



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

FEAR

ΓΙΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Υπό

ΠΕΤΡΟΥΓΑΚΗ ΓΙΩΡΓΟ-ΛΟΥΚΑ

Επιβλέπων καθηγητής: **Σταυρουλάκης Γεώργιος**

Χανιά, 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΦΟΡΕΣ FEAP ΜΕ FEAP_{ρν}.....	6
2.1: Εισαγωγή δεδομένων.....	6
2.2: Χειρισμός του πλέγματος.....	6
2.3: Εντολές επίλυσης εξισώσεων.....	7
2.4: Σχεδίαση και γραφικά αποτελέσματα.....	8
2.5: Βιβλιοθήκες στοιχείων και υλικών	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ FEAP_{ρν}.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	16
5.1: Μοντέλο lbrasil.....	16
5.2: Μοντέλο ltayl.....	19
5.3: Μοντέλο lblk2d.....	20
5.4: Μοντέλο IEX1.....	22
5.5: Μοντέλο lblock.....	24
5.6: Μοντέλο l2dtruss.....	26
5.7: Μοντέλο IEX5.....	28
5.8: Μοντέλο IEX6.....	31
5.9: Μοντέλο IEX7.....	33
5.10: Μοντέλο IEX8.....	34
5.11: Μοντέλο lblk27.....	36

5.12: Μοντέλο I3dbeam.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	38
6.1: Μοντέλο Ipet1.....	38
6.2: Μοντέλο Ipet2.....	42
6.3: Μοντέλο Ipet3.....	47
6.4: Μοντέλο Ipet4.....	52
6.5: Μοντέλο Ipet5.....	57

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων εξελίχθηκε από μία γραμμική διαρθρωτική διαδικασία σε μία γενικευμένη τεχνική επίλυσης μη γραμμικών, παροδικών, μερικών διαφορικών εξισώσεων. Μια εκτενής βιβλιογραφία αυτής της μεθόδου υπάρχει η οποία περιγράφει την απαραίτητη θεωρία για την διατύπωση λύσεων μιας γενικής κλάσης προβλημάτων.

Το πρόγραμμα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων FEAP (finite element analysis program) είναι ένα υπολογιστικό σύστημα ανάλυσης το οποίο σχεδιάστηκε:

- 1) για εκπαιδευτική χρήση για να απεικονίσει τις επιδόσεις των διαφορετικών τύπων στοιχείων και των μεθόδων των μοντέλων και
- 2) για ερευνητική χρήση η οποία απαιτεί συχνές τροποποιήσεις για να εξερευνήσει νέες περιοχές προβλημάτων και να αναλύσει τις απαιτήσεις τους.

Η κατασκευή του προγράμματος πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο του Berkeley στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών από το τμήμα των πολιτικών μηχανικών.

Το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από το περιβάλλον των Linux και των Windows. Περιέχει μια ολοκληρωμένη σύνθεση εφαρμογών που επιπέτουν:

1. Την εισαγωγή δεδομένων που περιγράφουν το μοντέλο.
2. Μια βιβλιοθήκη στοιχείων για στερεά, κατασκευές και θερμική ανάλυση.
3. Κατασκευή αλγόριθμων επίλυσης προβλημάτων για μεγάλο εύρος εφαρμογών.
4. Γραφικά και αριθμητικά αποτελέσματα επίλυσης προβλημάτων.

Η λύση ενός προβλήματος προκύπτει από μια γλώσσα εντολών στην οποία ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος είναι γραμμένος από τον χρήστη. Υπάρχουν επαρκείς εντολές στο σύστημα για γραμμικές και μη γραμμικές εφαρμογές που αφορούν κατασκευές, ρευστομηχανική, μετάδοση θερμότητας και άλλα πεδία στα οποία η λύση των προβλημάτων απαιτεί χρήση διαφορικών εξισώσεων συμπεριλαμβανομένων και αυτών με μόνιμες ή μη μόνιμες συνθήκες.

Το πρόγραμμα FEAP περιλαμβάνει επιλογές για τον ορισμό ενός, δύο και τριών διαστάσεων πλέγματος. Ορίζει ένα ευρύ φάσμα γραμμικών και μη γραμμικών λύσεων αλγορίθμων. Επιλογές γραφικών για την επίλυση λύσεων με την απεικόνιση πλεγμάτων και περιγραμμάτων. Περιέχει βιβλιοθήκες με στοιχεία για γραμμικά και μη γραμμικά στερεά, θερμικά στοιχεία, δισδιάστατα ή τρισδιάστατα στοιχεία σκελετού για ράβδους και δοκούς και πολλαπλές επιλογές για κοινές αλληλεπιδράσεις σε σώματα. Τέλος περιέχει καταστατικά μοντέλα για γραμμική και πεπερασμένη ελαστικότητα καθώς επίσης και ανάλυση για ελαστική ή πλαστική παραμόρφωση των μοντέλων.

Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με προγράμματα παραγωγής πλεγμάτων που έχουν την δυνατότητα να εξάγουν κομβικές συντεταγμένες και συνθέσεις στοιχείων από πίνακες.

Πληροφορίες που αφορούν το πρόγραμμα FEAP που περιγράψαμε μπορούν να βρεθούν στην ιστοσελίδα: <http://www.ce.berkeley.edu/projects/feap/>

Στη συνέχεια της εργασίας θα ασχοληθούμε το πρόγραμμα FEAP_{rn} το οποίο προορίζεται για εκπαιδευτική χρήση. Το πρόγραμμα FEAP_{rn} ούτε επεκτείνεται ούτε τροποποιείται. Κάποιοι χρήστες που ασχολούνται με το πρόγραμμα διορθώνουν τυχόν προβλήματα που υπάρχουν και βελτιώνουν το υπάρχον πρόγραμμα. Αντίθετα με το FEAP_{rn}, στο FEAP συνέχεια επεκτείνονται οι δυνατότητες του και αναβαθμίζεται ταυτόχρονα. Πολλοί νέοι χρήστες ξεκινούν με το FEAP_{rn} έτσι ώστε να εξοικειωθούν με την δομή και την χρήση του προγράμματος και στην συνέχεια προχωρούν στην χρήση του FEAP. Το γεγονός ότι και τα δύο προγράμματα χρησιμοποιούν κοινά αρχεία εισόδου με κοινές σταθερές, μεταβλητές και παραμέτρους κάνει πιο εύκολη την μετάβαση από την εκπαιδευτική έκδοση στην πλήρη.

2. ΔΙΑΦΟΡΕΣ FEAP ΜΕ FEAPrv

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Το πρόγραμμα FEAP με το FEAPrv έχουν κοινή δομή στην εισαγωγή των δεδομένων για την κατασκευή του πλέγματος. Παρόλα αυτά οι εντολές για την εισαγωγή των δεδομένων διαφέρουν. Στο FEAP υπάρχουν οι παρακάτω εντολές για την εισαγωγή δεδομένων που αφορούν την κατασκευή του πλέγματος:

'coor', 'elem', 'mate', 'boun', 'forc', 'temp', 'end', 'prin',
'nopr', 'titl', 'bloc', 'pola', 'ebou', 'angl', 'sloa', 'cons',
'sphe', 'btem', 'icon', 'pars', 'nopa', 'trib', 'para', 'efor',
'eang', 'cbou', 'cfor', 'cang', 'foll', 'slav', 'rese', 'sblo',
'esse', 'rota', 'setn', 'setr', 'btra', 'fpro', 'cpro', 'regi',
'tran', 'damp', 'mass', 'stif', 'csur', 'ereg', 'reac', 'manu',
'body', 'glob', 'shif', 'disp', 'edis', 'cdis', 'debu', 'side',
'face', 'snod', 'blen', 'move', 'rigi', 'moda', 'flex', 'base',
'epro', 'mpro', 'loop', 'next', 'file', '*nod', '*ele',
'mes1', 'mes2', 'mes3', 'mes4', 'mes5', 'mes6', 'mes7', 'mes8',
'mes9', 'mes0'

Ενώ στο FEAPrv είναι οι ακόλουθες:

'coor', 'elem', 'mate', 'boun', 'forc', 'disp', 'temp', 'angl',
'eang', 'ebou', 'edis', 'efor', 'epro', 'fpro', 'mpro', 'ereg',
'cang', 'cbou', 'cdis', 'cfor', 'cpro', 'csur', 'regi', 'rese',
'bloc', 'btem', 'pola', 'shif', 'blen', 'snod', 'side', 'tran',
'para', 'prin', 'nopr', 'pars', 'nopa', 'debu', 'glob', 'titl',
'manu', 'end',
'mes1', 'mes2', 'mes3', 'mes4', 'mes5'

Το πρόγραμμα FEAPrv δεν έχει την ικανότητα να επιλύει προβλήματα που περιέχουν μέρη από άκαμπο σώμα και υπόκεινται σε πεπερασμένη παραμόρφωση. Οι εντολές *nod και *ele δεν υπάρχουν στο FEAPrv. Επίσης, στο FEAPrv υπάρχουν μόνο πέντε συναρτήσεις χρηστών για το πλέγμα ενώ στο FEAP υπάρχουν δέκα.

2.2 ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Οι επιλογές χειρισμού του πλέγματος είναι παρόμοιες και στα δύο προγράμματα εκτός από αυτές που περιγράφονται παρακάτω οι οποίες περιέχονται στο FEAP και όχι στο FEAPrv.

1. Master/Slave επιλογές σε μικρή παραμόρφωση που επιτρέπουν την δημιουργία διαγραμμάτων άκαμπτου πατώματος, κάθετων δοκών και αξονικής παραμόρφωσης.
2. Δυναμική σε σώματα που είναι ενωμένα με αρθρώσεις και υπόκεινται σε μεγάλες μετατοπίσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό δουλεύει μόνο σε στοιχεία που διατηρούν ενέργεια ορμής και μεθόδους που χρησιμοποιούν την ολοκλήρωση του χρόνου.
3. Βελτιστοποίηση του προφίλ με χρήση εξισώσεων γραμμικών μεταβλητών.
4. Πραγματικές και σύνθετες αριθμητικές επιλογές λύσεων.
5. Ικανότητα δισδιάστατης ή τρισδιάστατης αλληλεπίδρασης επαφής.
6. Επιλογή διαχωρισμένων λύσεων.
7. Ορίζοντας την σειρά των συνήθεις διαφορικών εξισώσεων σε κάθε κόμβο. Σε θερμομηχανικά προβλήματα η εντολή της θερμικής εξίσωσης παρουσιάζεται σαν πρώτη παροδική λύση και στην συνέχεια το μηχανικό μέρος ως δεύτερη.

2.3 ΕΝΤΟΛΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Και τα δύο προγράμματα χρησιμοποιούν εντολές για την δημιουργία λύσεων των προβλημάτων. Επίσης αυτές οι εντολές επιτρέπουν την εξαγωγή δεδομένων καθώς και την παρουσίαση γραφικών αποτελεσμάτων.

Στο πλήρες πρόγραμμα υπάρχουν οι παρακάτω εντολές:

```
'stre','utan','tang','form','mass','reac','chec','erro',
'damp','augm','geom','dire','iter','expo','impo','ntan',
'base','jint','zzhu',
'tol ','dt ','loop','next','prop','data','time','prin',
'nopr','beta','init','iden','newf','back','debu','line',
'nonl','auto','meth','if ','else','endi','tran','step',
'disp','solv','mesh','plot','subs','writ','read','cont',
'rest','velo','acce','bfgs','arcl','save','paus','eige',
'expl','memo','acti','deac','zero','epri','moda','opti',
'eigv','rayl','cxso','broy',
'mac1','mac2','mac3','mac4','mac5','mac6','mac7','mac8',
'mac9','mac0',
'outm','renu','show','scre','comm','smoo','set ','assi',
'list','tplo','para','func','dync','part','mate','capt','manu'
```

ενώ στο FEAPrn περιέχονται οι παρακάτω εντολές:

'stre','utan','tang','form','mass','reac','chec','damp',
'augm','geom','dire','iter',
'tol','dt','loop','next','prop','data','time','prin',
'nopr','tran','init','iden','newf','back','debu',
'disp','solv','mesh','plot','subs','writ','read','rest',
'velo','acce','bfgs','arcl','save','eige','epri','eign',
'show','tplo',
'mac1','mac2','mac3','mac4','mac5',
'manu'

Γενικά οι εντολές του FEAPrn μας επιτρέπουν την επίλυση των περισσότερων ακαδημαϊκών προβλημάτων, από την άλλη μεριά, σε ένα σύνθετο ερευνητικό περιβάλλον τα επιπλέον χαρακτηριστικά που διαθέτει το FEAP μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε επιπλέον επιλογές για την επίλυση των προβλημάτων μας.

Στο FEAP έχουν προστεθεί αλγόριθμοι που επιλύουν γραμμικές εξισώσεις. Επίσης διαθέτει αλγόριθμο ο οποίος μειώνει τα περιττά δεδομένα ώστε να προκύπτουν πιο ευφείς λύσεις στις γραμμικές εξισώσεις. Διαθέτει αλγόριθμο ο οποίος υπολογίζει τους τελεστές ανάδελτα διαφόρων μεγεθών ο οποίος έχει αποδειχτεί ότι είναι αποτελεσματικός σε επίλυση γραμμικών ελαστικών (ή ανελαστικών) προβλημάτων.

2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Και οι δύο εκδόσεις επιτρέπουν την προβολή γραφικών αποτελεσμάτων του πλέγματος και των μεταβλητών (μετατόπισης, θλίψη, ροή). Γενικά, το FEAP επιτρέπει την παρουσίαση πλεγμάτων και στις τρεις διαστάσεις ενώ το FEAPrn μόνο στις δύο. Οι εντολές που είναι διαθέσιμες στο FEAP είναι οι εξής:

'fram','wipe','fact','cent','cart','line','symm','cont',
'outl','load','mesh','stre','node','boun','elem','zoom',
'colo','fill','text','size','cvar','eign','bord','scal',
'axis','pers','disp','show','hide','prin','nopr','defo',
'unde','velo','acce','post','reac','eige','mate','back',
'clip','titl','mark','refr','pick','capt','pbou','pfor',
'pnod','quad','real','imag','eyes','dofs','estr','prof',
'prax','pair','clea','pstr','dplo','splo','manu','prom',
'defa','scre','pdis','pele','proj','labe','nola','snod',
'psno','exno','xypl','wind','logo','time','bplo','rang',
'nora','rect','cyli','sphe','full','nofu','uplo','jint',

'regi'

Και στο FEAPpv είναι οι ακόλουθες:

'fram', 'wipe', 'fact', 'cent', 'cart', 'line', 'mesh', 'outl',
'load', 'disp', 'stre', 'node', 'boun', 'elem', 'zoom', 'colo',
'fill', 'eigv', 'scal', 'axis', 'pers', 'hide', 'defo', 'unde',
'cont', 'velo', 'acce', 'post', 'reac', 'mate', 'dofs', 'estr',
'pstr', 'prom', 'defa', 'uplo'

2.5 ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ

Το κάθε πρόγραμμα περιέχει μια βιβλιοθήκη με τα βασικά στοιχεία όπως φαίνεται στον πίνακα 1. Στον πίνακα 1 το σύμβολο 'D' συμβολίζει μια μετατόπιση, το 'M' μια σύνθετη και το 'E' μία ενισχυμένη. Επίσης, το σύμβολο 'L' συμβολίζει μια γραμμική παραμόρφωση ενώ το 'N' μια μη γραμμική παραμόρφωση.

Element Dimension	FEAP			FEAPpv		
	1	2	3	1	2	3
Solid (D)		LN	LN		LN	L
Solid (M)		LN	LN		LN	
Solid (E)		LN	LN		L	
Truss	LN	LN	LN	LN	LN	LN
Frame		LN	LN		LN	L
Plate		L			L	
Shell		LN	LN		LN	L
Membrane		LN	LN			
Thermal		L	L		L	L
Convection		L	L		L	L
Gap	LN	LN	LN			
Point	L	L	L			
Pressure		LN	LN			

Table 1: Element Library List

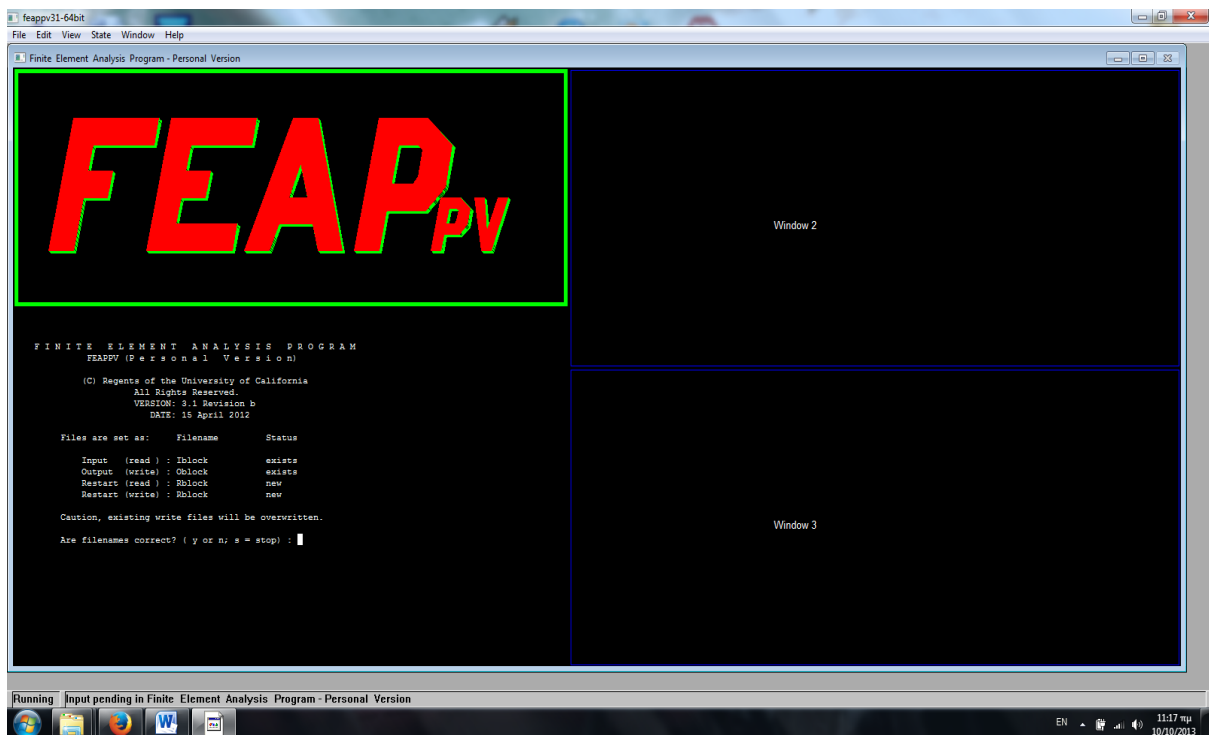
Η βιβλιοθήκη υλικών για κάθε στοιχείο εγκαθίσταται όταν χρησιμοποιήσουμε ένα υλικό για μικρή ή για πεπερασμένη παραμόρφωση. Οι βασικοί τύποι των υλικών παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Το σύμβολο 'I' συμβολίζει ένα ιστροπικό υλικό, το 'O' ένα ορθοτροπικό, το 'D' ένα κατεστραμμένο μοντέλο και το 'G' ένα γενικευμένο πλαστικό μοντέλο. Το σύμβολο 'X' υποδηλώνει την ικανότητα να προσθέσουμε ένα μοντέλο κατασκευασμένο από χρήστη.

Model Type	<i>FEAP</i>		<i>FEAPpv</i>	
	Linear	Nonlinear	Linear	Nonlinear
Elastic	IO	I	IO	X
Viscoelastic	I	ID	I	
Plastic	IG	I	I	
User	X	X	X	X

Table 2: Material Library List

3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ FEAP_{pv}

Μια μικρή έκδοση του προγράμματος το οποίο ονομάζεται FEAP_{pv} είναι διαθέσιμο χωρίς καμία χρέωση από την ιστοσελίδα: www.ce.berkeley.edu/feap/feappv και είναι η έκδοση με την οποία θα ασχοληθούμε και θα αναλύσουμε τα διάφορα μοντέλα.



Το πρόγραμμα FEAP_{pv} είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι συμβατό με το λειτουργικό σύστημα των UNIX/LINUX και των WINDOWS.

Από την ιστοσελίδα του FEAP_{pv} που αναφέραμε παραπάνω υπάρχουν διάφορα link από τα οποία υπάρχει η δυνατότητα να κατεβάσουμε το compiled πρόγραμμα για τα Windows. Το μέγεθος του αρχείου είναι γύρω στα 2,5MB.

Η εγκατάσταση στο περιβάλλον των Windows είναι απλή. Το το πρόγραμμα FEAP_{pv} είναι ήδη compiled και είναι ένα εκτελέσιμο αρχείο (.exe) το οποίο απλά το τρέχουμε και ανοίγει το παράθυρο ζητώντας μας τα input data file. Η έκδοση του προγράμματος είναι η “3.1 revision b” και έχει κατασκευαστεί τον Απρίλιο του 2012.

Στα Linux η εγκατάσταση είναι λίγο διαφορετική. Από το link που ακολουθεί:

http://goliat.mecanica.upm.es/moodle/file.php/1/feap/doc/feap_for_linux.html

Μπορούμε να κατεβάσουμε το εκτελέσιμο αρχείο του προγράμματος FEAP το οποίο είναι ήδη compiled από τον compiler GNU gfortran (gcc) που περιέχει την fortran. Ανάλογα με την αρχιτεκτονική του υπολογιστή μας κατεβάζουμε το αντίστοιχο αρχείο compiled with gcc/gfortran for linux 32bit/64bit. Η έκδοση του προγράμματος που χρησιμοποιούμε είναι η 8.1 και είναι η τελευταία μέχρι τώρα. Στην ιστοσελίδα που μας παραπέμπει το παραπάνω link περιέχει οδηγίες για την εγκατάσταση του compiler στα Linux.

4. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Για να πραγματοποιήσουμε μία ανάλυση ενός προβλήματος με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων πρέπει να διαιρέσουμε το πρόβλημα σε επιμέρους υποπροβλήματα. Η ανάλυση των υποπροβλημάτων θα μας βοηθήσει να βρούμε τις απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα σε σκοπό την επίλυση του αρχικού προβλήματος:

1. Ποιο τύπο στοιχείων θα επιλέξουμε.
2. Που θα τοποθετήσουμε τους κόμβους.
3. Που θα τοποθετηθούν οι φορτίσεις και οι στηρίξεις.
4. Το κατάλληλο υλικό και τις τιμές των παραμέτρων του κάθε στοιχείου.
5. Άλλες πτυχές που σχετίζονται με το εκάστοτε πρόβλημα.

Μετά το τέλος της ανάλυσης του μοντέλου τα δεδομένα των κόμβων και των στοιχείων πρέπει να καταγραφούν σε μία φόρμα ώστε να μπορούν να εισαχθούν και να μεταφραστούν από το πρόγραμμα FEAPrv.

Έτσι λοιπόν δημιουργείται ένα 'Input file' στο οποίο εισάγονται τα δεδομένα του μοντέλου που θέλουμε να επεξεργαστούμε. Η δομή ενός αρχείου εισόδου αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος εισάγουμε το όνομα του αρχείου, το υλικό και τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, τους κόμβους, τα στοιχεία, τις φορτίσεις, τις στηρίξεις και τον ορισμό διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο να δημιουργηθεί το πλέγμα. Στο δεύτερο μέρος υπάρχουν οι εντολές όπου πραγματοποιείται η επεξεργασία των δεδομένων που έχουν εισαχθεί και παράλληλα εμφανίζονται γραφικά αποτελέσματα ώστε να παρατηρήσουμε την δημιουργία του πλέγματος και τις διαφοροποιήσεις (μετατοπίσεις, τάσεις, καμψεις, φορτίσεις) που προκύπτουν από τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί.

Το δεύτερο μέρος ξεκινάει με την εντολή 'Batch', όταν έχουμε ένα πρόβλημα στατικό (μόνιμες συνθήκες) ή με την εντολή 'Interactive' όταν έχουμε ένα πρόβλημα όπου κάποια δεδομένα πρέπει να καταχωρηθούν από τον χρήστη μέσω πληκρολογίου.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα 'input file' το οποίο εισάγει δεδομένα για την κατασκευή ενός δικτύωματος. Το πρόγραμμα ξεκινάει ορίζοντας το όνομα του αρχείου και στη συνέχεια παρατηρούμε έξι αριθμούς. Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στον αριθμό των κόμβων του πλέγματος, ο δεύτερος στον αριθμό των στοιχείων, ο τρίτος στον αριθμό των υλικών (material) και ο τέταρτος στις διαστάσεις του μοντέλου μας (1-D, 2-D, 3-D). Ο πέμπτος αριθμός δηλώνει τους βαθμούς ελευθερίας που έχει ο κάθε κόμβος και ο τελευταίος αριθμός δηλώνει τον αριθμό των κόμβων κάθε στοιχείου.

Στη συνέχεια δηλώνουμε τον αριθμό των υλικών μας και τον τύπο των στοιχείων (solid, thermal, truss) καθώς και τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε στοιχείου που έχουμε επιλέξει. Έπειτα δηλώνουμε τις συντεταγμένες των κόμβων και των στοιχείων. Τέλος, δηλώνουμε τις στηρίξεις του πλέγματος και τις δυνάμεις. Σ' αυτό το παράδειγμα παρατηρούμε ότι έχουμε στήριξη στο σημείο (1.0 0.0) ως προς τον άξονα X και Y και στο σημείο (3.0 0.0) ως προς τον άξονα Y. Στο σημείο (4.0 0.0)

εφαρμόζεται μια δύναμη μεγέθους 10 βαθμών ως προς τον X άξονα. Στο σημείο αυτό έχουμε τελειώσει με το πρώτο μέρος του προγράμματος.

```
FEAP * * King-post truss analysis
4 5 1 2 2 2
```

```
MATERial 1
  TRUSS
  ELAStic isotropic 10000.0
  CROSs section 0.25
```

```
COORDinates
  1 0 0.0 0.0
  2 0 10.0 0.0
  3 0 20.0 0.0
  4 0 10.0 10.0
```

```
ELEMents
  1 0 1 1 2
  2 0 1 2 3
  3 0 1 1 4
  4 0 1 4 3
  5 0 1 2 4
```

```
BOUNDary restraints
  1 0 1 1
  3 0 0 1
```

```
FORCe
  4 0 10.0 0.0
```

```
END
```

```
BATCh
  loop,,2
    tang,,1
  next
  plot boun,0
  plot disp all
  plot reac all
  plot elem 0
  plot node
  plot cont 1
END
INTERactive
STOP
```

Στο δεύτερο μέρος πραγματοποιείται η επεξεργασία των δεδομένων που έχουμε εισάγει και η παρουσίαση γραφικών αποτελεσμάτων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα σχηματίζονται συμμετρικοί εφαπτόμενοι πίνακες για να χρησιμοποιηθούν σε μια επαναληπτική επίλυση εξισώσεων. Τέλος, σχεδιάζονται και προβάλλονται επί της οθόνης οι κόμβοι και τα στοιχεία με αριθμούς, οι στηρίξεις με κόκκινα σημεία και τέλος οι μετατοπίσεις και οι αντιδράσεις που εφαρμόζονται στα στοιχεία με χρωματικές διαβαθμίσεις.

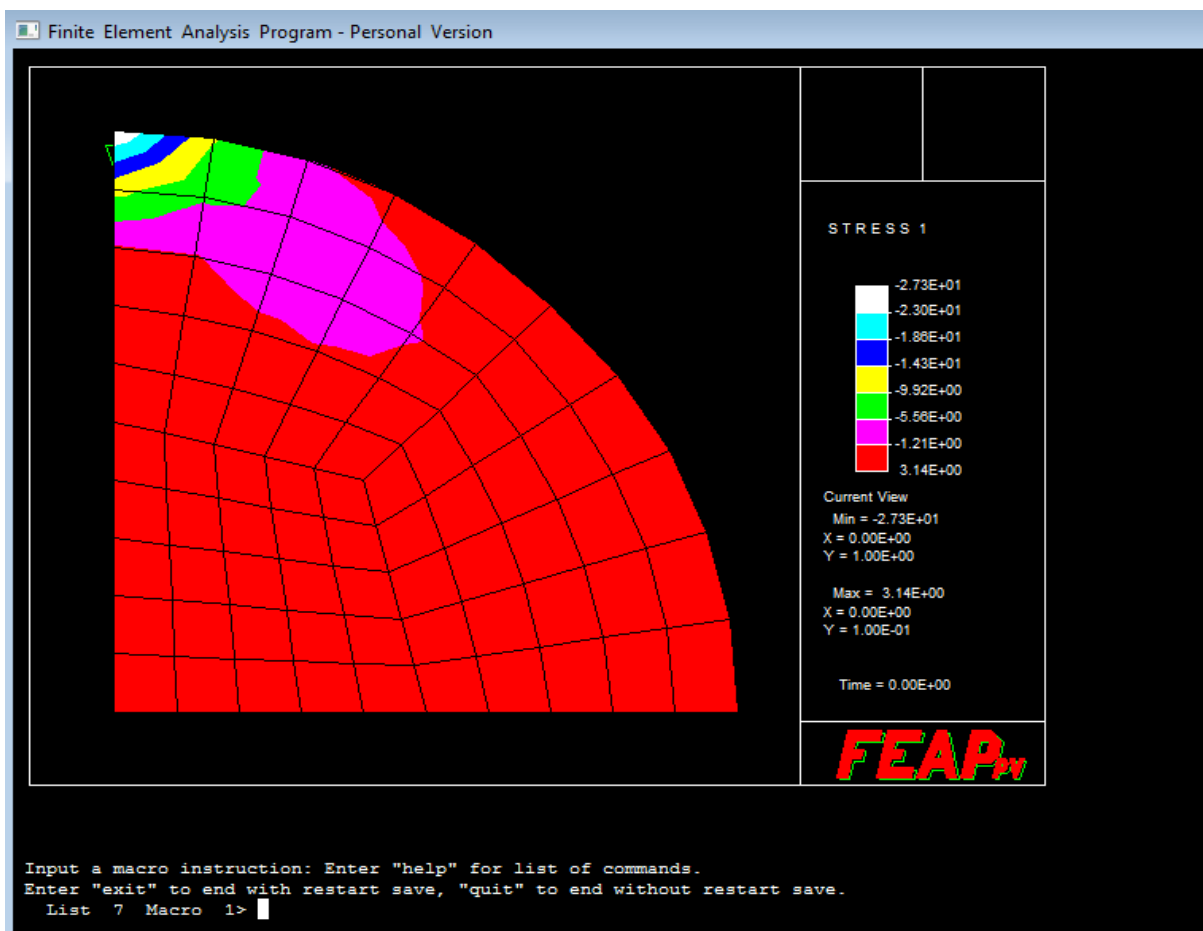
5. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΑ WINDOWS ΚΑΙ ΣΤΑ LINUX

Σαν input data file το πρόγραμμα FEAPrv εισάγει αρχεία που είναι γραμμένα σε σημειοματάριο (.txt) και περιέχουν τον κώδικα με τους παραμέτρους. Αυτά τα αρχεία text τα βρίσκουμε στην αρχική ιστοσελίδα: <http://www.ce.berkeley.edu/projects/feap/> τα οποία βρίσκονται σε ένα αρχείο zip (input/output files).

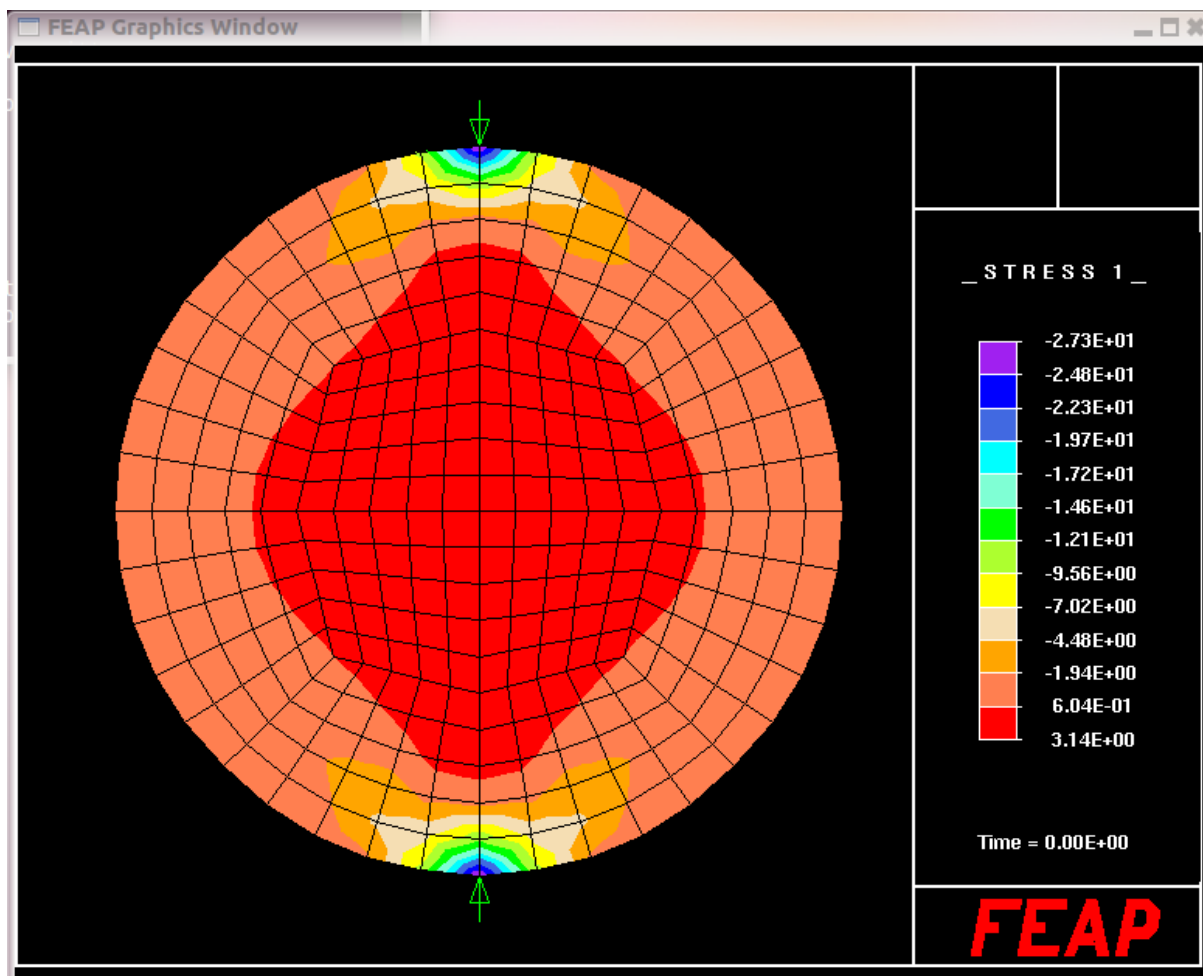
Κατά την εκκίνηση του προγράμματος μας ζητάει σαν είσοδο το αρχείο (.txt) και στην συνέχεια δημιουργεί τρία επιπλέον αρχεία το output, το save και το restart.

Στο περιβάλλον των windows τα γραφικά αποτελέσματα των μοντέλων διαφέρουν από αυτά που τρέχουν στο περιβάλλον των Linux. Ακολουθεί στην συνέχεια μία παρουσίαση των αποτελεσμάτων στα δύο λειτουργικά.

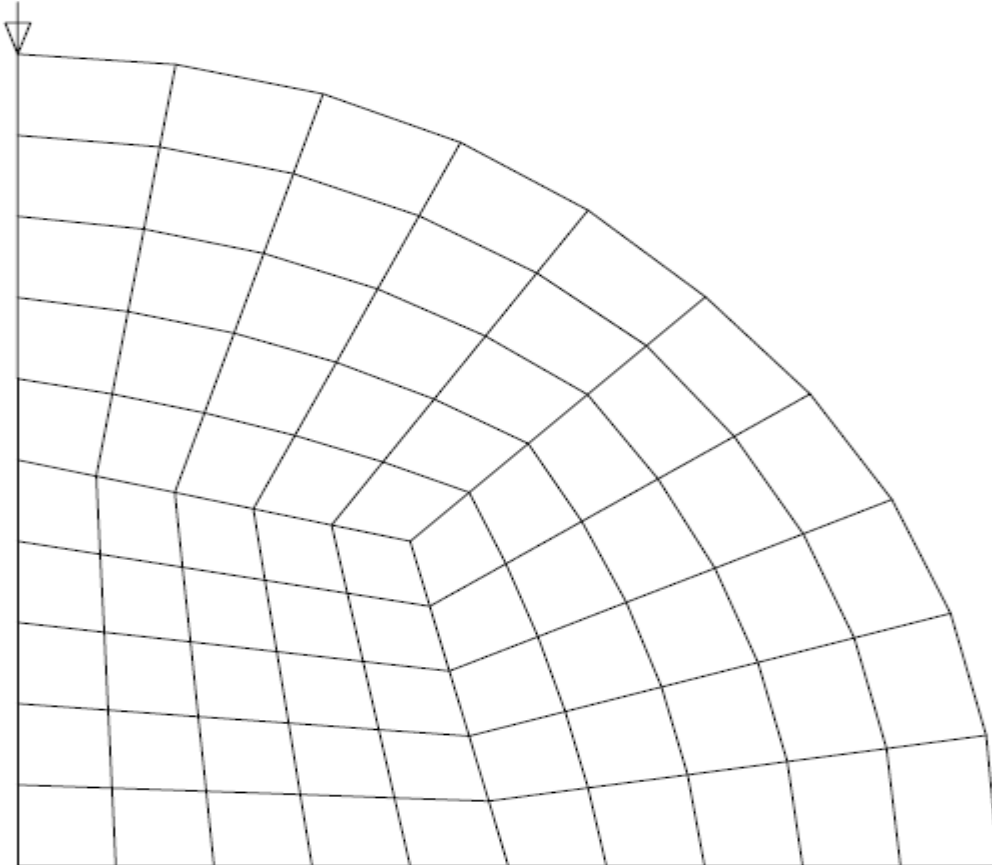
5.1 Ibrasil



Στο παραπάνω πρόβλημα θεωρούμε ότι έχουμε ένα κυκλικό δίσκο στον οποίο ασκούνται 2 δυνάμεις 5 μονάδων η κάθε μια κατά μήκος της διαγωνίου. Το υλικό του δίσκου είναι ελαστικό. Για να κάνουμε το πρόβλημα απλούστερο θεωρούμε ότι οι δυνάμεις ασκούνται αργά ώστε οι δυνάμεις αδράνειας να παραλυφθούν. Έτσι λοιπόν το πρόβλημα μας είναι ένα γραμμικό ελαστικό πρόβλημα. Θεωρώντας ότι οι φορτίσεις ασκούνται συμμετρικά και το υλικό μας είναι ισοτροπικό τότε μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα πλέγμα που θα αποτελεί το ένα τεταρτημόριο του κυκλικού δίσκου όπως φαίνεται παρακάτω. Στο σημείο x,y (0.0 0.0) που βρίσκεται στο κέντρο του δίσκου υπάρχει συγκράτηση (πάκτωση) για αυτό το λόγω οι τάσεις που αναπτύσσονται στο γραφικό μας αποτέλεσμα είναι μεγάλες και καθώς απομακρυνόμαστε και κατευθυνόμαστε προς την περίμετρο αρχίζουν και διαφοροποιούνται χρησιμοποιώντας διάφορους χρωματισμούς.



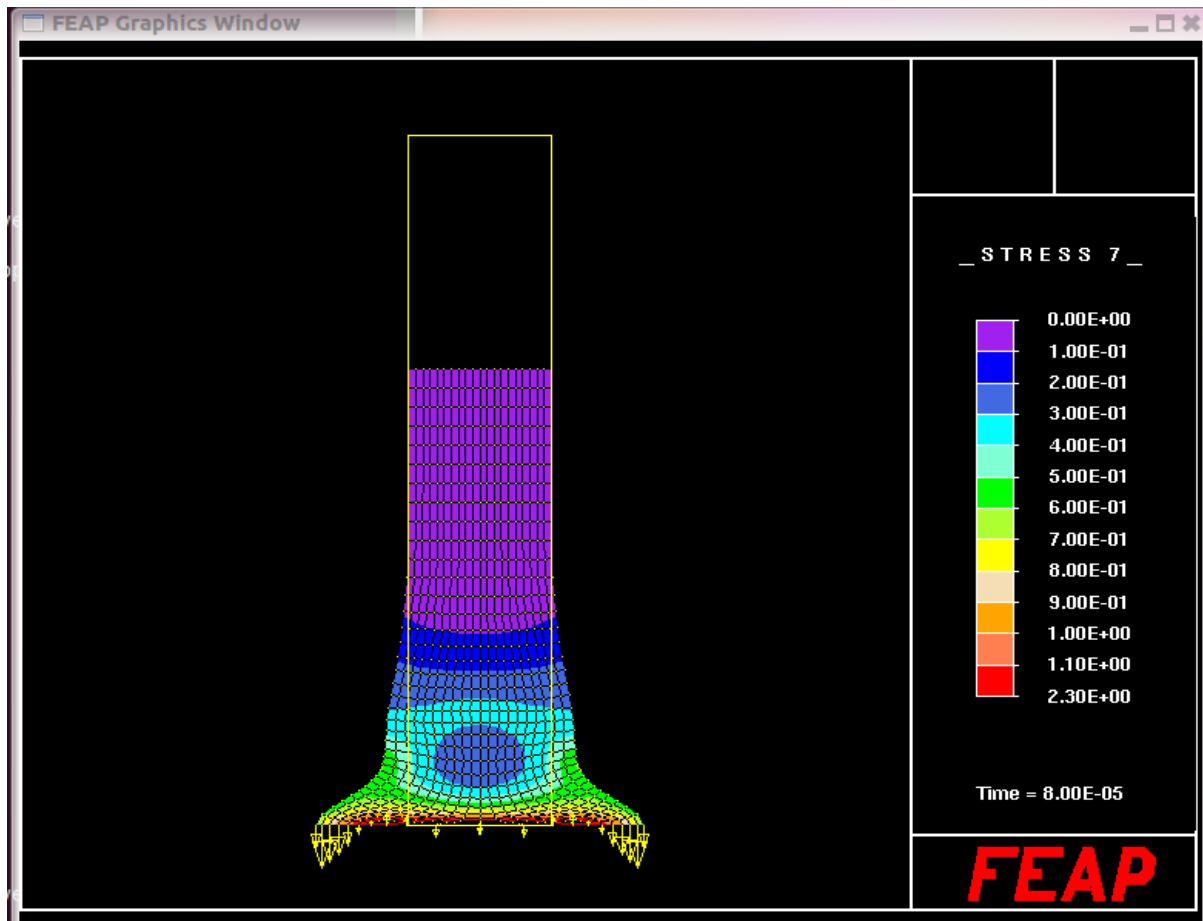
Παρατηρούμε ότι στην 1^η φωτογραφία εμφανίζεται μόνο το ένα τεταρτημόριο του μοντέλου παρόλο που χρησιμοποιείται η εντολή 'plot,symm,1,1'. Ενώ στο περιβάλλον των Linux φαίνεται ολοκληρωμένο. Το input data file (.txt) πρέπει να αναφέρουμε ότι είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις χωρίς να έχει γίνει η παραμικρή αλλαγή.



Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται το πλέγμα του μοντέλου Ibrasil

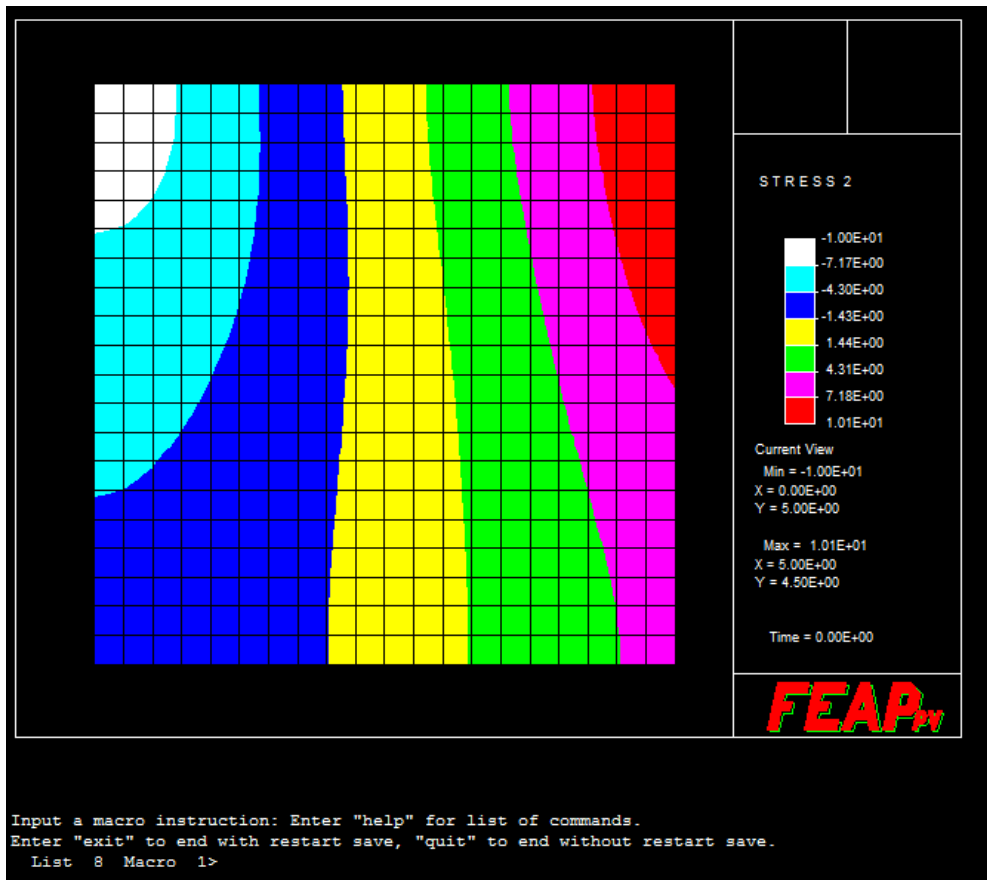
5.2 Itayl

Στο μοντέλο Itayl το πρόγραμμα FEAPρν στα Windows κλείνει αυτόματα χωρίς κανένα γραφικό αποτέλεσμα ενώ στο περιβάλλον των Linux το αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Ο τίτλος του προβλήματος είναι 'Barra de Taylor'. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε είναι μία μπάρα η οποία υπόκειται σε θλίψη. Το υλικό είναι ελαστικό και ισοτροπικό. Όπως και στο προηγούμενο πρόβλημα υπάρχει πάκτωση στο σημείο (0.0 0.0). Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προβλήματος παρατηρούμε σε διάφορα frames η μπάρα να συνθλίβεται και να με την λήξη του προβλήματος να παίρνουμε το παραπάνω γραφικό αποτέλεσμα. Η μπάρα υπόκειται σε θλίψη με αποτέλεσμα να υπάρχει πλαστική παραμόρφωση στο μοντέλο μας. Σύμφωνα με τους χρωματισμούς οι περισσότερες τάσεις έχουν αναπτυχθεί στο κάτω μέρος.

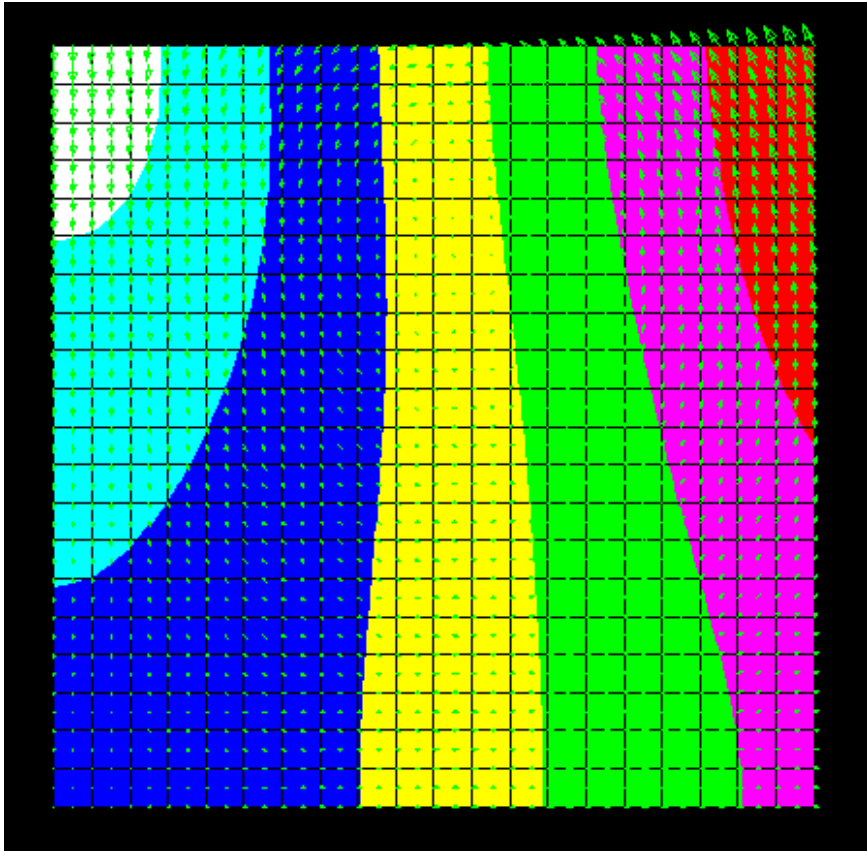
5.3 Iblk2d



Στο μοντέλο Iblk2d η απεικόνιση είναι σχεδόν η ίδια και στα δύο λειτουργικά. Στην κάτω φωτογραφία πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον των Linux είναι λίγο καλύτερη όσον αφορά τους χρωματισμούς.

Το μοντέλο αυτό είναι ένα τετράγωνο δισδιάστατο στο οποίο ασκούνται δύο τάσεις στα άκρα του. Το σώμα είναι στερεό, ελαστικό και ιστροπικό. Το σημείο (0.0 0.0) βρίσκεται κάτω αριστερά και υπάρχει πάκτωση. Στα σημεία πάνω αριστερά και δεξιά ασκούνται δύο δυνάμεις ίδιου μεγέθους αλλά διαφορετικής κατεύθυνσης με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τάσεις.

Παρακάτω με μια μικρή τροποποίηση του κώδικα παίρνουμε και όλες τις μετατοπίσεις τον κόμβων ώστε να μπορούμε να διακρίνουμε προς ποια κατεύθυνση ασκούνται οι τάσεις.



FEAP Graphics Window

File Edit View Go Help

DEVICES

- File System
- Acer
- 4.3 GB Volume

PLACES

- ubuntu
- Desktop
- Trash

NETWORK

- Browse Network

FEAP Graphics Window

STRESS 2

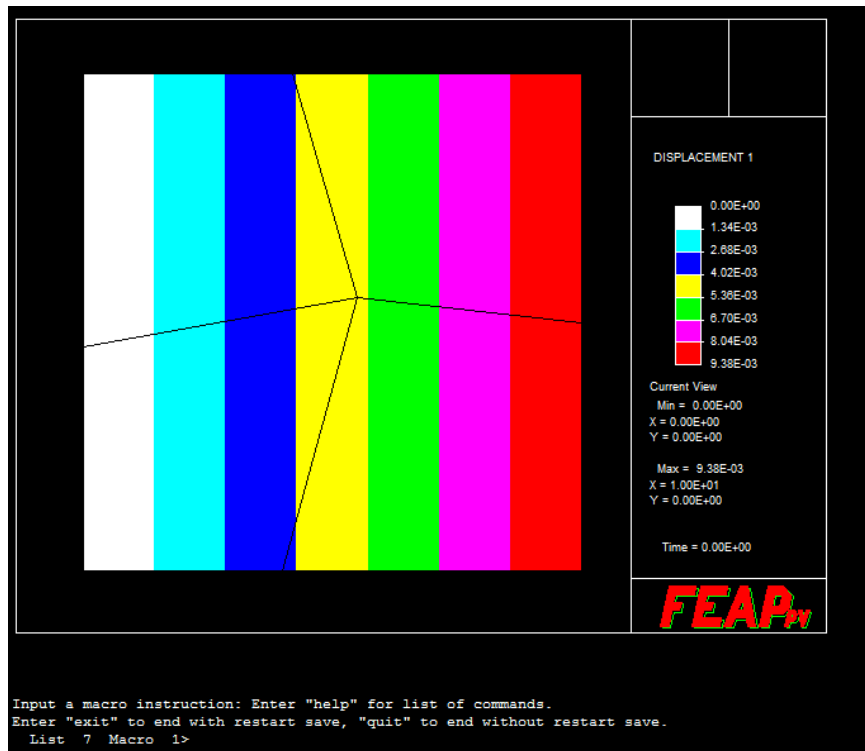
-1.00E+01
-4.37E+00
-4.79E+00
-5.82E+00
-3.35E+00
-1.57E+00
4.43E+00
1.68E+00
3.35E+00
5.02E+00
6.79E+00
8.36E+00
1.01E+01

Time = 8.00E+00

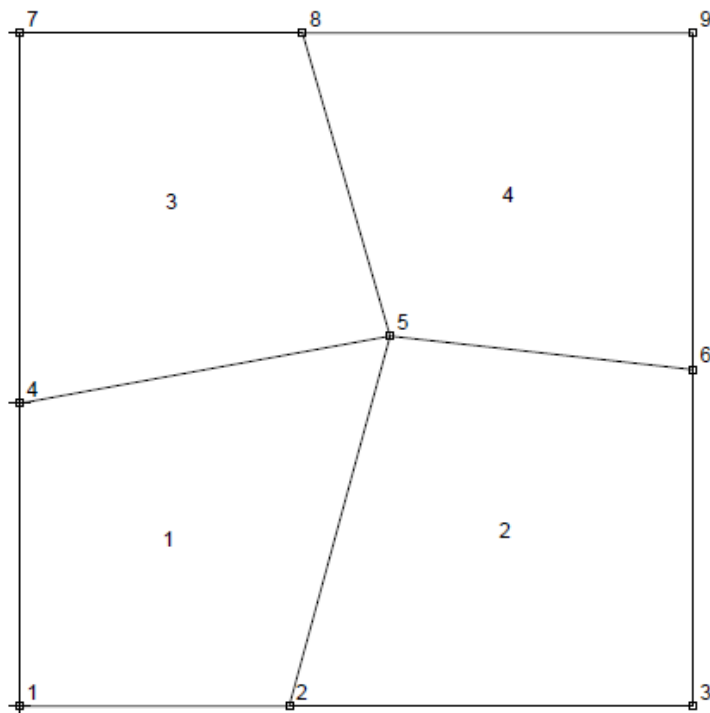
FEAP

overwritten.
 (stop) : y
 E N S O M
 ...
 list of commands,
 to end without restart save.

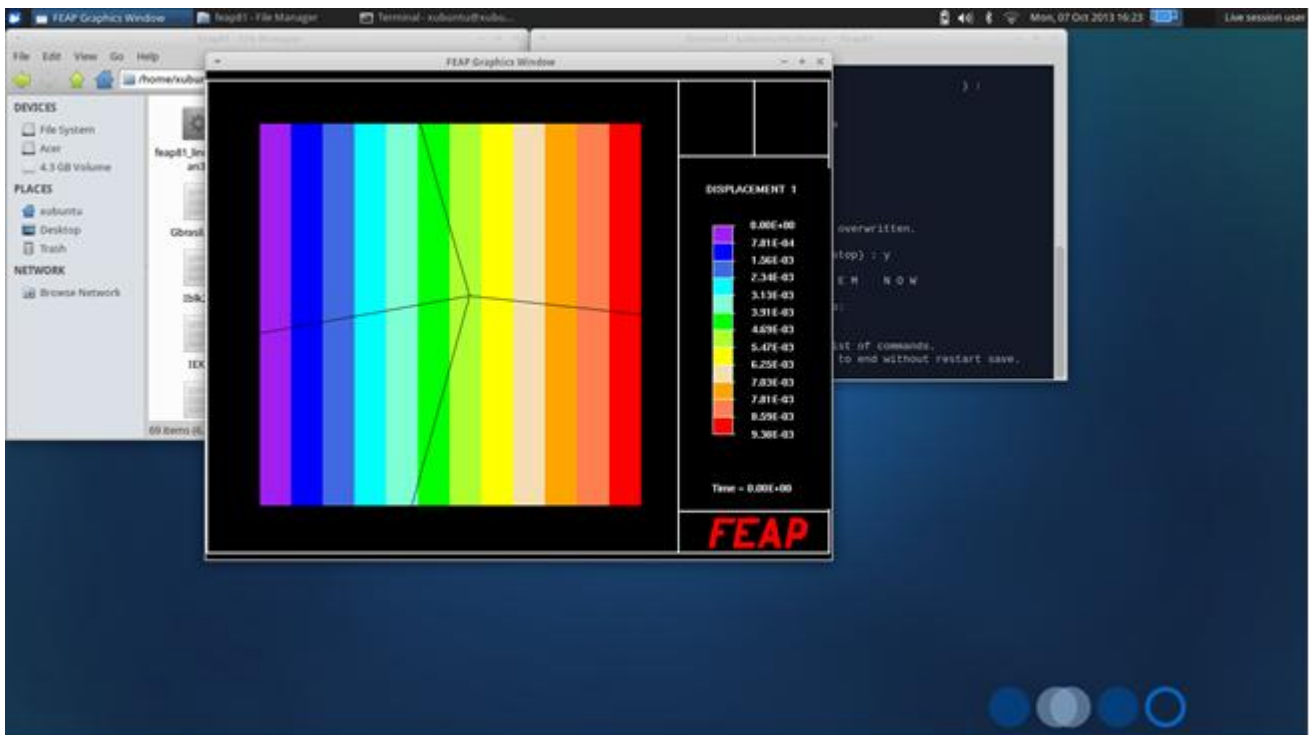
5.4 IEX1



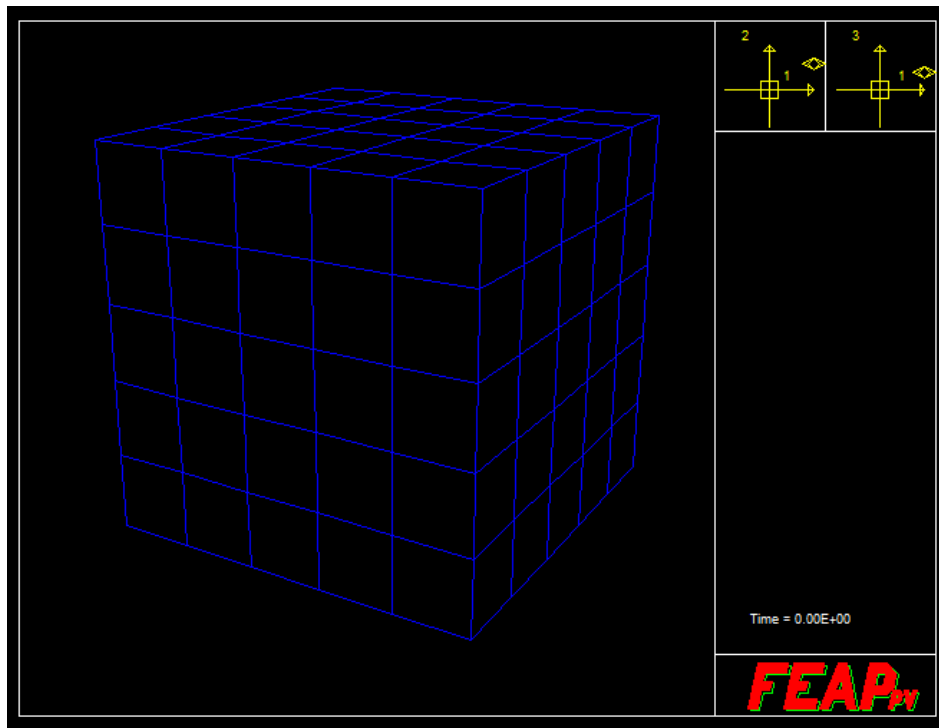
Στο πρόβλημα IEX1 έχουμε ένα επίπεδο στο οποίο ασκούνται κάποιες τάσεις ως προς τον άξονα X. Το υλικό του μοντέλου είναι στερεό, ελαστικό και ιστροπικό. Το πλέγμα αποτελείται από εννιά (9) κόμβους και τέσσερα (4) στοιχεία όπως φαίνεται και παρακάτω στην απεικόνιση του πλέγματος.



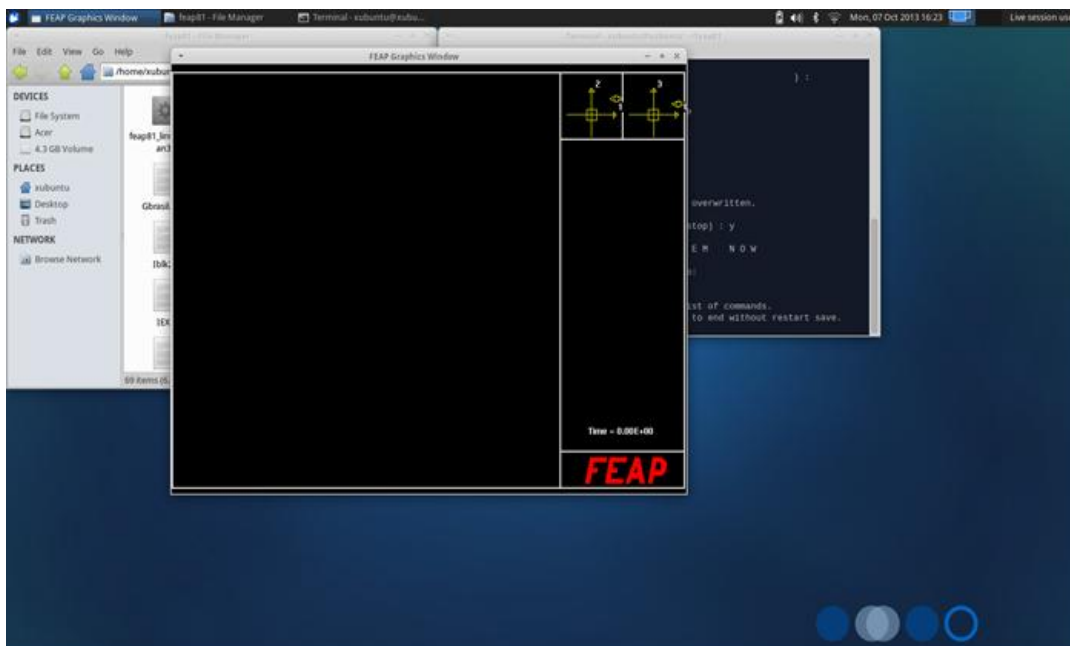
Στους κόμβους 1,4 και 7 υπάρχει πάκτωση (συγκράτηση) ως προς τον άξονα Χ, επιπλέον στον κόμβο 1 υπάρχει πάκτωση και ως προς τον άξονα Υ. Οι δυνάμεις ασκούνται στους κόμβους 3,6 και 9. Στους κόμβους 3 και 9 ασκούνται δυνάμεις 2.5 μονάδων ενώ στον κόμβο 6 ασκείται διπλάσια δύναμη 5 μονάδων. Πρέπει να αναφέρουμε ότι όλες οι δυνάμεις έχουν την ίδια διεύθυνση και εφαρμόζονται ως προς τον άξονα Χ. Έτσι λοιπόν οι μεγαλύτερες μετατοπίσεις εμφανίζονται στην δεξιά μεριά όπως αντιλαμβανομαστε και από το γραφικό αποτέλεσμα και από την αριστερή μεριά επειδή υπάρχουν πακτώσεις οι μετατοπίσεις είναι μικρές έως αμελητέες.



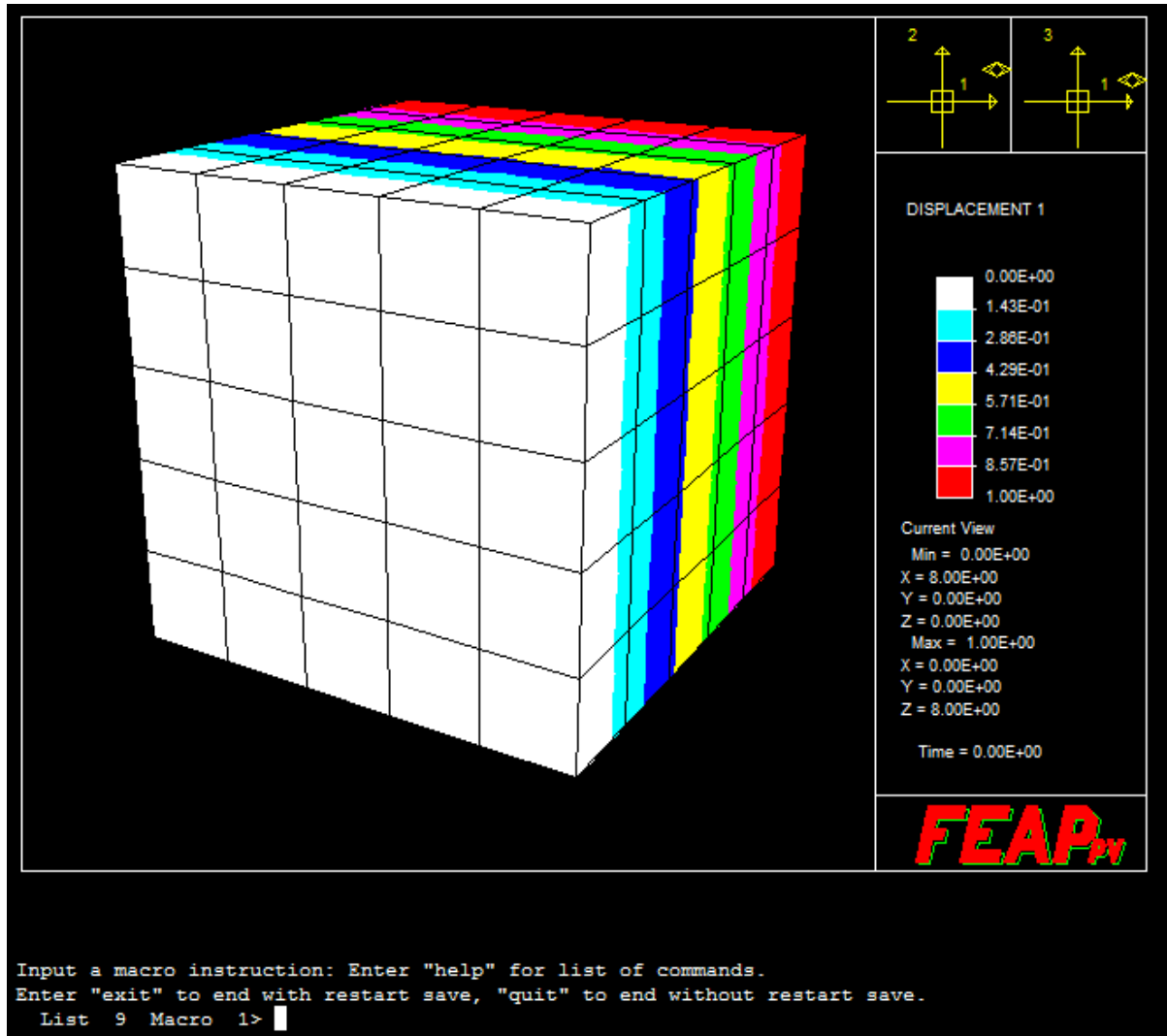
5.5 Iblock



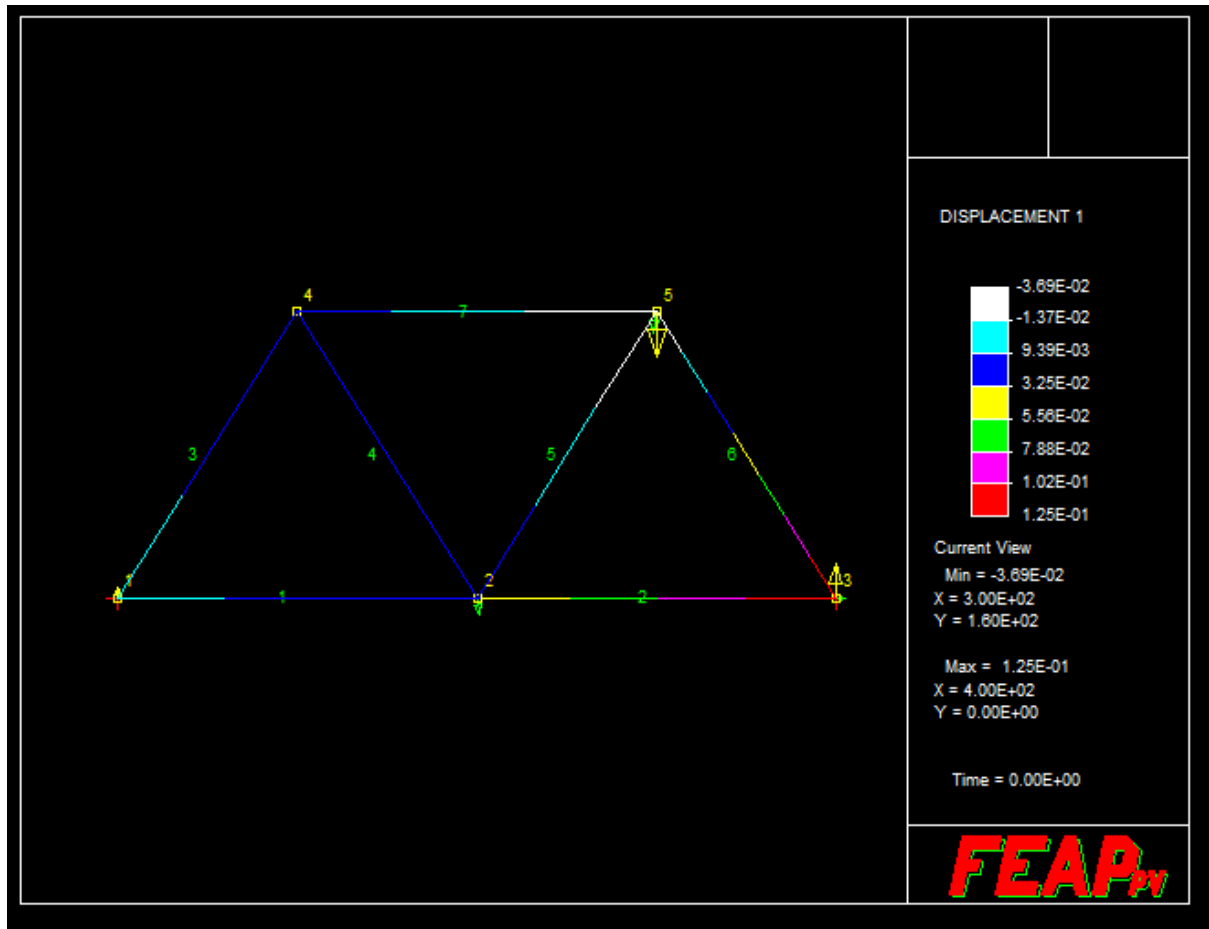
Το μοντέλο Iblock τρέχει με τον compiler των Windows μόνο ενώ στα Linux ανοίγει το παράθυρο του Plot χωρίς κανένα αποτέλεσμα. Στο μοντέλο Iblock είναι ένας τρισδιάστατος κύβος. Πρόκειται για θερμικό πρόβλημα καθώς από τον κώδικα του προβλήματος το υλικό που εξετάζουμε έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 1. Επίσης είναι ιστροπικό. Το πλέγμα κατασκευάζεται από οκτώ βασικούς κόμβους. Τέλος παρατηρούμε ότι δεν φαίνονται καθόλου χρωματικές αποχρώσεις καθώς δεν υπάρχουν ούτε τάσεις, ούτε θερμικά φορτία ούτε μετατοπίσεις.



Στην συνέχεια τροποποιώντας λίγο τον κώδικα βάζοντας μία οριακή συνθήκη και ένα θερμικό φορτίο παίρνουμε το παρακάτω αποτέλεσμα. Να αναφέρουμε ότι η μετάδοση θερμότητας άρα και η θερμοκρασιακή κλίση είναι προς μία κατεύθυνση αυτή του άξονα X.



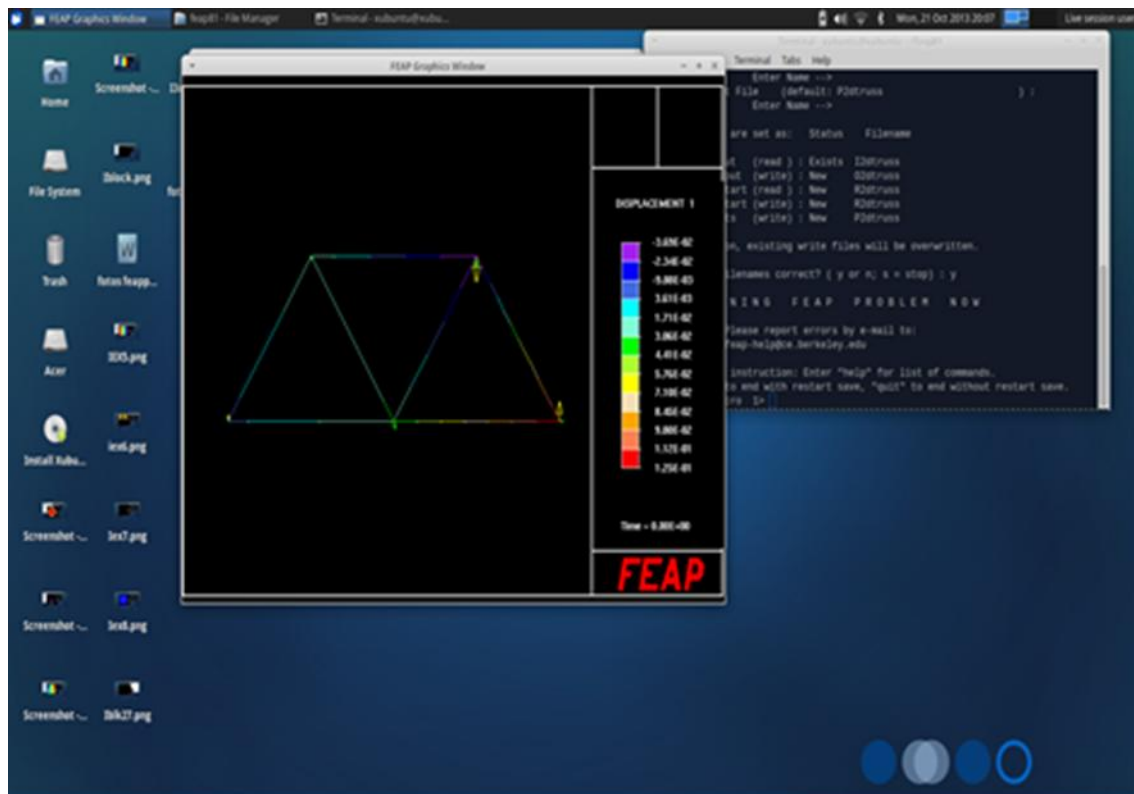
5.6 I2dtruss



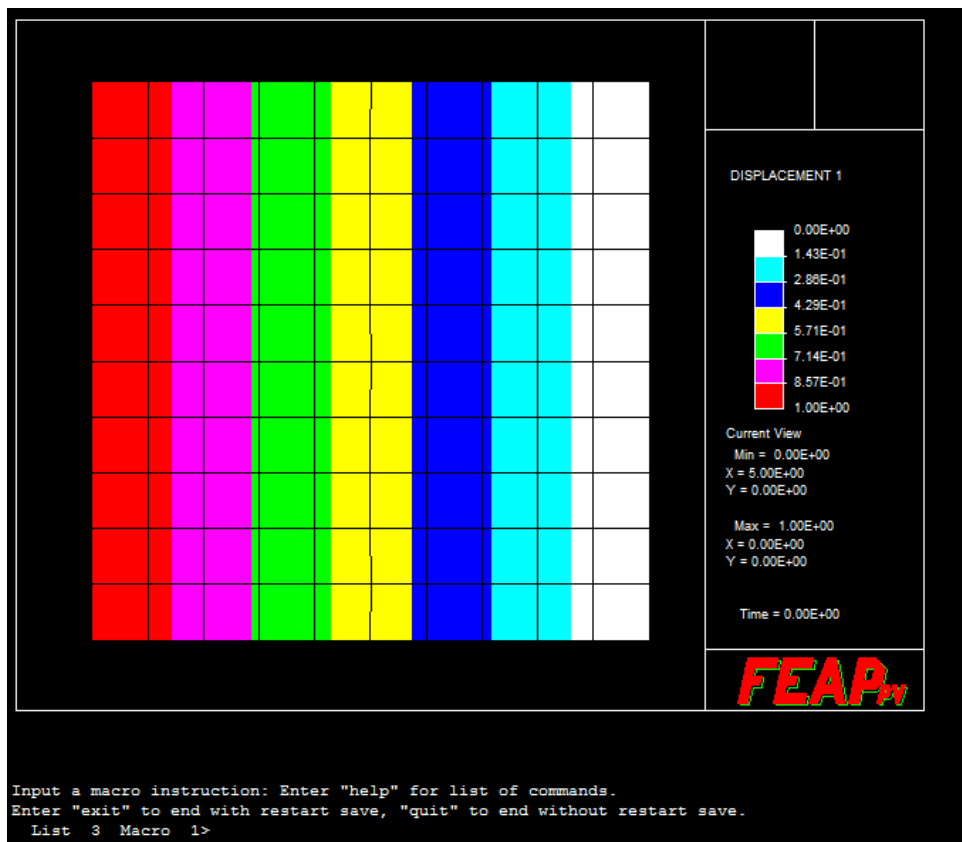
Το I2dtruss είναι ένα δισδιάστατο πρόβλημα επίλυσης ενός δικτυώματος. Το δικτύωμα αποτελείται από πέντε κόμβους και επτά στοιχεία όπως φαίνονται στην παραπάνω φωτογραφία. Υπάρχουν δύο υλικά στο μοντέλο μας που είναι αμφότερα ελαστικά, ιστροπικά με μέτρο ελαστικότητας 1000. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα στοιχεία 4 και 5 είναι διατομής 5 μονάδων ενώ το υλικό που είναι κατασκευασμένα τα υπόλοιπα στοιχεία είναι διατομής 10 μονάδων.

Στους κόμβους 1 υπάρχει πάκτωση ως προς και τους δύο άξονες ενώ στον κόμβο 3 υπάρχει πάκτωση μόνο ως προς τον άξονα Y. Στην συνέχεια μια δύναμη 10 μονάδων ασκείται στον κόμβο 5 ως προς τον άξονα Y. Παρατηρούμε λοιπόν ότι μεγαλύτερες τάσεις και μετατοπίσεις έχουμε από την δεξιά μεριά του δικτυώματος όπως φαίνεται άλλωστε και από τις χρωματικές αλλαγές στα στοιχεία. Με τα κίτρινα βελάκια φαίνονται και οι αντιδράσεις των κόμβων.

Το μοντέλο αυτό εμφανίζει να ίδια αποτελεσμένα και στα Windows και στα Linux.

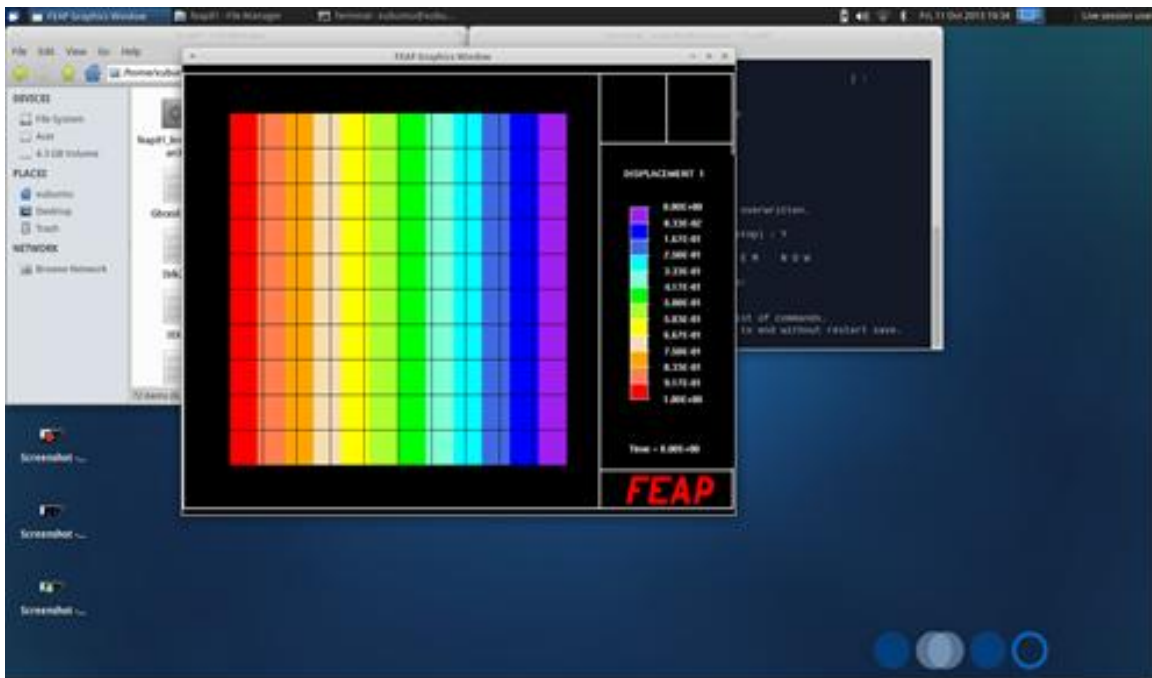
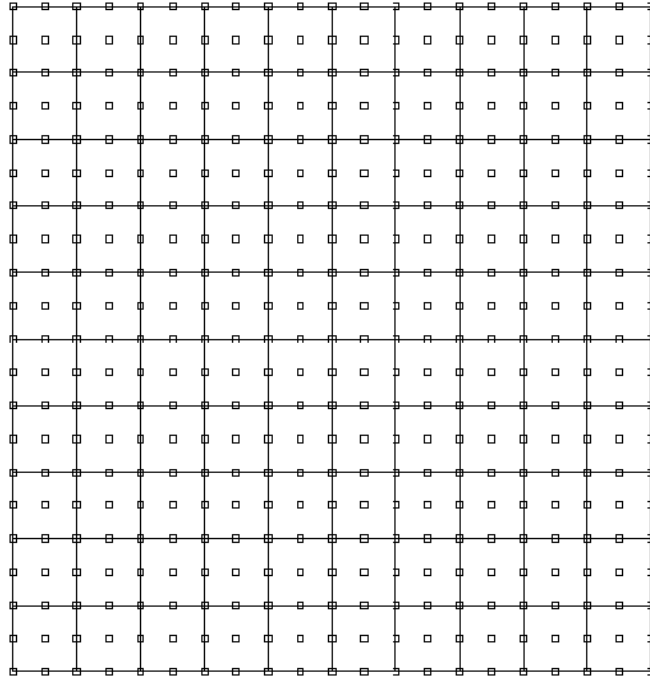


5.7 IEX5



Στο μοντέλο IEX5 το αποτέλεσμα είναι το ίδιο και στους δύο compilers.

Το πρόβλημα IEX5 είναι ένα γραμμικό θερμικό πρόβλημα. Είναι ένα τετράγωνο του οποίου η κάθε πλευρά έχει μήκος πέντε μονάδων. Στην αριστερή μεριά του μοντέλου μας η θερμοκρασία ισούται με $T=1$ για χρόνο ίσο με 0 και παραμένη σταθερή ενώ στην δεξιά μεριά η θερμοκρασία είναι ίση με μηδέν επειδή θεωρούμε ότι είναι μονωμένη. Το υλικό είναι ιστροπικό έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ίσο με 10 μονάδες ενώ η πυκνότητα του ισούται με 0.1 μονάδες. Το πλέγμα του μοντέλου αποτελείται από στοιχεία εννιά κόμβων όπως παρατηρούμε παρακάτω. Το θερμικό φορτίο ξεκινάει από το σημείο 0 που βρίσκεται αριστερά και προχωράει προς τα δεξιά. Έτσι λοιπόν στο αριστερό μέρος η θερμοκρασία είναι μεγάλη σύμφωνα με τις θερμοκρασιακές καμπύλες ενώ στο δεξί μέρος είναι πολύ μικρή. Αυτό το γραφικό αποτέλεσμα είναι για μόνιμες συνθήκες.



Για μη μόνιμες συνθήκες όπου ο χρόνος χρησιμοποιείται σαν παράμετρος η θερμοκρασιακή κλίση στο πλέγμα διαμορφώνεται ως εξής:

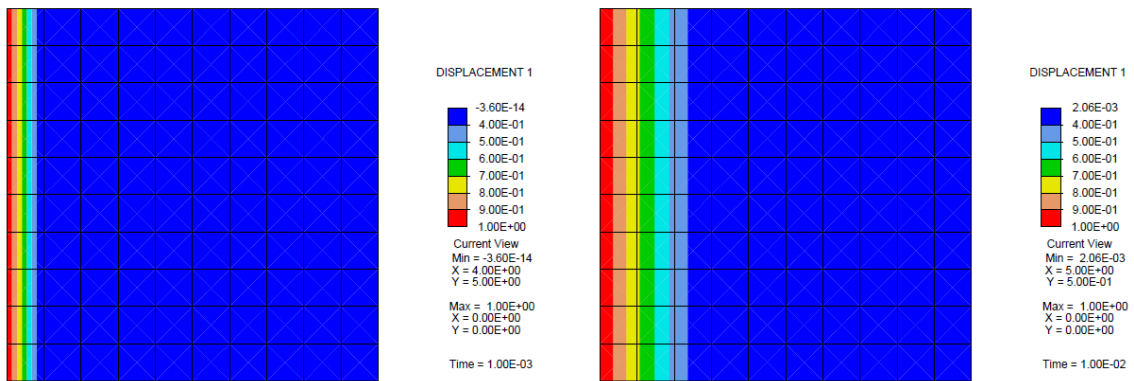


Figure 6.3: Temperature contours at $t = 0.001$ and $t = 0.01$

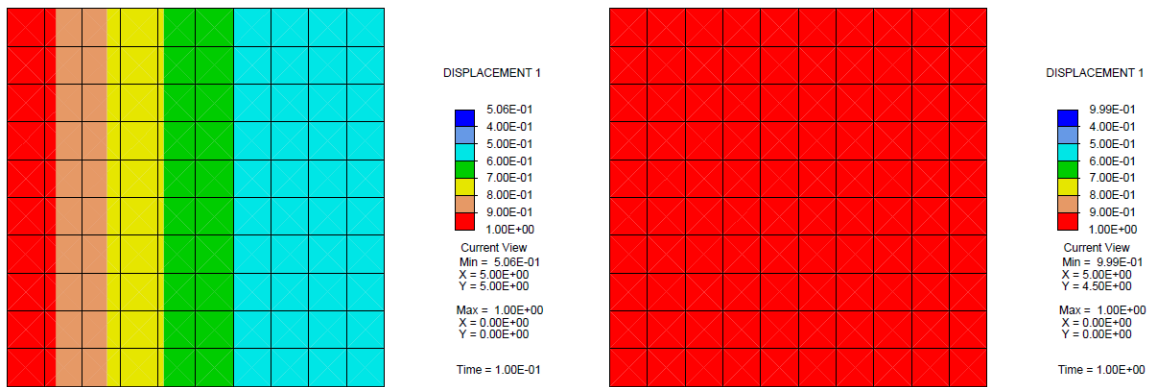


Figure 6.4: Temperature contours at $t = 0.1$ and $t = 1.0$

Στα μοντέλα που ακολουθούν στην συνέχεια πρέπει να αναφερθεί ότι εκτελούνται και παρουσιάζουν γραφικό αποτέλεσμα μόνο στο περιβάλλον των Linux ενώ στα Windows η εφαρμογή κλείνει μόνη της χωρίς κανένα αποτέλεσμα.

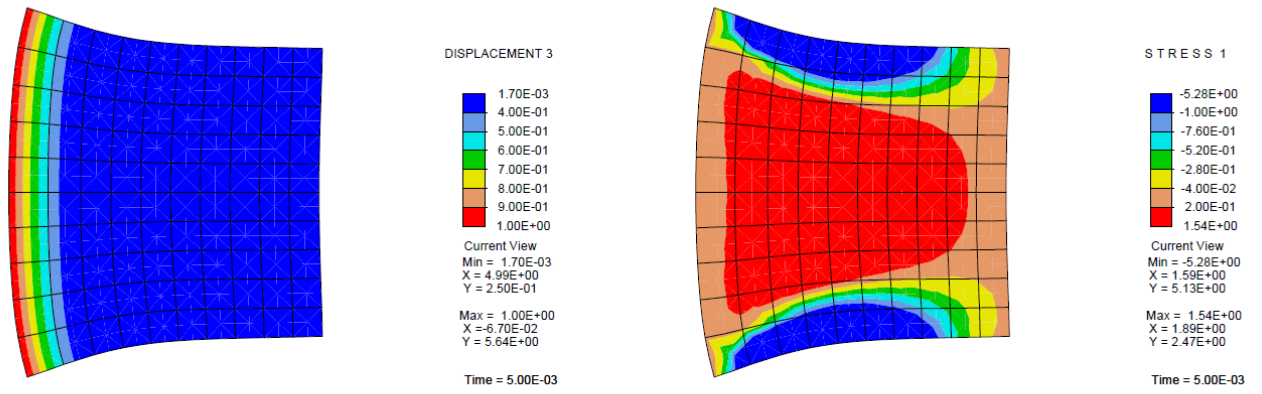


Figure 7.2: Thermal stress problem: Time = 0.005

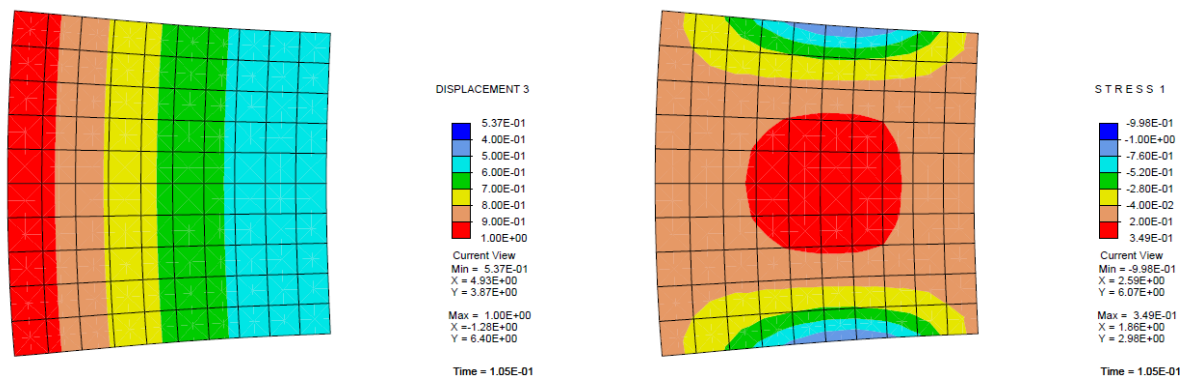
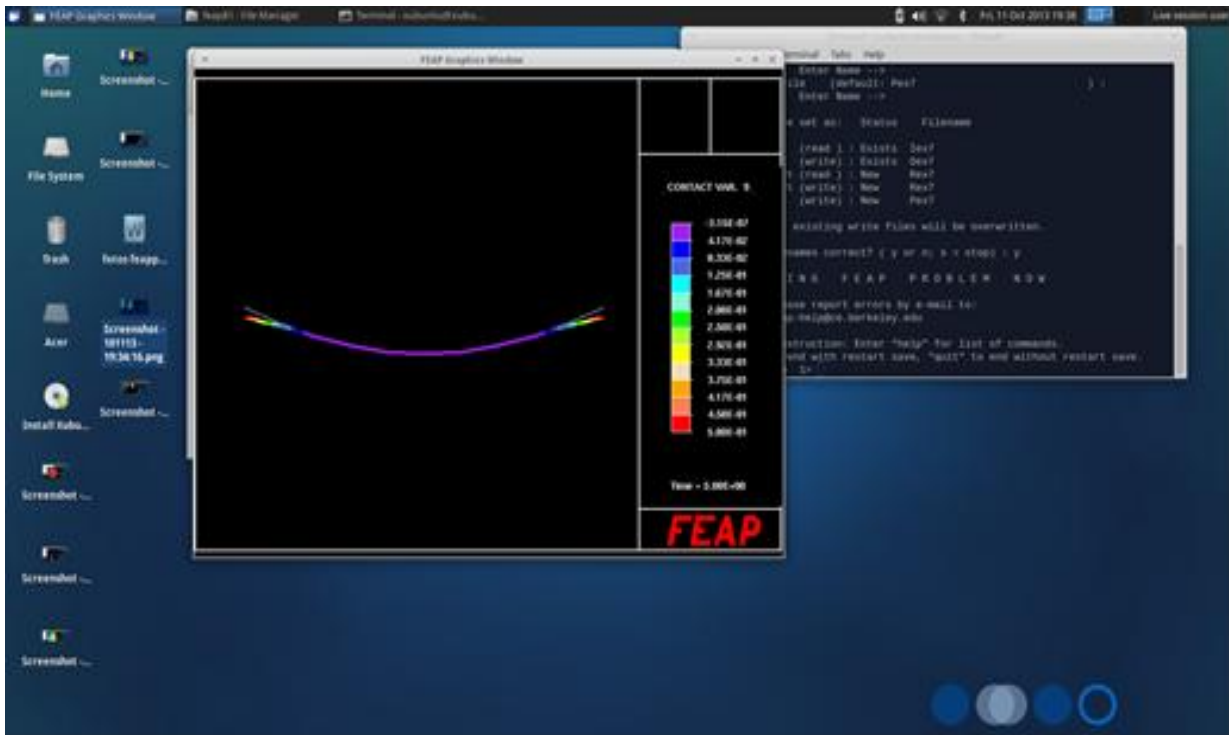


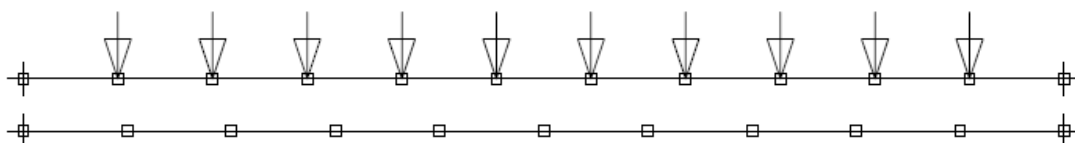
Figure 7.3: Thermal stress problem: Time = 0.100

5.9 IEX7

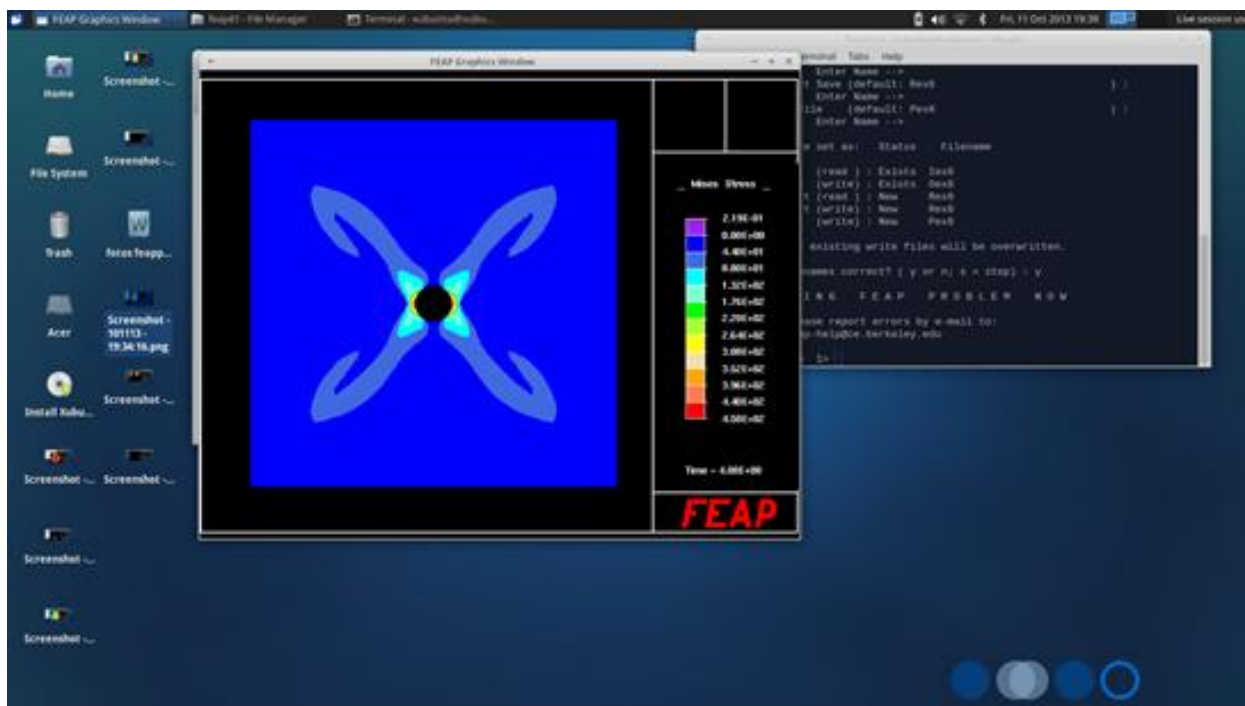


Στο μοντέλο αυτό καλούμαστε να επιλύσουμε ένα δισδιάστατο πρόβλημα επαφής. Δύο δοκάρια τοποθετούνται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Στο δοκάρι που βρίσκεται στο πάνω μέρος ασκείται ένα ομοιόμορφο κατακόρυφο φορτίο. Τα δοκάρια έχουν μήκος 20 μονάδων και η μεταξύ τους απόσταση ισούται με 0.5 μονάδες. Το πάνω δοκάρι χωρίζεται σε 11 ίσου μήκους στοιχεία ενώ το κάτω δοκάρι σε 10 ίσου μήκους στοιχεία. Το κάθε δοκάρι είναι πακτωμένο και στις δύο άκρες.

Το υλικό των δοκαριών είναι ελαστικό, ιστροπικό με μέτρο ελαστικότητας 20.000 και εμβαδόν διατομής 0.1 μονάδες. Το πάνω δοκάρι φορτίζεται ομοιόμορφα με φορτία 20Xt σε κάθε κόμβο όπου t είναι ο χρόνος. Κατά την ανάλυση του μοντέλο ο χρόνος αυξάνεται από την τιμή 0 στο 5 με σταδιακή αύξηση 0.1 μονάδων. Παρακάτω παρουσιάζεται το πλέγμα των δύο δοκαριών. Παρατηρούμε βάση χρωματισμών ότι οι μεγαλύτερες τάσεις ασκούνται στα άκρα των δοκαριών.



5.10 IEX8



Στο πρόβλημα IEX8 έχουμε ένα τετράγωνο με μήκος πλευράς 200mm στο κέντρο του οποίου βρίσκεται μία τρύπα με διάμετρο 10mm. Το μοντέλο όπως αντιλαμβανόμαστε είναι δισδιάστατο και δυναμικό διότι οι δυνάμεις ασκούνται σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου. Λόγω της συμμετρίας του προβλήματος αρκεί να αναλύσουμε μόνο ένα τεταρτημόριο του πλέγματος.

Το πλέγμα αποτελείται από 992 κόμβους και 900 στοιχεία. Στο σημείο (0,0) υπάρχει συγκράτηση ως προς τον X και Y άξονα. Οι δυνάμεις των 450MPa ασκούνται στην γραμμή που περνάει από τα σημεία (100 100) και (0 100) δηλαδή στα πάνω δεξιά και αριστερά σημεία του τεταρτημρίου. Το υλικό είναι ελαστικό, ιστροπικό με μέτρο ελαστικότητας $16,4206 \times 10^5$ MPa. Στην συνέχεια η φόρτιση των επιφανειών ξεκινάει και διαπιστώνουμε ότι οι περισσότερες τάσεις εμφανίζονται κοντά στην περίμετρο του κύκλου.

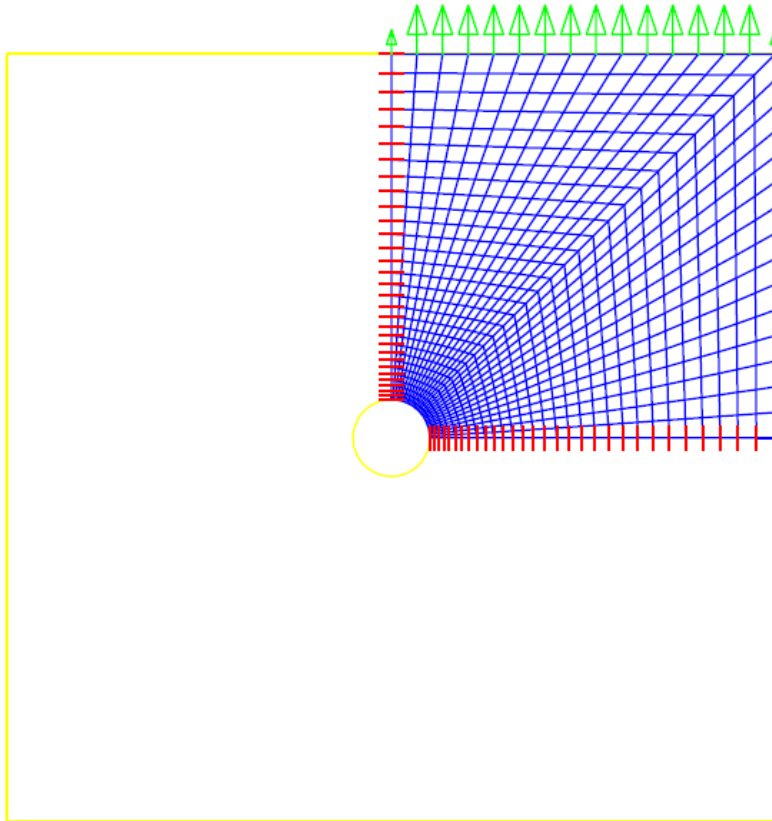


Figure 9.1: Mesh of elasto-plastic tension strip

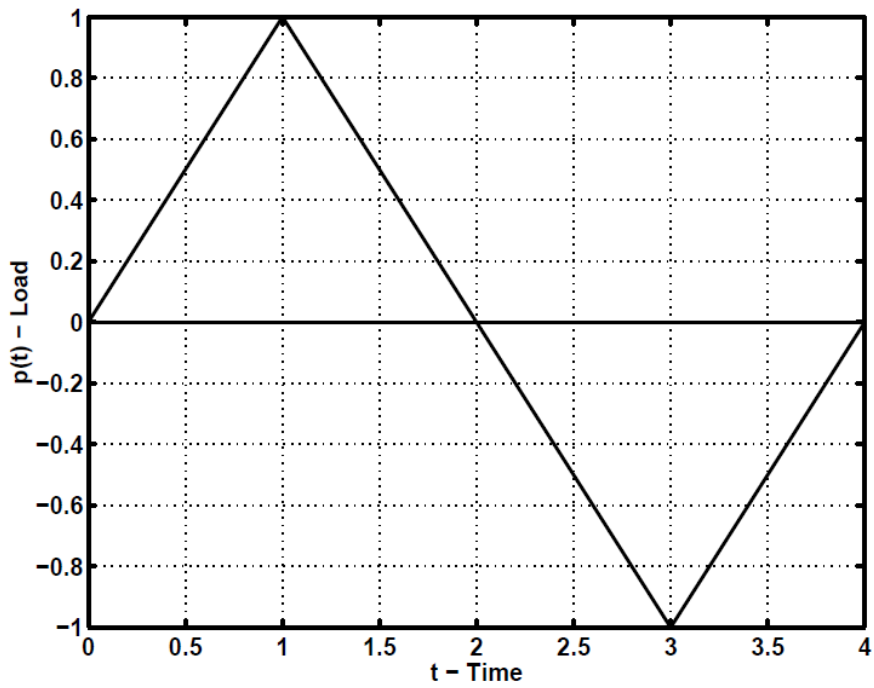
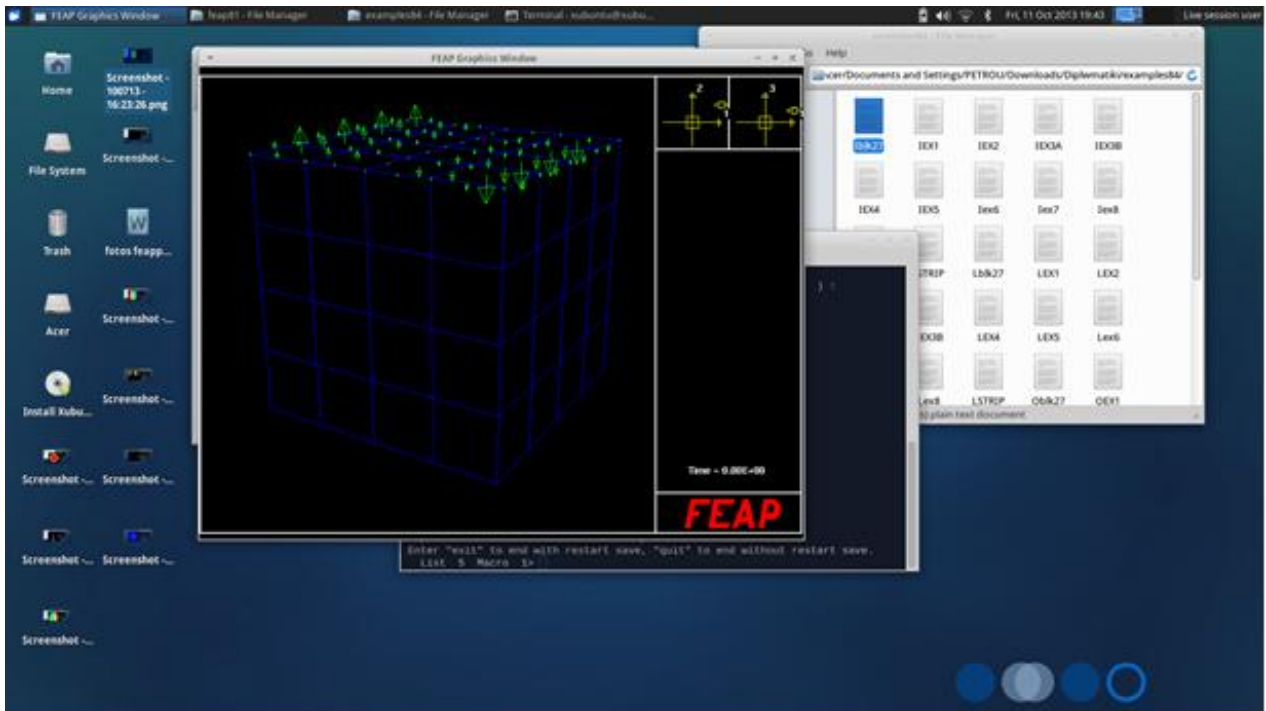


Figure 9.2: Proportional loading

5.11 Iblk27

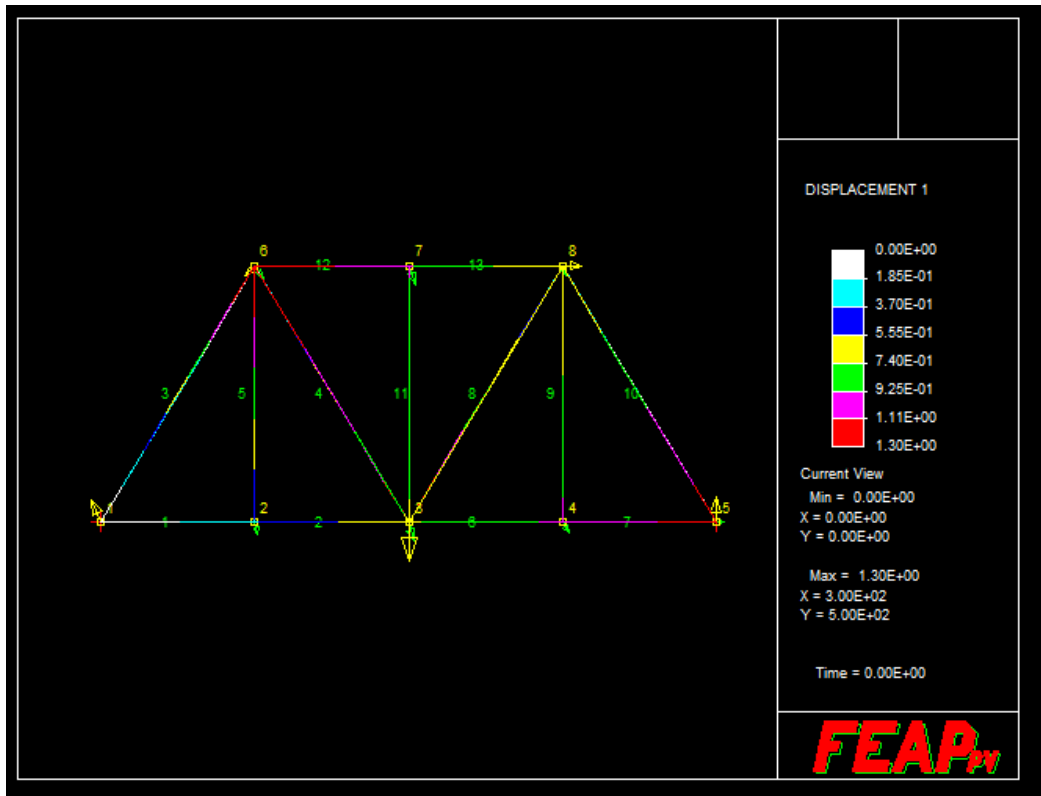


Το τρισδιάστατο πρόβλημα Iblk27 είναι ένας κύβος με 8 κόμβους και 27 στοιχεία. Το υλικό είναι ελαστικό και ιστροπικό. Το σημείο (0 0 0) είναι πακτωμένο ως προς και τους τρεις άξονες. Στο πάνω μέρος του κύβου ασκούνται δύο δυνάμεις αντίθετες. Στην ακμή του κύβου που διέρχεται από τους κόμβους 5 (0 0 15) και 6 (15 0 15) ασκείται μία δύναμη 10 μονάδων προς την θετική φορά του άξονα Z ενώ στην απέναντι ακμή η οποία διέρχεται από τους κόμβους 7 (15 15 15) και 8 (0 15 15) ασκείται η ίδια δύναμη αλλά με αντίθετη φορά.

Στην φωτογραφία του μοντέλου παρατηρούμε το τρισδιάστατο δικτύωμα καθώς και τις δυνάμεις που ασκούνται.

6. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΝΕΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

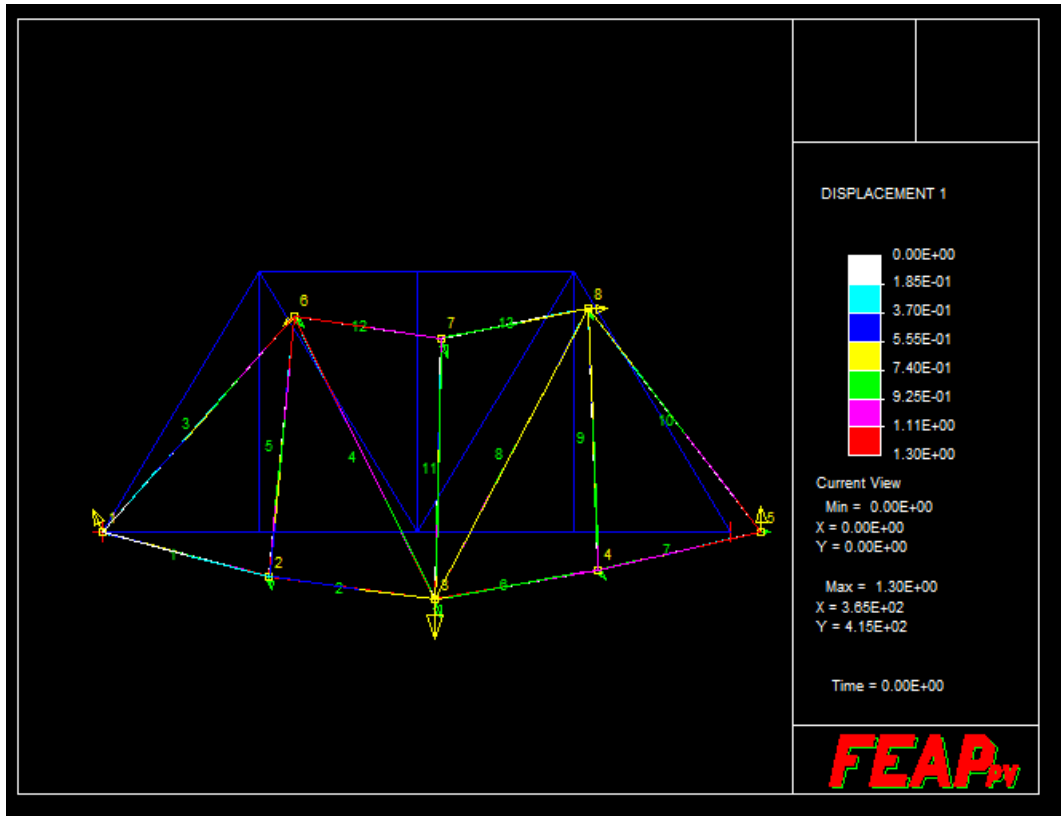
6.1 Ipet1



Στο πρόβλημα Ipet1 αναλύουμε ένα δικτύωμα δύο διαστάσεων. Τα υλικά από τα οποία απαρτίζεται το δικτύωμα είναι δύο. Το μέτρο ελαστικότητας των δύο υλικών είναι 1.000 και η μόνη διαφορά είναι ότι έχουν διαφορετική διάμετρο. Το πρώτο υλικό έχει διάμετρο 10 μονάδων και το δεύτερο 5. Τα στοιχεία που είναι κατασκευασμένα από το δεύτερο υλικό είναι τα 11, 12, 13. Αφού έχουμε ορίσει τις συντεταγμένες των κόμβων και τα στοιχεία προχωράμε στον ορισμό των στηρίξεων.

Στον κόμβο 1 έχουμε στήριξη και στους δύο άξονες X και Y ενώ στο άλλο άκρο του δικτύωματος έχουμε στήριξη μόνο ως προς τον άξονα Y. Στους κόμβους 3, 6 και 8 ασκούνται δυνάμεις. Στον κόμβο 3 ασκείται μία δύναμη 20 μονάδων ως προς τον άξονα Y, στον κόμβο 6 ασκούνται δύο δυνάμεις 5 μονάδων η μία στον άξονα X και η άλλη στον Y και στον κόμβο 8 έχουμε μία δύναμη 10 μονάδων στον άξονα X. Στην συνέχεια περνάμε στο δεύτερο μέρος του προγράμματος που είναι η επίλυση των εξισώσεων και η προβολή των μετατοπίσεων και των αντιδράσεων που σχηματίζονται.

Τέλος, με την εντολή DEFORM υπάρχει η δυνατότητα να παρατηρήσουμε την παραμόρφωση που υφίσταται το δικτύωμα με την επιβολή των δυνάμεων.



Εδώ παρουσιάζεται ο κώδικας κατασκευής και ανάλυσης του προβλήματος μας.

FEAP

8 13 2 2 2 2

MATERial,1

TRUSS

ELASTic ISOTropic 1000.0

CROSSs SECTion 10.0

MATERial,2

TRUSS

ELASTic ISOTropic 1000.0

CROSSs SECTion 5.0

COORDinates

1 0 0.0 0.0
2 0 300.0 0.0
3 0 600.0 0.0
4 0 900.0 0.0
5 0 1200.0 0.0
6 0 300.0 500.0
7 0 600.0 500.0
8 0 900.0 500.0

ELEMents

1 0 1 1 2
2 0 1 2 3
3 0 1 1 6
4 0 1 3 6
5 0 1 2 6
6 0 1 3 4
7 0 1 4 5
8 0 1 3 8
9 0 1 4 8
10 0 1 5 8
11 0 2 3 7
12 0 2 6 7
13 0 2 7 8

BOUNDary restraints

1 0 1 1
5 0 0 1

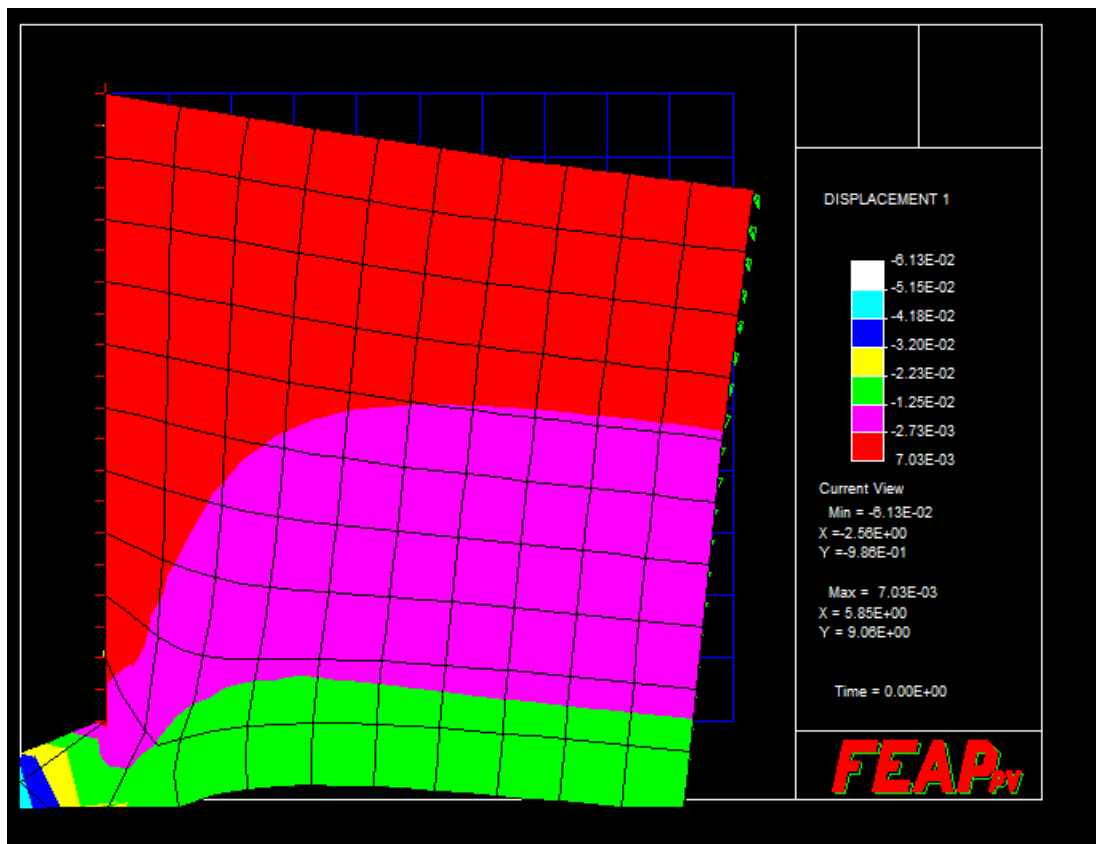
FORCe

3 0 0.0 -20.0
6 0 -5.0 -5.0
8 0 10.0 0.0

END

```
Batch
loop,,2
  tang,,1
  next
  plot boun,0
  plot mesh
  plot defo 50 1
  plot mesh
  plot disp all
  plot reac all
  plot stre all
  plot elem 0
  plot node
  plot cont 1
end
inte
stop
```

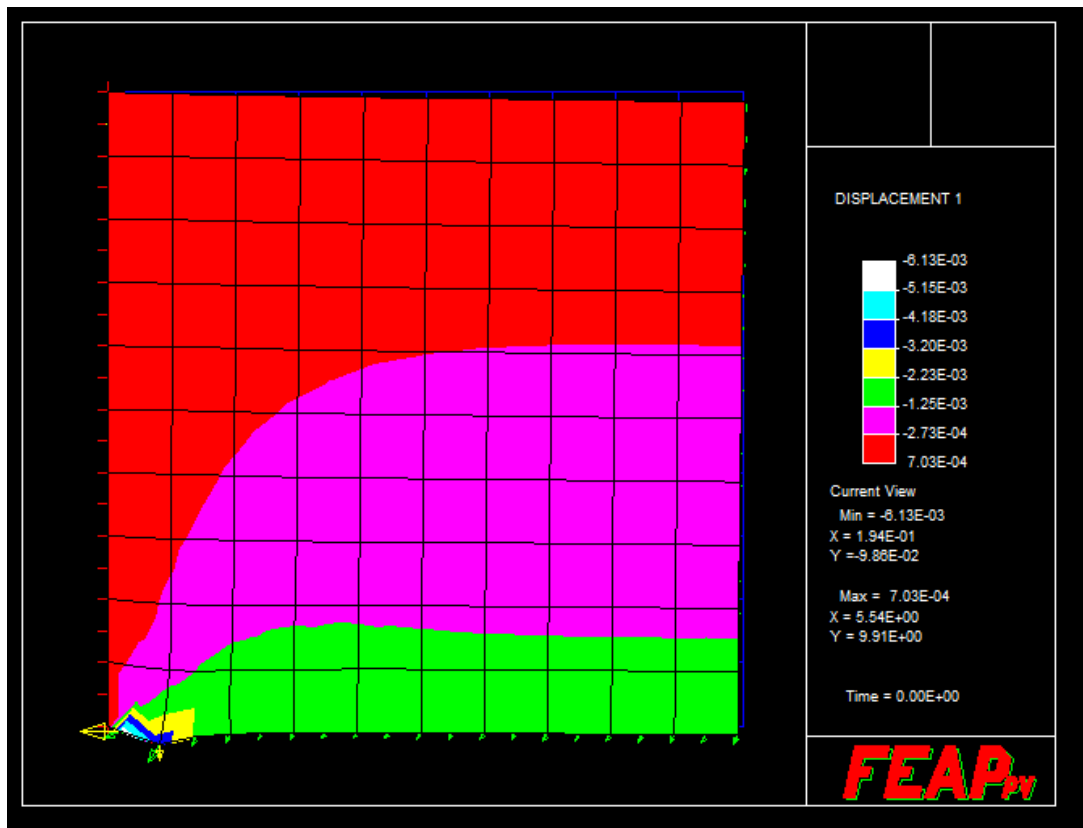
6.2 Ipet2



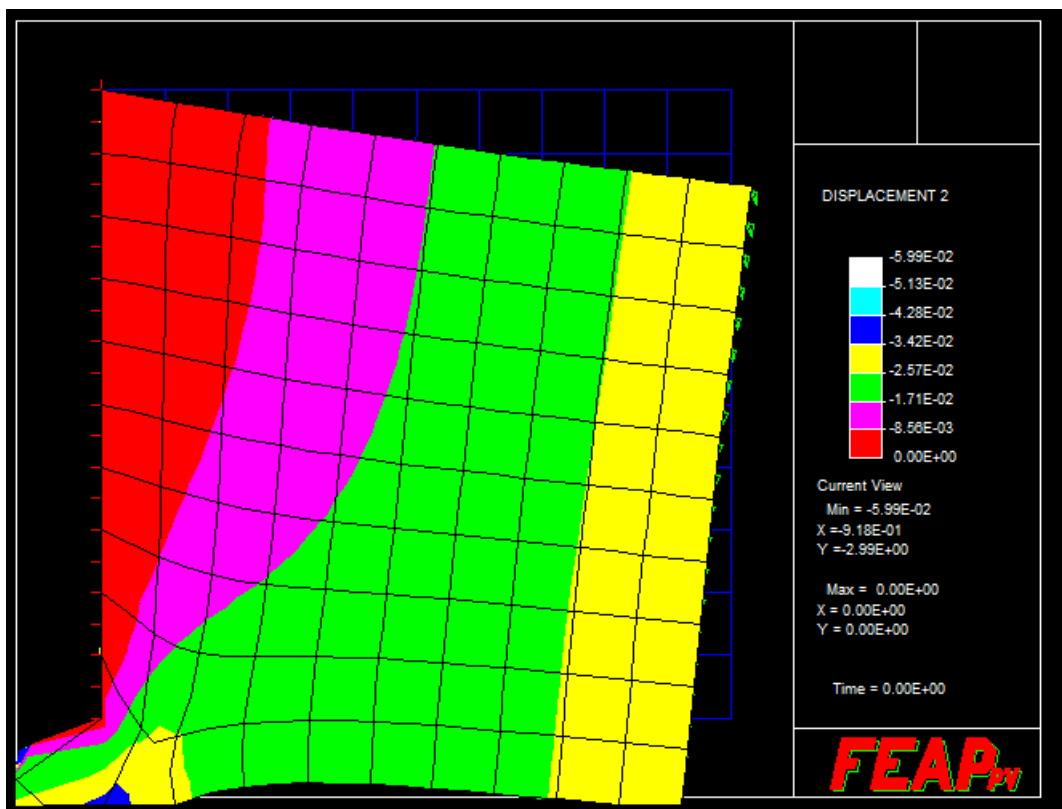
Στο πρόβλημα Ipet2 δημιουργούμε ένα πλαίσιο με πλευρά 10 μονάδων. Το πλέγμα είναι δισδιάστατο με δύο βαθμούς ελευθερίας. Υπάρχει μια συγκράτηση στο σημείο 0.0 ως προς τον άξονα των X και των Y. Το υλικό μας είναι στερεό, ελαστικό και ιστροπικό με μέτρο ελαστικότητας ίσο με 1.000 και λόγο Poisson ίσο με 0.25. Στο σημείο 2 που βρίσκεται κάτω δεξιά με συντεταγμένες (10.0 0.0) ασκείται μία δύναμη αντίθετα προς την κατεύθυνση του άξονα X με μέτρο ίσο με 50.0 μονάδες. Επίσης στο σημείο 3 (10.0 10.0) ασκείται μία δύναμη αντίθετα στον άξονα Y με μέτρο ίσο με 20 μονάδες.

Τέλος, υπολογίζονται οι εξισώσεις και παρατηρούμε την μετατόπιση και την παραμόρφωση του πλέγματος. Με τις χρωματικές αποχρώσεις παρατηρούμε την τάσεις που αναπτύσσονται ως προς τον X άξονα.

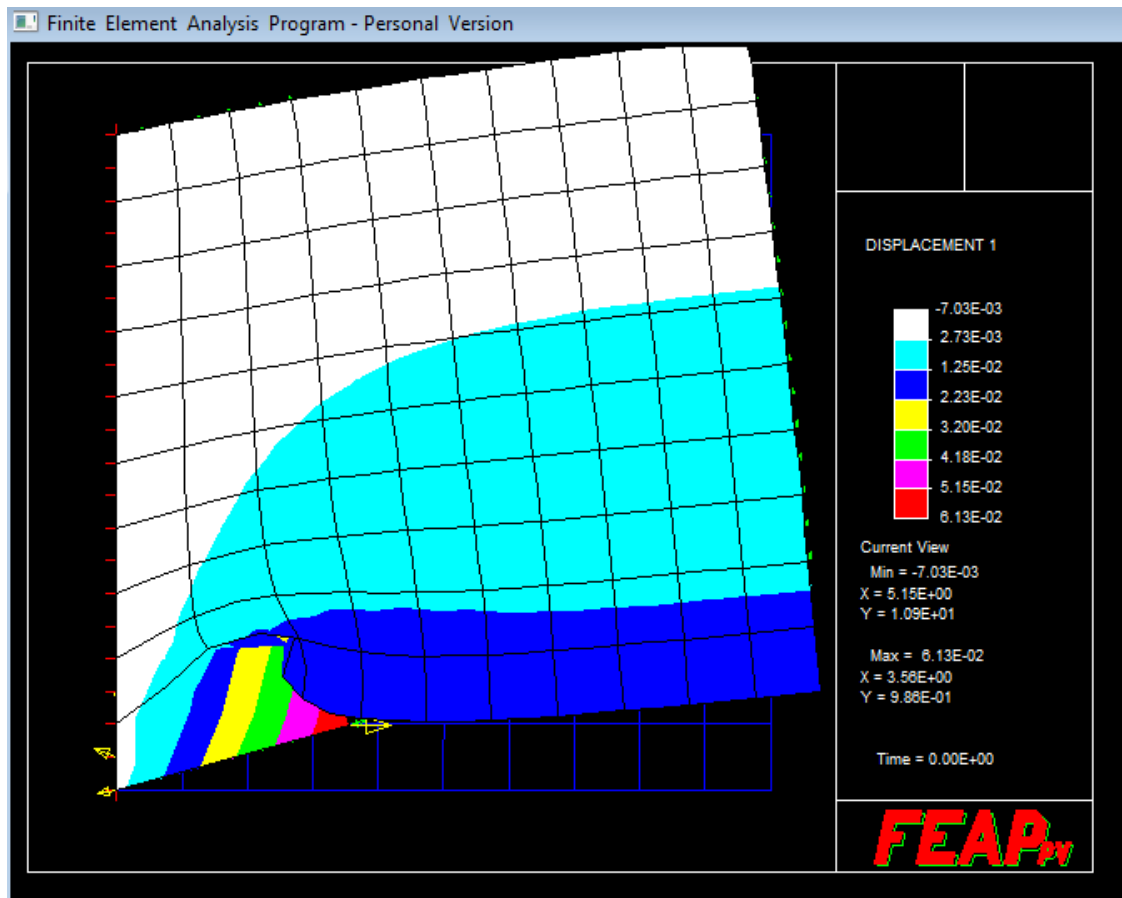
Στην παρακάτω φωτογραφία έχουμε διπλασιάσει το μέτρο ελαστικότητας το οποίο ισούται με 2.000 και παρατηρούμε ότι οι παραμορφώσεις και η μετατόπιση είναι μικρότερες.



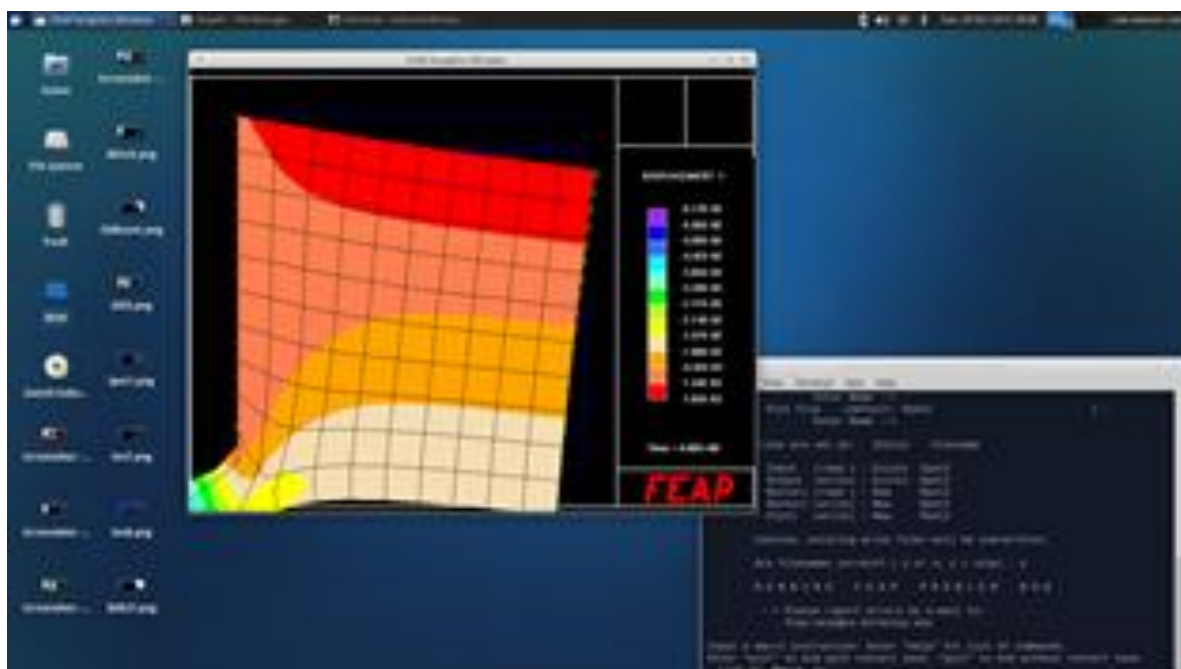
Στην φωτογραφία που ακολουθεί παρατηρούμε τις τάσεις που αναπτύσσονται ως προς τον άξονα Y.



Στο σημείο αυτό αλλάξαμε την κατεύθυνση των δυνάμεων που αναπτύσσονται στους κόμβους 2 και 3. Άλλαξαμε την φορά, όχι το μέτρο και προέκυψε το εξής γράφημα.



Εδώ αναλύσαμε το αρχικό μοντέλο στα Linux αλλά όπως φαίνεται οι χρωματικές αποχρώσεις που απεικονίζουν τις τάσεις είναι λίγο διαφορετικές.



FEAP

0 0 0 2 2 9

BLOCK

CARTESIAN 20 20

QUAD 9

1 0.0 0.0

2 10.0 0.0

3 10.0 10.0

4 0.0 10.0

EBOUnd

1 0 1 1

force

2 0 -50.0 0.0

3 0 0.0 -20.0

MATE 1

solid

ELAStic ISOTropic 1000 0.25

END

BATCh

loop,,10

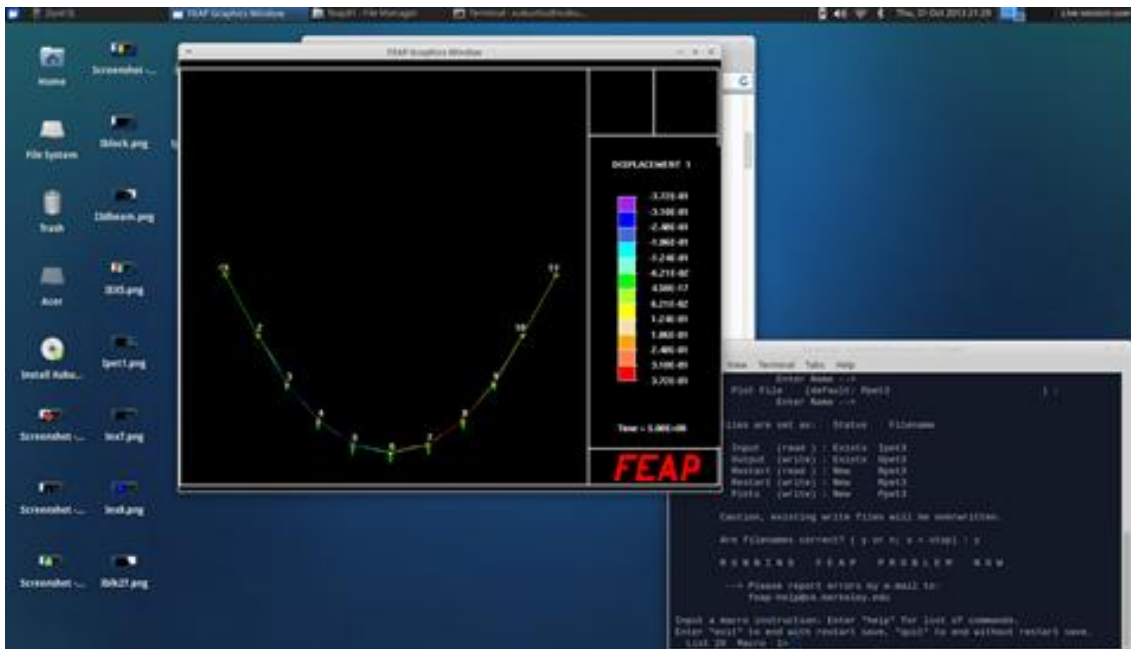
TANGent,,1

next

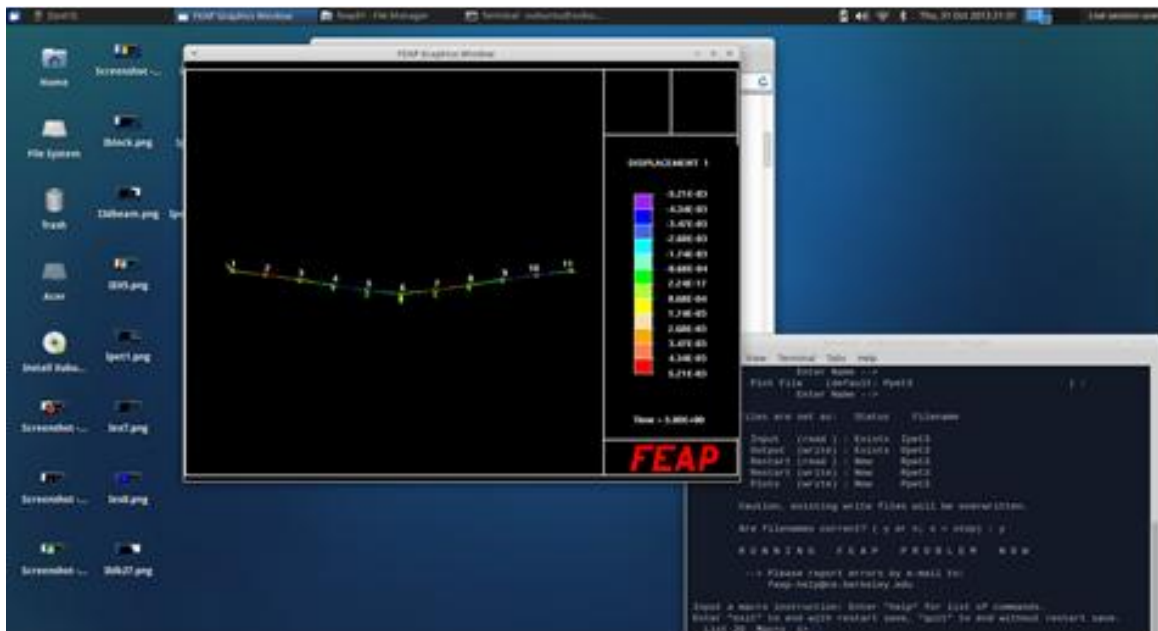
```
plot boun,0  
plot mesh  
plot defo 50 1  
plot mesh  
plot disp all  
plot reac all  
plot stre all  
plot cont 1  
END
```

INTERactive

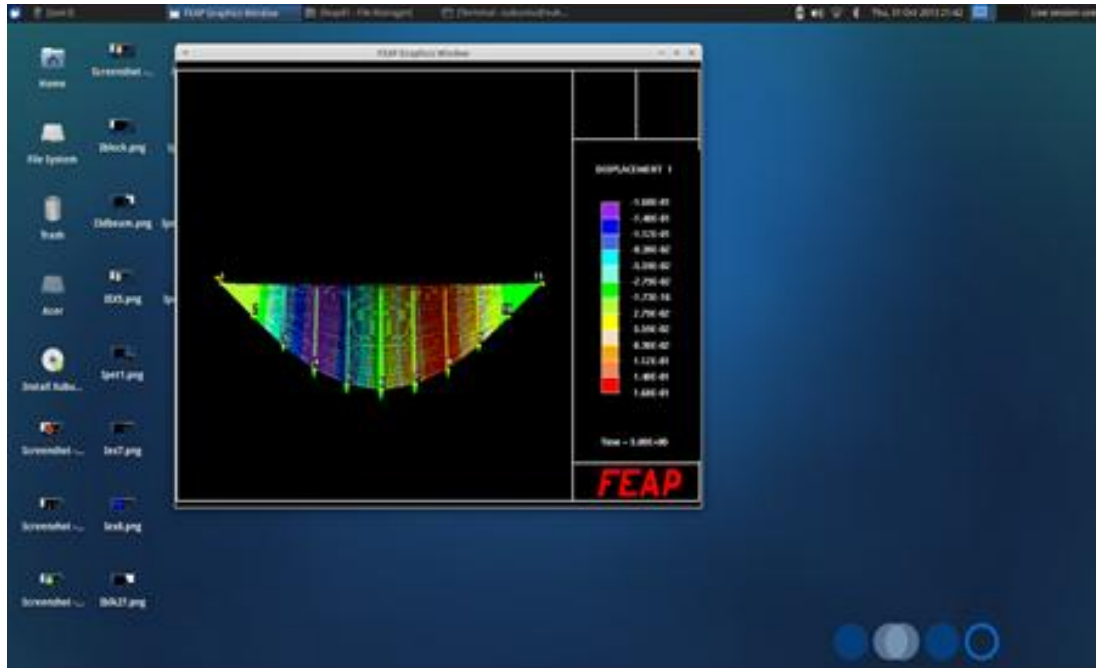
STOP



Στο σημείο αυτό έχουμε επικεντρώσει την φόρτιση στην μέση της δοκού στον κόμβο 6. Παρατηρούμε ότι η παραμόρφωση και η μετατόπιση είναι πολύ μικρές.



Κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αλγόριθμου που υπολογίζει σε κάθε χρονική στιγμή τις μετατοπίσεις, τάσεις, παραμορφώσεις και ότι άλλο υπάρχει στο κώδικα δεν καθαρίζεται η οθόνη. Έτσι λοιπόν, βλέπουμε την μετατόπιση της δοκού σε όλες τις χρονικές στιγμές.



FEAP

0 0 0 2 3 3

BLOCK

CARTesian 10 1 0 0 1

1 0.0 0.0

2 2 20.0 0.0

EBOUnd

1 0 1 1 1

1 20 1 1 1

EFORce

2 0.0 0.0 -50.0

```
MATE 1
  FRAME
    ELAStic ISOTropic 20000 0.25
    CROSS section 0.2 1
    FINite
  END mesh
BATCH
  PROP
  DT,,0.1
END
BATCH
  PLOT DEFOrm
  LOOP,time,50
  TIME
  LOOP,augment,4
  LOOP,newton,30
  TANG,,1
  NEXT
  AUGMent
  NEXT
  PLOT WIPE
  PLOT MESH
  PLOT DISP ALL
  PLOT REAC ALL
  PLOT STRE ALL
  PLOT CONT,1
  NEXT
```

PLOT NODE

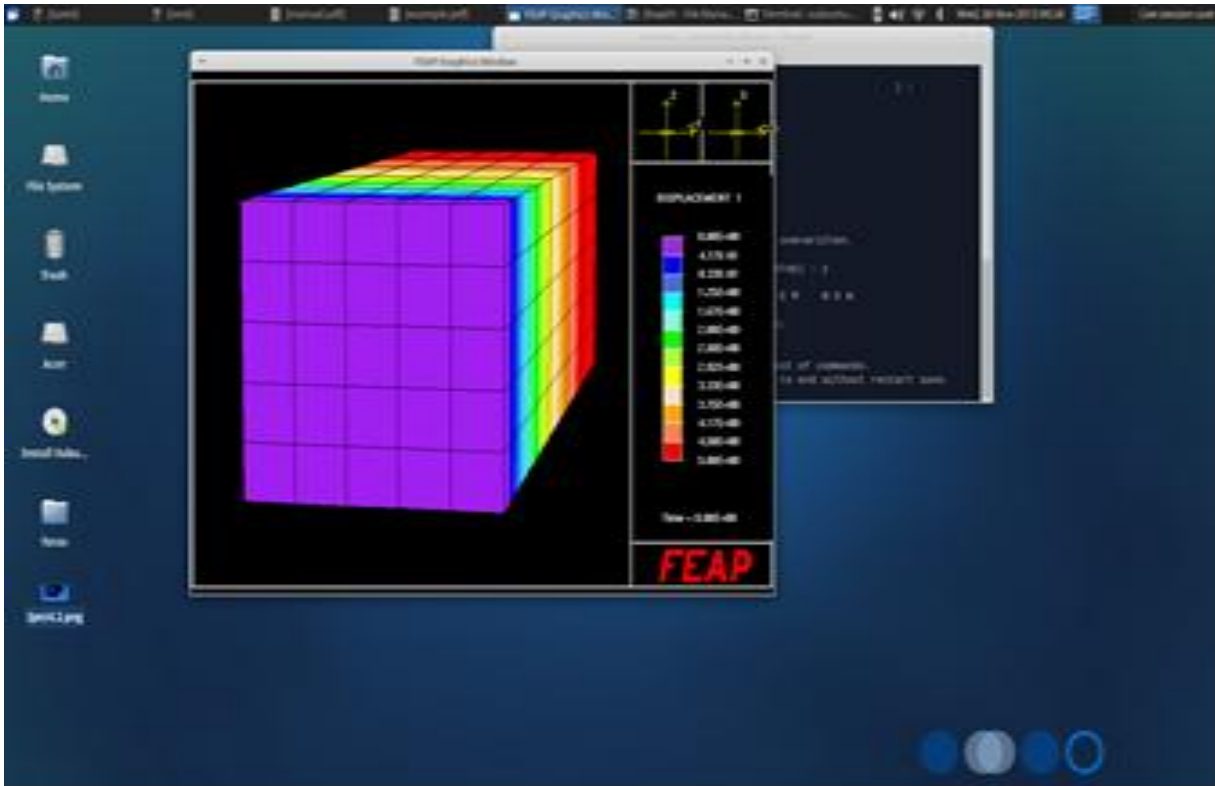
END

INTERactive

STOP

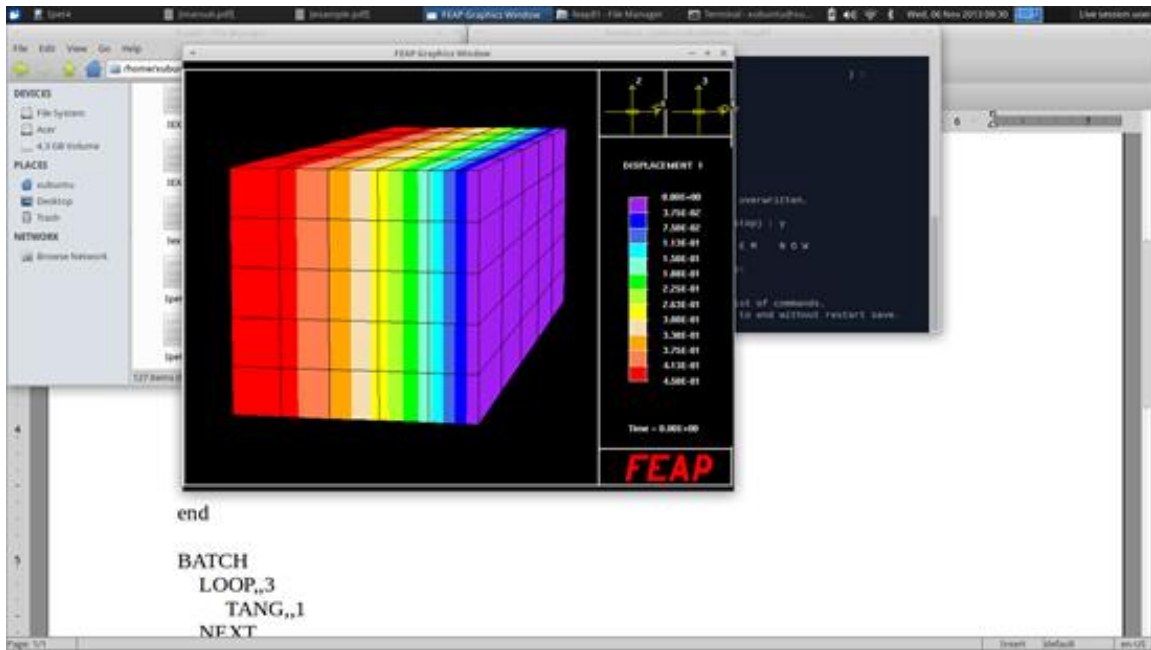


6.4 Ipet4

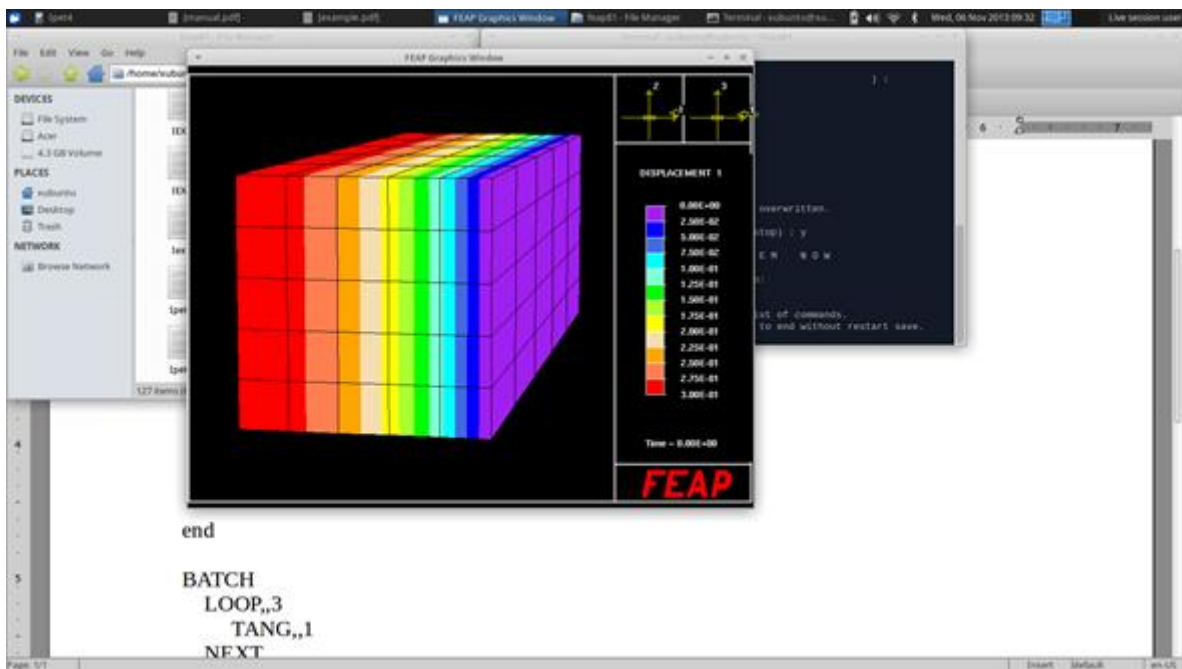


Στο μοντέλο Ipet4 αναλύουμε ένα θερμικό πρόβλημα στις τρεις διαστάσεις. Το μοντέλο μας είναι ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με μήκος 10 μονάδων, πλάτος 3 μονάδων και ύψος 3 μονάδων. Στην αρχή ως παρατηρούμε η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται στον άξονα X και ξεκινάει από το σημείο 0. Οι οριακές συνθήκες ορίζονται ως προς τον άξονα X στο σημείο 10 στην απέναντι πλευρά που ξεκινάει η μετάδοση θερμότητας. Το υλικό μας είναι ισοτροπικό με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ίσο με 10. Η θερμοκρασιακή κλίση του υλικού μας περιγράφεται από τις χρωματικές εναλλαγές. Στη συνέχεια πραγματοποιήσα μια δοκιμή με υλικό που ήταν ορθοτροπικό αλλά δεν παρατήρησα καμιά αλλαγή στην θερμοκρασιακή κλίση.

Στη συνέχεια, αναλύουμε την μετάδοση θερμότητας στο μοντέλο μας ως προς τον άξονα Y. Εδώ δοκιμάζουμε μοντέλα με ισοτροπικό και ορθοτροπικό υλικό και παρατηρούμε διαφορετικά αποτελέσματα στην θερμοκρασιακή κλίση. Το ισοτροπικό μοντέλο έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ίσο με 10 ενώ το ορθοτροπικό έχει τρεις συντελεστές που ορίζονται ως $K_1=15$, $K_2=8$ και $K_3=5$. Παρατηρούμε από τις χρωματικές μπάρες ότι η μετάδοση θερμότητας στο εσωτερικό του ορθοτροπικού μοντέλου είναι μικρότερη σε σχέση με το ισοτροπικό λόγω διαφορετικών υλικών.

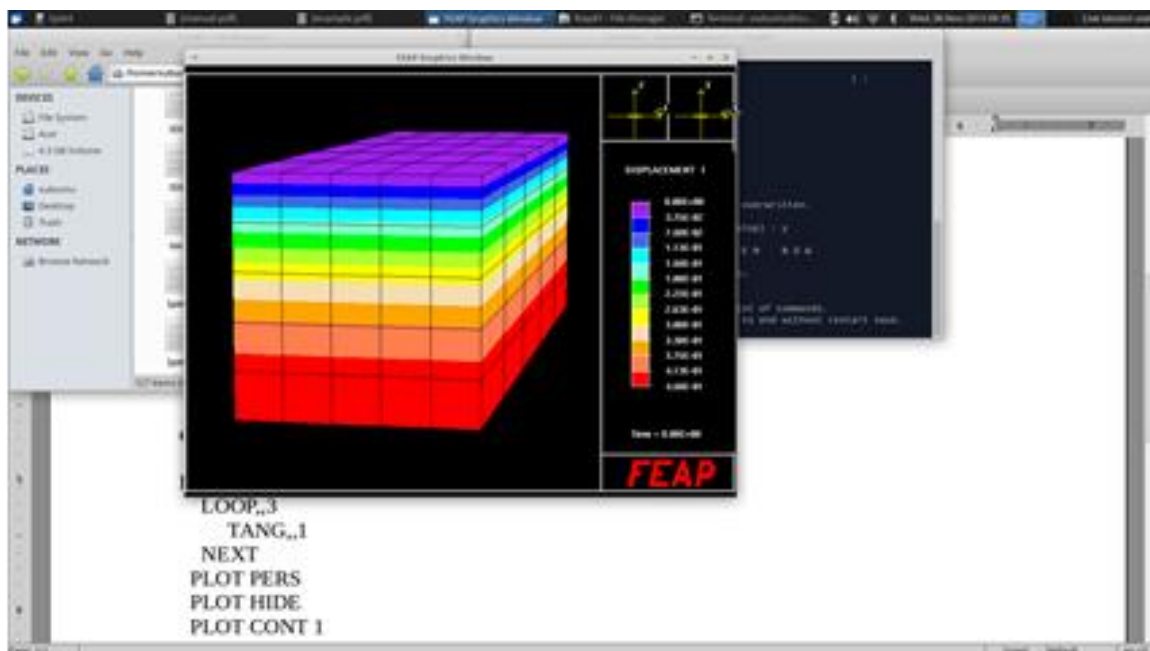


Ισοτροπικό υλικό

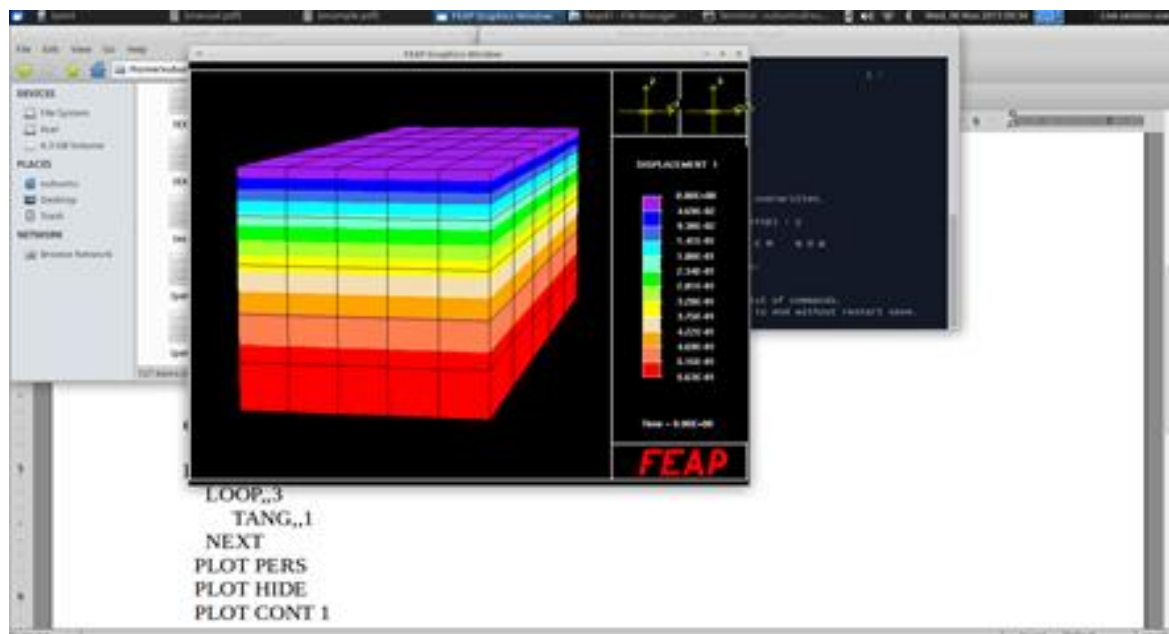


Ορθοτροπικό υλικό

Τέλος, αναλύουμε το μοντέλο μας στην μετάδοση θερμότητας ως προς τον άξονα Z. Παρατηρούμε και εδώ διαφορετικές κλίσεις και στα δύο υλικά.



Ισοτροπικό υλικό



Ορθοτροπικό υλικό

feap

0 0 0 3 3 10

block

cart 5 5 5

brick 8

1 0 0 0

2 10 0 0

3 10 3 0

4 0 3 0

5 0 0 3

6 10 0 3

7 10 3 3

8 0 3 3

Eboun

1 10 1 0 0

mate 1

thermal

fourier isotropic 10 1

DENSinty mass 0.2

BODY HEAT 1

end

BATCH

LOOP,,3

TANG,,1

NEXT

PLOT PERS

PLOT HIDE

PLOT CONT 1

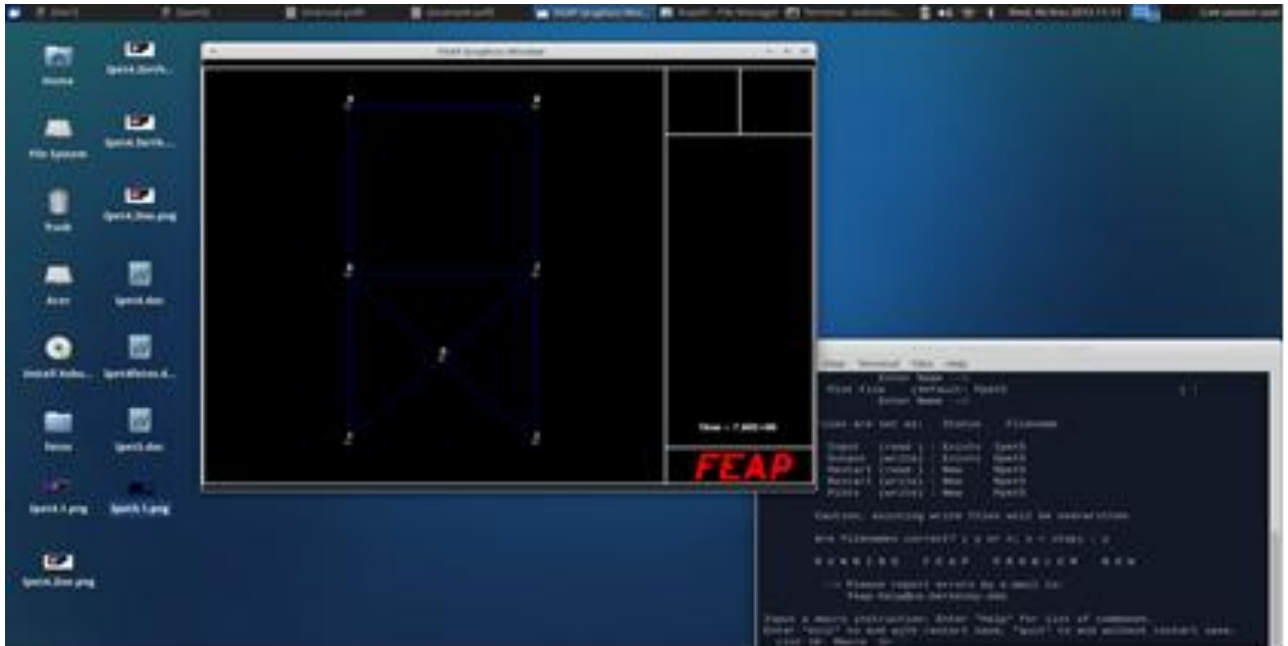
END

inte

stop



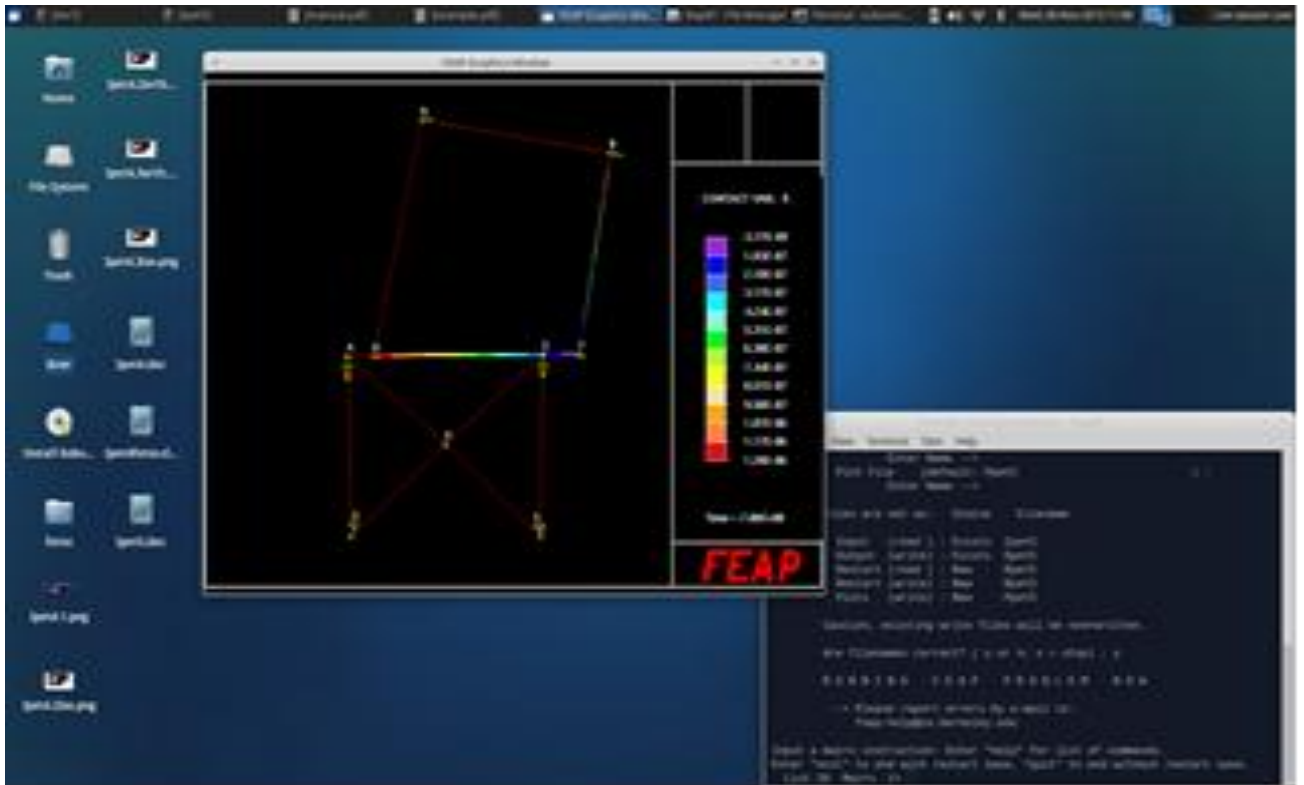
6.5 Ipet5



Στο μοντέλο Ipet5 αναλύουμε ένα πρόβλημα επαφής. Το μοντέλο αποτελείται από δύο υλικά τα οποία έρχονται σε επαφή και αναπτύσσονται αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους τις οποίες θα αναφέρουμε και θα αναλύσουμε. Το πρόβλημα είναι δισδιάστατο. Το πρώτο υλικό είναι δικτύωμα και βρίσκεται στο κάτω μέρος ενώ το δεύτερο υλικό είναι στερεό και βρίσκεται στο πάνω μέρος. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι το στερεό κομμάτι είναι ένα φορτίο το οποίο στηρίζεται από το δικτύωμα και καθώς εφαρμόζουμε διάφορες δυνάμεις στο στερεό σώμα παρατηρούμε πως συμπεριφέρονται τα δύο υλικά.

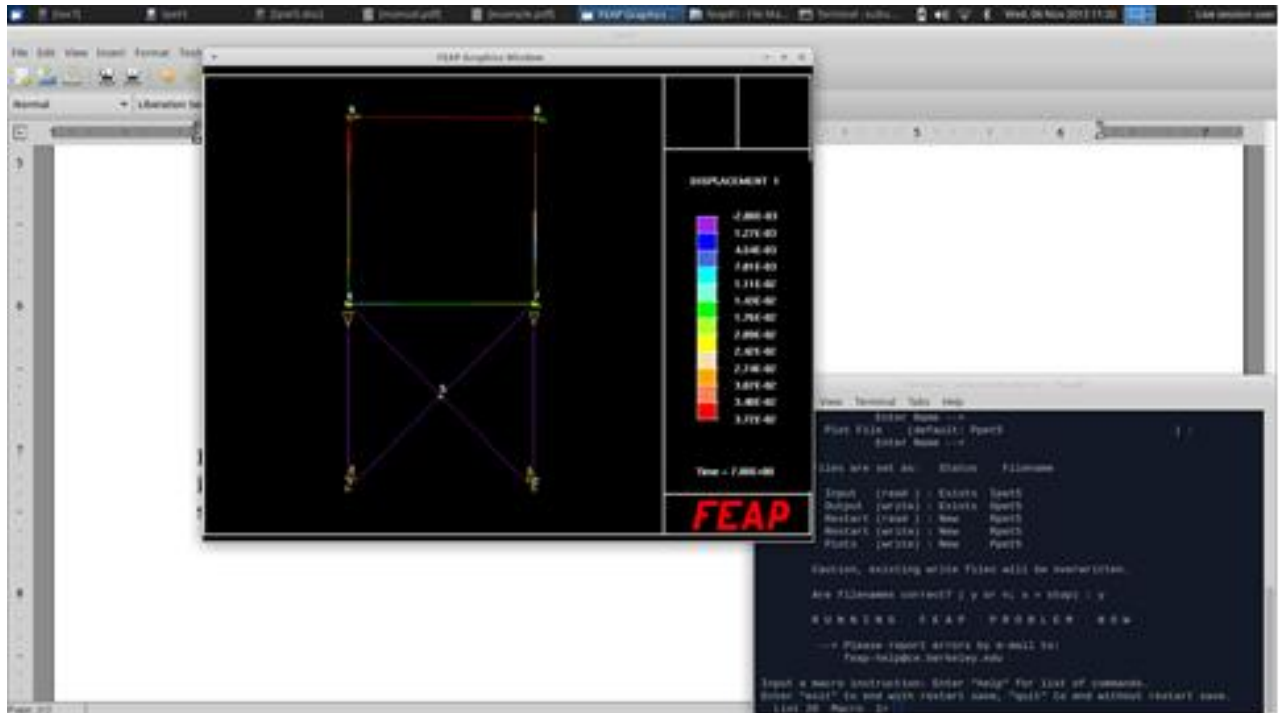
Το δικτύωμα είναι ελαστικό, ισοτροπικό με μέτρο ελαστικότητας ίσο με 5.000 και διατομή ίση με 10 μονάδες. Αποτελείται από πέντε κόμβους και επτά στοιχεία. Το στερεό κομμάτι είναι και αυτό ελαστικό, ισοτροπικό με μέτρο ελαστικότητας ίσο με 1.000. Σχηματίζεται από τέσσερις κόμβους και τέσσερα στοιχεία. Το δικτύωμα στηρίζεται στους κόμβους 1 και 2 ως προς τον άξονα X και Y. Το πρόβλημα μας είναι δυναμικό, υπάρχει δηλαδή η παράμετρος του χρόνου. Καθώς αναπτύσσονται οι δυνάμεις και οι παραμορφώσεις στο σώμα παρατηρούμε πως εξελίσσεται η συμπεριφορά των υλικών. Η ανάλυση επαφής που υπάρχει στο πρόγραμμα FEAP είναι δύο ειδών: η NTOS (node to surface strategy) και η NTON (node to node strategy). Εμείς στο πρόβλημα μας χρησιμοποιούμε την πρώτη στρατηγική.

Στο πρώτο παράδειγμα εφαρμόζουμε μία δύναμη 10 μονάδων ως προς τον άξονα Y σε ύψος 5 μονάδων που βρίσκεται στο κάτω μέρος του στερεού σώματος. Χρησιμοποιώντας την μεταβλητή CVAR 9 παρατηρούμε τις τάσεις που αναπτύσσονται κατά την επαφή των δύο σωμάτων σύμφωνα με τις χρωματικές αποχρώσεις. Επίσης τα δύο σώματα υπόκεινται σε παραμόρφωση χρησιμοποιώντας την κατάλληλη εντολή.

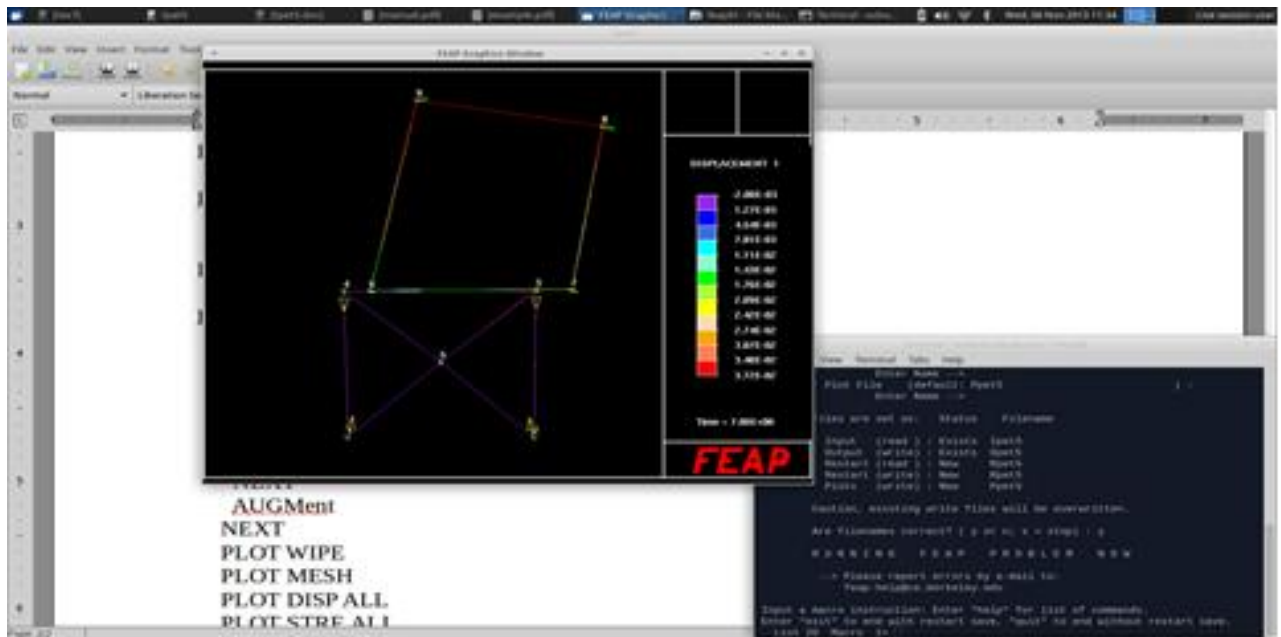


Στο επόμενο παράδειγμα το μοντέλο μας είναι ακριβώς το ίδιο μόνο που δεν υπάρχει η παραμόρφωση. Παρουσιάζονται οι μετατοπίσεις που υπάρχουν στο μοντέλο και οι τάσεις από την επαφή των σωμάτων.

Σε αυτό το παράδειγμα δεν χρησιμοποιούμε πλέον την εντολή CVAR 9. Οι δυνάμεις αναπτύσσονται και πάλι στο κάτω μέρος του στερεού σώματος δηλαδή σε ύψος 5 μονάδων με το ίδιο μέτρο και φορά. Επίσης δεν υπάρχει παραμόρφωση στα σώματα. Στην εικόνα αυτή παρατηρούμε τις μετατοπίσεις, τάσεις και αντιδράσεις που εμφανίζονται στα διάφορα στοιχεία του μοντέλου μας.



Στην επόμενη φωτογραφία το παράδειγμα είναι το ίδιο με το προηγούμενο απλά τώρα υπάρχει και παραμόρφωση στο μοντέλο μας. Παρατηρούμε ότι το δικτύωμα συνθλίβεται και το στερεό σώμα υπό την δράση των δυνάμεων μετατοπίζεται προς τα δεξιά. Μέσω των χρωματικών αλλαγών παρατηρούμε τις τάσεις που αναπτύσσονται στα στοιχεία.



FEAP

9 11 2 2 2 3

MATERial,1

TRUSS

ELASTic ISOTropic 5000.0 0.25

CROSSs SECTION 10.0

MATERial,2

SOLID

ELASTIC ISOTropic 1000.0 0.25

COORDinates

1 0 0.0 0.0

2 0 5.0 0.0

3 0 5.0 5.0

4 0 0.0 5.0

5 0 2.5 2.5

6 0 0.0 5.0

7 0 5.0 5.0

8 0 5.0 10.0

9 0 0.0 10.0

ELEMents

1 0 1 1 4

2 0 1 1 5

3 0 1 2 3

4 0 1 2 5

5 0 1 3 4

6 0 1 3 5

7 0 1 4 5

8 0 2 6 7

9 0 2 7 8

10 0 2 8 9

11 0 2 9 6

BOUNDary

1 0 1 1

2 0 1 1

EFORce

2 5.0 0 -10

END

CONTact

SURFace 1

LINE 2

FACEt

1 0 6 7

SURFace 2

LINE 2

FACEt

1 0 3 4

PAIR 1

NTOS 1 2
SOLM PENALty 2e3
AUGMent
TOLE,,1e-5 1e-5 1e-5
END contact
BATCh
PROP
DT,,0.1
END
BATCh
PLOT DEFOrm 50 1
LOOP,time,70
TIME
LOOP,augment,4
LOOP,newton,30
TANG,,1
NEXT
AUGMent
NEXT
PLOT WIPE
PLOT MESH
PLOT DISP ALL
PLOT STRE ALL
PLOT REAC ALL
PLOT CVAR 9
NEXT
PLOT NODE
END
Inte
stop
