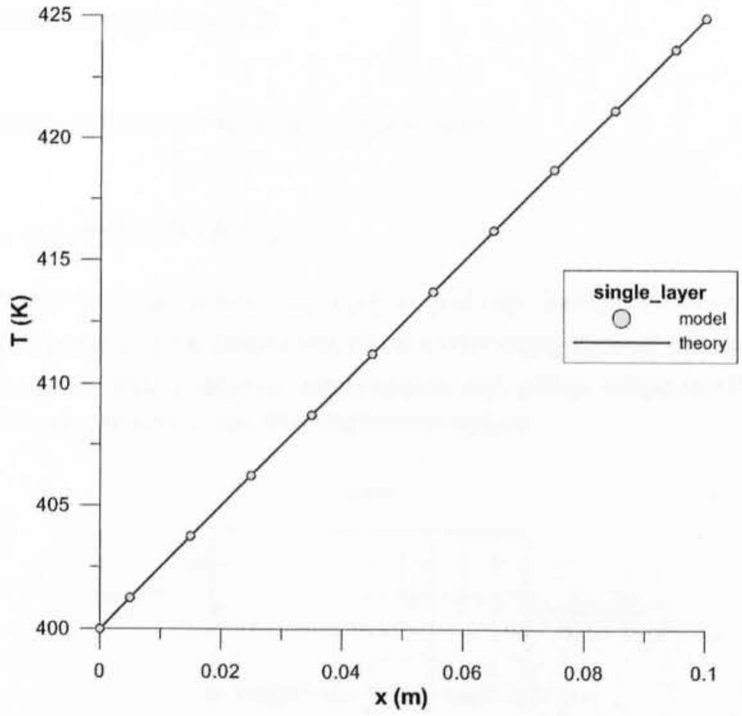
$$\partial x \cdot Q = k \cdot \partial T$$

$$\int_0^{\chi} \frac{Q}{A}\,dx = \int_{400}^{T} k \cdot dT$$

$$\frac{Q}{A} \cdot (\chi - 0) = k \cdot (T - 400)$$

$$T = 400 - \frac{\frac{Q}{A} \cdot x}{k}$$

$$T = 400 + 249.37 \cdot \chi$$



Σχήμα 9 ***Γραφική παράσταση θερμοκρασίας κατά μήκος του άξονα χ.***

File boundary.inp

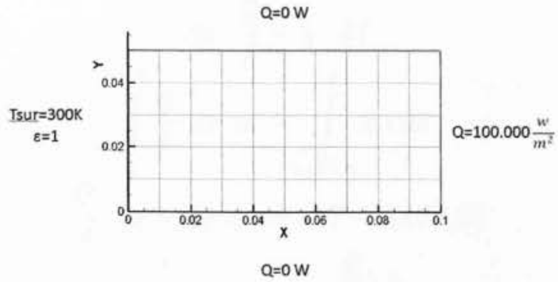
```
! EAST
&list3    problem%boundary(1)%ibound=  3              /
&list3    problem%boundary(1)%temp=    0.0            /
&list3    problem%boundary(1)%q=       100.000        / Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητα σε W/m^2
&list3    problem%boundary(1)%h=       0.0            /
&list3    problem%boundary(1)%temp_inf=       0.0     /
! WEST
&list3    problem%boundary(2)%ibound=  3              /
&list3    problem%boundary(2)%temp=    0.0            /
&list3    problem%boundary(2)%q=       0.0            /
&list3    problem%boundary(2)%h=       1000.0         /συντελεστής συναγωγιμότητας W/m^2
&list3    problem%boundary(2)%temp_inf=       300.0   /θερμοκρασία αέρα που διέρχεται
από το δυτικό άκρο

! NORTH
&list3    problem%boundary(3)%ibound=  2              / σταθερή θερμοροή
&list3    problem%boundary(3)%q=0.0                   /
! SOUTH
&list3    problem%boundary(4)%ibound=  2              / σταθερή θερμοροή
```

&list3 problem%boundary(4)%q=0.0 /

2.1.6 Μονοδιάστατη ροή θερμότητας με ακτινοβολία

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Επικρατεί μία σταθερή θερμοροή q=100000$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$. Στο βόρειο και νότιο (πάνω και κάτω αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό). Η ράβδος δέχεται ακτινοβολία από μέλαν σώμα (ε=1) με $T_{sur} = 300K$ Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 9: απεικόνιση ράβδου

- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_w:

$$\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{A}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (\mathrm{T_w^4} - \mathrm{T_{sur}^4})$$

$$\mathrm{T_w} = \sqrt[4]{\frac{\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{A}}}{\varepsilon \cdot \sigma} + \mathrm{T_{sur}^4}}$$

$$\mathrm{T_w} = \sqrt[4]{\frac{100{,}000\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2}}}{1 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8}\,\frac{\mathrm{W \cdot K^4}}{\mathrm{m^2}}} + 300^4\mathrm{K}^4}$$

$$\mathrm{T_w} = 1{,}153\mathrm{K}$$

- Υπολογισμός θερμοκρασίας T_e:

$$\frac{Q}{A} = \frac{\kappa \cdot (T_e - T_w)}{L}$$

$$T_e = T_w + \frac{\frac{Q}{A} \cdot L}{k}$$

$$T_e = 1{,}153K + \frac{100{,}000\ \frac{W}{m^2} \cdot 0{,}1m}{401\,\frac{W}{m \cdot K}} = 400K$$

$$T_e = 1177.9K$$

- Θερμοκρασιακή διανομή:

$$\frac{Q}{A} = k \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

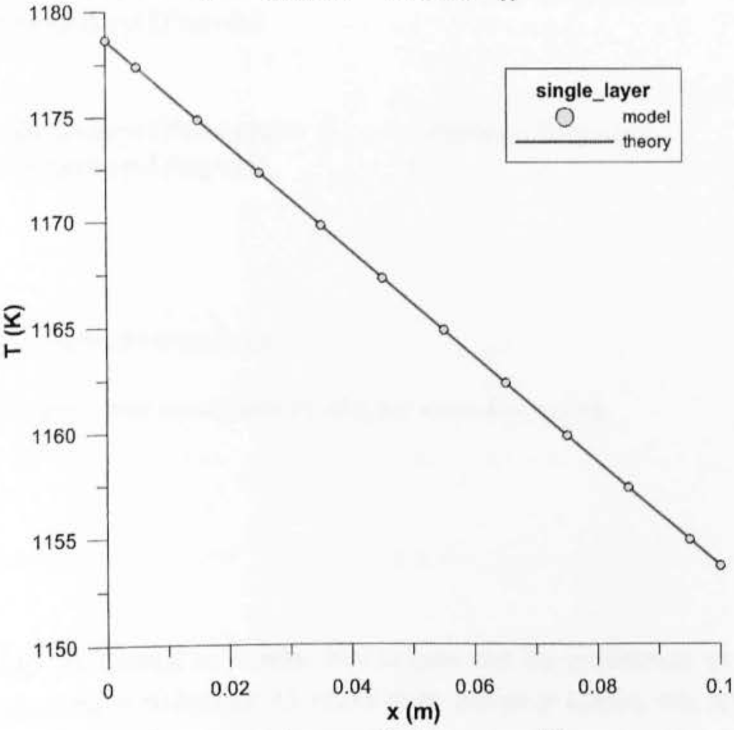
$$\partial x \cdot \frac{Q}{A} = k \cdot \partial T$$

$$\int_0^{\chi} \frac{Q}{A}\, dx = -\int_{1177.9}^{T} k \cdot dT$$

$$\frac{Q}{A} \cdot (\chi - 0) = -k \cdot (T - 1177{,}9)$$

$$T = 1177{,}9 - \frac{\frac{Q}{A} \cdot x}{k}$$

$$T = 1177{,}9 - 249.37 \cdot \chi$$



Σχήμα 10 *Γραφική παράσταση θερμοκρασίας κατά μήκος του άξονα χ.*

File boundary.inp

```
! EAST
&list3   problem%boundary(1)%ibound=  3              /   μετάδοση   θερμότητας   με
ακτινοβολία
&list3   problem%boundary(1)%temp=    0              /
&list3   problem%boundary(1)%q=       0.0            /
&list3   problem%boundary(1)%h=       0.0            /
&list3   problem%boundary(1)%temp_inf=       0.0     /
&list3   problem%boundary(1)%temp_rad=       300     / θερμοκρασία μέλανος σώματος
&list3   problem%boundary(1)%absorptivity=   1       /
&list3   problem%boundary(1)%emmisivity=     1       /

! WEST
&list3   problem%boundary(2)%ibound=  2              / σταθερή θερμοροή
&list3   problem%boundary(2)%temp=    0              /
&list3   problem%boundary(2)%q=       100000         /
&list3   problem%boundary(2)%h=       0.0            /
&list3   problem%boundary(2)%temp_inf=       0.0     /
&list3   problem%boundary(2)%temp_rad=       0.0     /

! NORTH
&list3   problem%boundary(3)%ibound=  2        / σταθερή θερμοροή
&list3   problem%boundary(3)%q=0.0             /

! SOUTH
&list3   problem%boundary(4)%ibound=  2        / σταθερή θερμοροή
&list3   problem%boundary(4)%q=0.0             /
```

2.2 Κυλινδρικές συντεταγμένες

2.2.1 Γενικές ρυθμίσεις που ακολουθούν όλα τα παραδείγματα

Input files

Grid.inp

I) Στο αρχείο grid.inp επιλέγουμε το πλήθος των κελιών που θα χωρίσουμε το πλέγμα κατά τους άξονες x και y αντίστοιχα. Επιλέγουμε 45 κελιά στον άξονα y καθώς στα προβλήματα που θα εξετάσουμε η θερμοροή πραγματοποιείται κατά μήκος του άξονα y ενώ στο άξονα x μόλις 5 καθώς κατά μήκος του άξονα x δεν έχουμε επιλέξει να μην έχουμε ροή θερμότητας. Επίσης δίνουμε τις διαστάσεις του πλέγματος 0.5m κατά τον άξονα x και 0.1m κατά τον άξονα y αντίστοιχα.

Διαστάσεις πλέγματος

&list3	problem%ncellx(1)=	5	/ πλήθος κελιών στον άξονα x
&list3	problem%lengthx(1)=	0.5	/ μήκος άξονα x
&list3	problem%ncelly(1)=	45	/ πλήθος κελιών στον άξονα y
&list3	problem%lengthy(1)=	0.1	/ μήκος άξονα y

II) Στο δεύτερο μέρος του αρχείου grid.inp εισάγουμε τις ιδιότητες του υλικού, πρώτα τον συντελεστή αγωγιμότητας, τον οποίο τον έχουμε ορίσει κ=401W/mK, έπειτα την πυκνότητα ρ=8,933kg/m^3, και τέλος τον συντελεστή θερμοχωρητικότητας Cp=3,87J/KgK.

Ιδιότητες υλικού

&list4 layer(1)%cond1 = 401.0 / συντελεστής αγωγιμότητας κ
&list4 layer(1)%density1 = 8933.0 / πυκνότητα ρ
&list4 layer(1)%cp1 = 385.0 / συντελεστής θερμοχωρητικότητας Cp

File input.inp

Στο αρχείο input.inp ορίζουμε τις συνθήκες του προβλήματος, πρώτον ότι το πρόβλημα είναι μόνιμης κατάστασης, τον συντελεστή υποχαλάρωσης, ένα κριτήριο επιλογής για τον τερματισμό της επίλυσης και το όριο σύγκλισης καθώς και ότι το πρόβλημα το αν ροή θερμότητας θα είναι ακτινική ή σε καρτεσιανές συντεταγμένες.

&list3	problem%timedependant=	0	/ μόνιμο πρόβλημα
&list3	problem%urf1=	1.0	/ συντελεστής υποχαλάρωσης
&list3	problem%residuals_test=	5	/ κριτήριο επιλογής για το τερματισμό της επίλυσης
&list3	problem%maxreslim=	1.0e-6	/ όριο σύγκλισης
&list3	**problem%symmetrical2d=**	1	/ κυλινδρικές συντεταγμένες

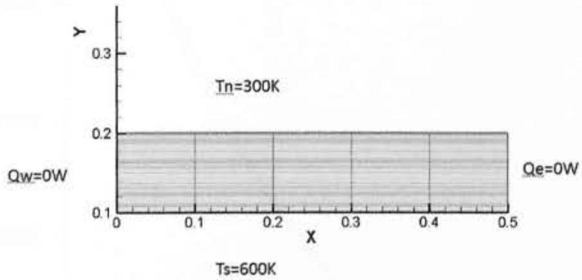
File boundary.inp

Στο αρχείο boundary.inp επιλέγουμε τις συνθήκες που επικρατούν στο εκάστοτε πρόβλημα. Καλούμε το αριστερό άκρο της εκάστοτε ράβδου ως δεξί «ανατολή (east)» και το αριστερό άκρο της ράβδου ως «δύση (west)» . Αντίστοιχα το κάτω άκρο της ράβδου καλείται ως «νότος (south)» και το πάνω άκρο της ράβδου «βορράς (north)». (Σχήμα 1). Οι συνθήκες αυτές αλλάζουν ανάλογα με το κάθε πρόβλημα και θα τις παραθέτουμε σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

2.2.2 Αξονοσυμμετρική ροή θερμότητας με σταθερές θερμοκρασίες στα δύο άκρα

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Στο νότιο άκρο (ακτίνα r = 0.1m) επικρατεί μία σταθερή θερμοκρασία Ts=600K και στο βορεινό άκρο (ακτίνα r = 0.2m) επικρατεί μία θερμοκρασία Tn=300K. Στο ανατολικό και δυτικό (δεξιά και αριστερά αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν. Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



- Θεωρητική επίλυση
- Υπολογισμός κατανομής θερμοροής

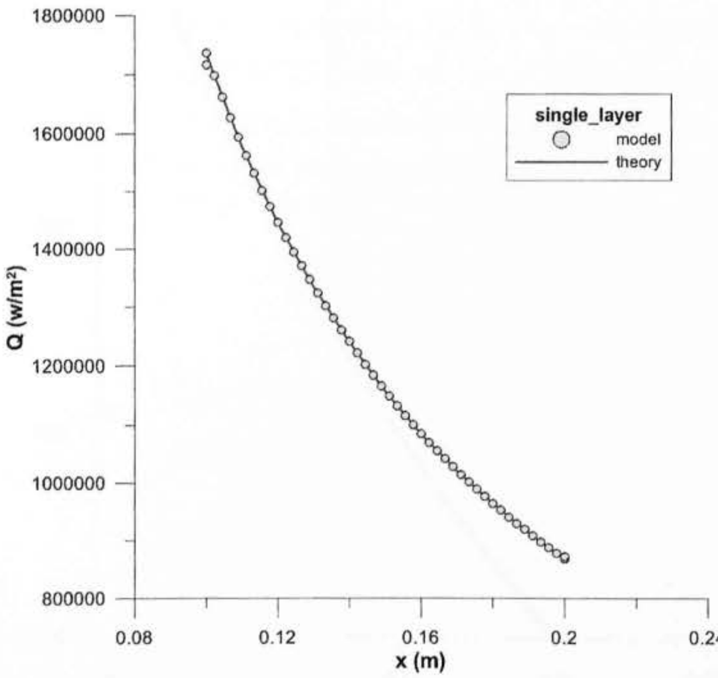
$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L \cdot (T_s - T_n)}{\ln\left(\frac{r_n}{r_s}\right)}$$

$$A_c = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$$

$$\frac{Q}{A_c} = \frac{k \cdot (T_s - T_n)}{r \cdot \ln\left(\frac{r_n}{r_s}\right)}$$

$$\frac{Q}{A_c} = \frac{401 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (600K - 300K)}{r \cdot \ln\left(\frac{0.2}{0.1}\right)}$$

$$\frac{Q}{A_c} = \frac{173.556}{r} \left(\frac{W}{m^2}\right)$$



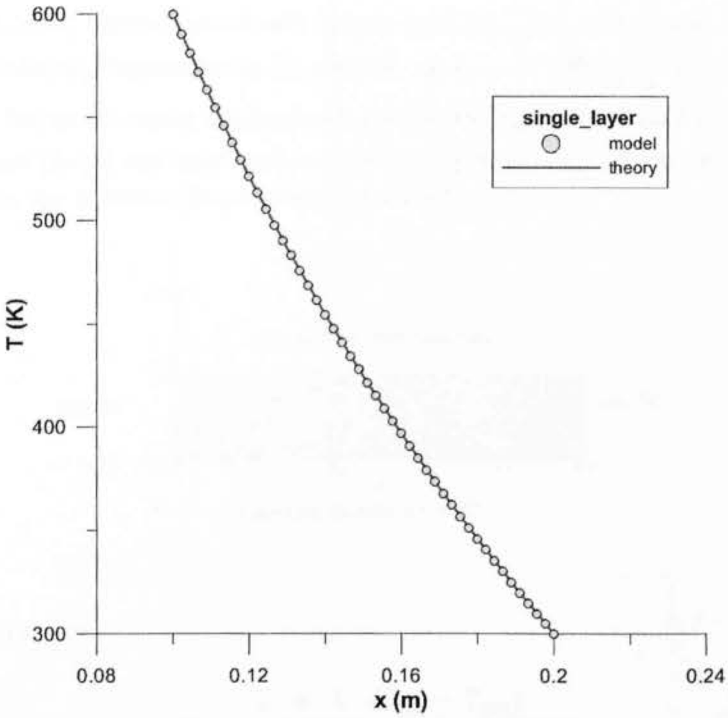
- Υπολογισμός θερμοκρασιακής διανομής

$$\frac{T - T_n}{T_n - T_s} = \frac{\ln{(r/r_s)}}{\ln{(r_n/r_s)}}$$

$$T = T_n + \frac{(T_n - T_s) \cdot \ln(r/r_s)}{\ln{(r_n/r_s)}}$$

$$T = 600 + \frac{-300 \cdot \ln{(\frac{r}{0.1})}}{ln2}$$

$$T = 600 - 432.8 \cdot \ln{(\frac{r}{0.1})}$$



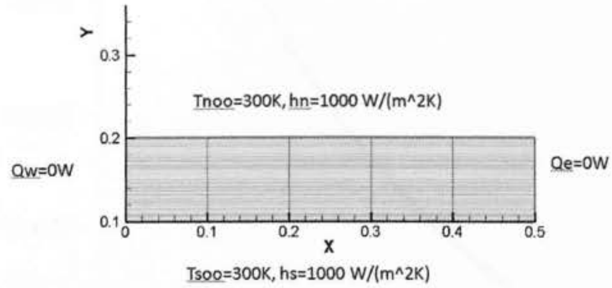
File boundary.inp

```
! EAST
&list3    problem%boundary(1)%ibound=  2        / σταθερή θερμοροή
&list3    problem%boundary(4)%q=0.0             /
! WEST
&list3    problem%boundary(2)%ibound=  2        / σταθερή θερμοροή
&list3    problem%boundary(2)%q=0.0             /

! NORTH
&list3    problem%boundary(3)%ibound=  1        / σταθερή θερμοκρασία
&list3    problem%boundary(3)%temp=    300      /θερμοκρασία βορεινού άκρου
! SOUTH
&list3    problem%boundary(4)%ibound=  1        / σταθερή θερμοροή
&list3    problem%boundary(4)%temp=    600      / θερμοκρασία νότιου άκρου
```

2.2.3 Αξονοσυμμετρική ροή θερμότητας με συναγωγή στα δύο άκρα

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Στο νότιο άκρο (ακτίνα r = 0.1m) διέρχεται αέρας σταθερής θερμοκρασία $T_{s\infty}$=600K με $h_{s\infty} = 1000\frac{W}{m^2K}$ και στο βορεινό άκρο (ακτίνα r = 0.2m) διέρχεται αέρας σταθερής θερμοκρασία $T_{n\infty}$=300K με $h_{n\infty} = 1000\frac{W}{m^2K}$. Στο ανατολικό και δυτικό (δεξιά και αριστερά αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν. Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



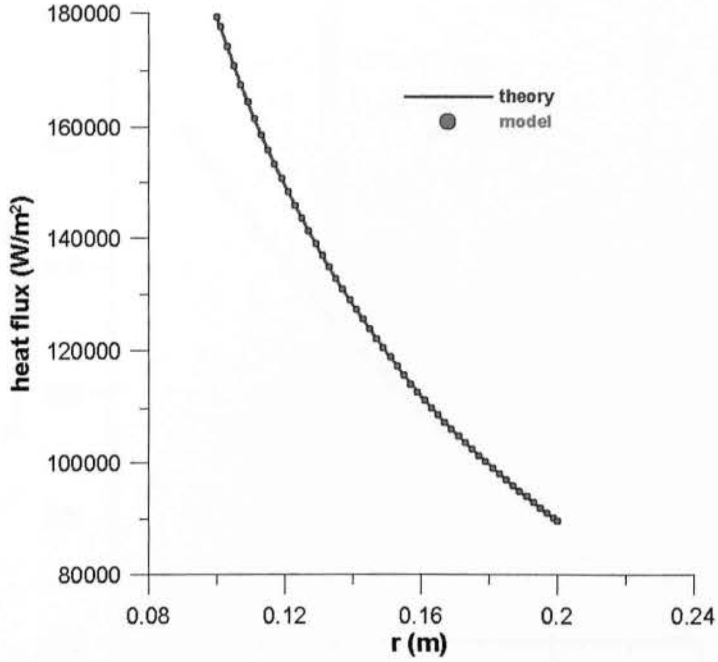
- Θεωρητική επίλυση

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_{s\infty} - T_{n\infty})}{\frac{1}{h_{n\infty} r_{n\infty}} + \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{r_n}{r_s}\right) + \frac{1}{h_{s\infty} r_{s\infty}}}$$

$$A_c = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$$

$$\frac{Q}{A_c} = \frac{(T_{s\infty} - T_{n\infty})}{\left(\frac{1}{h_{n\infty} r_{n\infty}} + \frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{r_n}{r_s}\right) + \frac{1}{h_{s\infty} r_{s\infty}}\right) r}$$

$$\frac{Q}{A_c} = \frac{17{,}933.4}{r}$$



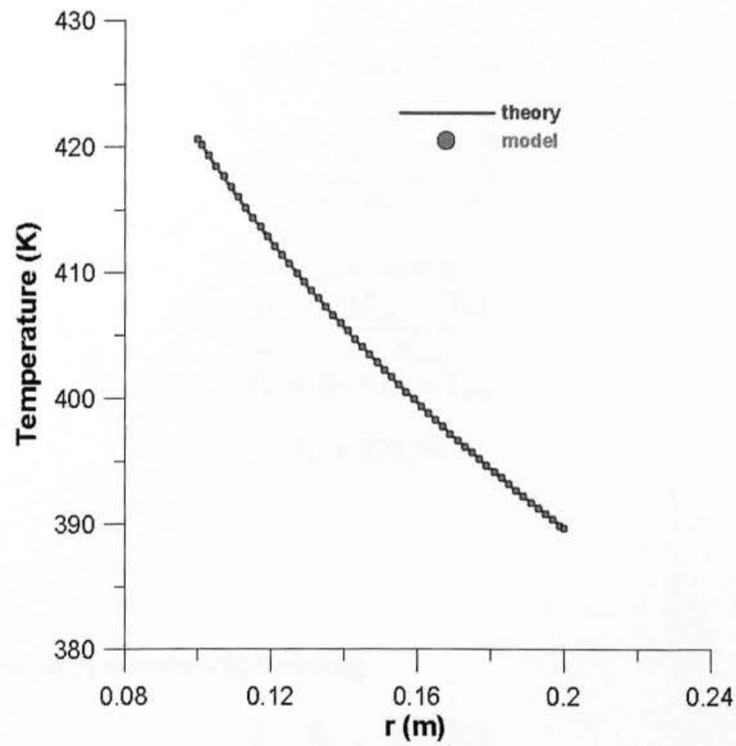
- Υπολογισμός θερμοκρασιακής διανομής

$$\frac{T - T_n}{T_n - T_s} = \frac{\ln{(r/r_s)}}{\ln{(r_n/r_s)}}$$

$$T = T_n + \frac{(T_n - T_s) \cdot \ln(r/r_s)}{\ln{(r_n/r_s)}}$$

$$T = 420 + \frac{-30 \cdot \ln{(\frac{r}{0.1})}}{ln2}$$

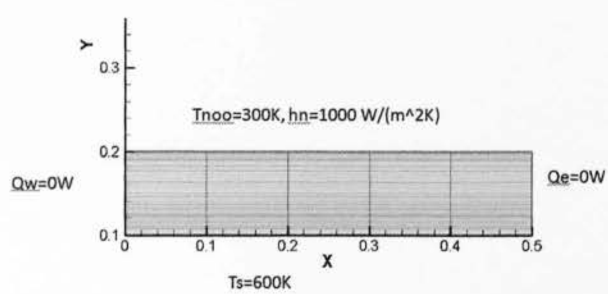
$$T = 600 - 4328 \cdot \ln{(\frac{r}{0.1})}$$



2.2.4 Αξονοσυμμετρική ροή θερμότητας με συναγωγή στο ένα άκρο

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Στο νότιο άκρο (ακτίνα r = 0.1m) επικρατεί μία σταθερή θερμοκρασία Ts=600K και στο βορεινό άκρο (ακτίνα r = 0.2m) διέρχεται αέρας σταθερής θερμοκρασία $T_{n\infty}$=300K. Στο ανατολικό και δυτικό (δεξιά και αριστερά αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν. Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



- Θεωρητική επίλυση

$$R_{tot} = R_{cov(s)} + R_{cyl}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{r_n \cdot h_n} + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_s}\right)}{k}$$

$$R_{tot} = 0.002$$

$$\frac{Q}{A_c} = -\frac{(T_{\infty n} - T_n)}{R_{tot}}$$

$$T_n = Q \cdot R_{tot} + T_{\infty n}$$

$$T_n = 379{,}9K$$

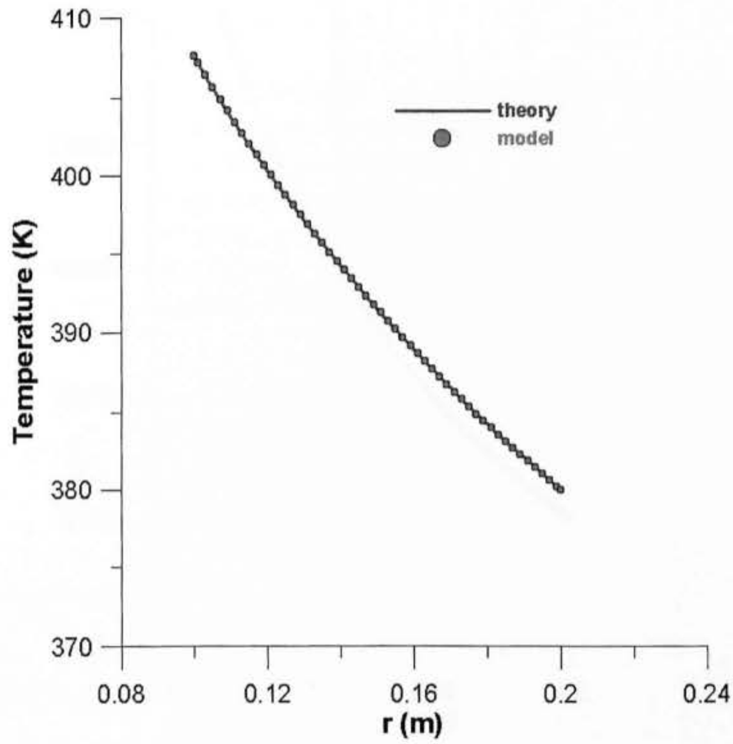
- Υπολογισμός θερμοκρασιακής διανομής

$$\frac{T - T_n}{T_n - T_s} = \frac{\ln(r/r_s)}{\ln(r_n/r_s)}$$

$$T = T_n + \frac{(T_n - T_s) \cdot \ln(r/r_s)}{\ln(r_n/r_s)}$$

$$T = 407 + \frac{-300 \cdot \ln\left(\frac{r}{0.1}\right)}{ln2}$$

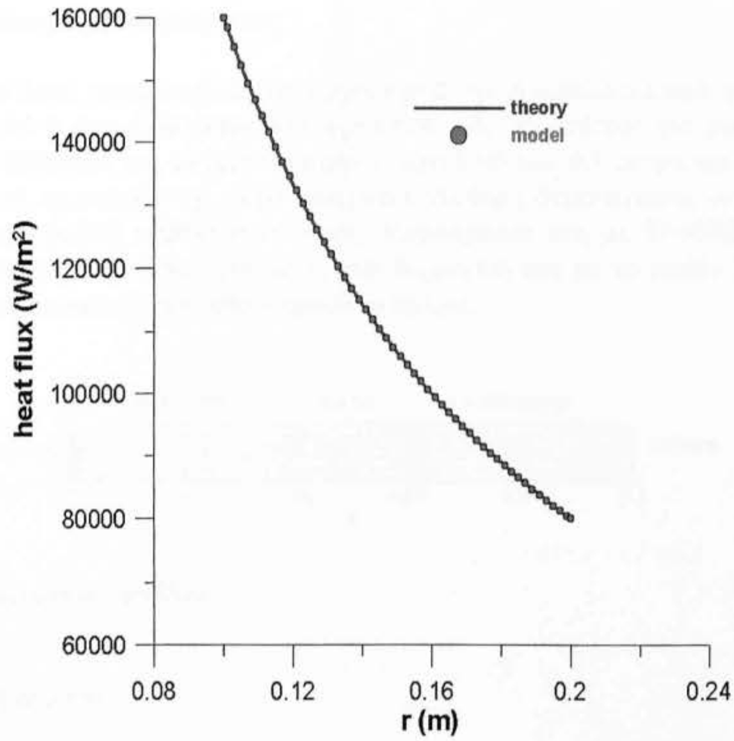
$$T = 600 - 432.8 \cdot \ln\left(\frac{r}{0.1}\right)$$



- Υπολογισμός κατανομής θερμοροής

$$\frac{Q}{A_c} = \frac{(T_s - T_{n\infty})}{\left(\frac{1}{h_{n\infty} r_{n\infty}} + \frac{1}{\kappa}\ln\left(\frac{r_n}{r_s}\right)\right) r}$$

$$\frac{Q}{A_c} = \frac{8057{,}2}{r} \frac{W}{m^2}$$



<u>File boundary.inp</u>

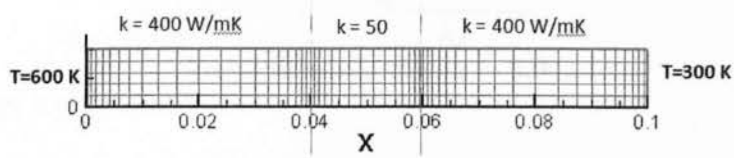
```
! EAST
&list3    problem%boundary(1)%ibound= 2         / σταθερή θερμοροή
&list3    problem%boundary(4)%q=0.0             /
! WEST
&list3    problem%boundary(2)%ibound= 2         / σταθερή θερμοροή
&list3    problem%boundary(2)%q=0.0             /

! NORTH
&list3    problem%boundary(3)%ibound= 1         / σταθερή θερμοκρασία
&list3    problem%boundary(3)%temp=   300       /θερμοκρασία βορεινού άκρου
! SOUTH
&list3    problem%boundary(4)%ibound= 1         / σταθερή θερμοροή
&list3    problem%boundary(4)%temp=   600       / θερμοκρασία νότιου άκρου
```

2.3 Μονοδιάστατη ροή θερμότητας με τοιχώματα

2.3.1 Τοιχώματα σε καρτεσιανές συντεταγμένες

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία ράβδο όπως είχαμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Αποτελείται από τρία τοιχώματα. Το πρώτο με μήκος από 0 έως 0,04 μέτρα και k_1=400W/mK, το δεύτερο για μήκος από 0,04 έως 0,06 μέτρα με k_2=50W/mK και το τρίτο για μήκος από 0,06 έως 0,1 μέτρα και $k_3 = 400\mathrm{W/mK}$. Στο ανατολικό (από αριστερά) της άκρο επικρατεί σταθερή θερμοκρασία ίση με T=600K και στο δυτικό της (από δεξιά) επικρατεί σταθερή θερμοκρασία ίση με T=300K. Στο βόρειο και νότιο (πάνω και κάτω αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό). Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 11: απεικόνιση ράβδου

- Θεωρητική επίλυση

- Υπολογισμός θερμοροής

Ισχύει

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_e - T_w}{R_{o\lambda}}$$

Όπου

$$R_{o\lambda} = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{L_3}{k_3} = \frac{0{,}04m}{400\frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}02m}{50\frac{W}{m\cdot K}} + \frac{0{,}04m}{400\frac{W}{m\cdot K}} = 0.0006\frac{Km^2}{W}$$

Επομένως

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_e - T_w}{R_{o\lambda}} = \frac{(600-300)K}{0.0006\frac{Km^2}{W}} = 500{,}000\frac{W}{m^2}$$

- Υπολογισμός θερμοκρασιακής διανομής
- Για $0 \leq \chi \leq 0.04$m

$$\int_0^{\chi} \frac{Q}{A}\, dx = -\int_{600}^{T} k_1 \cdot dT$$

$$\frac{Q}{A}\cdot(\chi - 0) = -k_1 \cdot (T - 600)$$

$$T = 600 - \frac{\frac{Q}{A}\cdot x}{k_1}$$

$$T = 600 - 1{,}250 \cdot \chi$$

- Για $0.04 \leq \chi \leq 0{,}06$m

$$T(\chi = 0.04m) = 600 - 1{,}250 \cdot 0{,}04 = 550K$$

$$\int_{0{,}04}^{\chi} \frac{Q}{A}\, dx = -\int_{550}^{T} k_2 \cdot dT$$

$$\frac{Q}{A} \cdot (\chi - 0{,}04) = -k_2 \cdot (T - 550)$$

$$T = 550 - \frac{\frac{Q}{A}(x - 0.04)}{k_2}$$

$$T = 550 - 10{,}000 \cdot (\chi - 0.04)$$

- Για $0.06 \leq \chi \leq 0{,}10$m

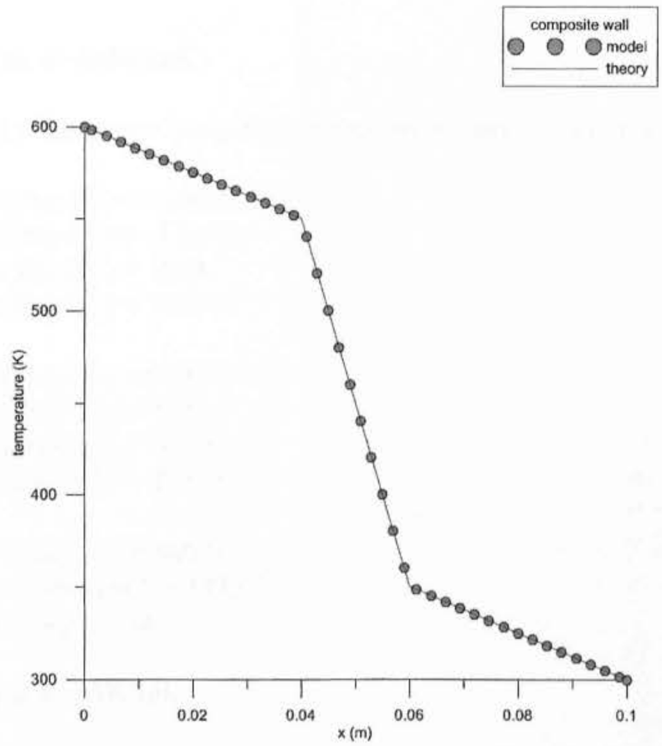
$$T(\chi = 0.06m) = 550 - 10{,}000 \cdot 0.02 = 350K$$

$$\int_{0.06}^{\chi} \frac{Q}{A}\, dx = -\int_{350}^{T} k_3 \cdot dT$$

$$\frac{Q}{A} \cdot (\chi - 0) = -k_3 \cdot (T - 550)$$

$$T = 350 - \frac{\frac{Q}{A} \cdot x}{k}$$

$$T = 550 - 1250 \cdot (\chi - 0.06)$$



Σχήμα 12:Γραφική παράσταση θερμοκρασίας κατά μήκος του άξονα χ.

Grid.inp

&list3 problem%nregionsx= 3 / αριθμός τοιχωμάτων

(1° τοίχωμα)
&list3 problem%ncellx(1)= 15 /
&list3 problem%lengthx(1)= 0.04 /
&list3 problem%expx_sym(1)= 0 /
(2° τοίχωμα)
&list3 problem%ncellx(2)= 10 /
&list3 problem%lengthx(2)= 0.02 /
&list3 problem%expx(2)= 1.0 /
(3° τοίχωμα)
&list3 problem%ncellx(3)= 15 /
&list3 problem%lengthx(3)= 0.04 /
&list3 problem%expx(3)= 1.0 /

&list3 problem%number_of_materials = 2 / πόσα διαφορετικά υλικά τοιχωμάτων έχουμε.

Ορισμός $1^{ου}$ υλικού (με κ=400W/mK)

&list4 layer(1)%nboxes = 2 / αριθμός τοιχωμάτων από το ίδιο υλικό

&list4 layer(1)%x1(1) = -1.0e30 /
&list4 layer(1)%y1(1) = -1.0e30 /
&list4 layer(1)%x2(1) = 0.04 /
&list4 layer(1)%y2(1) = 0.0101 /

&list4 layer(1)%x1(2) = 0.06 /
&list4 layer(1)%y1(2) = -0.01 /
&list4 layer(1)%x2(2) = 0.1001 /
&list4 layer(1)%y2(2) = 0.0101 /

&list4 layer(1)%cond1 = 400.0 /
&list4 layer(1)%density1 = 8933.0 /
&list4 layer(1)%cp1 = 385.0 /

Ορισμός $2^{ου}$ υλικού (με κ=50W/mK)

&list4 layer(2)%nboxes = 1 / αριθμός τοιχωμάτων από το ίδιο υλικό

&list4 layer(2)%x1(1) = 0.04 /
&list4 layer(2)%y1(1) = -0.01 /
&list4 layer(2)%x2(1) = 0.06 /
&list4 layer(2)%y2(1) = 0.0101 /

&list4 layer(2)%cond1 = 50.0 /
&list4 layer(2)%density1 = 8933.0 /
&list4 layer(2)%cp1 = 385.0 /

Boundary.inp

! EAST
&list3 problem%boundary(1)%ibound= 1 /
&list3 problem%boundary(1)%temp= 300.0 /

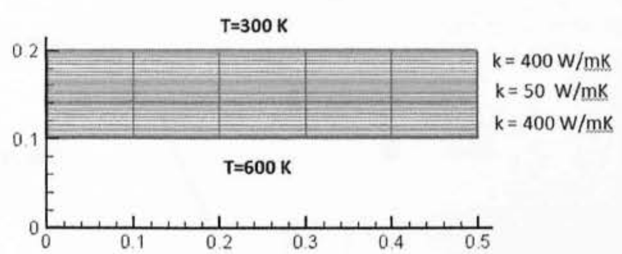
! WEST
&list3 problem%boundary(2)%ibound= 1 /
&list3 problem%boundary(2)%temp= 600.0 /

! NORTH
&list3 problem%boundary(3)%ibound= 2 /
&list3 problem%boundary(3)%temp= 0.0 /

```
&list3    problem%boundary(3)%q=0.0              /

! SOUTH
&list3    problem%boundary(4)%ibound=  2             /
&list3    problem%boundary(4)%temp=    0.0           /
&list3    problem%boundary(4)%q=0.0              /
```

2.3.2 Τοιχώματα σε κυλινδρικές Συντεταγμένες

Έχουμε μία ράβδο όπως έχουμε ορίσει στο αρχείο grid.inp. Αποτελείται από τρία τοιχώματα. Το πρώτο με μήκος από 0.1 έως 0.14 μέτρα και k_1=400W/mK, το δεύτερο για μήκος από 0.14 έως 0.16 μέτρα με k_2=50W/mK και το τρίτο για μήκος από 0.16 έως 0.2 μέτρα και $k_3 = 400\text{W/mK}$. Στο ανατολικό (από αριστερά) της άκρο επικρατεί σταθερή θερμοκρασία ίση με T=600K και στο δυτικό της (από δεξιά) επικρατεί σταθερή θερμοκρασία ίση με T=300K. Στο βόρειο και νότιο (πάνω και κάτω αντίστοιχα) έχουμε ορίσει θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό). Την παρούσα ράβδο την απεικονίζουμε στο παρακάτω σχήμα.



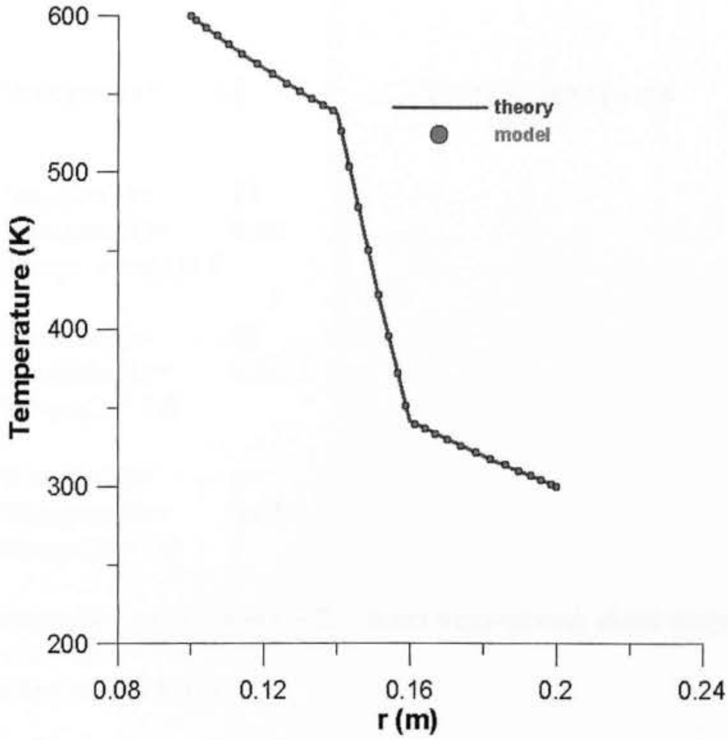
- Υπολογισμός θερμοροής

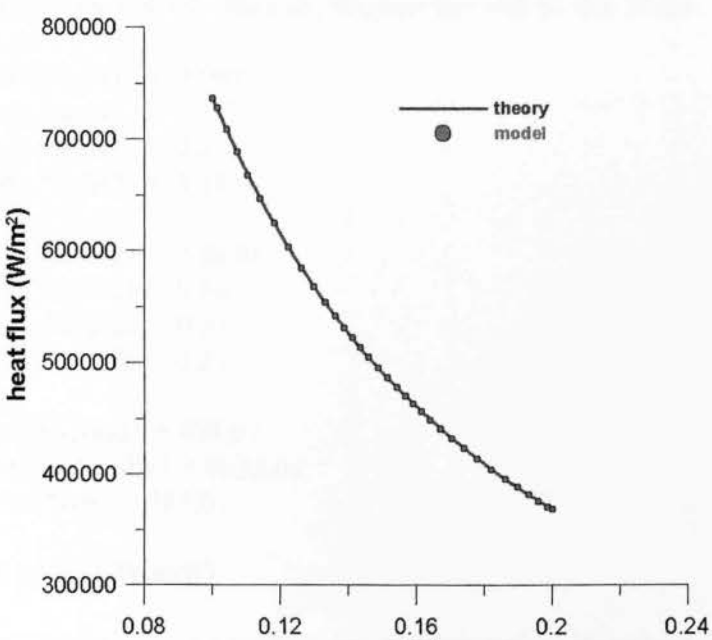
Ισχύει

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_4)}{\frac{1}{k_1} \cdot ln\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{k_2} \cdot ln\frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{k_3} \cdot ln\frac{r_4}{r_3}}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{(T_1 - T_4)}{r(\frac{1}{k_1} \cdot ln\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{k_2} \cdot ln\frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{k_3} \cdot ln\frac{r_4}{r_3})}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{73716{,}1}{r}$$


600
500
400
300
200
Temperature (K)
theory
model
0.08
0.12
0.16
0.2
0.24
r (m)


800000
700000
600000
500000
400000
300000
heat flux (W/m²)
theory
model
0.08
0.12
0.16
0.2
0.24
r (m)

Grid.inp

```
&list3   problem%nregionsx=      3              / αριθμός τοιχωμάτων

(1° τοίχωμα)
&list3   problem%ncellx(1)=      15             /
&list3   problem%lengthx(1)=     0.04           /
&list3   problem%expx_sym(1)= 0                 /
(2° τοίχωμα)
&list3   problem%ncellx(2)=      10             /
&list3   problem%lengthx(2)=     0.02           /
&list3   problem%expx(2)= 1.0                   /
(3° τοίχωμα)
&list3   problem%ncellx(3)=      15             /
&list3   problem%lengthx(3)=     0.04           /
&list3   problem%expx(3)= 1.0    /

&list3   problem%number_of_materials = 2 /  πόσα διαφορετικά υλικά τοιχωμάτων έχουμε.
```

Ορισμός 1ου υλικού (με κ=400W/mK)

```
&list4      layer(1)%nboxes = 2 / αριθμός τοιχωμάτων από το ίδιο υλικό

&list4      layer(1)%x1(1) = -1.0e30 /
&list4      layer(1)%y1(1) =  0.1 /
&list4      layer(1)%x2(1) =  0.5 /
&list4      layer(1)%y2(1) =  0.14  /

&list4      layer(1)%x1(2) = -1.0e30 /
&list4      layer(1)%y1(2) =  0.16
&list4      layer(1)%x2(2) =  0.5 /
&list4      layer(1)%y2(2) =  0.2 /

&list4      layer(1)%cond1 = 400.0 /
&list4      layer(1)%density1 = 8933.0 /
&list4      layer(1)%cp1 = 385.0 /
```

Ορισμός 2ου υλικού (με κ=50W/mK)

```
&list4      layer(2)%nboxes = 1 / αριθμός τοιχωμάτων από το ίδιο υλικό

&list4      layer(2)%x1(1) = -1.0e30  /
&list4      layer(2)%y1(1) =  0.14 /
&list4      layer(2)%x2(1) =  0.5 /
&list4      layer(2)%y2(1) =  0.16 /
```

```
&list4          layer(2)%cond1 = 50.0 /
&list4          layer(2)%density1 = 8933.0 /
&list4          layer(2)%cp1 = 385.0 /
```

Boundary.inp

```
! EAST
&list3    problem%boundary(1)%ibound=  1          /
&list3    problem%boundary(1)%temp=    300.0      /

! WEST
&list3    problem%boundary(2)%ibound=  1          /
&list3    problem%boundary(2)%temp=    600.0      /

! NORTH
&list3    problem%boundary(3)%ibound=  2          /
&list3    problem%boundary(3)%temp=    0.0        /
&list3    problem%boundary(3)%q=0.0          /

! SOUTH
&list3    problem%boundary(4)%ibound=  2          /
&list3    problem%boundary(4)%temp=    0.0        /
&list3    problem%boundary(4)%q=0.0          /
```

Input.inp

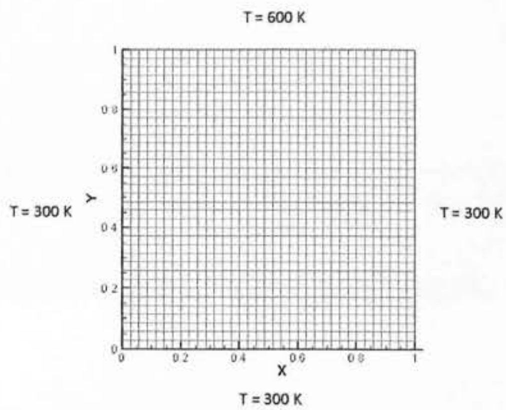
```
&list3    problem%symmetrical2d= 1           /
```

3 Μόνιμη ροή θερμότητας σε δισδιάστατες συντεταγμένες

3.1.1 Σταθερές θερμοκρασίες και στα τέσσερα άκρα(T1,T1,T1,T2).

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία επίπεδη πλάκα τετραγωνικής διατομής με διαστάσεις 1m x 1m. Το δυτικό, νότιο και ανατολικό άκρο η θερμοκρασία είναι σταθερή και ίση με 300K ενώ στο βορεινό άκρο επικρατεί θερμοκρασία ίση με 600 K. Θα υπολογίσουμε τη θερμοκρασιακή διανομή T(x,y) για x=0,5m, με y από 0m έως 1m και για y=0,5m, με x από 0m έως 1m.



- Θεωρητική επίλυση

Το πρόβλημα επιλύεται θεωρητικά με τη χρήση των εξής τύπων:

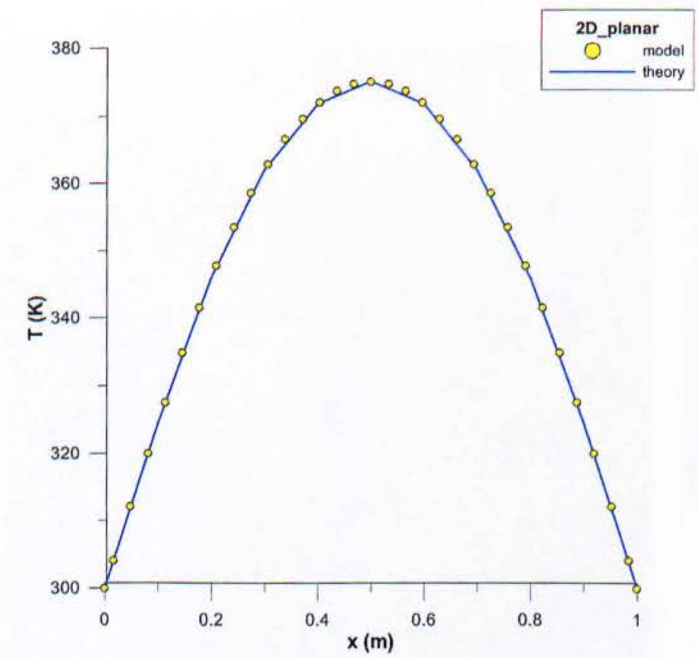
$$\theta(x,y) = \frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^{n+1}+1}{n} sin\frac{n\pi x}{L}\frac{\sinh\left(\frac{n\pi y}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{n\pi W}{L}\right)}$$

$$\theta \equiv \frac{T-T_1}{T_2-T_1}$$

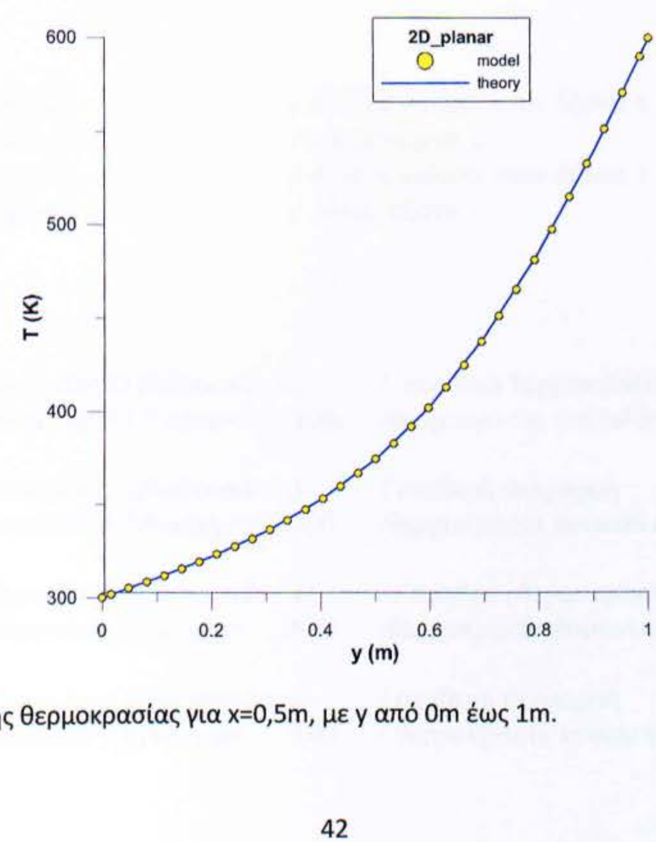
όπου

$$\pi\lambda\acute{\alpha}\tau o\varsigma\ W = 1m$$
$$\mu\acute{\eta}\kappa o\varsigma\ L = 1m$$

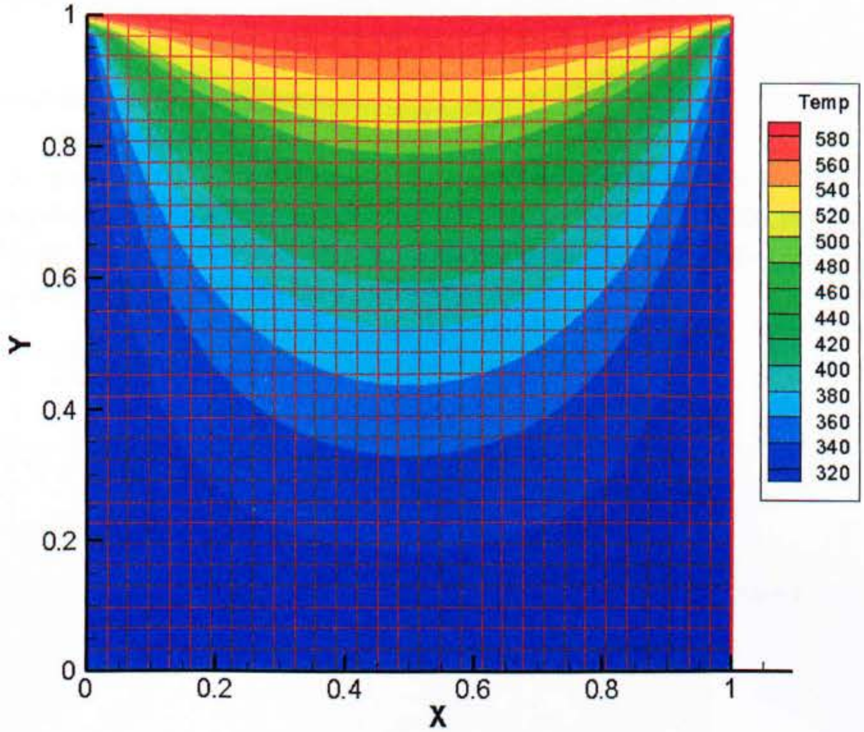
Τα θεωρητικά αποτελέσματα πρόεκυψαν για n=11,γιατί παρατηρείται σύγκλιση.
Στα παρακάτω σχήματα παρατηρούμε την μεταβολή της θερμοκρασίας για y=0,5m, με x από 0m έως 1m και για x=0,5m, με y από 0m έως 1m.



Σχήμα: Η μεταβολή της θερμοκρασίας για y=0,5m, με x από 0m έως 1m.



Σχήμα: Η μεταβολή της θερμοκρασίας για x=0,5m, με y από 0m έως 1m.



Σχήμα: Χρωματικά αναπαράσταση της θερμοκρασιακής κατανομής στο συνολικό εμβαδό της πλάκας.

Grid.inp

&list3	problem%ncellx(1)=	31	/ πλήθος κελιών στον άξονα x
&list3	problem%lengthx(1)=	1.0	/ μήκος άξονα x
&list3	problem%ncelly(1)=	31	/ πλήθος κελιών στον άξονα y
&list3	problem%lengthy(1)=	1.0	/ μήκος άξονα y

File boundary.inp

! EAST

&list3	problem%boundary(1)%ibound=	1	/ σταθερή θερμοκρασία
&list3	problem%boundary(1)%temp=	300	/θερμοκρασία ανατολικού άκρου

! WEST

&list3	problem%boundary(2)%ibound=	1	/ σταθερή θερμοροή
&list3	problem%boundary(2)%temp=	300	/θερμοκρασία δυτικού άκρου

! NORTH

&list3	problem%boundary(3)%ibound=	1	/ σταθερή θερμοκρασία
&list3	problem%boundary(3)%temp=	600	/θερμοκρασία βορεινού άκρου

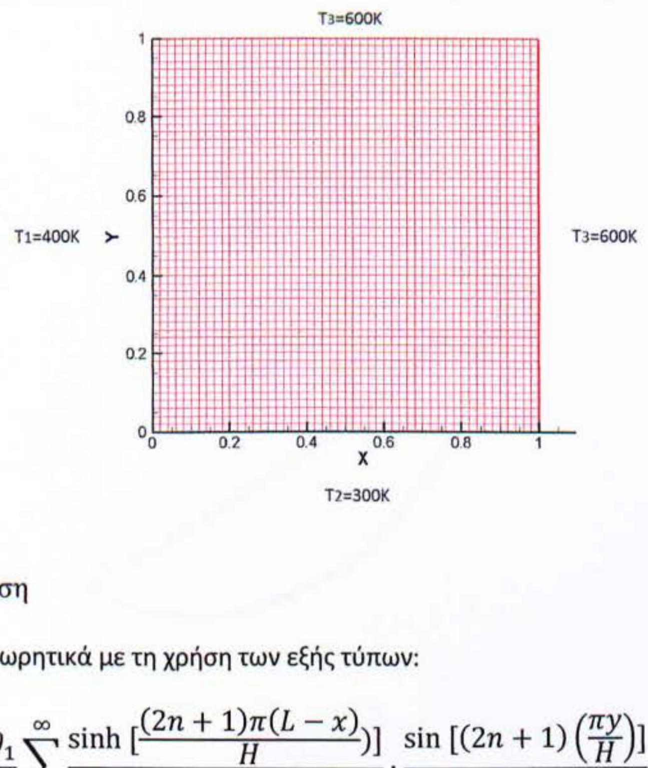
! SOUTH

&list3	problem%boundary(4)%ibound=	1	/ σταθερή θερμοροή
&list3	problem%boundary(4)%temp=	300	/ θερμοκρασία νότιου άκρο

3.1.2 Σταθερές θερμοκρασίες και στα τέσσερα άκρα(T1,T2,T3,T4).

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε μία επίπεδη πλάκα τετραγωνικής διατομής με διαστάσεις 1m x 1m. Το δυτικό άκρο έχουμε θερμοκρασία σταθερή και ίση με 400K στο ανατολικό άκρο 600K, στο βορεινό άκρο 600 K και στο νότιο άκρο 300K. Θα υπολογίσουμε τη θερμοκρασιακή διανομή T(x,y) για x=0,25m, x=0,5m και x=0,75m με y από 0m έως 1m.



- Θεωρητική επίλυση

Το πρόβλημα επιλύεται θεωρητικά με τη χρήση των εξής τύπων:

$$\theta = \frac{4\theta_1}{\pi}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\sinh\left[\frac{(2n+1)\pi(L-x)}{H}\right]}{\sinh\left[\frac{(2n+1)\pi L}{H}\right]}\cdot\frac{\sin\left[(2n+1)\left(\frac{\pi y}{H}\right)\right]}{2n+1}$$
$$+\frac{4\theta_2}{\pi}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\sinh\left[\frac{(2n+1)\pi(H-y)}{L}\right]}{\sinh\left[\frac{(2n+1)\pi H}{L}\right]}\cdot\frac{\sin\left[(2n+1)\left(\frac{\pi x}{L}\right)\right]}{2n+1}$$

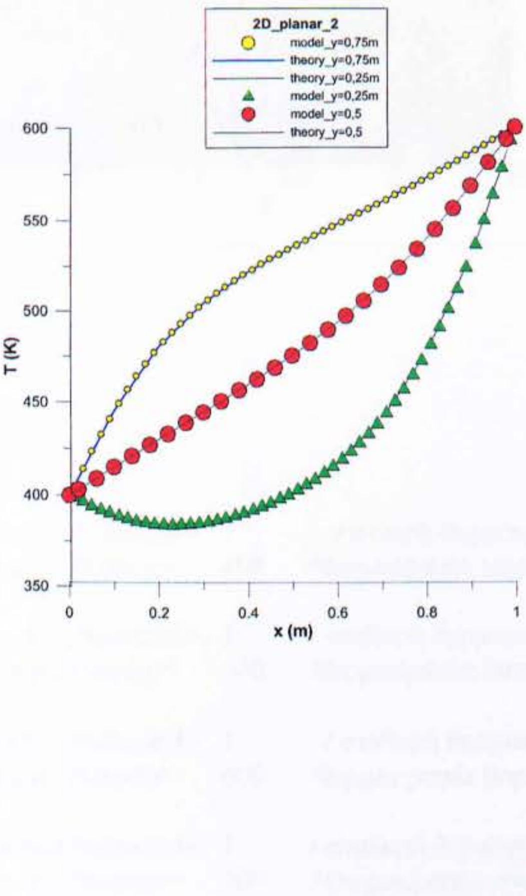
Όπου

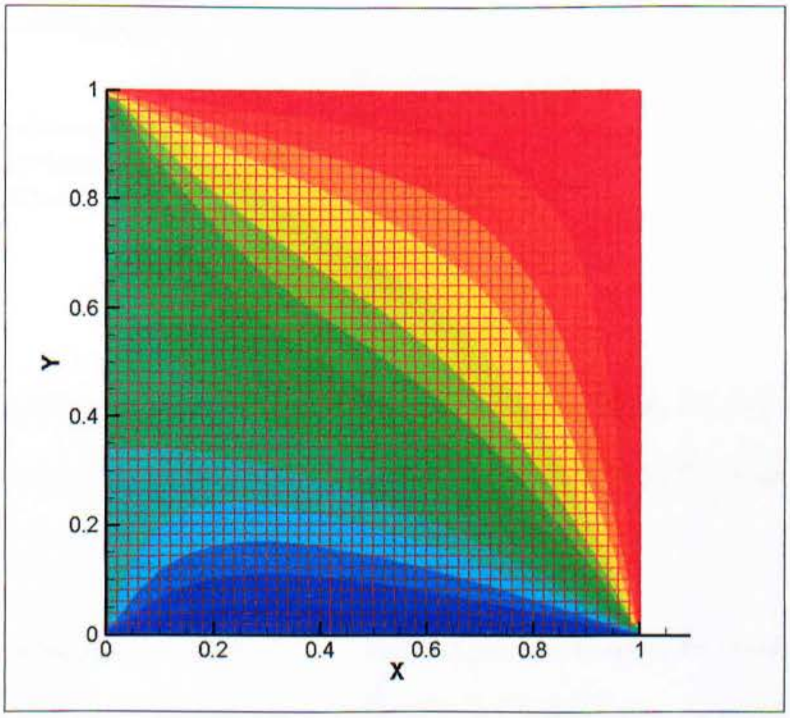
$$\theta = T - T_3$$
$$\theta(0,y) = \theta_1 = T_1 - T_3$$
$$\theta(0,x) = \theta_2 = T_2 - T_3$$
$$\theta(L,y) = 0$$

$$\theta(x,H)=0$$
$$\pi\lambda\acute{\alpha}\tau o\varsigma\ W=1m$$
$$\mu\acute{\eta}\kappa o\varsigma\ L=1m$$

Τα θεωρητικά αποτελέσματα πρόεκυψαν για n=11, γιατί παρατηρείται σύγκλιση.
Στα παρακάτω σχήματα παρατηρούμε την μεταβολή της θερμοκρασίας T(x,y) για x=0,25m, x=0,5m και x=0,75m με y από 0m έως 1m.

Σχήμα: Θερμοκρασιακή διανομή για y=0,25m, y=0,5m και y=0,75m με x από 0m έως 1m.





File boundary.inp

! EAST
&list3 problem%boundary(1)%ibound= 1 / σταθερή θερμοκρασία
&list3 problem%boundary(1)%temp= 400 /θερμοκρασία ανατολικού άκρου
! WEST
&list3 problem%boundary(2)%ibound= 1 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(2)%temp= 600 /θερμοκρασία δυτικού άκρου
! NORTH
&list3 problem%boundary(3)%ibound= 1 / σταθερή θερμοκρασία
&list3 problem%boundary(3)%temp= 600 /θερμοκρασία βορεινού άκρου
! SOUTH
&list3 problem%boundary(4)%ibound= 1 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(4)%temp= 300 / θερμοκρασία νότιου άκρο

Grid.inp

Για y=0,25m και y=0,75m (κοινό)

&list3 problem%nregionsx= 1 /
&list3 problem%ncellx(1)= 50 /

&list3 problem%lengthx(1)= 1.0 /

&list3 problem%nregionsy= 1 /
&list3 problem%ncelly(1)= 50 /
&list3 problem%lengthy(1)= 1.0 /

File input.inp

Για y=0,25m

&list3 problem%extract_distr(1)=14 / ! extract gridline along x, 0= middle , -1=last , n=j , -10=don't write
&list3 problem%extract_distr(2)=14 / ! extract gridline along y, 0= middle , -1=last , n=i , -10=don't write

Για y=0,75m

&list3 problem%extract_distr(1)=39 / ! extract gridline along x, 0= middle , -1=last , n=j , -10=don't write
&list3 problem%extract_distr(2)=39 / ! extract gridline along y, 0= middle , -1=last , n=i , -10=don't write

Grid.inp

Για y=0,50m

&list3 problem%nregionsx= 1 /
&list3 problem%ncellx(1)= 25 /
&list3 problem%lengthx(1)= 1.0 /
&list3 problem%nregionsy= 1 /
&list3 problem%ncelly(1)= 25 /
&list3 problem%lengthy(1)= 1.0 /

File input.inp

Για y=0,5m

&list3 problem%extract_distr(1)=14 / ! extract gridline along x, 0= middle , -1=last , n=j , -10=don't write
&list3 problem%extract_distr(2)=14 / ! extract gridline along y, 0= middle , -1=last , n=i , -10=don't write

3.2 Πτερύγια

3.2.1 Γενικές ρυθμίσεις που ακολουθούν όλα τα παραδείγματα

Input files

Grid.inp

&list3	problem%nregionsx=	1	/
&list3	problem%ncellx(1)=	10	/ πλήθος κελιών στον άξονα x
&list3	problem%lengthx(1)=	0,1	/ μήκος άξονα x
&list3	problem%nregionsy=	1	/
&list3	problem%ncelly(1)=	1	/ πλήθος κελιών στον άξονα y
&list3	problem%lengthy(1)=	0,005	/ μήκος άξονα y

II) Στο δεύτερο μέρος του αρχείου grid.inp εισάγουμε τις ιδιότητες του υλικού, πρώτα τον συντελεστή αγωγιμότητας, τον οποίο τον έχουμε ορίσει κ=401W/mK, έπειτα την πυκνότητα ρ=8,933kg/m^3, και τέλος τον συντελεστή θερμοχωρητικότητας Cp=3,87J/KgK.

Ιδιότητες υλικού
&list4 layer(1)%cond1 = 401.0 / συντελεστής αγωγιμότητας κ
&list4 layer(1)%density1 = 8933.0 / πυκνότητα ρ
&list4 layer(1)%cp1 = 385.0 / συντελεστής θερμοχωρητικότητας Cp

File input.inp

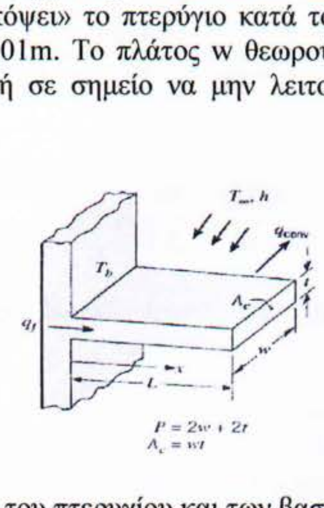
&list3 problem%extract_distr(1)=0 / ! extract gridline along x, 0= middle , -1=last , n=j , -10=don't write
&list3 problem%extract_distr(2)=-10 / ! extract gridline along y, 0= middle , -1=last , n=i , -10=don't write

3.2.2 Πτερύγιο ορθογωνικής διατομής (Rectangular fin

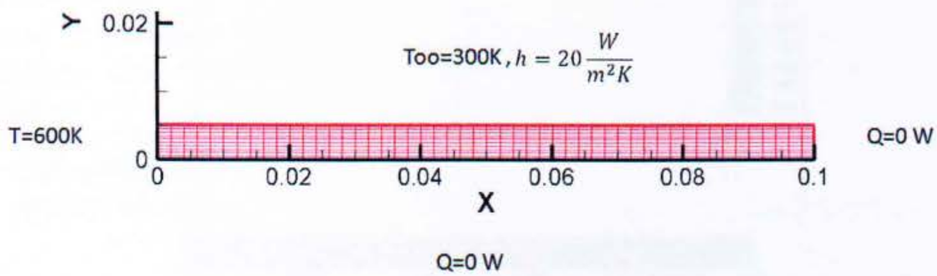
3.2.2.1 Πτερύγιο ορθογωνικής διατομής (Rectangular fin) – Αδιαβατικό

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε ένα πτερύγιο ορθογωνικής διατομής όπως φαίνεται στο σχήμα. Η θερμοκρασία στο δυτικό άκρο είναι η T_b και ισούται με 600K. Ανατολικά θεωρούμε το φαινόμενο αδιαβατικό. Στο βορείνο άκρο έχουμε συναγωγή με T_{oo}=300K και h=20W/(mK). Στο νότιο θεωρούμε το φαινόμενο αδιαβατικό (έχουμε «κόψει» το πτερύγιο κατά το ήμισυ). Το μήκος L, ισούται με 0,1m και το ύψος t ισούται με 0,01m. Το πλάτος w θεωρούμε ότι τείνει στο άπειρο, δηλαδή πρακτικά ότι παίρνει μεγάλη τιμή σε σημείο να μην λειτουργεί ως παράμετρος στο παρόν πρόβλημα.



Σχήμα: Τρισδιάστατη απεικόνιση του πτερυγίου και των βασικών παραμέτρων που το διέπουν.



Σχήμα: Δισδιάστατη απεικόνιση του πτερυγίου και των βασικών παραμέτρων που το διέπουν.

- Θεωρητική επίλυση

Το πρόβλημα επιλύεται θεωρητικά με τη χρήση των εξής τύπων:

$$m^2 \equiv \frac{hP}{kA_c}$$

Όπου

$$P = 2w + 2t$$
$$A_c = wt$$

Και τέλος η θερμοκρασία συναρτήσει του x και ανηγμένη στη τιμή της T_b (ή αλλιώς και θ_b).

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$$

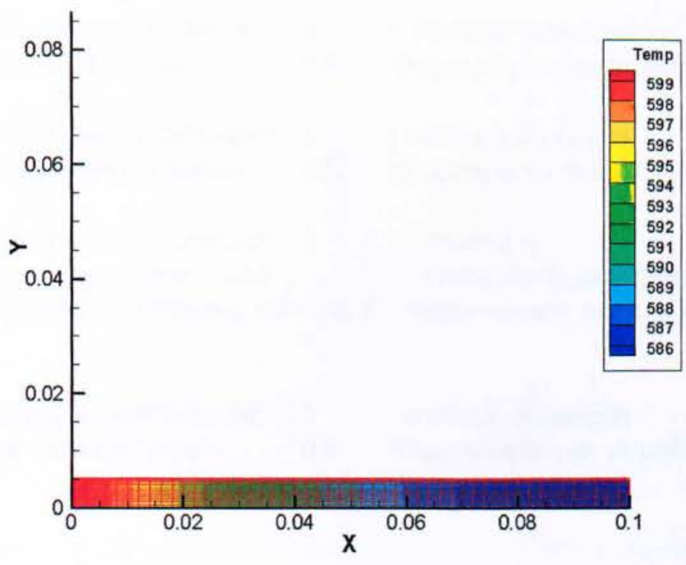
Στο παρόν πρόβλημα θεωρούμε ότι το w (πλάτος του πτερυγίου) τείνει στο άπειρο, δηλαδή πρακτικά παίρνει μία μεγάλη τιμή. Άρα θα έχουμε.

$$\lim_{w\to\infty} \frac{P}{A_c} = \lim_{w\to\infty} \frac{2w+2t}{wt} = \lim_{w\to\infty} (\frac{2}{t} + \frac{2}{w}) = \frac{2}{t}$$

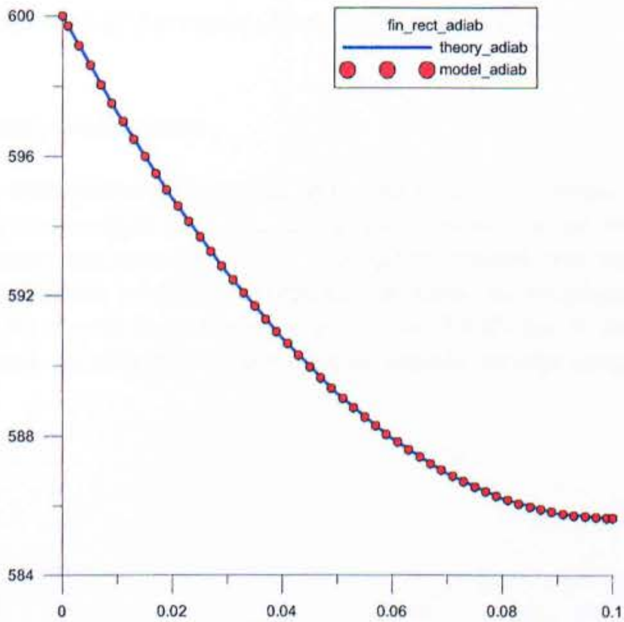
Κατά συνέπεια

$$m^2 \equiv \frac{hP}{kA_c} \equiv \frac{2h}{kt}$$

Στα παρακάτω σχήματα βλέπουμε τη θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x.



Σχήμα: Θερμοκρασιακή διανομή σε άξονες x,y.



Σχήμα: Θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x.

<u>File boundary.inp</u>

! EAST

&list3 problem%boundary(1)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή

&list3 problem%boundary(1)%q= 0.0 /θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό)

! WEST

&list3 problem%boundary(2)%ibound= 1 / σταθερή θερμοροή

&list3 problem%boundary(2)%temp= 600 /θερμοκρασία δυτικού άκρου

! NORTH

&list3 problem%boundary(3)%ibound= 3 /συναγωγή

&list3 problem%boundary(3)%h= 20.0 / συντελεστής συναγωγιμότητας

&list3 problem%boundary(3)%temp_inf= 300.0 /θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το βόρειο άκρο

! SOUTH

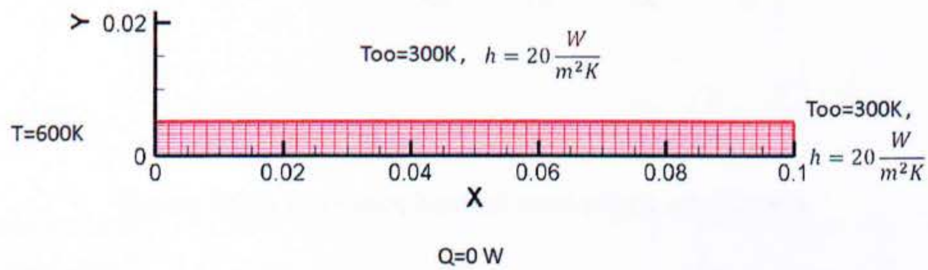
&list3 problem%boundary(4)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή

&list3 problem%boundary(1)%q= 0.0 /θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό)

3.2.2.2 *Πτερύγιο ορθογωνικής διατομής (Rectangular fin) – Συναγωγή*

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε ένα πτερύγιο ορθογωνικής διατομής όπως φαίνεται στο σχήμα. Η θερμοκρασία στο δυτικό άκρο είναι η T_b και ισούται με 600K. Στο βορείνο άκρο έχουμε συναγωγή με T_{oo}=300K και h=20W/(mK). Ομοίως στο ανατολικό άκρο έχουμε συναγωγή υπό τις ίδιες συνθήκες. Στο νότιο θεωρούμε το φαινόμενο αδιαβατικό (έχουμε «κόψει» το πτερύγιο κατά το ήμισυ). Το μήκος L, ισούται με 0,1m και το ύψος t ισούται με 0,01m. Το πλάτος w θεωρούμε ότι τείνει στο άπειρο, δηλαδή πρακτικά ότι παίρνει μεγάλη τιμή σε σημείο να μην λειτουργεί ως παράμετρος στο παρόν πρόβλημα.



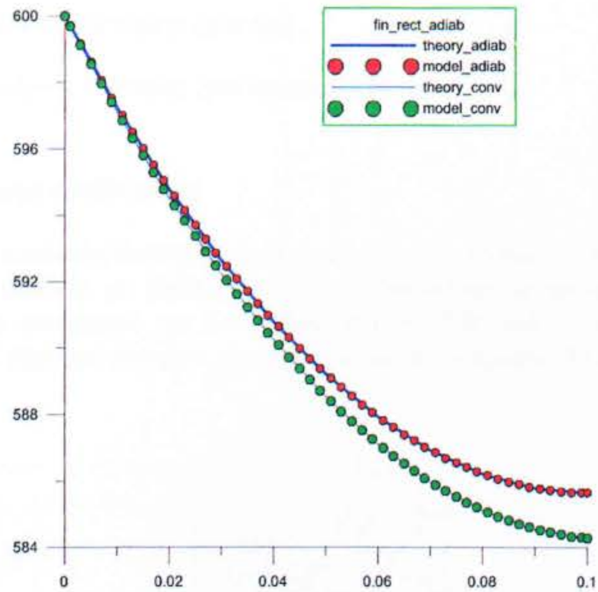
Σχήμα: Δισδιάστατη απεικόνιση του πτερυγίου και των βασικών παραμέτρων που το διέπουν.

- Θεωρητική επίλυση

Ισχύουν όλοι οι που είχαμε ορίσει στο προηγούμενο πρόβλημα έκτος από το τύπο που δίνει τη θερμοκρασία, ο οποίος είναι:

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x) + \frac{h}{mk}\cdot \sinh m(L-x)}{\cosh mL + \frac{h}{mk}\cdot \sinh mL}$$

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x του προηγούμενου προβλήματος και του νυν.



Σχήμα: Θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x.

File boundary.inp

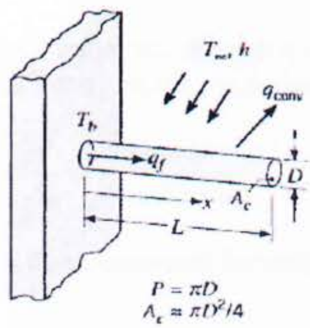
! EAST
&list3 problem%boundary(3)%ibound= 3 /συναγωγή
&list3 problem%boundary(3)%h= 20.0 / συντελεστής συναγωγιμότητας
&list3 problem%boundary(3)%temp_inf= 300.0 /θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το βόρειο άκρο
! WEST
&list3 problem%boundary(2)%ibound= 1 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(2)%temp= 600 /θερμοκρασία δυτικού άκρου
! NORTH
&list3 problem%boundary(3)%ibound= 3 /συναγωγή
&list3 problem%boundary(3)%h= 20.0 / συντελεστής συναγωγιμότητας
&list3 problem%boundary(3)%temp_inf= 300.0 /θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το βόρειο άκρο
! SOUTH
&list3 problem%boundary(4)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(1)%q= 0.0 /θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό)

3.2.3 Πτερύγιο κυκλικής διατομής (pin fin)

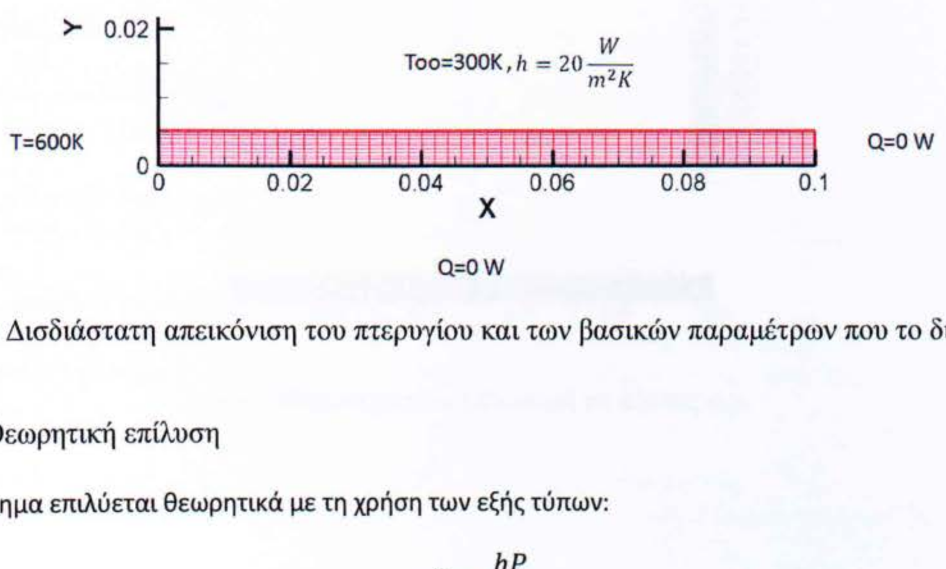
3.2.3.1.1 Πτερύγιο κυκλικής διατομής (pin fin) - αδιαβατικό

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε ένα πτερύγιο κυκλικής διατομής όπως φαίνεται στο σχήμα. Η θερμοκρασία στο δυτικό άκρο είναι η T_b και ισούται με 600K. Ανατολικά θεωρούμε το φαινόμενο αδιαβατικό. Στο βορείνο άκρο έχουμε συναγωγή με T_{oo}=300K και h=20W/(mK). Στο νότιο θεωρούμε το φαινόμενο αδιαβατικό (έχουμε «κόψει» το πτερύγιο κατά το ήμισυ). Η διάμετρος D ισούται με 0,1m.



Σχήμα: Τρισδιάστατη απεικόνιση του πτερυγίου και των βασικών παραμέτρων που το διέπουν.



Σχήμα: Δισδιάστατη απεικόνιση του πτερυγίου και των βασικών παραμέτρων που το διέπουν.

- Θεωρητική επίλυση

Το πρόβλημα επιλύεται θεωρητικά με τη χρήση των εξής τύπων:

$$m^2 \equiv \frac{hP}{kA_c}$$

Όπου

$$P = \pi D$$

$$A_c = \frac{\pi D^2}{4}$$

Προφανώς

$$\frac{P}{A_c} = \frac{D}{4}$$

Κατά συνέπεια

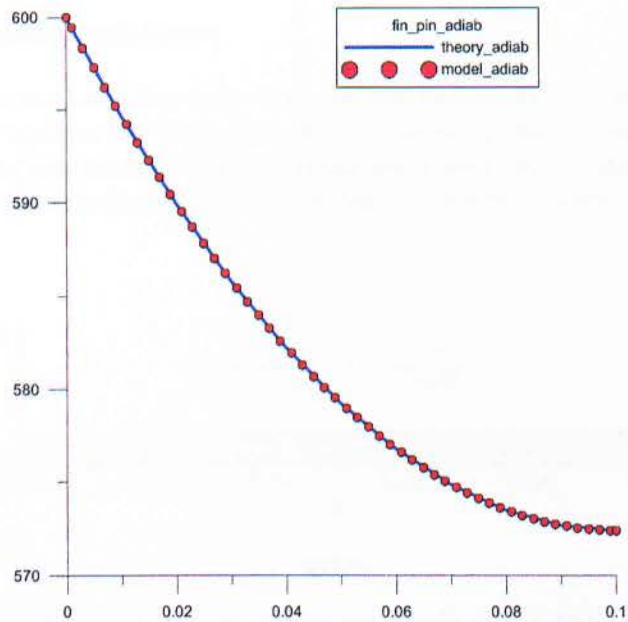
$$m^2 \equiv \frac{hP}{kA_c} \equiv \frac{hD}{4k}$$

Και τέλος η θερμοκρασία συναρτήσει του x και ανηγμένη στη τιμή της T_b (ή αλλιώς και θ_b), προφανώς ισχύει ο ίδιος τύπος από τα προηγούμενα προβλήματα.

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$$

Στα παρακάτω σχήματα βλέπουμε τη θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x.

Σχήμα: Θερμοκρασιακή διανομή σε άξονες x,y.



Σχήμα: Θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x.

Input.inp

&list3 problem%symmetrical2d= 1 /αξονοσυμμετρικό πρόβλημα

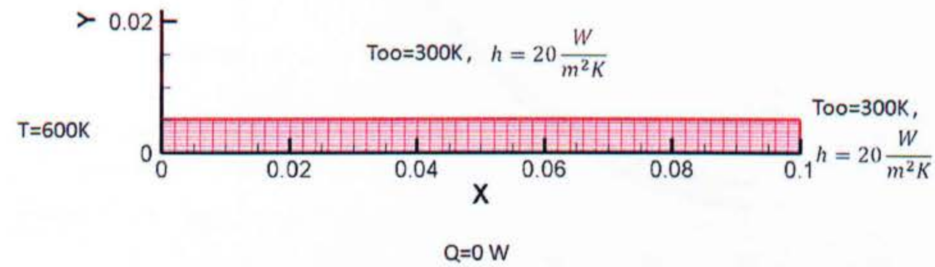
File boundary.inp

! EAST
&list3 problem%boundary(1)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(1)%q= 0.0 /θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό)
! WEST
&list3 problem%boundary(2)%ibound= 1 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(2)%temp= 600 /θερμοκρασία δυτικού άκρου
! NORTH
&list3 problem%boundary(3)%ibound= 3 /συναγωγή
&list3 problem%boundary(3)%h= 20.0 / συντελεστής συναγωγιμότητας
&list3 problem%boundary(3)%temp_inf= 300.0 /θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το βόρειο άκρο
! SOUTH
&list3 problem%boundary(4)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(1)%q= 0.0 /θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό)

3.2.3.1.2 Πτερύγιο κυκλικής διατομής (pin fin) – συναγωγή

- Σύντομη περιγραφή προβλήματος

Έχουμε ένα πτερύγιο κυκλικής διατομής όπως φαίνεται στο σχήμα. Η θερμοκρασία στο δυτικό άκρο είναι η T_b και ισούται με 600K. Στο βορείνο άκρο έχουμε συναγωγή με T_{oo}=300K και h=20W/(mK). Ομοίως στο ανατολικό άκρο έχουμε συναγωγή υπό τις ίδιες συνθήκες. Στο νότιο θεωρούμε το φαινόμενο αδιαβατικό (έχουμε «κόψει» το πτερύγιο κατά το ήμισυ). Η διάμετρος D ισούται με 0,1m.



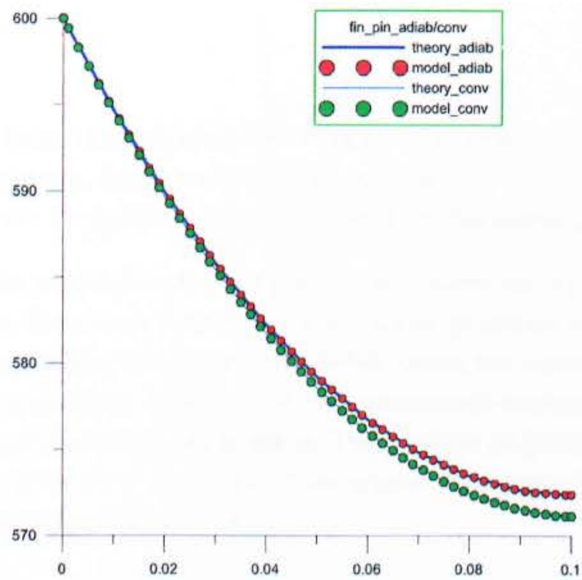
Σχήμα: Δισδιάστατη απεικόνιση του πτερυγίου και των βασικών παραμέτρων που το διέπουν.

- Θεωρητική επίλυση

Ισχύουν όλοι οι που είχαμε ορίσει στο προηγούμενο πρόβλημα έκτος από το τύπο που δίνει τη θερμοκρασία, ο οποίος είναι:

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(L-x) + \frac{h}{mk} \cdot \sinh m(L-x)}{\cosh mL + \frac{h}{mk} \cdot \sinh mL}$$

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x του προηγούμενου προβλήματος και του νυν.



Σχήμα: Θερμοκρασιακή διανομή κατά μήκος του άξονα x.

Input.inp

&list3 problem%symmetrical2d= 1 /αξονοσυμμετρικό πρόβλημα

File boundary.inp

! EAST
&list3 problem%boundary(3)%ibound= 3 /συναγωγή
&list3 problem%boundary(3)%h= 20.0 / συντελεστής συναγωγιμότητας
&list3 problem%boundary(3)%temp_inf= 300.0 /θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το βόρειο άκρο
! WEST
&list3 problem%boundary(2)%ibound= 1 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(2)%temp= 600 /θερμοκρασία δυτικού άκρου
! NORTH
&list3 problem%boundary(3)%ibound= 3 /συναγωγή
&list3 problem%boundary(3)%h= 20.0 / συντελεστής συναγωγιμότητας
&list3 problem%boundary(3)%temp_inf= 300.0 /θερμοκρασία αέρα που διέρχεται από το βόρειο άκρο
! SOUTH
&list3 problem%boundary(4)%ibound= 2 / σταθερή θερμοροή
&list3 problem%boundary(1)%q= 0.0 /θερμοροή ίση με το μηδέν (αδιαβατικό)

4 Συμπεράσματα

Πρώτον, το πρόγραμμα Heat2D.exe δουλεύει σε εξαιρετικά ικανοποιητικό βαθμό στο εύρος των προβλημάτων που μελετήσαμε, όπως αυτό έγινε εμφανές έπειτα από την σύγκριση των υπολογιστικών λύσεων του προγράμματος με τις αντίστοιχες θεωρητικές.

Επιπροσθέτως, ήρθαμε σε μία βαθύτερή επαφή με το υπολογιστή και τη χρήση αυτού ως εργαλείο ενός μηχανικού. Έτσι έγινε εμφανές με πόση προσοχή πρέπει να χειριζόμαστε τον υπολογιστή όταν λύνουμε υπολογιστικά και πόσο βαθιά γνώση και κατανόηση χρειάζεται για να γίνει αντιληπτό το εκάστοτε πιθανό λάθος. Αυτό που πραγματικά αποκομίσαμε από εργασία είναι το εξής: «Οι αριθμοί λένε πάντα την αλήθεια. Την αλήθεια με βάση τα δεδομένα που εμείς ορίσαμε... Συμπέρασμα: Όταν κάτι "δεν βγαίνει" δεν φταίνε οι αριθμοί αλλά αυτός που όρισε τα δεδομένα ή αυτός που τα επεξεργάσθηκε...»

5 Βιβλιογραφία

1. ΑΡΧΕΣ της ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ για Μηχανικούς Τόμος Ι – Έκδοση 1η , Κωνσταντίνος-Στέφανος Νίκας
2. fundamentals of heat and mass transfer sixth edition, Incropera -De Witt – Bergman – Lavine
3. REA's Problem Solvers HEAT TRANSFER revised printing 1992