

ΤΕΙ Λάρισας
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

bark 0.5.2

Λογισμικό μονοδιάστατης προσομοίωσης
μετάδοσης θερμότητας σε πολλαπλά στρώματα

Ονούφριος Χαραλάμπους

11 Ιουλίου 2013

Έκδοση 0.1, Λάρισα 2013
Copyright ©

Ονούφριος Χαραλάμπους - Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας
onoufrios@teilar.gr

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	5
2	Μαθηματικό μοντέλο	7
2.1	Ισοζύγιο ενέργειας	7
2.2	Οριακές συνθήκες	7
2.2.1	Ηλιακή ακτινοβολία	7
2.2.2	Ακτινοβολία σε διαφανή υλικά	7
3	Αρχείο εισόδου	9
3.1	Μεγέθη	9
3.2	Τύποι παραμέτρων	11
4	case	13
4.1	simulation	13
4.2	setup	14
4.2.1	materials	15
4.2.2	layers	15
4.2.3	boundaries	16
4.2.4	geometry	17
4.2.5	position	18
4.3	output	18
4.3.1	screen	18
4.3.2	file	19
5	Αρχείο εξόδου	21
6	Ενδεικτικά παραδείγματα	23
7	Μηνύματα λάθους	25
	Βιβλιογραφία	27

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2

Μαθηματικό μοντέλο

2.1 Ισοζύγιο ενέργειας

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + S. \quad (2.1)$$

2.2 Οριακές συνθήκες

2.2.1 Ηλιακή ακτινοβολία

2.2.2 Ακτινοβολία σε διαφανή υλικά

Κεφάλαιο 3

Αρχείο εισόδου

3.1 Μεγέθη

Μέγεθος	Προεπιλεγμένες μονάδες	Εναλλακτικές μονάδες
Αδιάστατο	—	
Μήκος	m	cm, mm
Χρόνος	s	$min, hour, day$
Γωνία	deg	rad
Θερμοκρασία	K	$degC$
Θερμική αγωγιμότητα	W/mK	
Θερμοχωρητικότητα	J/kgK	
Πυκνότητα	kg/m^3	
Ταχύτητα	m/s	
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	W/m^2K	
Ειδική θερμορροή	W/m^2	
Ημερομηνία	$month$	

3.2 Τύποι παραμέτρων

Τύπος	Σύνταξη	Περιγραφή
ομάδα	<pre><tag> <child_tag1>... </child_tag1> <child_tag2>... </child_tag2> ... </tag></pre>	Μια ομάδα παραμέτρων.
σταθερά	<pre><tag> <constant> 1.0 </constant> </tag></pre>	Ένα μέγεθος που παραμένει σταθερό καθόλη την προσομοίωση. Δηλώνεται μόνο μία αριθμητική τιμή.
μεταβλητή	<pre><tag> <variable> 0.0 1.0 1.0 4.0 ... </variable> </tag></pre>	Ένα μέγεθος που μεταβάλλεται συναρτήσει ενός άλλου μεγέθους. Δηλώνεται ένας πίνακας δύο στηλών και απεριόριστων γραμμών.
συνάρτηση	<pre><tag> <function> <function1> </function1> </function> </tag></pre>	Ένα μέγεθος που μεταβάλλεται συναρτήσει ενός άλλου μεγέθους. Επιλέγεται μία εσωτερική συνάρτηση και δηλώνονται οι απαραίτητες αριθμητικές παράμετροι.
αναφορά	<code><tag reference="target_tag"/></code>	Μια αναφορά σε άλλη παράμετρο δηλωμένη ονομαστικά.
λέξη-κλειδί	<pre><tag> <keyword> keyword1 </keyword> </tag></pre>	Μια παράμετρος που ορίζεται με λέξεις-κλειδιά.

Chapter 4

case

Περίπτωση προσομοίωσης

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
simulation	ομάδα	Ενότητα	4.1	παραμετροί προσομοίωσης
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
setup	ομάδα	Ενότητα	4.2	παραμετροί διάταξης
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
output	ομάδα	Ενότητα	4.3	παραμετροί εξαγωγής αποτελεσμάτων
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.1 simulation

παραμετροί προσομοίωσης

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
start_time	σταθερά	Μέγεθος	Χρόνος	χρόνος εκκίνησης
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
end_time	σταθερά	Μέγεθος	Χρόνος	χρόνος τερματισμού
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
time_step	σταθερά	Μέγεθος	Χρόνος	χρονικό βήμα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
space_step	σταθερά	Μέγεθος	Μήκος	χωρικό βήμα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
initial_temperature	σταθερά	Μέγεθος	Θερμοκρασία	αρχική θερμοκρασία
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.2 setup

παραμετροι διάταξης

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
materials	ομάδα	Ενότητα	4.2.1	Λίστα υλικών
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
layers	ομάδα	Ενότητα	4.2.2	στρώματα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
boundaries	ομάδα	Ενότητα	4.2.3	όρια
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
geometry	ομάδα	Ενότητα	4.2.4	γεωμετρία τοιχώματος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
position	ομάδα	Ενότητα	4.2.5	θέση
		Χρήση	προαιρετική	
		Εμφανίσεις	1	

4.2.1 materials

Λίστα υλικών

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
material	ομάδα	Ενότητα	4.2.1	υλικό
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	-1	

material υλικό

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
conductivity	σταθερά	Μέγεθος	Θερμική αγωγιμότητα	θερμική αγωγιμότητα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
heat_capacity	σταθερά	Μέγεθος	Θερμοχωρητικότητα	θερμοχωρητικότητα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
density	σταθερά	Μέγεθος	Πυκνότητα	πυκνότητα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
emissivity	σταθερά	Μέγεθος	Αδιάστατο	συντελεστής εκπομπής
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.2.2 layers

στρώματα

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
layer	ομάδα	Ενότητα	4.2.2	στρώμα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	-1	

layer στρώμα

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
geometry	ομάδα	Ενότητα	4.2.4	γεωμετρία τοιχώματος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
material	αναφορά	Μέγεθος	Αδιάστατο	υλικό
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

geometry γεωμετρία τοιχώματος

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
thickness	σταθερά	Μέγεθος	Μήκος	πάχος στρώματος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.2.3 boundaries

όρια

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
boundary	ομάδα	Ενότητα	4.2.3	όριο
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	-1	

boundary όριο

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
temperature	σταθερά	Μέγεθος	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία ρευστού
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
heat _transfer _coefficient	σταθερά	Μέγεθος	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
velocity	σταθερά	Μέγεθος	Ταχύτητα	Ταχύτητα ρευστού
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
heat_flux	σταθερά	Μέγεθος	Ειδική θερμορροή	Ειδική θερμορροή
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
infrared _irradiance	σταθερά	Μέγεθος	Ειδική θερμορροή	Πρόσπτωση υπέρυθρης ακτινοβολίας
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
solar _irradiance	σταθερά	Μέγεθος	Ειδική θερμορροή	Πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.2.4 geometry

γεωμετρία τοιχώματος

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
height	σταθερά	Μέγεθος	Μήκος	ύψος τοιχώματος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
length	σταθερά	Μέγεθος	Μήκος	πλάτος τοιχώματος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
tilt	σταθερά	Μέγεθος	Μήκος	κλίση τοιχώματος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.2.5 position

θέση

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
latitude	σταθερά	Μέγεθος	Γωνία	γεωγραφικό πλάτος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
longitude	σταθερά	Μέγεθος	Γωνία	γεωγραφικό μήκος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
orientation	σταθερά	Μέγεθος	Γωνία	προσανατολισμός
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
date	σταθερά	Μέγεθος	Ημερομηνία	ημερομηνία
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
time	σταθερά	Μέγεθος	Χρόνος	χρόνος
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.3 output

παράμετροι εξαγωγής αποτελεσμάτων

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
screen	ομάδα	Ενότητα	4.3.1	Παράμετροι εξαγωγής στην οθόνη.
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
file	ομάδα	Ενότητα	4.3.2	Παράμετροι εξαγωγής σε αρχείο.
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.3.1 screen

Παράμετροι εξαγωγής στην οθόνη.

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
time_step	σταθερά	Μέγεθος	Χρόνος	χρονικό βήμα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	
space_step	σταθερά	Μέγεθος	Μήκος	χωρικό βήμα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

4.3.2 file

Παράμετροι εξαγωγής σε αρχείο.

Ετικέτα	Τύπος	Παράμετρος	Τιμή	Περιγραφή
time_step	σταθερά	Μέγεθος	Χρόνος	χρονικό βήμα
		Χρήση	υποχρεωτική	
		Εμφανίσεις	1	

Κεφάλαιο 5

Αρχείο εξόδου

Όλα τα αποτελέσματα εξάγονται σε μονάδες SI.

Στήλη	Τίτλος	Μονάδα	Περιγραφή
1	time	s	Χρόνος
2	Civ.time	s	Πολιτικός χρόνος
3	Sol.time	s	Ηλιακός χρόνος
4	qconv1	$\frac{W}{m^2}$	Θερμορροή λόγω συναγωγής στην πλευρά 1
5	qrad1	$\frac{W}{m^2}$	Θερμορροή λόγω ακτινοβολίας από το περιβάλλον στην πλευρά 1
6	qsol1	$\frac{W}{m^2}$	Θερμορροή λόγω ηλιακής ακτινοβολίας στην πλευρά 1
7	qconv2	$\frac{W}{m^2}$	Θερμορροή λόγω συναγωγής στην πλευρά 2
8	qrad2	$\frac{W}{m^2}$	Θερμορροή λόγω ακτινοβολίας από το περιβάλλον στην πλευρά 2
9	qsol2	$\frac{W}{m^2}$	Θερμορροή λόγω ηλιακής ακτινοβολίας στην πλευρά 2
10	hcon1	$\frac{W}{m^2 K}$	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής στην πλευρά 1

Στήλη	Τίτλος	Μονάδα	Περιγραφή
11	hrad1	$\frac{W}{m^2 K}$	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω ακτινοβολίας στην πλευρά 1
12	hconv2	$\frac{W}{m^2 K}$	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής στην πλευρά 2
13	hrad2	$\frac{W}{m^2 K}$	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λόγω ακτινοβολίας στην πλευρά 2
14	Qcum1	$\frac{J}{m^2}$	Συνολική ενέργεια που έχει διαπεράσει την πλευρά 1 από την αρχή της προσομοίωσης
15	Qcum2	$\frac{J}{m^2}$	Συνολική ενέργεια που έχει διαπεράσει την πλευρά 2 από την αρχή της προσομοίωσης
16	Ta(-. . .)	K	Θερμοκρασία ρευστού στην πλευρά 1. Η θέση που αναφέρεται είναι ενδεικτική.
16 + 1	Ts(0mm)	K	Επιφανειακή θερμοκρασία στην πλευρά 1
...			
16 + ι	Ts(. . .)	K	Θερμοκρασία στερεού τοιχώματος στην θέση που αναφέρεται.
...			
16 + N	Ts(. . .)	K	Επιφανειακή θερμοκρασία στην πλευρά 2
16 + N + 1	Ta(. . .)	K	Θερμοκρασία ρευστού στην πλευρά 2. Η θέση που αναφέρεται είναι ενδεικτική.

Κεφάλαιο 6

Ενδεικτικά παραδείγματα

Κεφάλαιο 7

Μηνύματα λάθους

Βιβλιογραφία

- [1] Abdel-Wahed, R. M., Patankar, S. v., and Sparrow, E. M. (1976). Fully Developed Laminar Flow and Heat Transfer in a Square Duct with One Moving Wall, *Lett. Heat Mass Transfer*, vol. 3, p. 355.

